

LUXTRAM

Tramway de Luxembourg

Tronçon Arlon

Variante Mixte

Etude des incidences acoustiques et vibratoires sur l'environnement

25 octobre 2024

TABLE DES MATIERES

1.	INTRODUCTION	6
1.1	<i>Objet de l'étude</i>	6
1.2	<i>Description de l'environnement sonore existant</i>	7
1.3	<i>Description du projet</i>	9
1.4	<i>Méthodologie retenue</i>	10
2.	ENVIRONNEMENT SONORE ET VIBRATOIRE EXISTANT	11
2.1	<i>Etat des lieux acoustique et vibratoire existant</i>	11
2.1.1	Localisation des mesures et matériel utilisé	11
2.1.2	Conditions météorologiques et validité des mesures	14
2.1.3	Présentation des résultats de mesures de bruit	15
2.1.4	Analyse des mesures de bruit.....	16
2.1.5	Conclusions sur les mesures du bruit actuel.....	19
2.1.6	Présentation des résultats de mesures vibratoires de longue durée.....	20
2.1.6.1	<i>Critères vibratoires DIN 4150-2</i>	20
2.1.6.2	<i>Critères vibratoires DIN 4150-3</i>	22
2.1.6.3	<i>Présentation des résultats</i>	24
2.1.7	Analyse des mesures vibratoires	24
2.1.8	Conclusions des mesures vibratoires.....	24
2.2	<i>Etat des lieux des propagations vibratoires existantes et du matériel roulant.....</i>	25
2.2.1	Localisation des zones de mesures et matériel utilisé	25
2.2.1.1	<i>Mesures de propagation dans les sols</i>	25
2.2.1.2	<i>Caractérisation vibratoire des effets du matériel roulant.....</i>	28
3.	ETUDE DES INCIDENCES ACOUSTIQUES DU PROJET	30
3.1	<i>Méthodologie générale</i>	30
3.2	<i>Données</i>	30
3.2.1	Trafics	30
3.2.2	Infrastructures, bâtiments et environnement	30
3.3	<i>Méthode de calcul utilisée.....</i>	35
3.4	<i>Détermination des incidences.....</i>	36
3.4.1	Affectation des bâtiments.....	36
3.4.2	Incidences.....	37
3.5	<i>Présentation des résultats.....</i>	38

3.6	Analyse des résultats	39
3.7	Conclusions et Recommandations.....	40
4.	ETUDE PRELIMINAIRE DES INCIDENCES VIBRATOIRES DU PROJET.....	41
4.1	Contexte règlementaire et normatif.....	41
4.2	Bâtiments analysés.....	43
4.3	Impact de la circulation des trams sur le tronçon en phase d'exploitation	44
4.3.1	Termes source et propagation	44
4.3.2	Terme immission.....	48
4.3.3	Préconisations préliminaires des poses de voie.....	49
5.	IMPACT ACOUSTIQUES DU CHANTIER ET RECOMMANDATIONS	52
5.1	Méthodologie générale	52
5.2	Données	52
5.3	Détermination des incidences.....	53
5.4	Recommandations	54
6.	IMPACT VIBRATOIRE DU CHANTIER ET RECOMMANDATIONS	55
6.1	Description des engins	55
6.2	Recommandations	57
7.	ANNEXES	58
7.1	Carte PAG de la Ville de Luxembourg	58
7.2	Campagne de mesures de bruit longue durée.....	60
7.2.1	Fiches descriptives des conditions de mesures, points 4 à 6.....	60
7.2.2	Résultats des mesures sous forme graphique et tabulaires par tranche horaire, points 4 à 6.....	64
7.2.3	Résultats des mesures sous forme graphique des niveaux $L_{Aeq, 1min}$, points 4 à 6.	77
7.3	Campagne de mesures vibratoire longue durée	105
7.3.1	Fiches descriptives des conditions de mesures, points 4 et 6.....	105
7.3.2	Résultats des mesures suivant la DIN4150-2	108
7.3.3	Résultats des mesures suivant la DIN4150-3	129
7.4	Etat des lieux vibratoires	150
7.4.1	Fiches techniques capteurs	150
7.4.2	Mesure vibratoire au passage de trams	157
7.4.3	Mesures de propagation	167
7.5	Localisation et numérotation des bâtiments étudiés	171
7.6	Axes simulés – Tram et route.....	176

7.7	<i>Cartes du bruit en situation actuelle.....</i>	<i>181</i>
7.8	<i>Cartes du bruit en situation de référence.....</i>	<i>194</i>
7.9	<i>Cartes du bruit en situation projetée.....</i>	<i>207</i>
7.10	<i>Phase exploitation - Niveaux maxima calculés en façade de chaque bâtiment.....</i>	<i>220</i>
7.10.1	Niveaux spécifiques induits uniquement par les trams.....	220
7.10.2	Niveaux spécifiques induits uniquement par la route	222
7.10.3	Niveaux spécifiques induits par les trams + route	224
7.11	<i>Trafic tram.....</i>	<i>226</i>
7.12	<i>Trafic routier</i>	<i>230</i>
7.13	<i>Localisation des zones de chantier</i>	<i>232</i>
7.14	<i>Caractéristiques du matériel roulant : URBOS</i>	<i>235</i>
7.15	<i>Lexique.....</i>	<i>250</i>

LISTE DES FIGURES

Figure 1 – Vue aérienne du tronçon « Arlon » (Route d'Arlon)	7
Figure 2 – Plan Général d'Aménagement (PAG)	8
Figure 3 – Localisation du projet et zone d'étude :	9
Figure 4 - Localisation des points de mesures longue durée	11
Figure 5 - Conditions météorologiques du 14 au 22 février 2022	14
Figure 6 - Zone de mesure 3 (Tracé exact en cours)	26
Figure 7 - Zone de mesure 4 (Tracé exact en cours)	27
Figure 8 - Zone de mesure 5 (Tracé exact en cours)	27
Figure 9 - Zone de mesure au passage des trams sur la ligne existante (Parking Glacis)	28
Figure 10 – Mesures de la propagation vibratoire sur 28 mètres et position du géophone de référence	29
Figure 11 – Vue 3D de la maquette en situation actuelle : Place d'Etoile	31
Figure 12 – Vue 3D de la maquette en situation actuelle : Route d'Arlon, zone du stade	31
Figure 13 – Vue 3D de la maquette en situation actuelle : zone du CHL	32
Figure 14 – Vue 3D de la maquette en situation future : Place d'Etoile	32
Figure 15 – Vue 3D de la maquette en situation future : Place d'Etoile – Trafic routier sous projet	33
Figure 16 – Vue 3D de la maquette en situation future : Route d'Arlon, zone du stade	33
Figure 17 – Vue 3D de la maquette en situation future : zone du CHL	34
Figure 18 – Détermination des incidences du tram : organigramme décisionnel	38
Figure 19 - Critères vibratoires selon la DIN 4150-2	41
Figure 20 - Identification des bâtiments à analyser	43
Figure 21 - Matériel roulant CAF Urbos 100	44
Figure 22 - Spectre de vitesse vibratoire en tiers d'octave au passage tram Urbos, 10m de la voie	44
Figure 23 - Exemples de spectres de niveau vibratoire issus des calculs Vibratex sur précédentes dossiers pour tramway du Luxembourg	45
Figure 24 - Points de mesure de propagation dans le sol	45
Figure 25 - Comparaison du comportement du sol mesuré à des modèles analytiques type de sol dur, moyen et souple	46
Figure 26 - Extrait du rapport géotechnique secteur Arlon	47
Figure 27 - Transferts bâtiment issus de la base de données RIVAS	48
Figure 28 - Vue de la sortie de tunnel devant le centre hospitalier	49
Figure 29 - Vue de la section rue Pierre Federspiel	50
Figure 30 - Préconisations préliminaires tronçon Arlon	50
Figure 31 - Préconisations préliminaires tronçon Arlon, bout de ligne	51
Figure 32 - Exemples d'écrans amovibles	54
Figure 33 - Extrait du rapport géotechnique concernant la phase travaux	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Critères de la norme DIN 4150-2	20
Tableau 2 - Objectifs pour l'exploitation suivant la norme 16. Blm Sch V	36
Tableau 3 - Description des points d'immission : affectations, types, exposition et zones considérées	36
Tableau 4 - Résultats synthétiques des incidences de l'exploitation du projet	39
Tableau 5 - Résultats synthétiques des incidences de l'exploitation du projet avec un tram de 56 m de long	40
Tableau 6 - Caractéristiques des configurations de bâtiments à analyser	43
Tableau 7 - Etablissement du facteur d'atténuation	46
Tableau 8 - Recommandations du Règlement concernant les bruits des établissements et des chantiers	53

1. INTRODUCTION

1.1 Objet de l'étude

A la demande du bureau Schroeder & Associates, A-Tech a réalisé l'étude des incidences acoustiques et vibratoires actuelles et futures autour du « tronçon Arlon » du projet de Tramway de la Ville de Luxembourg ; ce tronçon sera raccordé au tronçon A du réseau de tramway LUXTRAM.

Cette nouvelle section, située entre le Place d'Etoile et le pôle d'échange CHL aura une longueur d'environ 2 Km et 4 stations ; depuis la Place de l'Etoile, cette section desservira l'Ouest de la Ville, le quartier Belair, des secteurs en renouvellement urbain, et le Centre Hospitalier.

La présente étude concerne une "variante mixte" de cette section : entre la Place d'Etoile et le stade, le tram roule en surface ; à partir du stade, le tram passe en souterrain jusqu'au CHL par un tunnel d'environ 600 m, avant de tourner vers la Rue Federspiel, en y revenant en surface.

La présente étude a pour but :

- D'évaluer les niveaux sonores et vibratoires auxquels seront soumis les riverains lors de la mise en service du tramway, et donc **les incidences spécifiques induites par l'exploitation** du projet ;
- D'évaluer les niveaux de bruit et vibrations auxquels les riverains pourraient être soumis lors des différentes phases de chantier, et donc **les incidences spécifiques du chantier** par rapport aux prescriptions du règlement grand-ducal concernant le niveau de bruit dans les alentours immédiats des établissements et des chantiers ;
- Le cas échéant, d'identifier les bâtiments et les zones devant faire l'objet de mesures d'atténuation et de proposer ces mesures.

La structure du rapport apparaît clairement à la lecture de la table des matières.

Remarque importante :

Le présent rapport considère le projet « tronçon Arlon » du réseau de tramway LUXTRAM de l'étude d'incidences qui a été finalisée en novembre 2022 : elle en reprend toutes les hypothèses et règlements d'application à cette époque.

Cependant, depuis mars 2023, la méthode de calcul *pour les routes* a changé de la RLS-90 à la RLS-19. On peut indiquer que les résultats de calculs obtenus avec la RLS19 seraient très légèrement supérieurs à ceux obtenus avec la RLS90, ce qui aurait tendance à augmenter la contribution du trafic routier par rapport au la contribution du tramway¹, et donc de *diminuer encore l'impact du bruit spécifique au tramway*. On peut donc dire que les conclusions de cette étude sont tout à fait objectives quant aux incidences du tramway.

En outre, les campagnes de mesures du bruit existant ainsi que des mesures de vibrations ont été réalisées dans le cadre d'une étude plus globale, incluant d'autres parties de la Ville de Luxembourg, ceci explique que la numérotation des points de mesures (acoustiques et vibratoires) n'en reprend que les seuls points Pt4 à Pt6 pour les mesures de longue durée, et les seules zones 3 à 5 pour les mesures de propagation vibratoire dans les sols, relatives au « tronçon Arlon ».

¹ Dont la méthode de calcul n'a, quant à elle, pas été modifiée depuis.

1.2 Description de l'environnement sonore existant

Le tronçon « Arlon » du tramway commence à la place d'Etoile et suit la Route d'Arlon jusqu'au Centre Hospitalier CHL : cette section a une longueur d'environ 2 km (Figure 1).

La principale source actuelle de bruit est le trafic routier (la route d'Arlon / N6 et les axes qui y sont raccordés): en tant qu'axe pénétrant vers le centre-ville, cette route supporte en effet un important trafic.

Dans une moindre mesure, la ligne de tram existante dans sa partie à proximité directe de la Place de l'Etoile est également une source de bruit actuelle.

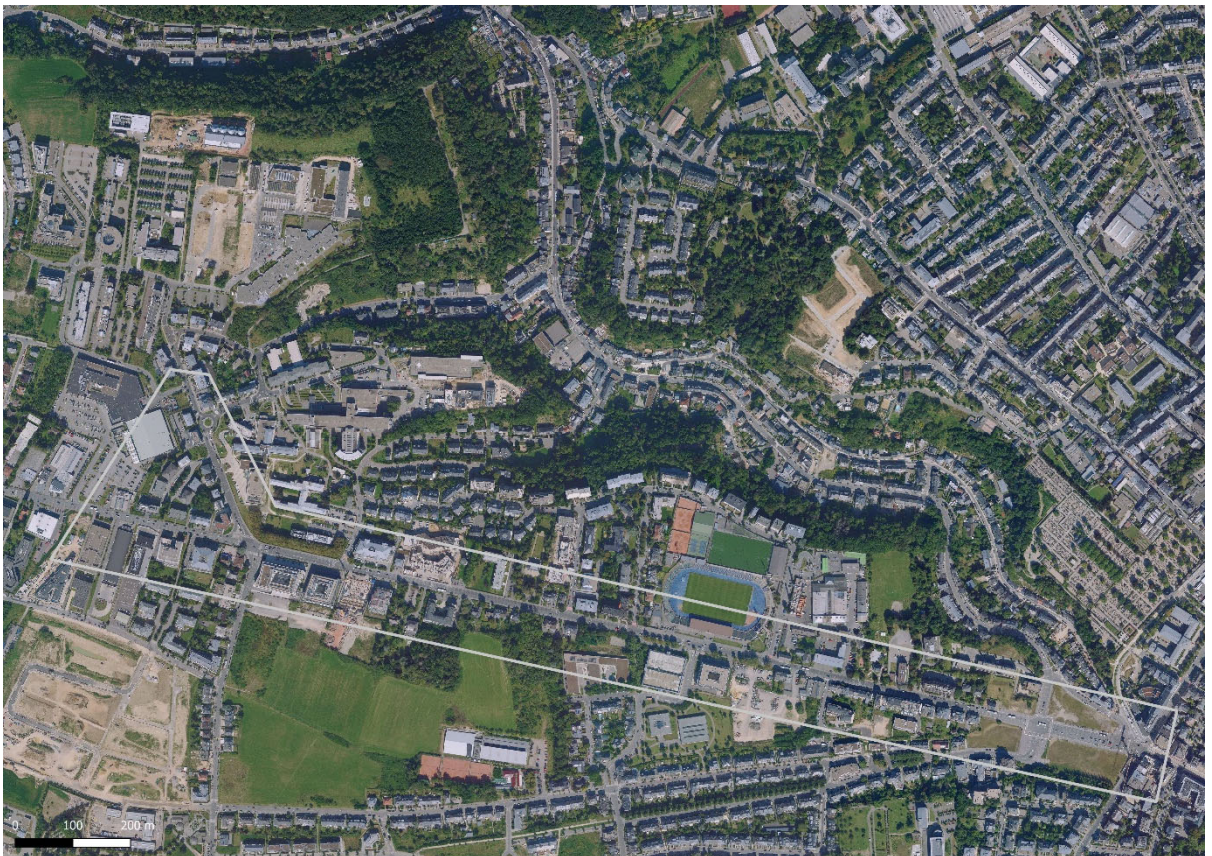


Figure 1 – Vue aérienne du tronçon « Arlon » (Route d'Arlon)

L'urbanisation le long de cet axe est plus « ouverte » qu'au centre-ville : tout au long de son tracé, elle reprend différents types de bâtiments comme le montre le PAG présenté page suivante à la Figure 2² : maisons d'habitation, immeubles de logements, immeubles de bureaux, commerces, le Parking Stade et le Stade Josy Barthel, pour finir vers le Centre Hospitalier.

Les mesures qui vont caractériser l'état des lieux acoustique vont également montrer l'exposition actuelle sur cette section.

La Figure 2 reprend les différentes affectations telles qu'actuellement reprises au PAG de la Ville de Luxembourg.

² ce plan est repris de façon plus détaillée en annexe 7.1.

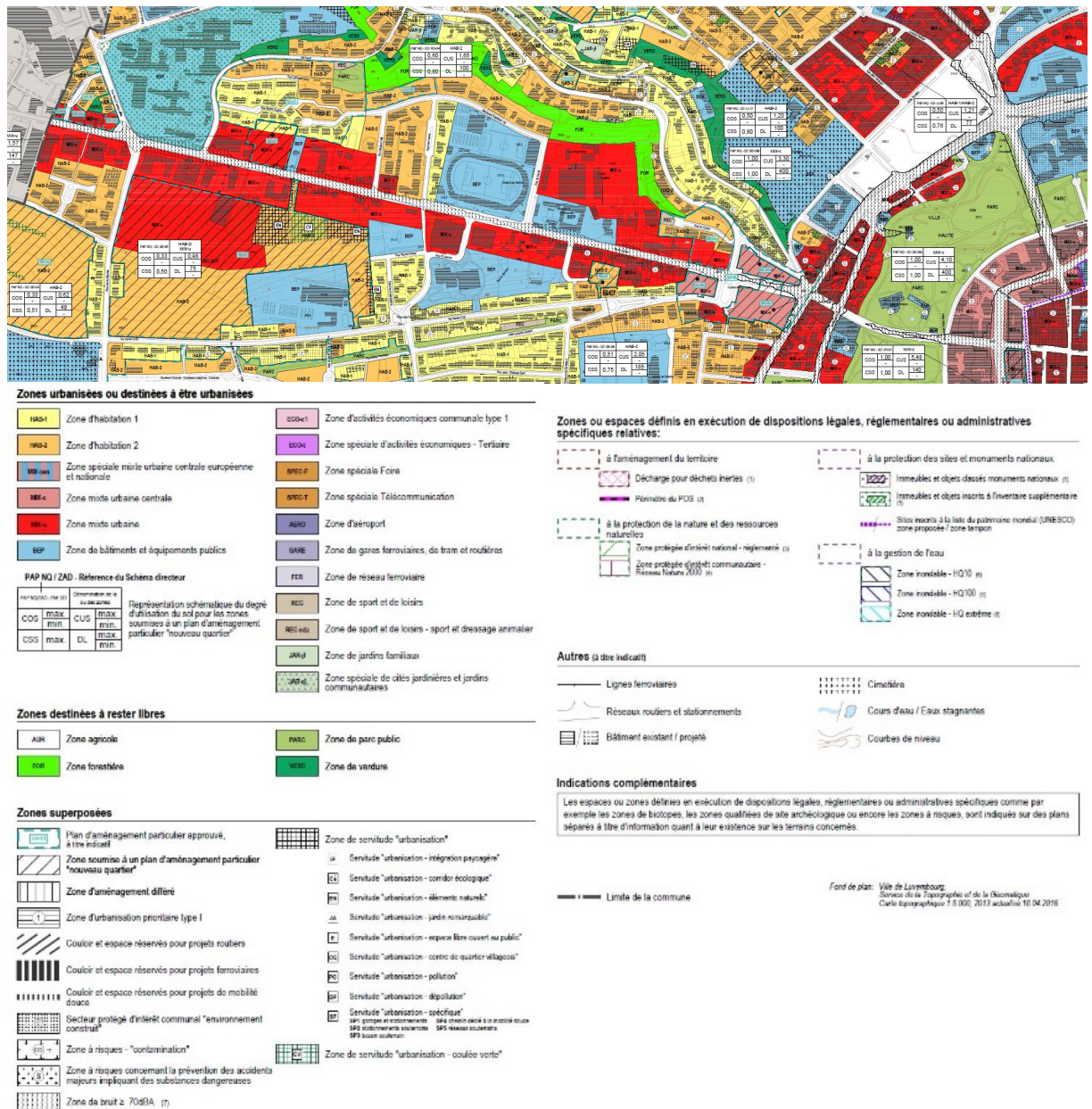


Figure 2 – Plan Général d'Aménagement (PAG) de la Ville de Luxembourg (2020) le long du tracé du projet LUXTRAM

1.3 Description du projet

La Figure 3 ci-après localise le tracé du projet et la zone d'étude :

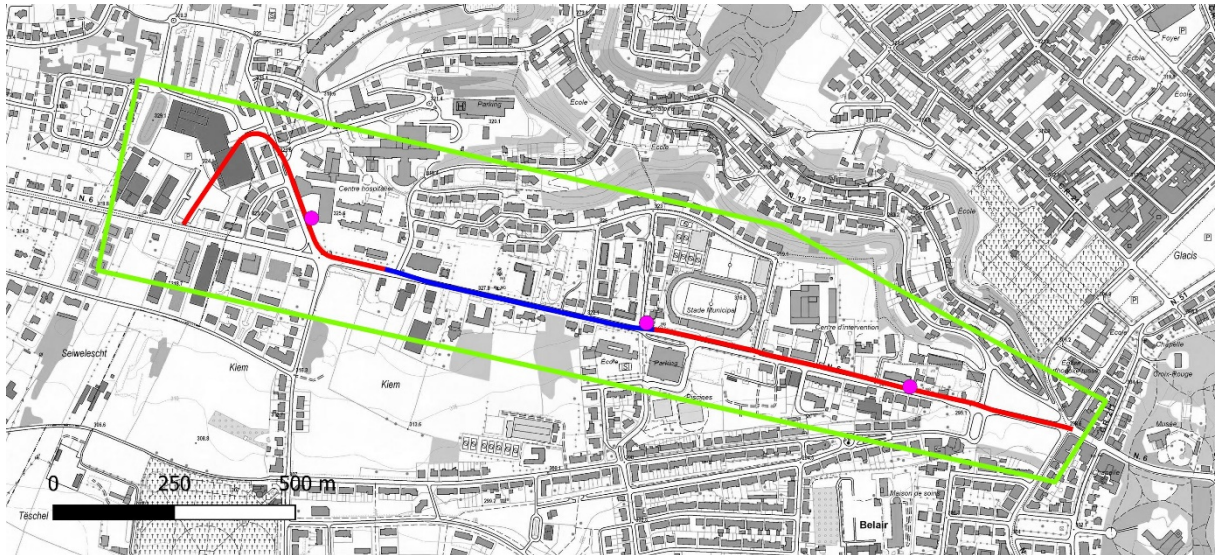


Figure 3 – Localisation du projet et zone d'étude :
en rouge, le tracé du projet LUXTRAM « en surface » ;
en bleu, le tracé du projet LUXTRAM « en souterrain » ;
en rose, localisations des points de mesure de longue durée de la situation actuelle
en vert, la zone d'étude

Le projet correspond au tracé suivant :

- Depuis la Place d'Etoile où elle rejoindra la ligne « A » existante, la nouvelle ligne va suivre la Route d'Arlon jusqu'au CHL : cette zone comprend des habitations, quelques commerces et des bureaux. Suivant le PAG (voir Figure 2), le projet est situé en *zone mixte urbaine centrale*, en *zone mixte urbaine*, en *zone de bâtiments et d'équipements publics*, et en *zone d'habitation 2*. Une partie de la ligne sera construite **en souterrain** : la ligne **plonge en tunnel** à partir du stade et **revient en surface** au niveau du CHL.
- Au niveau du CHL, la ligne suivra la Rue Pierre Federspiel et fera une boucle autour des habitations de la Rue Fernand Mertens jusqu'à la Route d'Arlon où le projet étudié se termine. Sur cette partie, les habitations se trouvent en *zone d'habitation 2* et en *zone mixte urbaine*, le CHL se trouve quant à lui en *zone de bâtiments et d'équipement publics*.

1.4 Méthodologie retenue

La méthodologie utilisée pour la présente étude a été soumise à l'approbation préalable des membres du Comité d'Accompagnement du projet.

Les prescriptions des documents suivants ont été suivies³ :

- Guide pour une approche systématique de la réalisation des études acoustiques sur l'environnement humain – Décembre 2018, publié par l'Administration de l'environnement ;
- Guide pour la réalisation d'études d'impact sonore environnemental pour les établissements et chantiers – octobre 2018, publié par l'Administration de l'environnement.

La réglementation suivante est d'application :

- La loi du 21 juin 1976 relative à la lutte contre le bruit (Texte coordonné - Mémorial A-N° 282 du 31 décembre 2012).
- Le règlement grand-ducal du 2 août 2006 portant application de la directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement
- Le règlement grand-ducal du 7 novembre 2007 modifiant le règlement grand-ducal du 13 février 1979 concernant le niveau de bruit dans les alentours immédiats des établissements et des chantiers (Mémorial A-N°204 du 23 novembre 2007).
- La loi modifiée du 15 mai 2018 relative à l'évaluation des incidences sur l'environnement ;
- Les règles d'urbanisme applicables (PAG de la Ville de Luxembourg) ;

La méthodologie appliquée correspond aux étapes suivantes :

- Réalisation d'un état des lieux acoustique et vibratoire par mesures de longue durée, relevées en continu pendant une semaine en 3 points répartis sur le site (3 pour le bruit et 2 pour les vibrations) : cet état des lieux permet de se rendre compte de l'exposition actuelle mesurée.
- De plus, pour l'étude de la propagation existante des vibrations :
 - Réalisation de mesures de réactions / propagations sur base d'excitations contrôlées afin de caractériser les propagations existantes *en surface*, et
 - Réalisation des mesures vibratoires induites par des passages contrôlés de rames sur un tronçon similaire de la ligne existante (face au Parking Glacis).
- L'étude de la propagation sonore correspondant au projet du tram, sur base de la modélisation informatique au moyen d'une maquette 3D (tridimensionnelle).
- L'étude des propagations vibratoires et risques pour la situation projetée.
- L'étude sur base de la modélisation 3D informatique de la propagation acoustiques de la propagation sonore des différentes phases de chantier.
- L'analyse des risques vibratoires pour la réalisation du chantier.

³ Voir la [remarque](#) importante présentée au chapitre 1 INTRODUCTION

2. ENVIRONNEMENT SONORE ET VIBRATOIRE EXISTANT

2.1 *Etat des lieux acoustique et vibratoire existant*

L'état des lieux acoustique actuel a été caractérisé par une campagne de mesures de longue durée (3 mesures de bruits et 2 de vibrations); toutes ces mesures de longue durée ont été relevées de façon simultanée et synchrone du lundi 14 février 2022 au mardi 22 février 2022.

Les mesures de bruits ont été effectuées avec relevés de niveau de pression acoustique en continu des $L_{Aeq, 1sec}$, et $L_{eq, 1sec}$ en temps réel par 1/3 d'octave.

Les mesures de vibrations ont été effectuées avec relevés des accélérations vibratoires selon les normes DIN 4150-2 (Vibrations aux bâtiments – Partie 2 : Effets sur personnes dans les bâtiments) et DIN 4150-3 (Vibrations sur les bâtiments – Partie 3 : Effets sur les constructions) toutes les secondes selon les trois axes géométriques (X,Y et Z).

2.1.1 Localisation des mesures et matériel utilisé

La localisation globale des mesures de bruits et vibrations est reprise à la Figure 4 ci-après, alors que l'annexe 7.2.1 reprend les fiches descriptives détaillées des conditions de mesures.

La Figure 4 localise les 3 points de mesures : les mesures de bruit ont été relevées aux points Pt 4⁴ à 6, les mesures de vibrations ont quant à elles été relevées aux (2) points Pt 4 et Pt6.



Figure 4 - Localisation des points de mesures longue durée

⁴ Pour rappel, le présent rapport correspond à la partie « route d'Arlon » d'une campagne de mesures globale : ceci explique pourquoi la numérotation démarre ici au point Pt4.

Point 4 : 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg

Ce point caractérise un axe routier en centre urbain qui fait la connexion entre l'autoroute A6 (E25), sortie Strassen, et le centre de la ville de Luxembourg.

Mesures de bruit

Le microphone a été placé sur un mât de 4.5 m de haut et à environ 3 m du bord du trottoir de la Route d'Arlon.

Le matériel utilisé était le suivant :

SVAN 977 sonomètre intégrateur de précision classe 1 IEC 61672-1 :2002 [#36801] équipé avec microphone type ACO 7052E [#50544] et préamplificateur type SV 12L [#7586]. Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3, mémoire étendue sur carte SD.

Câble microphone (20m) et unité extérieure SA277.

Le tout conditionné dans une valise type Pelicase (batterie intégrée)

Mesures de vibrations

Le capteur vibratoire a été installé à l'intérieur en sous-sol (R-1).

Le matériel utilisé était le suivant :

01dB ORION Smart Vibration Monitoring Terminal Classe 1 DIN 45669-1 [#10292] avec antenne wifi, modem 3G et connecteur RJ45. Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3 / mesures suivant les normes / réglementations DIN4150-2, DIN4150-3, BS 5228-2 (BS 7385-2), BS5228-4, Arrête du 22/09/1994 et Circulaire du 23/07/1986.

Capacité de mémoire étendue sur carte SD 2 Go. Sept voies de mesures disponibles, 3 voies X, Y et Z sur accéléromètres internes (500 mV/g) [#00137], 3 voies X, Y et Z pour capteur externe (accéléromètre ou vélocimètre IEPE) et 1 voie pression acoustique pour mesure explosion. L'ensemble est conditionné dans un boîtier résistant et étanche.

Point 5 : 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg

Ce point est fort comparable avec le point 4 et caractérise le trafic routier en provenance de l'autoroute A6 (E25) et le centre de la ville de Luxembourg mais le point est légèrement plus éloigné l'axe routier que le point 4.

Mesures de bruit

Le microphone a été placé sur un mât de 4 m de haut devant la maison sur la pelouse au coin de la Rue des Foyers et la Route d'Arlon.

Le matériel utilisé était le suivant :

SVAN 977 sonomètre intégrateur de précision classe 1 IEC 61672-1 :2002 [#36802] équipé avec microphone type ACO 7052E [#50543] et préamplificateur type SV 12L [#7592]. Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3, mémoire étendue sur carte SD.

Câble microphone (20m) et unité extérieure SA277.

Le tout conditionné dans une valise type Pelicase (batterie intégrée)

Point 6 : 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg

Ce point caractérise le bruit du trafic routier local mais reste fortement influencé par le trafic sur la Route d'Arlon.

Mesures de bruit

Le microphone a été placé sur un mât de 4 m de haut entre le bâtiment Centre Hospitalier de Luxembourg et la rue Pierre Federspiel. Le point de mesure se trouve un peu plus loin de la Route d'Arlon par rapport aux points 4 et 5, mais a toujours une vue directe sur le carrefour Rue Pierre Federspiel, Route d'Arlon et la Rue des Aubépines.

Le matériel utilisé était le suivant :

SVAN 977 sonomètre intégrateur de précision classe 1 IEC 61672-1 :2002 [#36803] équipé avec microphone type ACO 7052E [#50550] et préamplificateur type SV 12L [#7577]. Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3, mémoire étendue sur carte SD.

Câble microphone (20m) et unité extérieure SA277.

Le tout conditionné dans une valise type Pelicase (batterie intégrée)

Mesures de vibrations

Le capteur vibratoire a été installé à l'intérieur en sous-sol (R-1).

Le matériel utilisé était le suivant :

01dB ORION Smart Vibration Monitoring Terminal Classe 1 DIN 45669-1 [#10296] avec antenne wifi, modem 3G et connecteur RJ45. Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3 / mesures suivant les normes / réglementations DIN4150-2, DIN4150-3, BS 5228-2 (BS 7385-2), BS5228-4, Arrête du 22/09/1994 et Circulaire du 23/07/1986.

Capacité de mémoire étendue sur carte SD 2 Go. Sept voies de mesures disponibles, 3 voies X, Y et Z sur accéléromètres internes (500 mV/g) [#00124], 3 voies X, Y et Z pour capteur externe (accéléromètre ou vélocimètre IEPE) et 1 voie pression acoustique pour mesure explosion. L'ensemble est conditionné dans un boîtier résistant et étanche.

2.1.2 Conditions météorologiques et validité des mesures

Tous les appareils ont été calibrés avant/après les mesures de bruits avec le calibre 01dB CAL21 [#34744506 (2014)] et les écarts de calibration avant/après la mesure étaient toujours inférieurs à 0,5 dB. Les conditions météorologiques ont été consultées sur le site de www.freemeteo.be (station météorologique de l'aéroport de Luxembourg) pour la période du 14 au 22 février 2022. Elles sont présentées à la Figure 5 ci-après.

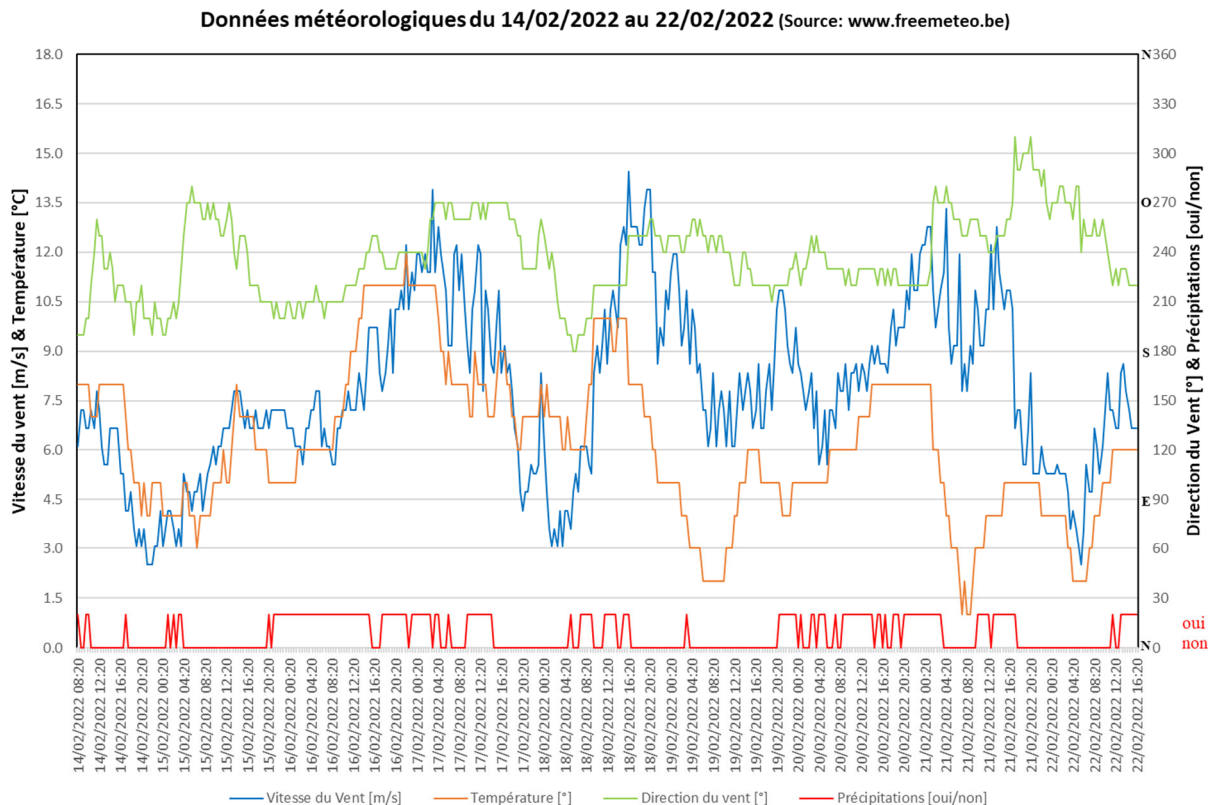


Figure 5 - Conditions météorologiques du 14 au 22 février 2022

Remarque importante :

Les mesures ont été relevées pendant la période de congés du Carnaval.

Normalement, les campagnes de mesures doivent être organisées en dehors des périodes de congés.

Cependant, le « feu vert » pour réaliser ces mesures n'a été validé que le 10 février 2022 : les mesures n'ont pu être relevées qu'entre le 14 et le 22 février 2022 vu les délais impartis pour la remise des rapports correspondants.

Sachant cela, on peut dire que les niveaux de bruit actuels (hors périodes de congés) seront vraisemblablement supérieurs à ceux relevés.

Cette erreur par défaut sur les niveaux existants va conduire à une erreur par excès sur les possibles incidences du projet par rapport à la situation existante : les conclusions de la présente étude resteront donc tout à fait valables.

2.1.3 Présentation des résultats de mesures de bruit

Les résultats des mesures sont présentés de façon détaillée aux annexes 7.2.2 et 7.2.3 :

- sous forme graphique :
[L_{Aeq} (1h), L_{A90} (1h), L_{A10} (1h) sur la période complète de mesures, et L_{Aeq} , 1 min jour par jour], et
- sous forme tabulaire :
[valeurs L_{Aeq} , L_{A90} , L_{A10} par tranches horaires, pour les périodes de jour / Tag (06-22H) et de nuit / Nacht (22-06H), ainsi que les périodes « européennes » dites « Day » (07-19H), « Evening » (19-23H) et « Night » (23-07H)].

Les mesures ont été toutes effectuées en $L_{Aeq, 1sec}$ 1/3 d'octave, tous les fichiers de mesures étant conservés, il est toujours possible de les consulter si besoin est, et par exemple, de « zoomer » sur certaines plages horaires avec une résolution temporelle plus fine jusqu'à 1 seconde.

L'analyse des résultats de mesures est réalisée aux points 2.1.4 suivant.

2.1.4 Analyse des mesures de bruit

Point 4 : 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg

Ce point est le point le plus exposé du site, exposé au trafic de la Route d'Arlon.

Il caractérise un axe routier en centre urbain, axe qui fait la connexion entre l'autoroute A6 (E25), sortie Strassen, et le centre de la ville de Luxembourg.

L'exposition se confirme :

	Semaine	Week-End	Semaine + Week-End
L_D	68.1	66.0	67.7
L_E	65.7	64.8	65.5
L_N	62.1	61.0	61.8
L_{DEN}	70.2	68.9	69.9
L_{Tag}	67.7	65.7	67.3
L_{Nacht}	61.0	61.5	61.2
$L_{A90, (07 - 19)}$	55.7	49.6	54.2
$L_{A90, (19 - 23)}$	48.7	48.9	48.7
$L_{A90, (23 - 07)}$	41.3	40.7	41.2
$L_{A90, (06 - 22)}$	54.4	48.9	53.0
$L_{A90, (22 - 06)}$	40.5	41.7	40.8
$L_{A10, (07 - 19)}$	71.5	69.9	71.1
$L_{A10, (19 - 23)}$	70.1	69.3	69.9
$L_{A10, (23 - 07)}$	60.6	64.4	61.6
$L_{A10, (06 - 22)}$	71.3	69.5	70.9
$L_{A10, (22 - 06)}$	60.3	64.9	61.5

En examinant les évolutions temporelles du niveau $L_{Aeq, 1min}$, nous comprenons mieux l'exposition actuelle et constatons encore et toujours des niveaux relativement stables le jour et plus différenciés la nuit.

Enfin, si nous examinons les niveaux les plus bas, représentés par les $L_{A90, 1h}$, nous remarquons que ceux-ci peuvent ici descendre jusque 29.9 dB(A).

L'analyse fréquentielle réalisée n'a permis de déceler aucune tonalité.

Point 5 : 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg

Ce point est fort comparable au point 4, aussi exposé au trafic de la Route d'Arlon, mais plus en recul par rapport à la route. A cause de cette position, les niveaux mesurés sont donc légèrement moins élevés qu'au point 4.

Ceci se retrouve logiquement dans les niveaux mesurés :

	Semaine	Week-End	Semaine + Week-End
L_D	66.1	63.6	65.5
L_E	62.8	62.6	62.8
L_N	59.3	58.8	59.2
L_{DEN}	67.7	66.6	67.4
L_{Tag}	65.6	63.2	65.1
L_{Nacht}	58.2	59.4	58.6
$L_{A90, (07 - 19)}$	56.9	51.8	55.6
$L_{A90, (19 - 23)}$	50.1	51.7	50.5
$L_{A90, (23 - 07)}$	43.0	43.8	43.2
$L_{A90, (06 - 22)}$	55.6	51.2	54.4
$L_{A90, (22 - 06)}$	42.3	44.8	42.9
$L_{A10, (07 - 19)}$	69.2	67.2	68.7
$L_{A10, (19 - 23)}$	66.6	66.5	66.6
$L_{A10, (23 - 07)}$	59.3	62.7	60.1
$L_{A10, (06 - 22)}$	68.7	66.7	68.2
$L_{A10, (22 - 06)}$	58.9	63.2	60.0

Les évolutions temporelles du niveau $L_{Aeq,1min}$, ressemblent aussi fortement à celles relevées au point 4, même pendant la nuit, les niveaux descendent presque aussi si bas qu'au point 4.

Les niveaux les plus bas, représentés par les $L_{A90,1h}$, peuvent descendre jusqu'à 30.9 dB(A).

L'analyse fréquentielle réalisée n'a permis de détecter aucune tonalité.

Point 6 : 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg

Ce point est *un des* moins exposé de cette campagne de mesure de bruit : il est exposé au bruit de la Rue Pierre Federspiel et à celui de la Route d'Arlon, un peu plus éloignée.

Le bruit induit reste assez stable à cause du trafic dense sur la Route d'Arlon.

Cette exposition se confirme dans les niveaux mesurés :

	Semaine	Week-End	Semaine + Week-End
L_D	65.5	62.7	64.9
L_E	61.5	61.3	61.4
L_N	58.7	56.9	58.3
L_{DEN}	67.0	65.1	66.6
L_{Tag}	64.9	62.3	64.4
L_{Nacht}	57.1	57.2	57.1
$L_{A90, (07 - 19)}$	59.7	54.2	58.3
$L_{A90, (19 - 23)}$	52.1	52.3	52.2
$L_{A90, (23 - 07)}$	46.5	45.7	46.3
$L_{A90, (06 - 22)}$	58.3	53.4	57.0
$L_{A90, (22 - 06)}$	45.7	46.3	45.8
$L_{A10, (07 - 19)}$	67.9	65.9	67.4
$L_{A10, (19 - 23)}$	64.8	65.0	64.9
$L_{A10, (23 - 07)}$	58.7	60.1	59.0
$L_{A10, (06 - 22)}$	67.4	65.7	66.9
$L_{A10, (22 - 06)}$	58.3	60.1	58.7

L'examen des évolutions temporelles du niveau $L_{Aeq,1min}$, apporte les mêmes remarques qu'aux autres points (niveaux assez stables le jour et plus différenciés la nuit.

Enfin, si nous examinons les niveaux les plus bas, représentés par les $L_{A90,1h}$, nous remarquons que ceux-ci ne descendent pas plus bas que 37.9 dB(A).

L'analyse fréquentielle réalisée n'a permis de déceler aucune tonalité.

2.1.5 Conclusions sur les mesures du bruit actuel

L'état des lieux actuel a permis d'établir les niveaux de bruit auxquels le site est actuellement exposé.

Fort logiquement, les mesures confirment les niveaux auxquels on est en droit de s'attendre en fonction de la localisation des différents points de mesures et aux différents axes circulés.

Ainsi, les mesures démontrent que l'exposition directe au bruit du trafic routier est relativement importante (jusqu'à 67 dB(A) de jour et 61 dB(A) de nuit).

Dans les parties les moins exposées du site mais toujours situées le long du projet (Pt6), les niveaux actuels sont un peu moins importants mais sont toujours de l'ordre de 65 dB(A) de jour et de l'ordre de 57 dB(A) de nuit.

Cet état des lieux va être important pour mieux caractériser les zones qui vont être exposées au projet car elles sont déjà assez fort exposées : ces mesures vont donc permettre de « contextualiser » le projet au sein de son environnement actuel (voir plus loin : 3.4.1 Affectation des bâtiments).

2.1.6 Présentation des résultats de mesures vibratoires de longue durée

La campagne de mesures vibratoires de longue durée est effectuée aux 2 points de mesures Pt4 et Pt6 repris à la Figure 4, alors que l'annexe 7.3.1 reprend les fiches descriptives détaillées des conditions de mesures correspondantes.

Avant de se référer à la présentation des résultats de mesures vibratoires détaillées en annexe, une explication des critères de la norme DIN 4150-2 (Vibrations aux bâtiments – Partie 2 : Effets sur personnes dans les bâtiments) et la norme DIN 4150-3 (Vibrations sur les bâtiments – Partie 3 : Effets sur les constructions) est présentée ci-après.

2.1.6.1 *Critères vibratoires DIN 4150-2*

Pour la sensibilité des personnes, les niveaux vibratoires à ne pas dépasser dans les pièces d'habitation, de jour comme de nuit, sont ceux de la norme DIN 4150-2.

L'analyse est faite suivant la méthode décrit dans la DIN 4150-2.

L'application de la méthode et des critères de la DIN 4150-2 donne directement les valeurs de vibrations à respecter chez les riverains : les critères à respecter sont définis en fonction du type de bâtiment (industrie, maison, hôpital, autre) et de la période (jour [06-22H] / nuit [22-06H]).

Ces critères sont présentés au Tableau 1 ci-après :

Tableau 1 - Critères de la norme DIN 4150-2

Zone	JOUR			NUIT		
	A_u	A_o	A_r	A_u	A_o	A_r
1) Zone 100% industrie	0.4	6	0.2	0.3	0.6	0.15
2) Zone principalement industrie	0.3	6	0.15	0.2	0.4	0.1
3) Zone mixte industrie / habitation	0.2	5	0.1	0.15	0.3	0.07
4) Zone principalement ou à 100 % habitation	0.15	3	0.07	0.1	0.2	0.05
5) Zone sensible (p.ex. hôpital, ...)	0.1	3	0.05	0.1	0.15	0.05

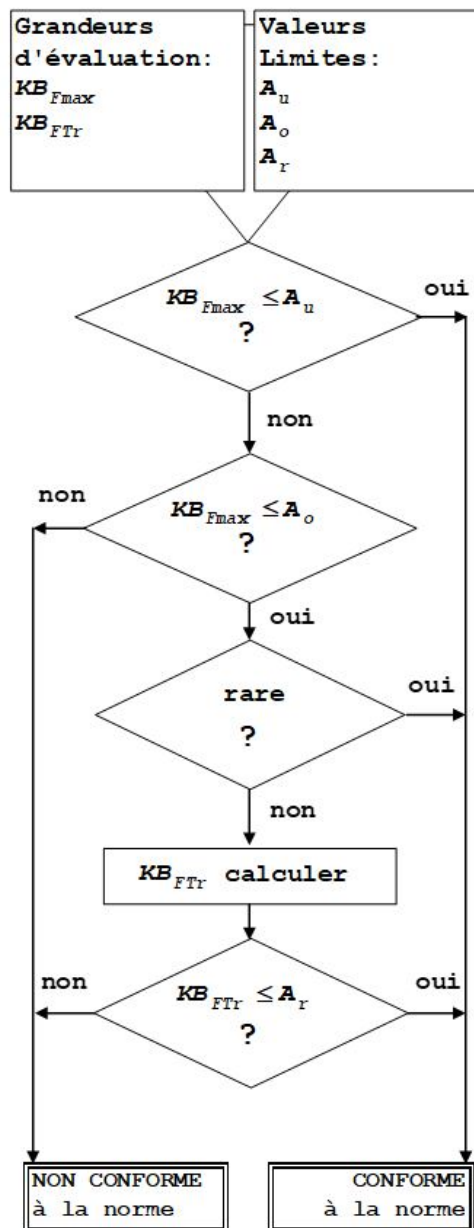
Les critères vibratoires à respecter au point 6 (=Zeile 5) sont :

- pour la période de jour [06-22H] :
 - A_u : 0.1 ;
 - A_o : 3 ;
 - A_r : 0.05 ; et
- pour la période de nuit [22-06H] :
 - A_u : 0.1 ;
 - A_o : 0.15 ;
 - A_r : 0.05.

Les critères vibratoires à respecter au point 4 (=Zeile 4) sont :

- pour la période de jour [06-22H] :
 - A_u : 0.15 ;
 - A_o : 3 ;
 - A_r : 0.07 ; et
- pour la période de nuit [22-06H] :
 - A_u : 0.1 ;
 - A_o : 0.2 ;
 - A_r : 0.05.

Comment interpréter les valeurs mesurées KB_{FT} avec les valeurs A_u , A_o et A_r ?
L'organigramme ci-après en explicite les principes.



Par période, nous regardons tout d'abord la valeur KB_{FT} maximale mesurée ($=KB_{Fmax}$).

- Si la valeur $KB_{Fmax} \leq A_u$, alors les **mesures sont conformes à la norme DIN 4150-2**.
- Si la valeur $KB_{Fmax} > A_o$, alors les **mesures ne sont pas conformes à la norme DIN 4150-2**.
- Si la valeur $KB_{Fmax} \leq A_o$, et que le nombre d'événements dépassant le seuil A_u reste limité, alors les **mesures sont conformes à la norme DIN 4150-2**.
- Si la valeur $KB_{Fmax} \leq A_o$, et que le nombre d'événements est plus important, alors il faut déterminer (=calculer) la valeur moyenne KB_{FTr} .
- Si la valeur $KB_{FTr} \leq A_r$, alors les **mesures sont conformes à la norme DIN 4150-2**.
- Si la valeur $KB_{FTr} > A_r$, alors les **mesures ne sont pas conformes à la norme DIN 4150-2**.

2.1.6.2 Critères vibratoires DIN 4150-3

La norme DIN 4150-3 « Vibrations dans les bâtiments – Partie 3 : Effets sur les constructions » est d'application pour vérifier s'il y a des risques de dégâts aux bâtiments qui pourraient être liés à des excitations vibratoires particulières.

Cette norme fait une différence entre les vibrations de *courte* durée et les vibrations de *longue* durée.

Le critère « longue durée » est plutôt à considérer pour des vibrations continues alors que les critères « courte durée » sont d'application pour des événements vibratoires plus ponctuels. En fonction de l'endroit (fondation, dernière étage) où la mesure est effectuée et aussi le type de bâtiment (industrie, maison, autre), les critères (en mm/s) à respecter sont différents.

Concernant l'exploitation du trafic sur la route en question (voitures, bus, camions, trams, ...), il resterait à apprécier ultérieurement si la fréquence de passage de ceux-ci et/ou le caractère permanent de l'exploitation est de nature à imposer de considérer l'un ou l'autre critère dans ce cas.

Nous considérerons donc, à ce stade, les critères les plus restrictifs.

Les critères à respecter pour des vibrations de courte durée sont illustrée dans le tableau ci-après :

Tabelle 1 — Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Gebäude

	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ in mm/s				
		Fundament, alle Richtungen, $i = x, y, z$ Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal, $i = x, y$	Decken, vertikal, $i = z$
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz ^a	alle Frequenzen	alle Frequenzen
Spalte Zeile	1	2	3	4	5	6
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40	20
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15	20
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen <u>und</u> besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	3	3 bis 8	8 bis 10	8	20 ^b
ANMERKUNG Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalten 2 bis 5 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.						
^a Bei Frequenzen über 100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden.						
^b Unterabschnitt 5.1.2 Absatz 2 ist zu beachten.						

Les critères à respecter pour des vibrations de courte durée au point Pt6 (=Zeile 3) au niveau de fondation (=sous-sol / cave) sont pour les axes X, Y et Z :

- Fréquences 1 Hz à 10 Hz : 3 mm/s (0.003 m/s)
- Fréquences 10 Hz à 50 Hz : 3 à 8 mm/s (0.003 à 0.008 m/s)
- Fréquences 50 Hz à 100 Hz : 8 à 10 mm/s (0.008 à 0.010 m/s)

Les critères à respecter pour des vibrations des courte durée au point Pt4 (=Zeile 2) au niveau de fondation (=sous-sol / cave) sont pour les axes X, Y et Z :

- Fréquences 1 Hz à 10 Hz : 5 mm/s (0.005 m/s)
- Fréquences 10 Hz à 50 Hz : 5 à 15 mm/s (0.005 à 0.015 m/s)
- Fréquences 50 Hz à 100 Hz : 15 à 20 mm/s (0.015 à 0.020 m/s)

Les critères à respecter pour des vibrations de longue durée (=continue) sont illustrée dans le tableau ci-après :

Tabelle 4 — Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Gebäude

	Gebäudeart	Anhaltswerte für $v_{i, \max}$ in mm/s	
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen	Decken, vertikal, alle Frequenzen
Spalte Zeile	1	2	3
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	10
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und Zeile 2 entsprechen <u>und</u> besonders erhaltenswert (z. B. unter Denkmalschutz stehend) sind	2,5	10 ^a
ANMERKUNG Auch bei Einhaltung der Anhaltswerte nach Zeile 1, Spalte 2 können leichte Schäden nicht ausgeschlossen werden.			
^a Unterabschnitt 6.1.2 ist zu beachten.			

Les critères à respecter pour des vibrations de longue durée pour le point Pt6 (=Zeile 3) au dernière étage (=oberste Deckenebene) pour toutes les fréquences (=alle Frequenzen) sont :

- En horizontal (X et Y) : 2.5 mm/s (0.0025 m/s)
- En vertical (Z) : 10 mm/s (0.010 m/s)

Les critères à respecter pour des vibrations de longue durée pour le point Pt4 (=Zeile 2) au dernière étage (=oberste Deckenebene) pour toutes les fréquences (=alle Frequenzen) sont :

- En horizontal (X et Y) : 5 mm/s (0.005 m/s)
- En vertical (Z) : 10 mm/s (0.010 m/s)

Nous considérerons à ce stade les critères les plus restrictifs, notamment 2.5 mm/s en horizontal (X et Y) et 10 mm/s en vertical (Z).

2.1.6.3 *Présentation des résultats*

Les résultats des mesures vibratoires sont présentés par point de mesure :

Pour la DIN 4150-2 en annexe 7.3.2:

- Sous forme tabulaire
[Valeurs KB_{Fmax} par tranches horaires et valeurs $KB_{FT_{r,période}}$ pour les périodes de jour / Tag (06-22H) et de nuit / Nacht (22-06H)].
- Sous forme graphique
[$KB_{FT30sec}$ jour par jour, avec indication des critères KB_{Fmax} à ne pas dépasser], et

Pour la DIN 4150-3 en annexe 7.3.3 :

- Sous forme tabulaire
[Valeurs $V_{max,1h}$ par tranches horaires pour les axes X, Y et Z].
- Sous forme graphique
[$V_{max,30sec}$ jour par jour, avec indication des limites à ne pas dépasser suivant les axes X,Y et Z], et

2.1.7 Analyse des mesures vibratoires

L'analyse des mesures vibratoires est directe aussi bien pour la DIN 4150-2 que pour la DIN 4150-3 :

- Sous forme tabulaire : si les critères sont respectés, la valeur est mise **en vert**, si le critère est dépassé, la valeur mesurée est mise **en rouge** ;
- Sous forme graphique : l'évolution temporelle par jour ensemble avec l'indication des seuils vibratoires à ne pas dépasser, permet de vérifier immédiatement si, à un certain moment, les critères sont dépassés.

2.1.8 Conclusions des mesures vibratoires

Aucun dépassement n'a été constaté aux 2 points de mesure : ni pour la DIN 4150-2, ni pour la DIN 4150-3.

2.2 Etat des lieux des propagations vibratoires existantes et du matériel roulant

Le chapitre 2.1 reprend l'état des lieux acoustique et vibratoire existant : ces mesures de longue durée ont permis de caractériser, en outre, les niveaux vibratoires existant au droit des points de mesure Pt4 et Pt6 (voir 2.1.6.3, 2.1.7 et 2.1.8).

Afin de pouvoir établir les possibles incidences du projet, il est encore nécessaire de comprendre la propagation dans les sols existants, mais aussi de caractériser le matériel roulant.

Deux campagnes de mesures vibratoires ont été réalisées :

- La mesure de la propagation dans les sols au droit d'un échantillon de 3 zones de mesures⁵ répartis le long du projet ;
- La caractérisation vibratoire des effets du matériel roulant par :
 - La mesure des vibrations induites lors de 10 passages d'une rame existante vers l'environnement, et
 - La mesure de la propagation dans le sol au droit de la même zone.

2.2.1 Localisation des zones de mesures et matériel utilisé

Le matériel utilisé est le suivant :

Désignation	Marque	Numéro de série
Géophone tri axe SM6	Idetec	SM861
géophones mono axe SM6	Idetec	
Masse de choc 086D50	PCB	23503
Système d'acquisition Sirius	Dewesoft	DB20123288
Système d'acquisition Falcon	ACOEM	10243

Les fiches techniques des capteurs utilisés sont présentées en annexe 7.4.1

2.2.1.1 Mesures de propagation dans les sols

Les mesures de propagation ont été faites en surface : leur localisation est reprise aux Figure 6 à Figure 8 ci-après.

Pour ces mesures de propagations des ondes dans le sol, le moyen d'excitation utilisé est une masse de choc connectée, équipée d'un embout mou afin solliciter les basses fréquences.

Les frappes sont faites sur le trottoir à proximité de la future voie de tramway et sont réalisées toujours au même point.

Lors des essais, deux géophones mono axe sont utilisés :

- Un géophone de référence qui reste situé au niveau de l'impact.
- Un géophone que l'on déplace progressivement.

Paramètres du système d'acquisition Falcon : $F_{\max} = 200$ Hz

Tous les résultats des mesures de propagation sont présentés en annexe 7.4.3.

⁵ La numérotation de ces zones de mesures est indépendante et différente de la numérotation de points de mesures de longue durée.

Zone de mesure 3⁶ : en face du N°26 Route d'Arlon

Une distance de 10 mètres est relevée entre le point d'impact et le bâtiment.

Des mesures sont réalisées tous les 2 mètres avec le géophone en suivant une ligne droite perpendiculaire à la ligne de tram en direction du bâtiment.

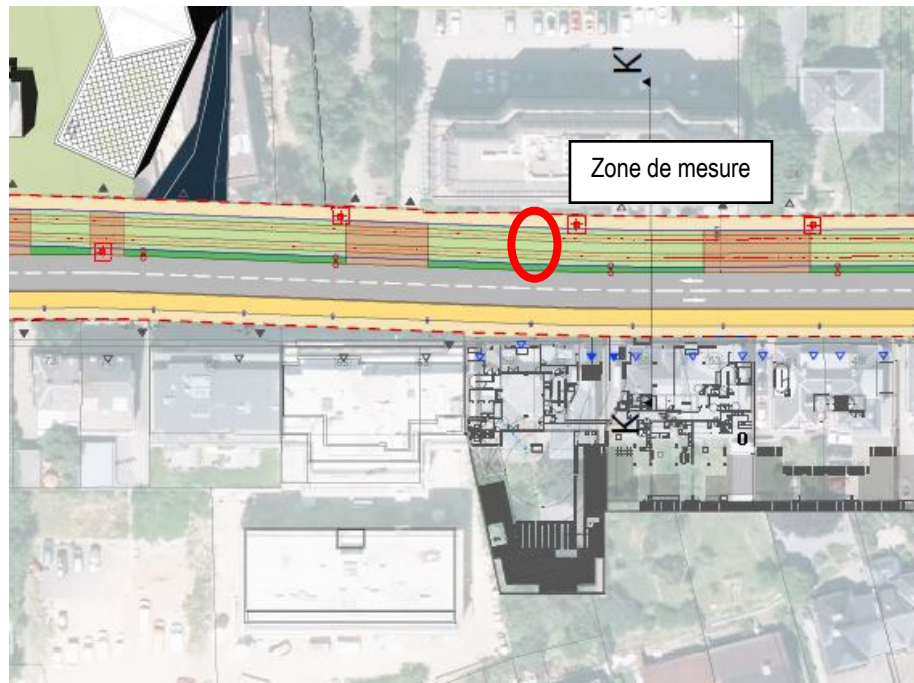


Figure 6 - Zone de mesure 3 (Tracé exact en cours)

Zone de mesure 4 : en face du N°82 Route d'Arlon

Une distance de 14 mètres est relevée entre le point d'impact et le bâtiment.

Des mesures sont réalisées tous les 2 mètres avec le géophone en suivant une ligne droite perpendiculaire à la ligne de tram en direction du bâtiment.

⁶ Pour rappel, le présent rapport correspond à la partie « route d'Arlon » d'une campagne de mesures globale : ceci explique pourquoi la numérotation démarre ici à la zone 3.

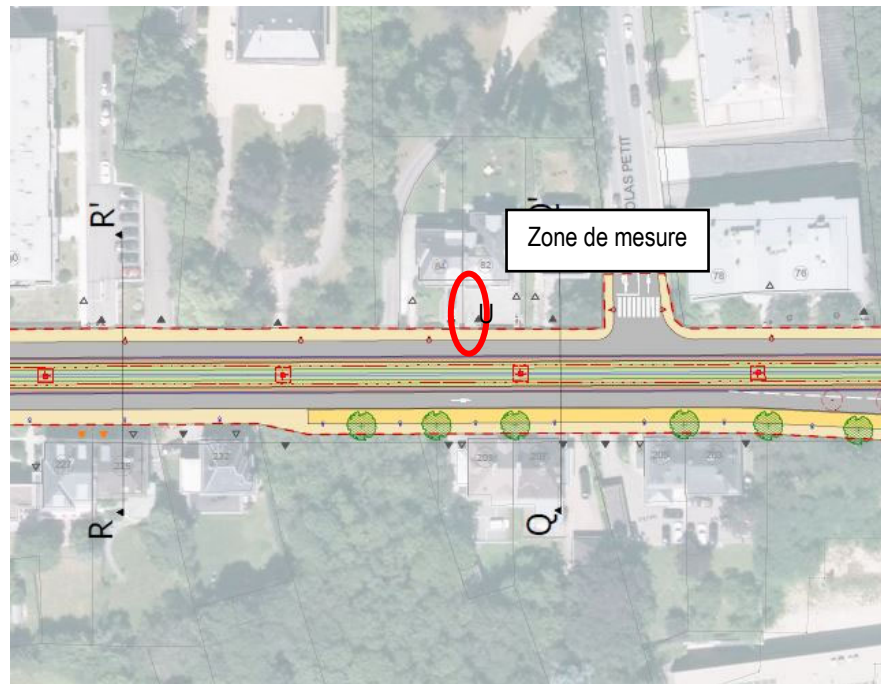


Figure 7 - Zone de mesure 4 (Tracé exact en cours)

Zone de mesure 5 : en face du Centre Hospitalier de Luxembourg

Une distance de 28 mètres est relevée entre le point d'impact et le bâtiment.

Des mesures sont réalisées tous les 4 mètres avec le géophone en suivant une ligne droite perpendiculaire à la ligne de tram en direction du bâtiment.

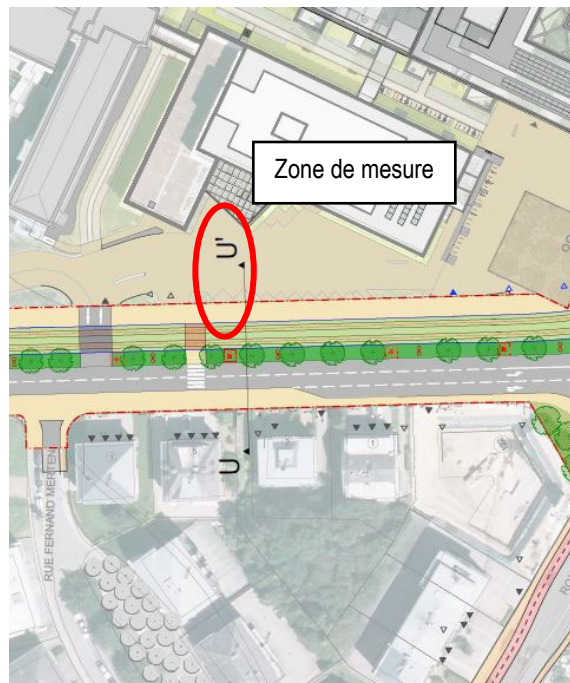


Figure 8 - Zone de mesure 5 (Tracé exact en cours)

2.2.1.2 Caractérisation vibratoire des effets du matériel roulant

La méthodologie proposée repose sur la réalisation des mesures sur la ligne existante : mesure avec passages contrôlés de trams et mesure de la propagation dans le sol à cet endroit : la Figure 9 présente le site du Parking Glacis au droit duquel les mesures aux passages de tram ont été relevées.

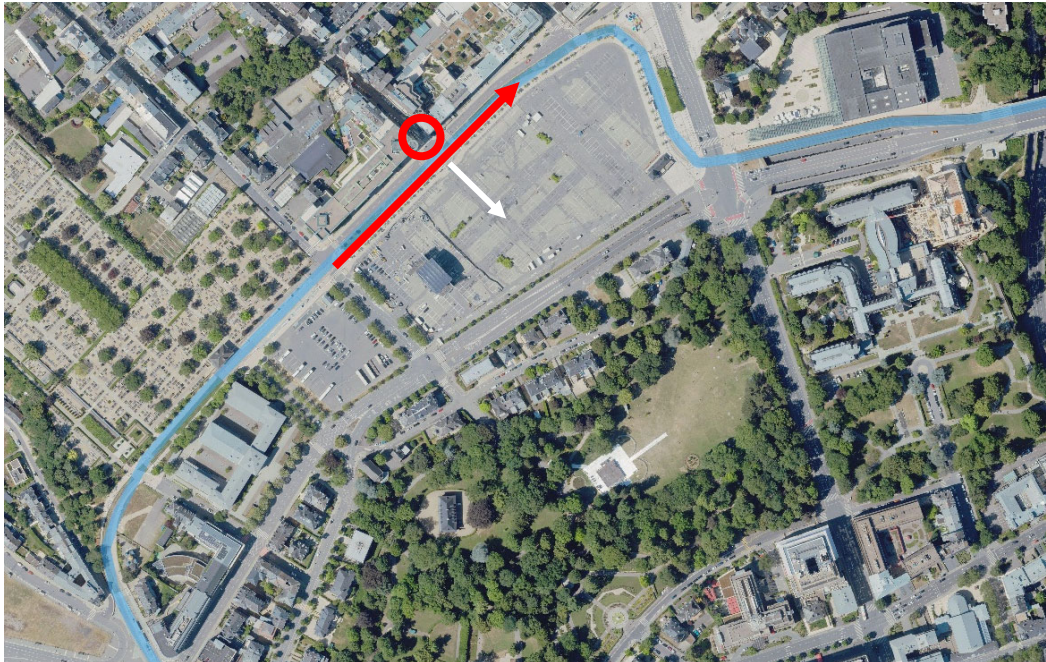


Figure 9 - Zone de mesure au passage des trams sur la ligne existante (Parking Glacis)

La voie en bleu ciel correspond à la voie existante, l'emplacement des mesures en fonctionnement est symbolisé par le cercle rouge la flèche montre la direction du tramway lors des essais.

La flèche blanche correspond à la direction et position des mesures de propagation.

Mesures au passage de trams

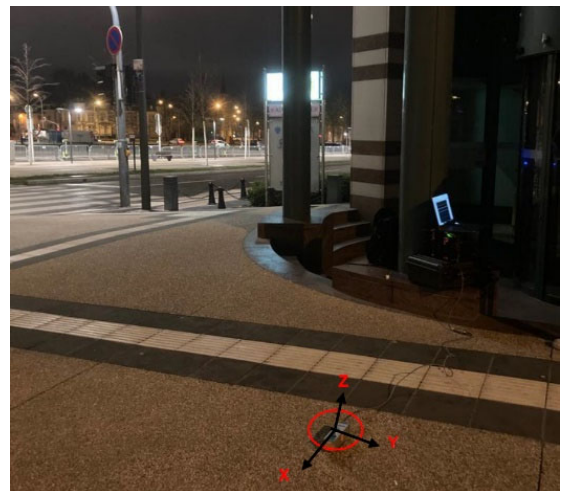
Un géophone tri-axe a été positionné au pied d'un immeuble à 10 mètres du rail du tramway, sur un trottoir en béton coulé.

Paramètres du système d'acquisition Sirius :

$F_{\max} = 200 \text{ Hz}$

La direction des axes est la suivante :

- Axe X dans le sens de la marche en montée.
- Axe Y vers l'opposé de la voie de tramway.
- Axe Z vers le haut.



Les mesures ont spécialement été faites après 01 H du matin afin d'en maîtriser les conditions de vitesse et de sécurité : 10 passages de trams ont été relevés, chacun ayant été effectué à la vitesse de 49 km/h à l'endroit du point de mesures.

Les résultats de mesures au passage des 10 trams sont repris en annexe 7.4.2.

Mesures de la propagation dans les sols

Tout comme pour les mesures de caractérisation relevées le long du projet, le moyen d'excitation utilisé est une masse de choc connectée, équipée d'un embout mou afin solliciter les basses fréquences.

Les frappes sont réalisées toujours au même point, à proximité directe de la voie de tram.

Lors des essais, deux géophones mono axe sont utilisés :

- Un géophone de référence qui reste situé au niveau de l'impact.
- Un géophone que l'on déplace progressivement de mètre en mètre.

Paramètres du système d'acquisition Falcon :

$F_{\max} = 200 \text{ Hz}$

Dans le cas présent, les mesures ont été relevées tous les mètres sur une distance de 28 mètres sur un axe perpendiculaire aux voies, comme indiqué à la Figure 10.

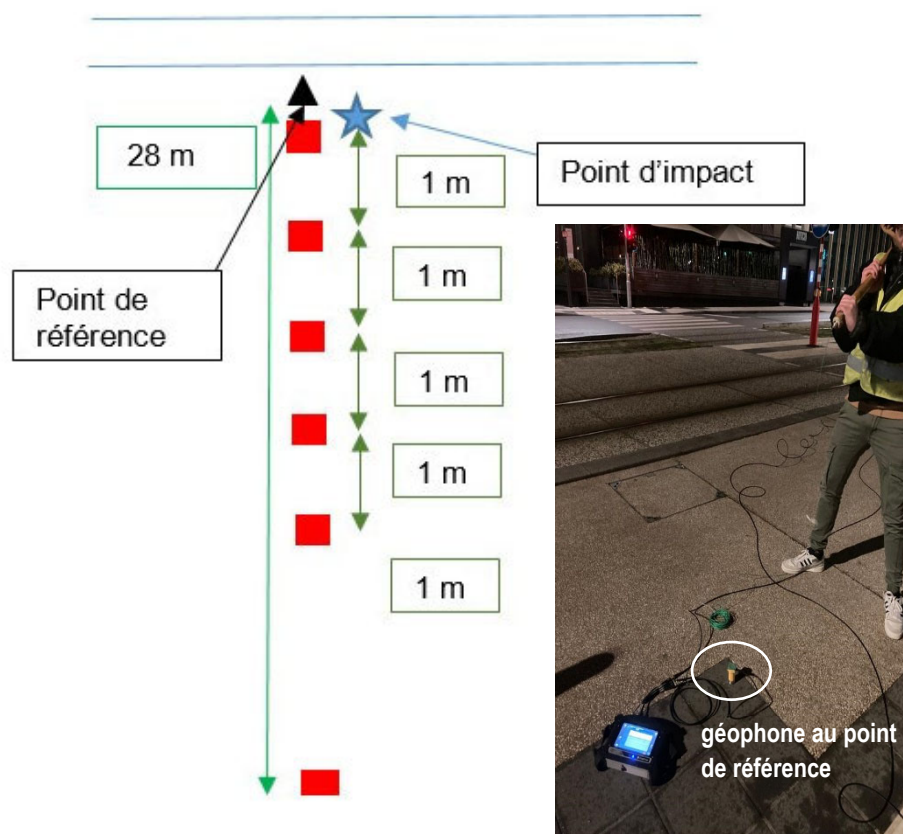


Figure 10 – Mesures de la propagation vibratoire sur 28 mètres et position du géophone de référence

Les résultats de ces mesures de propagation sont présentés en annexe 7.4.3.

3. ETUDE DES INCIDENCES ACOUSTIQUES DU PROJET

3.1 *Méthodologie générale*

Afin de déterminer les incidences du projet, les niveaux de bruit spécifiques à son exploitation ont été établis sur base d'une modélisation informatique de la propagation sonore : cette maquette tridimensionnelle (« 3D ») reprend les infrastructures et de l'environnement (topographie et bâti) du projet et les données correspondantes en ont été assemblées et consolidées. Nous allons ci-après décrire les données et hypothèses qui ont été retenues.

3.2 *Données*

Sur base des données BD-Topo 2013 un modèle tridimensionnel informatique est construit pour l'ensemble de l'environnement étudié (les routes, les infrastructures, la topographie, l'ensemble des bâtiments, etc.). Des corrections/adaptations ont été faites sur ces données après des visites sur place et aussi à l'aide des derniers ortho photos (2021) disponibles sur le site du Géoportail de Luxembourg.

3.2.1 Trafics

Sur le modèle 3D ainsi construit, le trafic routier a été établi sur base des données de trafic de l'année 2017 pour les situations actuelles, de référence et pour les différentes variantes projetées ; ces données de trafic ont été transmises par la Cellule Modèle de Transport (CMT), elles sont présentées en annexe 7.12.

Remarque importante :

La réalisation du projet de tram sera certainement accompagnée par une réorganisation des réseaux bus, mais aussi du trafic voitures et aura donc un impact sur le trafic routier : l'étude de cette future situation de trafic routier est toujours en cours chez la CMT et n'a donc pas pu être intégrée dans cette étude. Cependant, le projet va plutôt conduire à une réduction des trafics routiers et des trafic bus, ce qui devrait encore réduire les niveaux de bruit correspondants et donc avoir un effet positif. Ce faisant, garder les mêmes trafics routiers pour les situations actuelle, de référence et pour les différentes variantes projetées ne conduit qu'à une possible erreur par excès des niveaux futurs et donc une surestimation des possibles impacts au niveau du bruit global, ce qui est dans le sens de la sécurité pour l'évaluation des incidences du projet.

3.2.2 Infrastructures, bâtiments et environnement

Pour la modélisation « projetée », la maquette de la situation actuelle a été adaptée en intégrant les données du trajet du tronçon Arlon ainsi que les données des nouvelles constructions projetées, à savoir les projets : Place de l'Etoile, Upside, la zone autour du stade et le nouveau bâtiment au CHL. Les données du projet ont été fournies par Schroeder & Associés, les informations des constructions futures par les différents bureaux concernés.

Les figures 11 à 17 présentées aux pages suivantes reprennent des vues 3D de la maquette en situations actuelle et future : elles permettent de comprendre le détail et la validité de la maquette réalisée. Ces vues 3D sont présentées depuis la Place de l'Etoile J.P. Pescatore, jusqu'au quartier du CHL.

Légende des figures :

- Habitation
- Bureaux
- Commercial
- Institution publique
- Nouvelle construction

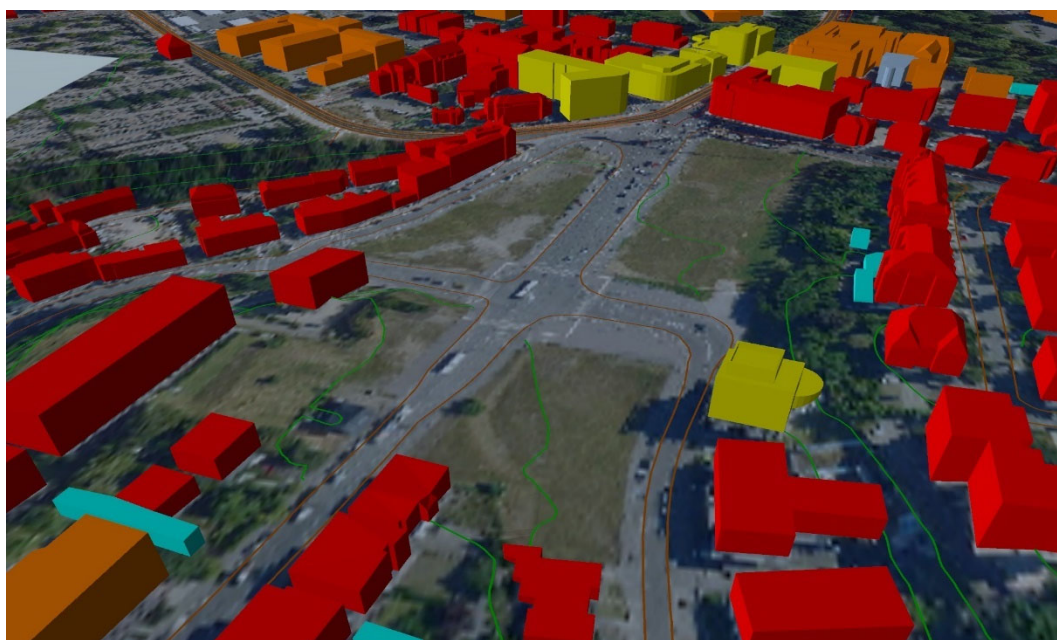


Figure 11 – Vue 3D de la maquette en situation actuelle : Place d'Etoile

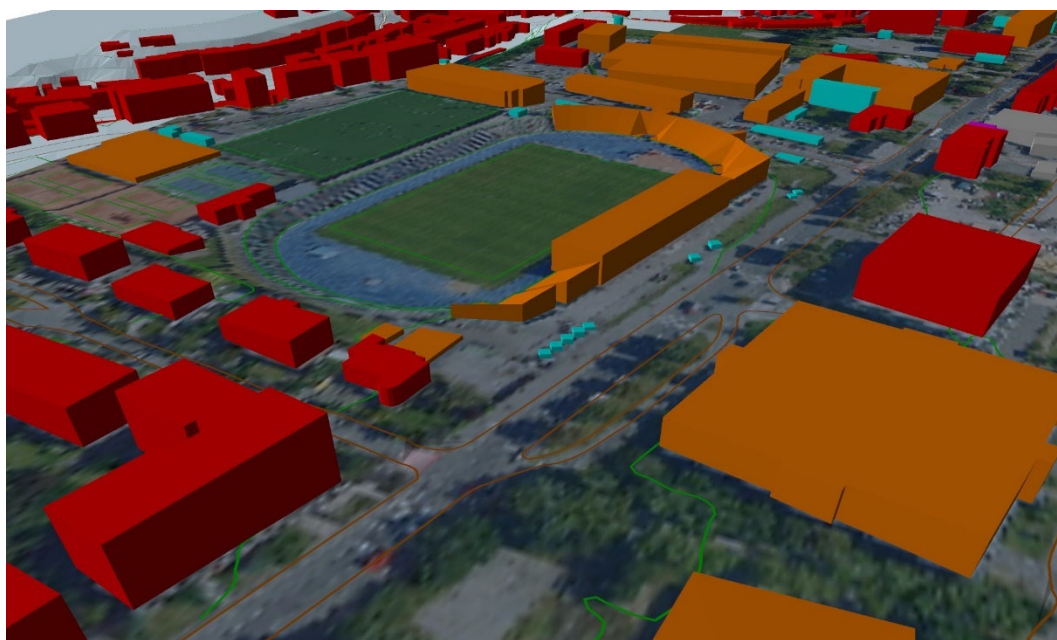


Figure 12 – Vue 3D de la maquette en situation actuelle : Route d'Arlon, zone du stade

Légende des figures :

- Habitation
- Bureaux
- Commercial
- Institution publique
- Nouvelle construction

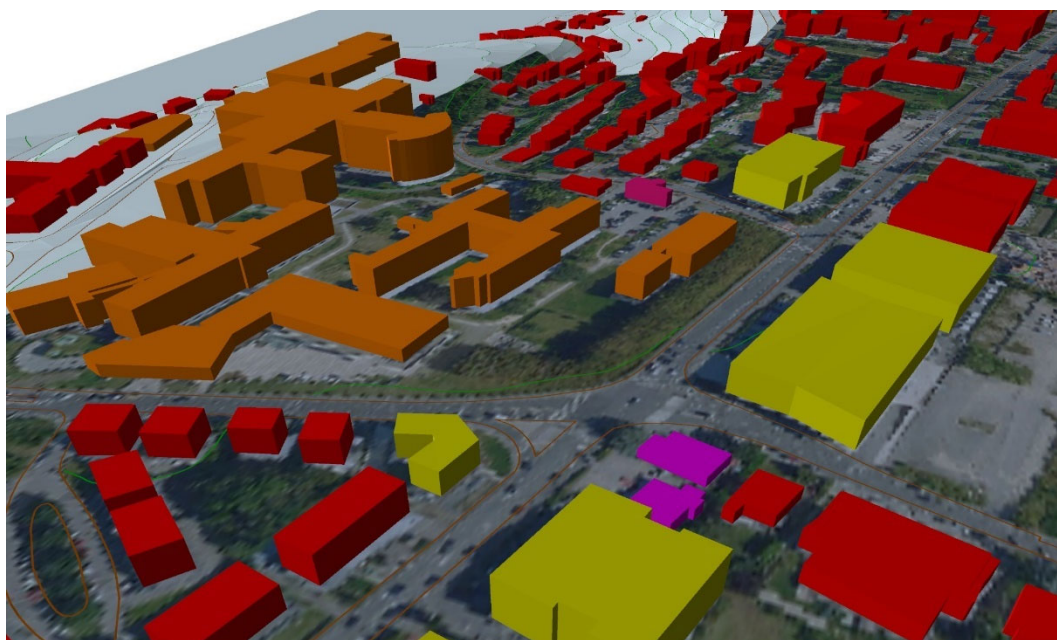


Figure 13 – Vue 3D de la maquette en situation actuelle : zone du CHL

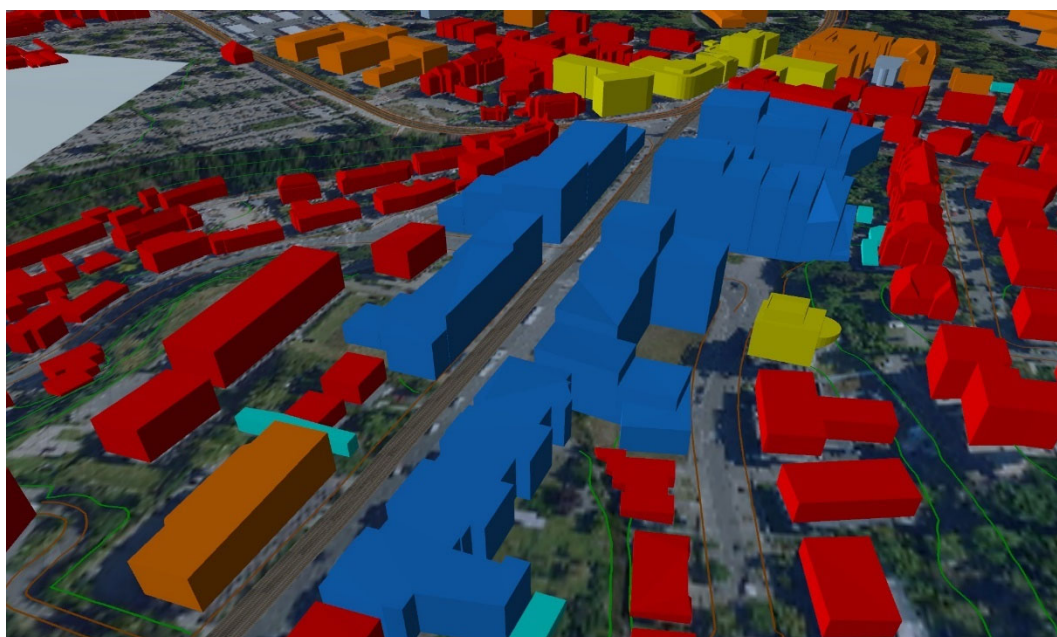


Figure 14 – Vue 3D de la maquette en situation future : Place d'Etoile

Légende des figures :

- Habitation
- Bureaux
- Commercial
- Institution publique
- Nouvelle construction

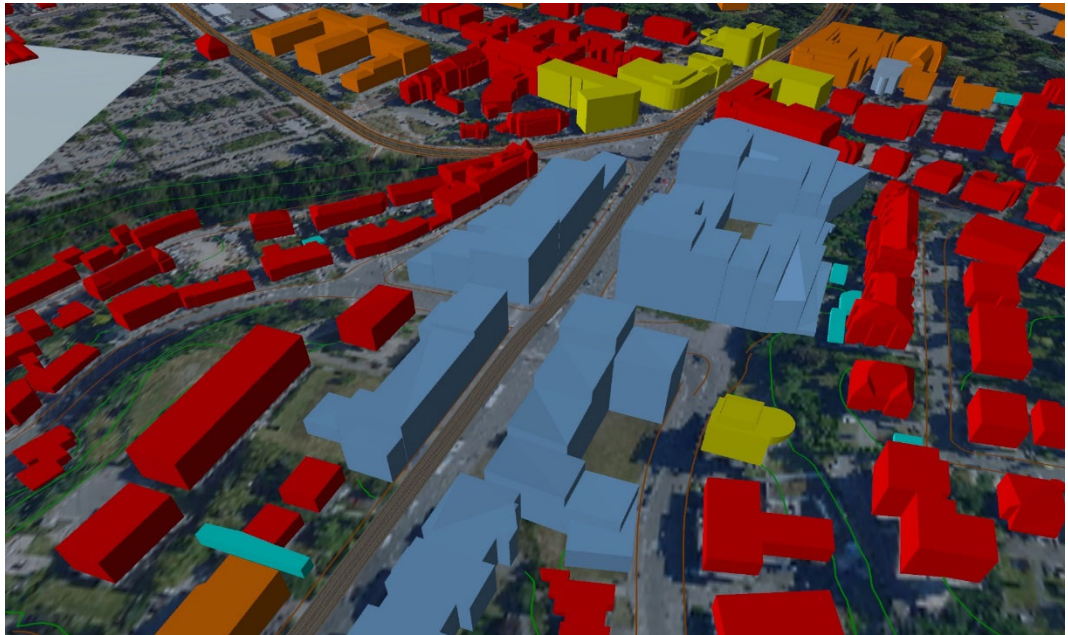


Figure 15 – Vue 3D de la maquette en situation future : Place d'Etoile – Trafic routier sous projet

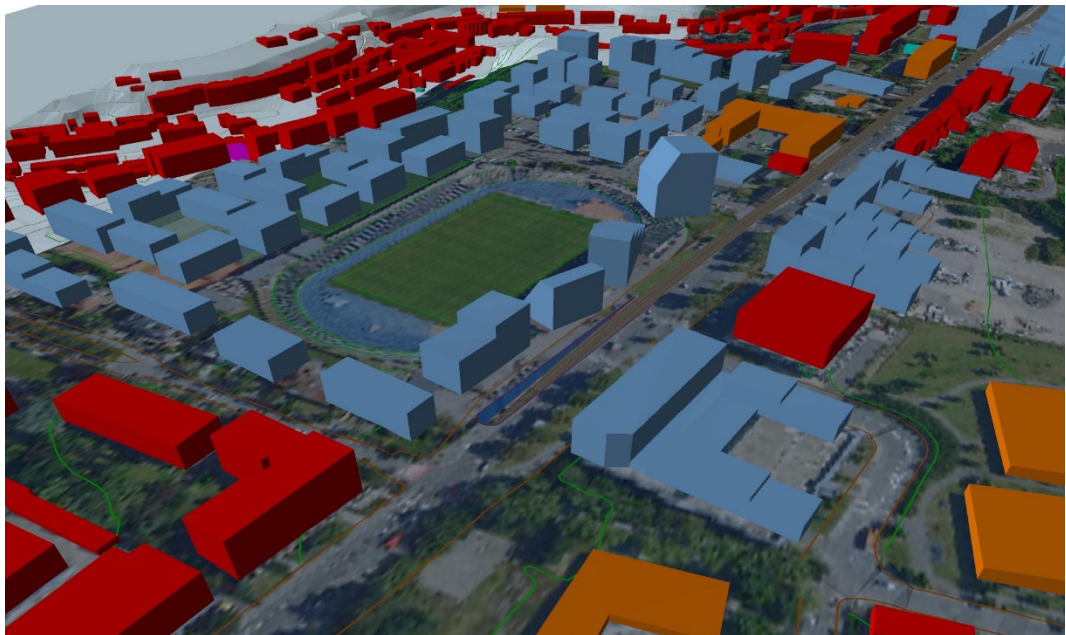


Figure 16 – Vue 3D de la maquette en situation future : Route d'Arlon, zone du stade

Légende des figures :

- Habitation
- Bureaux
- Commercial
- Institution publique
- Nouvelle construction

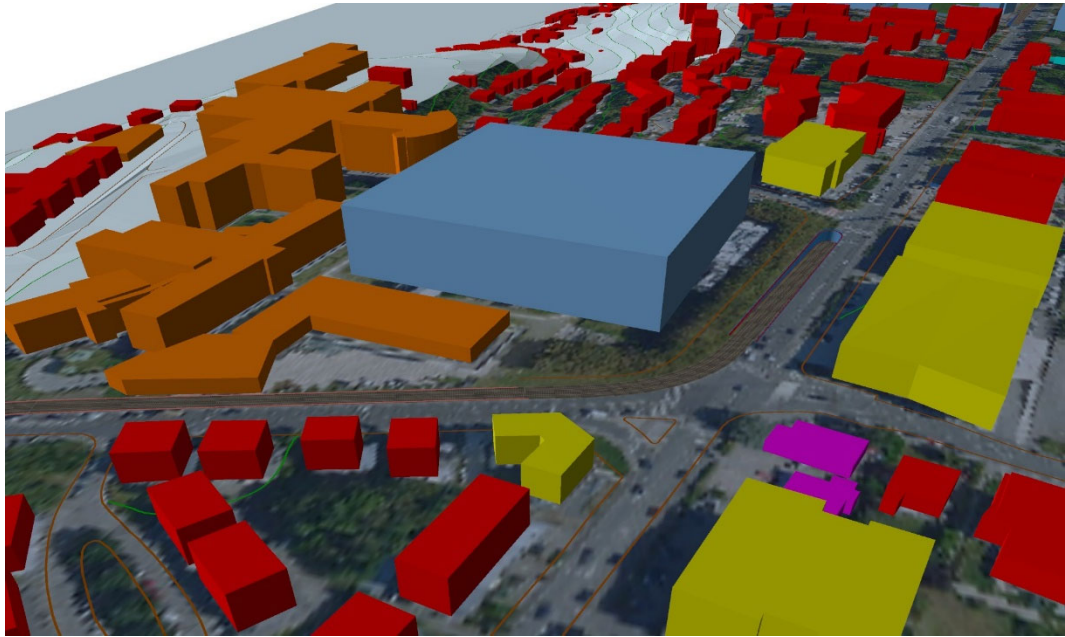


Figure 17 – Vue 3D de la maquette en situation future : zone du CHL

3.3 Méthode de calcul utilisée

Les calculs sont effectués avec le logiciel IMMI Premium-30 suivant les prescriptions de la « Sechzehnte Verordnung Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) », référant les méthodes de calcul SCHALL-03 pour les tramways et RLS-90⁷ pour le trafic routier.

Les calculs ont été établis en de la façon suivante :

- La maquette numérique 3D détaillée modélise toute la zone concernée par le projet et son environnement, ainsi que l'ensemble du bâti et la topographie.
- Le tracé s'étend sur environ 1.800 mètres, la maquette s'étend sur une zone de 2.500 mètres (Est-Ouest) par 1.000 mètres (Nord-Sud) : elle a été établie sur base de données BD-Topo 2013 ;
- Les trafics des trams sont ceux communiqués par LUXTRAM : ils sont repris en annexe 7.11 (tram) et 7.12 (routes);
- Les revêtements de surface de plateforme utilisés sont ceux communiqués par le bureau.
- Le matériel roulant considéré est du type « CAF / URBOS » : les données acoustiques sont celles transmises par le constructeur, elles sont présentées en annexe 7.14; ces données ont été calibrées et vérifiées sur le modèle utilisé ;
- Les données transmises par le constructeur sont valables pour un tram de 45m (8 essieux) ; cependant, il est prévu dans le futur de faire rouler des trams avec une longueur de 56m (10 essieux). Actuellement, les données acoustiques ne nous ont pas été fournies comme données d'entrée et seule une *estimation* de l'impact acoustique peut en être faite : toutes autres choses restant égales, la seule modification de longueur devrait résulter en une augmentation des niveaux acoustiques ici calculés de 1 dB(A).
- les calculs sont effectués :
 - de façon détaillée à chaque façade et chaque étage de tous les bâtiments du premier front bâti, soit pas moins de 83 bâtiments (numérotés de 1 à 52) en situation future : ces bâtiments sont répertoriés respectivement aux plans 3 et 4 en annexe 7.5 ;
 - d'autre part, et uniquement à titre de représentation graphique, des cartes de bruit ont également été établies. Ces cartes ont été calculées :
 - pour un maillage de calcul de 10 x 10 mètres,
 - à 4 mètres de hauteur par rapport au sol, hauteur correspondant à la hauteur décrite dans la directive européenne n°2002/49/CE.
 - pour les conditions météo correspondant à une température de 15°C et à un taux d'humidité de 70%,
 - avec prise en compte de l'ordre de réflexion N=3
 - et avec prise en compte du sol, tant comme obstacle potentiel à la propagation du bruit (déblai, remblai, butte, pont...), que comme élément « dissipant » (les valeurs suivantes du facteur ont été considérées : G = 0.3 pour les zones urbaines denses et les grands plans réflecteurs, et G = 1 pour les zones « vertes »).

⁷ Voir la [remarque](#) importante présentée au chapitre 1 INTRODUCTION

3.4 Détermination des incidences

Pour ce qui concerne les incidences de l'exploitation du projet, le Grand-Duché du Luxembourg considère l'application des critères de la norme allemande 16. BIm Sch V. Cette norme précise les valeurs limites à ne pas dépasser pour les indicateurs L_{Tag} (06-22H) et L_{Nacht} (22-06H) suivant l'affectation des zones où les habitations sont situées :

Tableau 2 - Objectifs pour l'exploitation suivant la norme 16. BIm Sch V

Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV			
	dB(A)		
	Tag	Nacht	
1. an Krankenhäusern, Schulen, Kurheimen und Altenheimen	57	47	1. Hôpitaux, Ecoles, Maisons de cures et Séniories
2. in reinen und allgemeinen Wohngebieten & Kleinsiedlungsgebieten	59	49	2. zones résidentielles pures et générales, petites agglomérations
3. in Kerngebieten, Dorfgebieten und Mischgebieten	64	54	3. Zones centre ville, zones villageoises et mixtes
4. in Gewerbegebieten	69	59	4. Zones d'activités

3.4.1 Affectation des bâtiments

Comme indiqué ci-dessus, l'étude des niveaux sonores dans l'environnement a été réalisée à chaque étage des façades les plus exposées de tous les bâtiments à proximité directe du projet.

Selon le PAG de la Ville de Luxembourg, les affectations sont reprises au Tableau 3 qui reprend, par groupe de bâtiments / points d'immission étudiés :

- Le numéro des bâtiments / points d'immission correspondant ;
- Leur implantation (zone) au sein de la ville de Luxembourg ;
- Leur affectation suivant le PAG ;
- Le type de zone correspondant à leur exposition / affectation / localisation, selon la norme 16. BImSchV d'application pour la phase d'exploitation ;
- La dernière colonne reprend le type de zone correspondant à leur exposition / affectation / localisation, selon le règlement grand-ducal concernant les bruits de chantiers qui est, lui, d'application pour la phase chantier qui sera étudiée au chapitre 6.

Remarque :

L'affectation des bâtiments à une zone particulière d'habitat (suivant le Tableau 3), doit être faite en fonction d'une évaluation combinant les PAG et de l'environnement sonore existant : ainsi, les hôpitaux ou maisons de repos ne sont pas systématiquement affectés par défaut aux critères les plus sévères, mais bien aux critères des zones dans lesquelles ils sont effectivement situés de par leur exposition.

Tableau 3 - Description des points d'immission : affectations, types, exposition et zones considérées

Bâtiment	Zone	Affectation PAG	Description	(Zone) (16. BImSchV)	Zone Règlement GD 13-02-1979
1	Route d'Arlon	Zone spéciale "Administration"	Centre urbain	(3)	V
2 à 6	Route d'Arlon	Zone d'habitation 2	Centre urbain	(3)	V
7 et 8	Route d'Arlon	Zone mixte urbaine	Centre urbain	(3)	V
9 à 12	Route d'Arlon	Zone d'habitation 2	Centre urbain	(3)	V
13	Route d'Arlon	Zone mixte urbaine	Centre urbain	(3)	V
14 et 15	Route d'Arlon	Zone de bâtiments et équipements publics	Centre urbain	(3)	V
16 à 27	Route d'Arlon	Zone mixte urbaine	Centre urbain	(3)	V
28	Route d'Arlon	Zone d'habitation 2	Centre urbain	(3)	V
29	Route d'Arlon	Zone d'habitation 1	Centre urbain	(3)	V
30 et 31	Route d'Arlon	Zone mixte urbaine	Centre urbain	(3)	V
32	Route d'Arlon	Zone de bâtiments et équipements publics	Centre urbain	(3)	V
33 à 40	Route d'Arlon	Zone mixte urbaine	Centre urbain	(3)	V
41 à 47	Route d'Arlon	Zone d'habitation 2	Centre urbain	(3)	V
48 et 49	Route d'Arlon	Zone d'habitation 1	Centre urbain	(3)	V
50 à 52	Av. Emile Reuter	Zone mixte urbaine	Centre urbain très fréquenté	(3)	V

3.4.2 Incidences

Comme indiqué en 3.4.1 ci-dessus, tous les bâtiments concernés sont actuellement exposés à des niveaux correspondants à la zone 3. de la norme 16. BImSchV : les objectifs correspondants seront donc $L_{Tag} (06-22H) \leq 64 \text{ dB(A)}$ et $L_{Nacht} (22-06H) \leq 54 \text{ dB(A)}$, sur l'ensemble du site étudié.

Ces objectifs seront appliqués sur le **bruit spécifiquement induit par les tramways**.

D'autre part, le projet correspond à une *modification des infrastructures de transports existantes* : il est reconnu qu'en cas de *modification* d'infrastructures de transports, les incidences d'un nouveau projet qui ne conduiraient pas à une augmentation de bruit *global* de plus de 2 dB(A) ne sont pas perceptibles (l'être humain ne peut en effet détecter une telle variation).

La méthodologie utilisée dans le processus d'établissement des incidences du projet est présentée suivant l'organigramme décisionnel présenté à la Figure 18 en page suivante.

Le processus d'analyse se déroule selon les phases successives suivantes :

- En fonction du type de bâtiment, les critères ($L_{Tag} \leq 64 \text{ dB(A)}$ et $L_{Nacht} \leq 54 \text{ dB(A)}$) sont considérés pour ce qui concerne **bruit spécifiquement induit par les tramways** ;
- Si ces critères sont respectés, le projet sera conforme aux prescriptions ;
- Si ces critères sont dépassés, une deuxième analyse sera alors portée sur la modification du paysage sonore induite par la mise en exploitation du tram :
 - Si cette modification reste inférieure ou égale à 2 dB(A), elle ne sera pas perceptible, et donc acceptable ;
 - Si la modification induit une augmentation des niveaux de bruit actuels de plus de 2 dB(A), alors il conviendra d'étudier les meilleurs moyens pratiquement possibles pour contenir cette augmentation afin de rendre l'exploitation du tram mieux compatible avec son environnement.

C'est selon ce processus que seront déterminées les incidences et, le cas échéant, les dispositions proposées afin de les contenir.

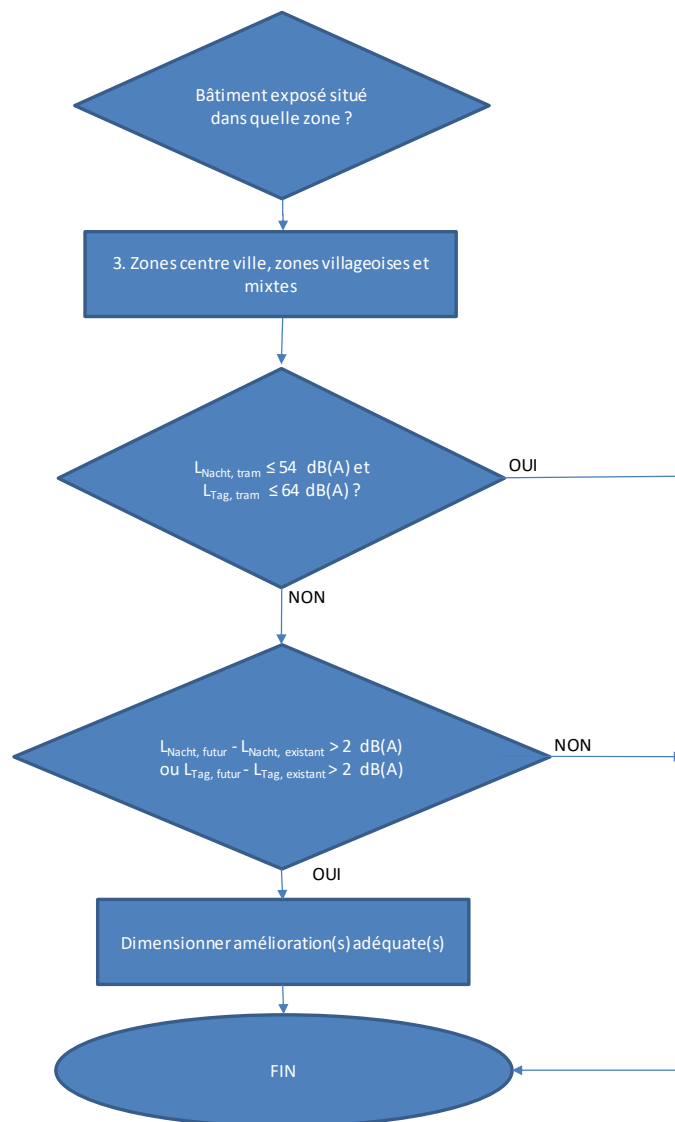


Figure 18 – Détermination des incidences du tram : organigramme décisionnel

3.5 Présentation des résultats

La localisation et la numérotation des bâtiments au droit desquels les calculs en façade ont été détaillés est reprise en annexe 7.5.

Pour chacune des situations étudiées, les résultats (L_{Tag} / L_{Nacht}) sont présentés sous 2 formes :

- Une présentation tabulaire, reprenant les *valeurs calculées* : comme les calculs ont été faits à *toutes les façades et à tous les étages* d'un échantillon représentatif de 83 bâtiments (numérotés de 1 à 52), leur présentation en serait ici fastidieuse ; ainsi, les résultats présentés ici sont-ils limités, pour chaque bâtiment, à la valeur *maximale* relevée sur l'ensemble de ses façades et à l'étage le plus exposé, soit donc la partie la plus exposée du bâtiment (annexe 7.10);
- A titre d'information, une présentation graphique, reprenant les *cartes de bruit* calculées à une hauteur constante de 4 m par rapport au terrain naturel : ces cartes permettent de visualiser les résultats de façon assez intuitive et directe (annexes 7.7 à 7.9).

3.6 Analyse des résultats

Comme indiqué en 0, pour l'ensemble des points de calculs, les critères L_{Tag} (06-22H) ≤ 64 dB(A) et L_{Nacht} (22-06H) ≤ 54 dB(A), sont d'application.

Les résultats sont présentés de façon détaillée en plusieurs plans et tableaux détaillés aux annexes 7.7 à 7.10, pour les situations actuelle, de référence, et projetées : le lecteur peut s'y référer utilement.

Le Tableau 4 en présente les résultats de façon synthétique (résultats limités aux *seuls points pour lesquels les critères en niveaux L_{Tag} et L_{Nacht} seraient atteints ou dépassés*).

Tous les tableaux de résultats reprennent :

- La situation du point (numéro du bâtiment / point) et le critère à respecter,
- Les résultats L_{Tag} et L_{Nacht} pour les situations actuelles, de référence et le projet.

L'utilisation de couleurs facilite l'analyse des tableaux :

- Toutes les valeurs respectant les critères sont reprises en caractères de couleur noire ;
- Les valeurs dépassant les critères sont reprises en caractères de couleur **rouge**.

Tableau 4 - Résultats synthétiques des incidences de l'exploitation du projet

Niveaux spécifiques induits uniquement par les trams [dB(A) réf.20µPa]								
Situation		N°	Actuelle		Référence		Projetée	
Critère			Ligne T1				Ligne T1 + projet	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
64	54	2	19	11	20	13	62	56

Projetée			N°
Dépassement du critère [dB(A) réf.20µPa]			
Tag	Nacht		
2	2		

Niveaux globaux (route + tram) [dB(A) réf.20µPa]								
Situation		N°	Actuelle		Référence		Projetée	
Critère			Route + Tram (Ligne T1)				Route + Tram (Ligne T1 + projet)	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
64	54	2	55	46	55	46	63	56

Projetée			N°
Incidences induites par le projet (projet-référence) [dB(A) réf.20µPa]			
Tag	Nacht		
2	10		

Le Tableau 4 reprend l'unique point auquel des dépassements de critères induits par le projet sont attendus : c'est le point N°2.

Au point 2, les critères de jour sont respectés alors que les critères de nuit sont dépassés de 2 dB(A). Cependant, vu son écartement par rapport aux axes routiers principaux, l'exposition actuelle y est nettement plus faible : ainsi, même si les niveaux de bruit du projet [$L_{Nacht} = 56$ dB(A)] y dépassent de 2 dB le critère de 54 dB(A), le projet va, lui, y augmenter fortement le niveau de bruit par rapport à la situation actuelle (+10 dB) et il serait raisonnable d'en limiter l'impact spécifique.

3.7 Conclusions et Recommandations

Tel que calculé ici, c'est-à-dire avec prise en compte d'un trafic routier identique pour toutes les situations étudiées alors même que le projet pourrait réduire ces trafics à l'avenir et donc avoir un effet positif, le projet aura une incidence quasi imperceptible sur l'ensemble du site.

Seul le fond de la Rue Pierre Federspiel va être exposé à des niveaux de bruit supérieurs aux niveaux actuels, tout en y restant assez raisonnables [L_{Tag} (06-22H) = 62 dB(A) et L_{Nacht} (22-06H) = 56 dB(A)] : l'utilisation de graisseurs de voies pourraient y être envisagés. S'il y a encore des dépassements après la mise en service du tram, des mesures spécifiques additionnelles pourraient y être appliqués.

Rappel important :

L'utilisation d'un tram de 56 m de long à la place de 45m, va augmenter les niveaux de bruit d'1 dB(A) : le Tableau 5 présente les 3 seuls points où des dépassements induits par le projet seraient constatés .

Tableau 5 - Résultats synthétiques des incidences de l'exploitation du projet avec un tram de 56 m de long

Niveaux spécifiques induits uniquement par les trams [dB(A) réf.20μPa]								
Situation		N°	Actuelle		Référence		Projetée	
Critère			Ligne T1				Ligne T1 + projet	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
64	54	2	19	11	20	13	63	57
64	54	51	58	50	59	52	62	55
64	54	52	57	49	58	51	62	55

Projetée		
N°	Dépassement du critère [dB(A) réf.20μPa]	
	Tag	Nacht
2		3
51		1
52		1

Niveaux globaux (route + tram) [dB(A) réf.20μPa]								
Situation		N°	Actuelle		Référence		Projetée	
Critère			Route + Tram (Ligne T1)				Route + Tram (Ligne T1 + projet)	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
64	54	2	55	46	55	46	64	57
64	54	51	71	62	71	63	75	66
64	54	52	71	63	71	63	73	64

Projetée		
N°	Incidences induites par le projet (projet-référence) [dB(A) réf.20μPa]	
	Tag	Nacht
2		11
51		3
52	2	1

Les conclusions resteraient cependant similaires : les dépassements au point N°2 seront toujours à considérer, alors qu'aux points 51 et 52, le projet sera toujours masqué par le bruit ambiant hors projet.

Enfin, ces conclusions sont basées sur des hypothèses de trafics routiers et de bus inchangées par rapport à la situation actuelle telle que modélisée (voir remarques importantes (1) et (2) en 3.2.1) : il semble cependant évident que ces trafics vont diminuer à la suite de la mise en service du tram, ce qui pourrait, encore une fois, amener à des réductions de bruit significatives sur ces trafics (route et bus) et, **vraisemblablement, à un impact global du projet positif.**

4. ETUDE PRELIMINAIRE DES INCIDENCES VIBRATOIRES DU PROJET

4.1 Contexte règlementaire et normatif

Dans le cadre de cette étude, 2 normes sont utilisées pour l'établissement des critères :

- La DIN 4150 pour les niveaux vibratoires,
- La VDI 2719 pour les niveaux acoustiques.

Critères vibratoires : norme DIN 4150-2

La norme DIN-4150 repose sur des mesures de vibrations dans les bâtiments. Elle définit des critères à respecter qui sont calculés à partir de la vitesse vibratoire pondérée.

Les équations suivantes sont appliquées aux spectres vibratoires L_v , calculés.

Vitesses pondérées de la norme :	Indicateurs de la norme :
$KB_F(f) = \frac{v(f)}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_0}{f}\right)^2}}$	$KB_{FTm} = \sqrt{\sum_{n=Zug1}^{Zug,N} KB_{FTm}^2}$
$KB_{FTm} = \sqrt{\sum_{f=1Hz}^{80Hz} KB_F^2(f)}$	$KB_{Fmax} = c_m \cdot KB_{FTm}$

Les indicateurs KB_{Fmax} et KB_{FTm} ainsi calculés sont comparés aux limites de la norme, qui dépendent du type de bâtiment analysé (logement, bureau, zone commerciale, ...).

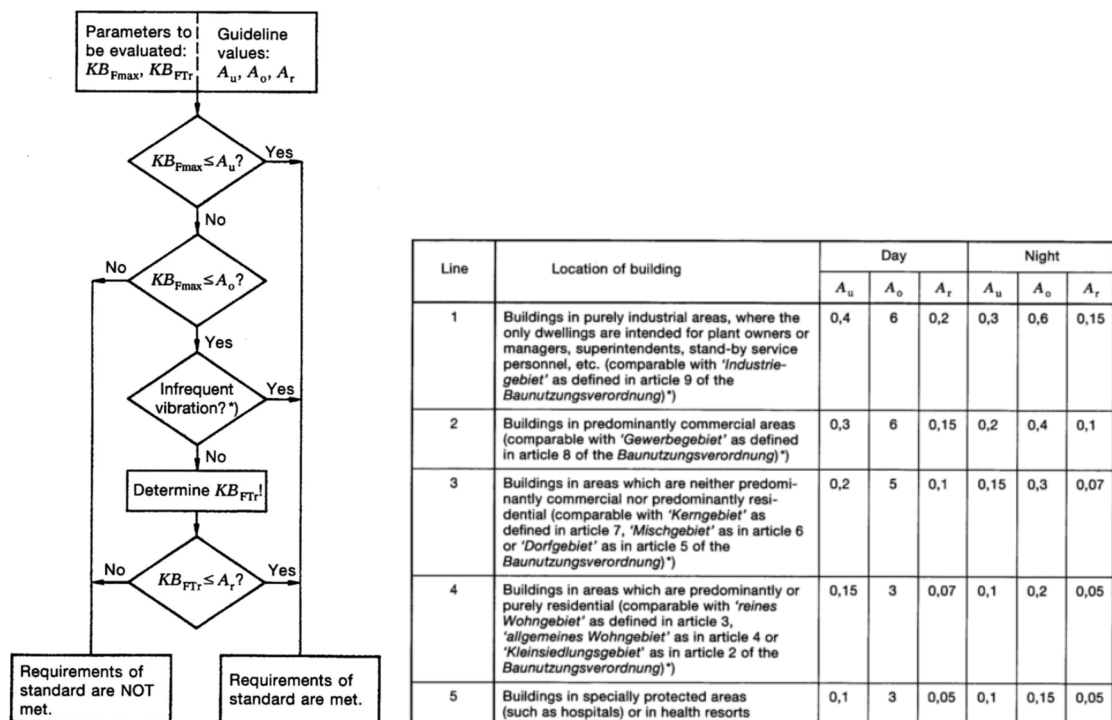


Figure 19 - Critères vibratoires selon la DIN 4150-2

Critère acoustique : VDI 2719

Ce document définit des critères de bruit solidien à l'intérieur des bâtiments.

Les limites dépendent également de l'usage du bâtiment.

La VDI donne deux indicateurs de bruit : le niveau de bruit moyenné sur tous les passages de tramway et le niveau de bruit maximal lors d'un passage. Ici, seul le 2ème critère est retenu car il est le plus dimensionnant.

4.2 Bâtiments analysés

Les bâtiments ci-dessous sont identifiés pour l'analyse. Certains bâtiments présentant des caractéristiques et situations identiques sont regroupés dans une configuration commune.

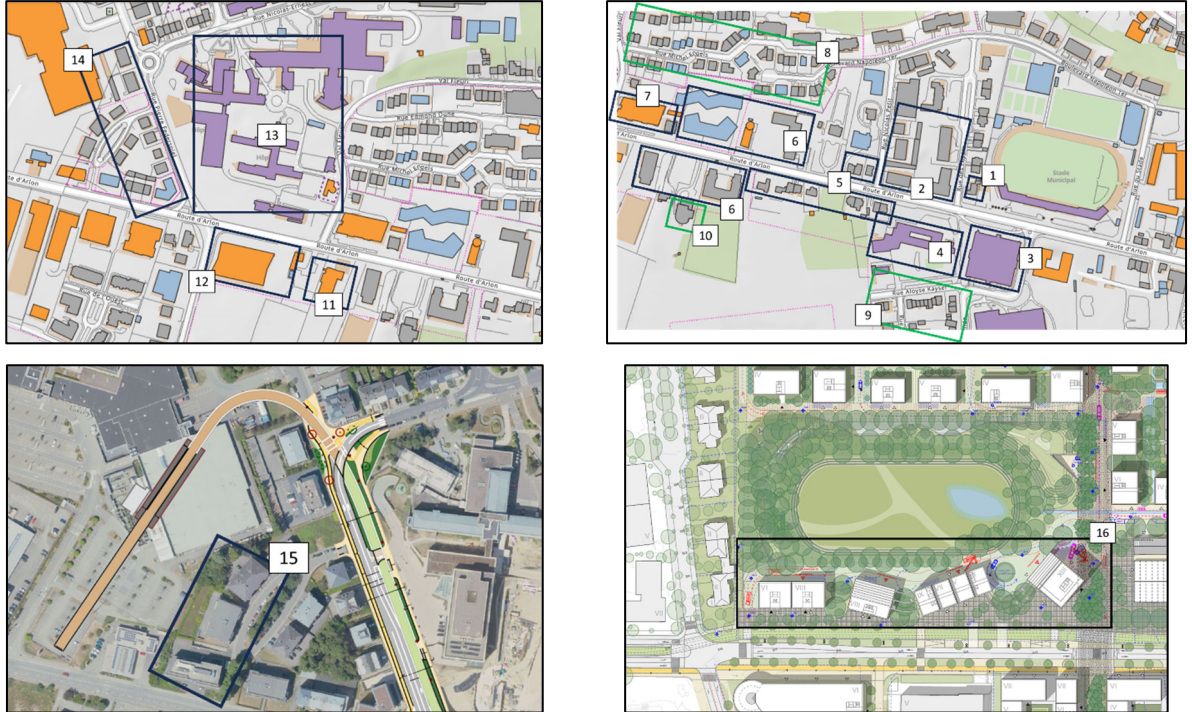


Figure 20 - Identification des bâtiments à analyser

Les caractéristiques des configurations identifiées sur le plan sont présentées dans le Tableau 6.

Tableau 6 - Caractéristiques des configurations de bâtiments à analyser

Zone	Type de bâtiments	Activité	Distance de la voie [m]	Configuration de la voie	Vitesse de circulation [km/h]
1	Maison	Habitations	25	Entrée de tunnel	50
2	Immeuble haut	Habitations	10	Tunnel	50
3	Parking				
4	Immeuble bas	Ecole	50	Tunnel	50
5	Maison	Habitations	15	Tunnel	50
6	Immeuble haut	Habitations	15	Tunnel	50
7	Immeuble haut	Bureau	20	Tunnel	50
8	Maison	Habitations	90	Tunnel	50
9	Maison	Habitations	>100	Tunnel	50
10	Maison	Habitations	65	Tunnel	50
11	Immeuble haut	Habitations + centre de santé	20	Sortie de tunnel	50
12	Immeuble haut	Bureau ?	20	Surface	30
13	Immeuble haut	Hôpital	>20	Surface	30
14	Immeuble bas	Habitations	10-20	Surface	30
15	Immeuble bas	Habitations	>70	Surface	<30
16	Immeuble haut	Habitations	10-15 ?	Surface	30

4.3 Impact de la circulation des trams sur le tronçon en phase d'exploitation

On distingue trois étapes dans la méthodologie d'estimation du niveau vibratoire et de bruit solidien dans un bâtiment dû à une circulation ferroviaire :

1. Calcul de l'excitation au niveau de la voie dû aux mouvements d'un matériel ferroviaire sur une voie (terme source),
2. Calcul de la propagation des vibrations depuis la voie jusqu'au bâtiment (terme propagation),
3. Calcul de la réception des vibrations par le bâtiment et du bruit solidien émis dans le bâtiment (terme immission).

L'objectif pour cette phase EIE est d'identifier les informations disponibles pour chacune de ces 3 étapes. Il est important de noter qu'aucun calcul n'est réalisé pour cette phase EIE. L'objectif est toutefois de lister les paramètres des configurations de ce tronçon Arlon afin de réaliser des recommandations adéquates sur la base du retour d'expérience Vibratéc.

4.3.1 Termes source et propagation

La source des vibrations est le passage du tramway sur la voie. Cette source dépend donc du matériel roulant et la voie. Le matériel roulant prévu sur ce tronçon est le tramway CAF Urbos 100.

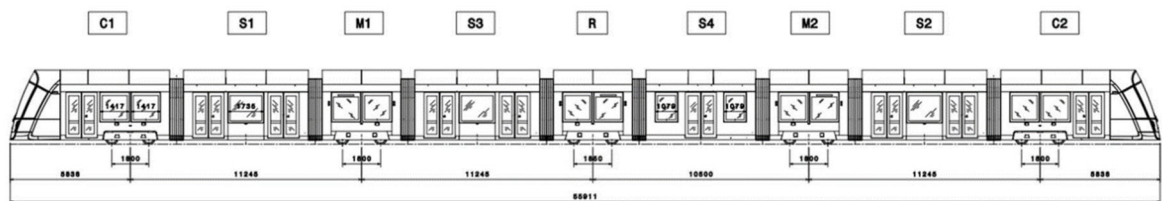


Figure 21 - Matériel roulant CAF Urbos 100

Les spectres vibratoires mis en évidence ci-dessous incluent le terme source (effort sur le sol induit par la circulation du tramway sur la voie) et le terme propagation (réponse du sol à une certaine distance à cet effort).

Des mesures ont été réalisées et sont présentes dans 2.2. Un exemple de mesure au passage donne le spectre de niveau de vitesse vibratoire en bande de tiers d'octave suivant :

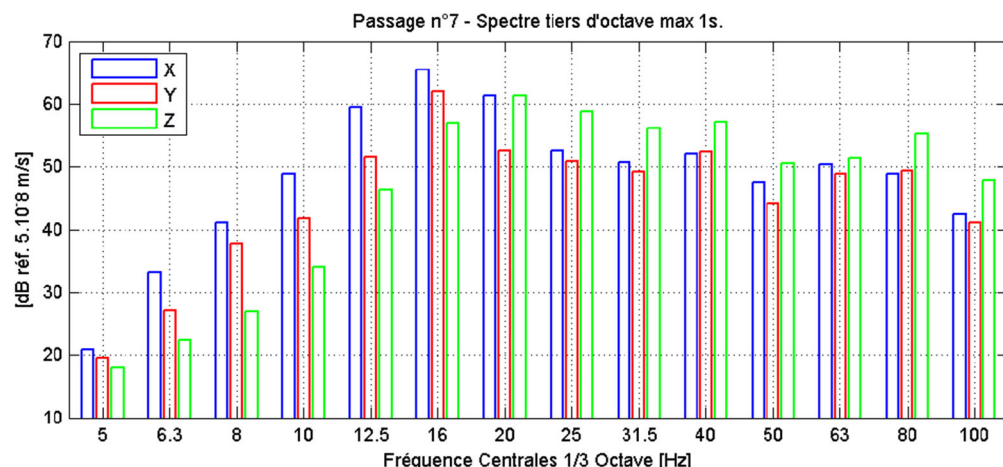


Figure 22 - Spectre de vitesse vibratoire en tiers d'octave au passage tram Urbos, 10m de la voie

Des calculs ont également déjà été menés par Vibratéc sur les tronçons C, D et E du tramway du Luxembourg, pour une circulation de matériel roulant Urbos CAF. Les calculs ont été menés dans différentes zones, impliquant différents comportements de sol :

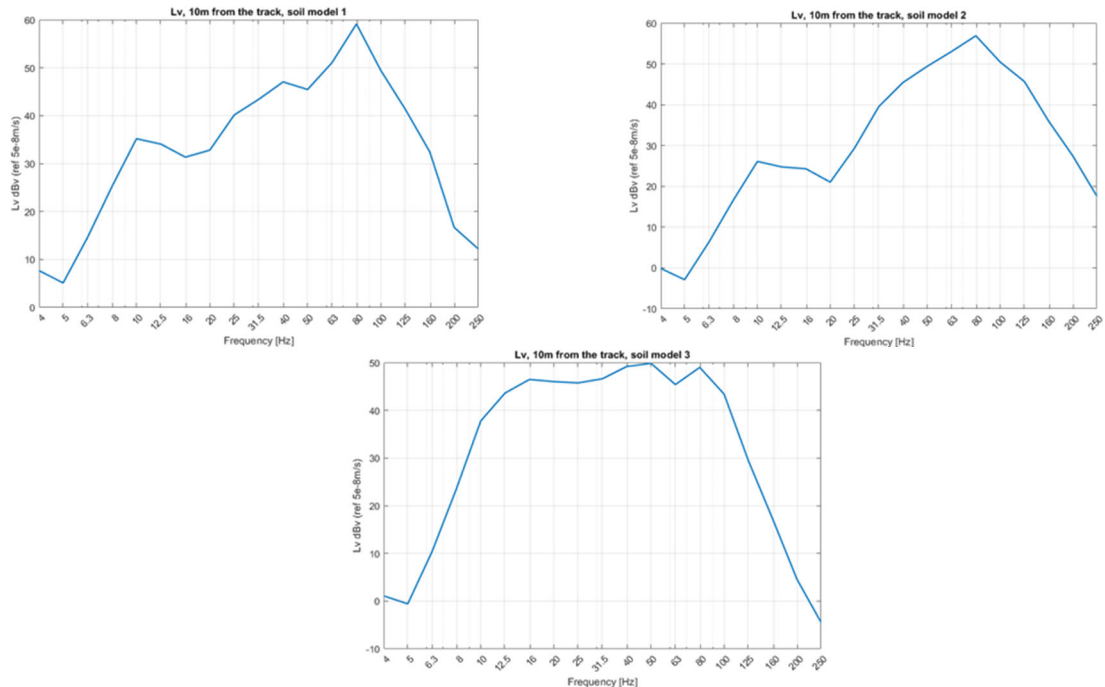


Figure 23 - Exemples de spectres de niveau vibratoire issus des calculs Vibratéc sur précédentes dossiers pour tramway du Luxembourg

Les précédents calculs ont mis en évidence dans certaines zones un comportement de sol de type moyen à dur, ce qui représente un comportement défavorable pour le comportement vibratoire (forte transmissibilité des vibrations). Afin d'orienter les recommandations préliminaires de pose de voie pour le tronçon Arlon sur la base du retour d'expérience, il est nécessaire d'appréhender le comportement du sol sur le tronçon.

Des mesures de propagation dans le sol ont été réalisées et sont présentées en annexe 0. Les zones sur lesquelles ont été réalisées les mesures sont définies ci-dessous :

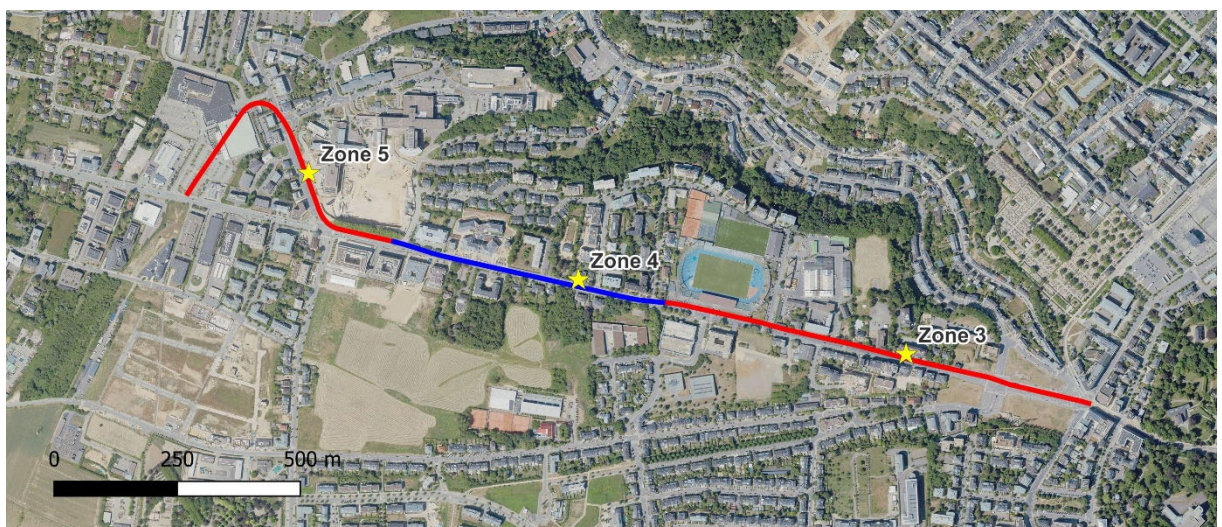


Figure 24 - Points de mesure de propagation dans le sol

Les mesures de propagation réalisées permettent d'identifier le facteur α qui caractérise le comportement du sol en propagation :

Le tableau suivant synthétise les données des sites en termes de distances aux voies et des facteur α correspondants aux différentes zones de mesures :

Tableau 7 - Etablissement du facteur d'atténuation

	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Distance aux voies [m]	10.00	14.00	28.00
α	0.27	0.23	0.13

Ce facteur α dépend de la fréquence. Une valeur constante sur la base de mesure en dessous de 40Hz est proposée.

La valeur maximale relevée de 0.27 est comparée à des modèles analytiques de sol homogènes, sur la plage de fréquence [10 ;40] Hz :

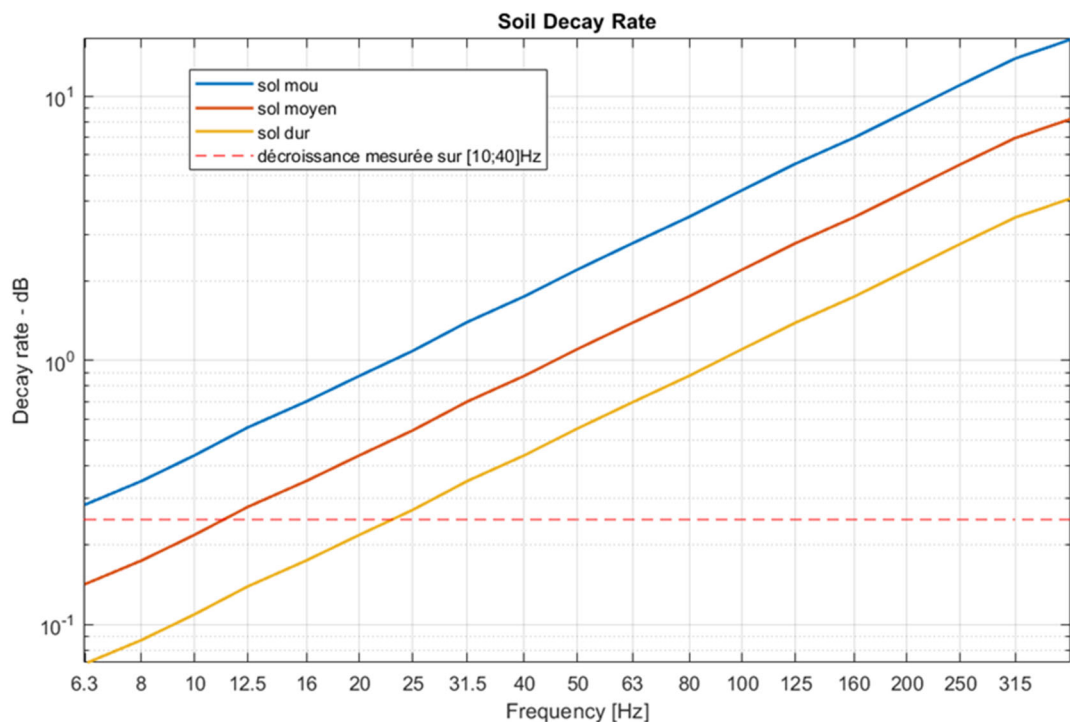


Figure 25 - Comparaison du comportement du sol mesuré à des modèles analytiques type de sol dur, moyen et souple

Les ordres de grandeur d'atténuation sont plutôt proches des comportements de sol moyen à dur.

L'analyse du rapport géotechnique⁸ indique la composition géologique sur le tronçon Arlon :

ANNEXE N°3 : COUPE GEOLOGIQUE DES SONDAGES

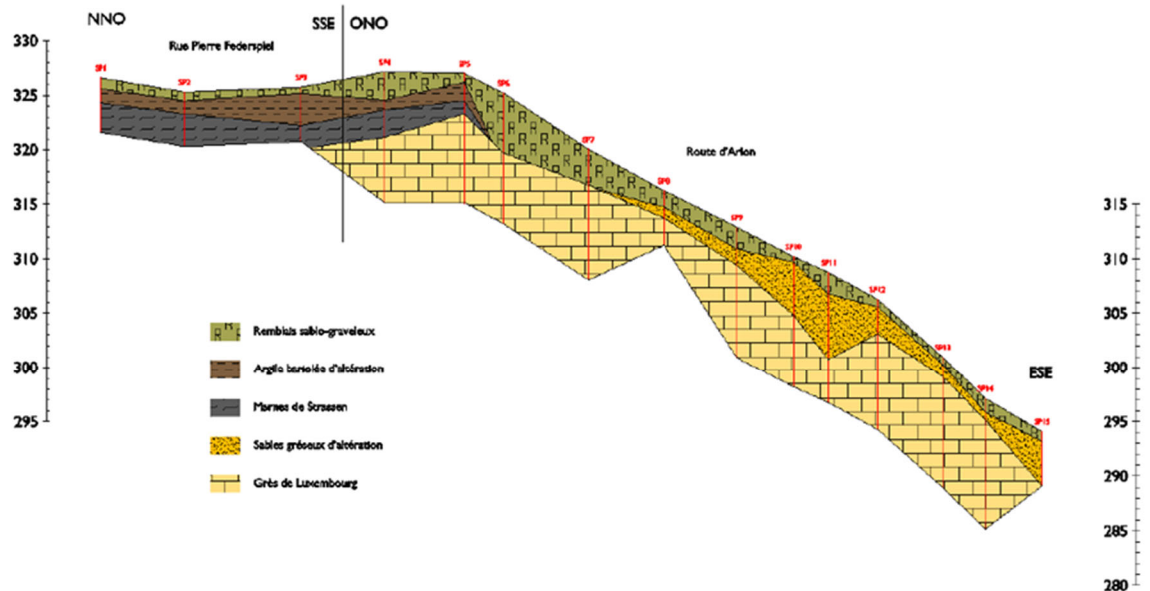


Figure 26 - Extrait du rapport géotechnique secteur Arlon

Le grès et sables gréseux présents à faible profondeur sur la route d'Arlon sont des sols moyens à durs. Cette composition est cohérente avec les mesures réalisées sur la zone 4. Sur la zone 5, les couches de remblais plus molles et un peu plus épaisses devraient être plus favorables concernant le terme propagation. Il faut cependant être vigilant car les mesures déjà réalisées en zone 5 montrent un facteur α faible, indiquant un comportement de sol dur.

Cette zone, si les conditions environnementales le permettent, est une zone à investiguer lors des mesures prévues en phase APS / APD.

Ces observations sur la nature du sol permettent de cibler les résultats d'études représentatives de cette configuration.

⁸ Fondasol. Mission G2 AVP, PR.LUGT.21.210– 001 – indice 0. 2021.

Enfin, il est nécessaire de considérer le comportement en tranchée couverte propre au tronçon Arlon :

- Le contexte d'une tranchée couverte peut être défavorable dans le cas où celle-ci se fonde sur un sol plus dur que des couches superficielles plus molles. Toutefois, ce point est déjà pris compte dans le fait que les études faisant apparaître des comportements de sol moyens à durs dans la zone sont considérées pour les recommandations préliminaires de pose de voie.
- Le comportement d'une tranchée couverte dans un sol multicouche entraîne l'apparition de phénomène de réflexion des ondes lors de la propagation, entraînant l'apparition de résonances et anti-résonances à certaines fréquences. Ce phénomène est difficile à prévoir, même qualitativement, et sera étudié dans la phase APS / APD à l'aide d'une modélisation adéquate. Les mesures et calculs en phase APS / APD permettront de formuler les recommandations définitives.
- Le contexte d'une tranchée couverte entraîne l'apparition d'onde volumique dans le sol, qui peuvent éventuellement solliciter les fondations profondes de certains bâtiments. Toutefois le rapport géotechnique met en évidence la présence d'une couche de sol moyen à dur relativement peu profonde dans le secteur : avec ou sans fondations, les vibrations sont transmises aux bâtiments par cette couche dure. Ainsi, les résultats en surface des précédentes études sur sol moyen à dur sont utilisés en première approche pour orienter les recommandations préliminaires de pose de voie.

4.3.2 Terme immission

Le type de bâtiment influe sur la transmission du sol au bâtiment.

Le type de bâtiment présent sur le tronçon Arlon, identifié dans le Tableau 6, est une donnée nécessaire pour établir les recommandations de pose de voie dans le cadre de cette phase EIE.

Comme nous l'indique la base de données du projet européen RIVAS basée sur un ensemble de mesures et une analyse statistique de ces mesures, plus le type de bâtiment est « petit », moins l'atténuation des vibrations lors du transfert dans le bâtiment est importante.

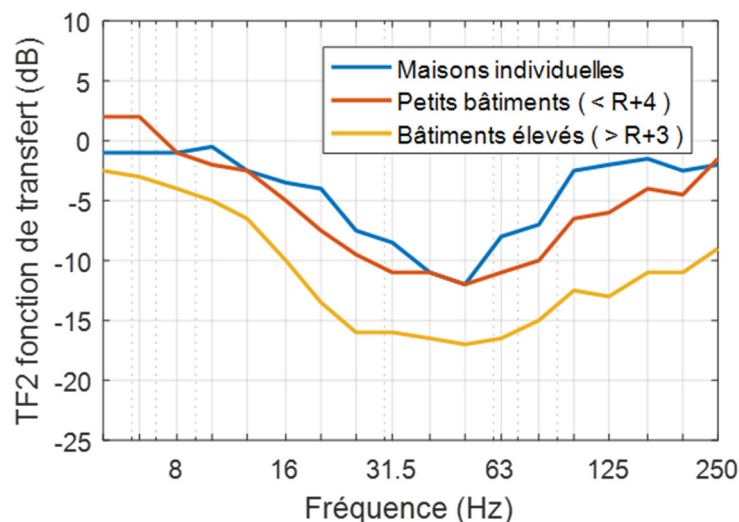


Figure 27 - Transferts bâtiment issus de la base de données RIVAS

4.3.3 Préconisations préliminaires des poses de voie

Pour la section tunnel :

- Vitesse de 50km/h
- Proximité d'habitations de type maison ou immeuble bas sur une section relativement longue
- Tranchée couverte allant s'appuyer sur la couche de sol moyen à dur

Ces éléments indiquent qu'une pose de voie anti vibratile de type -20dB doit être envisagée afin de découpler la dalle béton du sol dur et protéger ainsi les petits bâtiments d'habitations situés entre 10 et 15m de la voie. Cette recommandation est cohérente avec les pré-études qui préconise une pose -20dB sur toutes les sections couvertes.

Concernant les sections en surface :

A l'Est du tronçon, pour le futur quartier sur la parcelle du stade actuelle, le type de pose de voie est à déterminer en fonction de la distance des bâtiments à la future voie. Dans une première approche, les règles usuelles de pré-dimensionnement du type de pose pour une circulation en surface peuvent être utilisées (pose de -8dB en dessous de 12m, -20dB en dessous de 9m). En cas de distance proche des limites, au vu de la configuration des sols dans la zone, la pose anti-vibratile est à privilégier. Les mesures et calculs en phase APS/APD permettront de vérifier cette première approche.

A l'Ouest du tronçon, avec des bâtiments notamment d'hôpitaux situés à moins de 30m, une pose à minima -8dB doit être envisagée. La pré-étude indique une pose 0dB pour les bâtiments situés à plus de 12m. Toutefois, les précédentes études, la nature du sol sur ce tronçon et la présence d'un bâtiment de type hôpital (avec des équipements potentiellement sensibles) tendent à préconiser une pose anti-vibratile.

Les calculs en phase APS / APD permettront de vérifier si la pose -20dB du tunnel doit être prolongée en sortie de tunnel devant l'hôpital ou si la pose -8dB est suffisante :



Figure 28 - Vue de la sortie de tunnel devant le centre hospitalier

En l'absence d'informations concernant d'éventuels équipements sensibles dans l'hôpital, la comparaison des niveaux obtenus avec les différentes poses de voies aux critères VC (base de données de critères applicables à des équipements sensibles) pourra être fournie.

Sur le tronçon rue Pierre Federspiel, la présence de l'arrêt au niveau de l'angle du bâtiment de l'hôpital le plus proche (maternité Grande Duchesse Charlotte située à 15m) permet d'avoir une vitesse des rames faible aux alentours du point critique. Le bâtiment sensible reste toutefois proche et une pose à minima -8dB est à envisager.



Figure 29 - Vue de la section rue Pierre Federspiel

Les mesures complémentaires dans la zone ainsi que les calculs permettront de vérifier si la pose -20dB est nécessaire pour protéger ce coin approché de la maternité.

Les préconisations préliminaires sont résumées sur la Figure 30

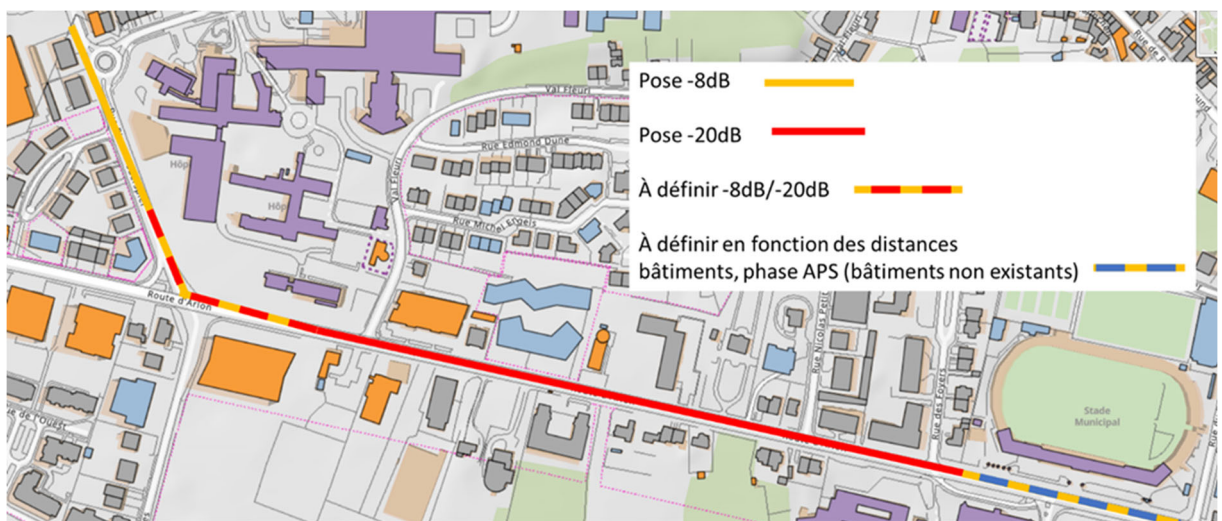


Figure 30 - Préconisations préliminaires tronçon Arlon

En bout de ligne, les calculs permettront de vérifier si la pose 0dB est suffisante (impact de la présence de l'appareil de voie à vérifier), **sans considérer d'éventuelles constructions de bâtiments dans le futur** :

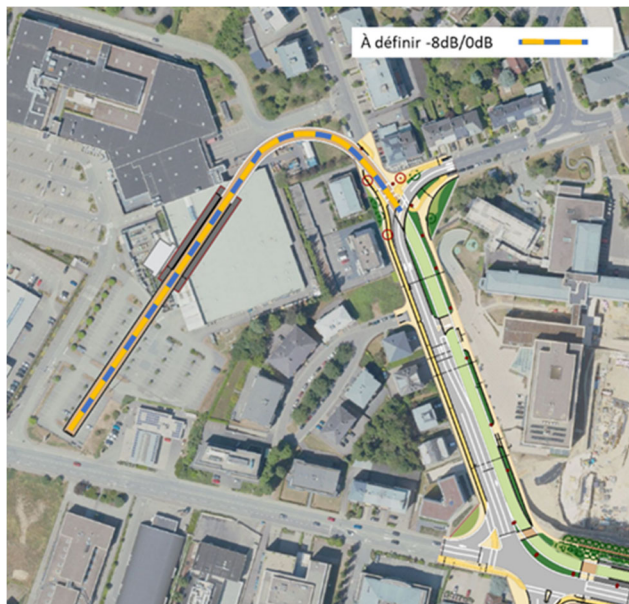


Figure 31 - Préconisations préliminaires tronçon Arlon, bout de ligne

5. IMPACT ACOUSTIQUES DU CHANTIER ET RECOMMANDATIONS

5.1 Méthodologie générale

La méthodologie retenue est une approche qualitative des incidences acoustiques sur la totalité du projet, des recommandations générales seront présentées pour la phase travaux.

Une étude quantitative, phase par phase, sera réalisée en phase APS/APD grâce à l'utilisation de la maquette 3D déjà établie lors de l'étude des incidences acoustiques de la phase exploitation du projet.

5.2 Données

En grandes lignes, les travaux **pour la partie en souterrain** (entre le Stade et le CHL) vont se dérouler en 7 phases potentiellement bruyantes :

- Réalisation de parois berlinoises ;
- Terrassement avec la déviation de l'ensemble des réseaux présents ;
- Réalisation de parois de la tranchée avec des pieux ;
- Réalisation de la dalle supérieure ;
- Terrassement en dessous de la dalle supérieure ;
- Réalisation de la dalle inférieure.

Les travaux **pour la partie en surface** se déroulent quant à eux en 3 phases :

- Décapage de l'asphalte ;
- Terrassement avec la déviation de l'ensemble des réseaux présents ;
- Travaux d'infrastructures (réseaux, pose de voies).

Différents types d'engins seront utilisés à cet effet :

- Des camions (approvisionnement en matériel et évacuation des terres) ;
- Des grues pelles (terrassement) ;
- Une foreuse (parois berlinoises et pieux) ;
- Chargeuse sur pneus (chargement des camions) ;
- Compacteur rouleau (compactage du sol) ;
- Toupies à béton (amenée du béton) ;
- Pompes à béton (bétonnage).

5.3 Détermination des incidences

Pour la phase de chantier, c'est le Règlement Grand-Ducal concernant le niveau de bruit dans les alentours immédiats des établissements et des chantiers qui est d'application.

Ce règlement, dans son article 3, recommande de ne pas dépasser dans les alentours immédiats les niveaux de bruit indiqués au Tableau 8 ci-après, suivant les distinctions établies en fonction de la nature du milieu d'habitat : l'affectation des différents bâtiments à une zone particulière d'habitat doit être faite en fonction d'une évaluation combinant les PAG et de l'environnement existant.

Le choix des différents bâtiments et l'attribution de leur affectation sera fait en phase APS/APD.

Le Tableau 8 résume les seuils à appliquer aux indicateurs L_{jour} (07-22H) et L_{nuit} (22-07H)⁹, et qui correspondent finalement aux recommandations suivantes :

Tableau 8 - Recommandations du Règlement concernant les bruits des établissements et des chantiers

Zone	Niveau de bruit (dB(A))		Nature du milieu d'habitat
	jour	nuit	
I	45	35	hôpitaux, quartier de récréation
II	50	35	milieu rural, habitat calme, circulation faible
III	55	40	quartier urbain, majorité d'habitat, circulation faible
IV	60	45	quartier urbain avec quelques usines ou entreprises, circulation moyenne
V	65	50	centre ville (entreprises, commerces, bureaux, divertissements), circulation dense
VI	70	60	prédominance industrie lourde

L'article 5. autorise des dépassements de 20 dB(A) si les travaux durent moins de 1 mois, de 15 dB(A) si les travaux durent entre 1 mois et 6 mois, et de 10 dB(A) si les travaux durent entre 6 mois et 1 an. En fait, si l'ensemble des travaux va effectivement dépasser 1 an, les différentes phases de chantier seront nettement plus courtes, entrecoupées de périodes de latence entre elles, et réalisées à différents endroits tout au long du projet : ceci est bien considéré dans la présente étude : nous avons ici considéré une durée des travaux impactant l'environnement sur maximum 6 mois (en fait, ce sera beaucoup moins), moyennant une programmation claire et une information transparente vers les riverains ; ce faisant, des dépassements de 10 dB(A) seront autorisés.

L'article 6. du règlement indique que les travaux sont interdits la nuit, mais la modification du 7-11-2007 les permet dans des circonstances spéciales et sur demande : cette remarque importante sera à considérer pour les travaux de nuit. Ces travaux seront limités comme les aménagements de carrefours, qui nécessiteront des demandes de permis spécifiques.

Enfin, par rapport aux *niveaux recommandés*, **l'article 8.** du règlement interdit de dépasser « de façon permanente ou à intervalles réguliers » les niveaux recommandés de plus de 10 dB(A).

⁹ Remarquons que les périodes des indicateurs de ce règlement [L_{jour} (07-22H) et L_{nuit} (22-07H)] diffèrent de celles de la norme allemande 16. BIm Sch V [L_{Tag} ou L_{Aeq} (06-22H), L_{Nacht} ou L_{Aeq} (22-06H)], norme d'application pour la phase d'exploitation du projet.

5.4 Recommandations

Pour le chantier de la partie souterraine ainsi que pour la partie en surface, différentes machines sont utilisées, chacune ayant son propre niveau de puissance sonore. Ce n'est pas seulement la puissance sonore des machines qui va déterminer leur impact sonore dans l'environnement, mais aussi la fréquence de leur utilisation et la durée des différentes phases, ainsi que la possible coïncidence de plusieurs phases.

Afin de s'assurer du respect des critères du Règlement Grand-Ducal, plusieurs recommandations sont faites :

- L'installation d'un monitoring permanent pendant le chantier ;
- Procéder à des validations de procédés avant toute phase de chantier à risque afin de prévenir les possibles incidences plutôt que de les constater pendant le chantier lui-même, avec les risques de ralentir le chantier, voire de l'arrêter.
- Eviter dans la mesure du possible, le recours aux marteaux pneumatiques / brises roches / Montaberts très impactants au niveau vibratoire et aussi très bruyants : préférer une méthodologie de travail comprenant un sciage adéquat permettant l'utilisation de pinces pneumatiques avec éventuellement, si nécessaire, recours à des petits marteaux pneumatiques.
- Etablir un planning réaliste des travaux afin de pouvoir bien le respecter et ainsi assurer une communication transparente vis-à-vis des riverains (un riverain averti, tant sur la planification / durée, que sur le type des travaux qu'il va avoir en face de chez lui, y sera nettement moins sensible).
- Enfin, il apparaît malgré tout que les niveaux instantanés à proximité des engins pourront être importants (pouvant dépasser 80 à 85dB(A) en pointes) : il est logique de protéger l'environnement proche du chantier à l'aide d'écrans amovibles (voir images ci-après).

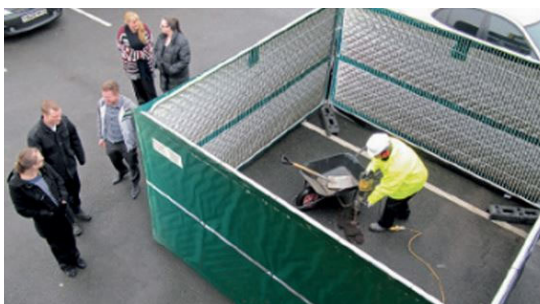
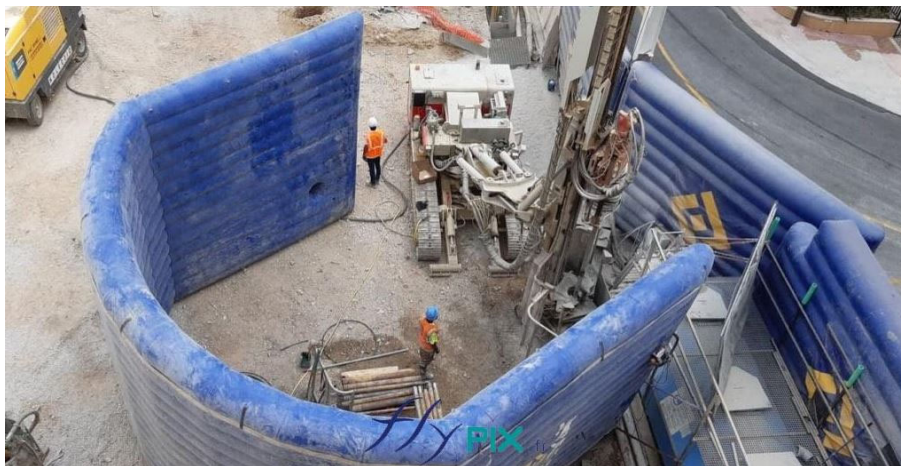


Figure 32 - Exemples d'écrans amovibles

6. IMPACT VIBRATOIRE DU CHANTIER ET RECOMMANDATIONS

Pour cette phase, les excitations vibratoires ne sont plus celles du matériel roulant étudié dans la phase exploitation, mais bien celles des différents engins concernés par les phases successives de chantier.

La présente approche est totalement qualitative.

6.1 Description des engins

Les engins de chantier prévus par Schroeder et associés sont les suivants :

1. Grues pelles ;



2. Chargeuse sur pneus ;



3. Camions sur pneus;

4. Foreuse ;



5. Compacteurs rouleau ;

6. Toupies à béton (livraison de béton frais) ;



7. Pompes à béton ;



Étant donné leur spectre vibratoire et la rapide décroissance par propagation à ces fréquences, les pompes à béton (7) sont considérées comme peu impactantes d'un point de vue vibratoire.

Les camions et toupies à béton (3 et 6) opérant sur pneus sont également considérés comme peu impactants d'un point de vue vibratoire.

Les engins les plus problématiques sont les grues-pelles (1) et les compacteurs (5).

De plus, le rapport géotechnique permet d'obtenir de premières informations sur les risques de nuisances vibratoires lors de la phase travaux sur le tronçon Arlon :

D.5.2. Conditions de terrassement dans l'emprise de la tranchée couverte

Les terrassements dans les remblais sableux, dans les sols limoneux, argileux +/- caillouteux, dans les argiles de classe 4 et dans les sables gréseux de classe 3 peuvent être réalisés sans difficulté particulière pour une pelle hydraulique suffisamment puissante. Dans les marno-calcaires et dans les grès de classe 7 rencontrés à partir de 2 à 3.5 m de profondeur nécessiteront des moyens adaptés suffisamment puissants (brise roche hydraulique, godet roche, et ...).

Par ailleurs, les remblais sablo-graveleux constituant les structures de chaussées existantes nécessiteront l'utilisation de moyens de terrassement adaptés (pelle hydraulique puissante, brise-roche hydraulique, dent de déroctage...).

Lors des terrassements dans les marno-calcaires et dans le rocher très compacts de classe 7, il faudra de préférence une technique qui n'ébranle pas la structure des bâtiments avoisinants, sachant que les vibrations provoquées par le brise roche hydraulique ou par des trépan sont très agressives et très néfastes. L'utilisation d'une fraise est recommandée.

Figure 33 - Extrait du rapport géotechnique concernant la phase travaux

Les opérations de terrassement et de construction de la tranchée couverte dans la roche dure de la zone, risquent d'entraîner des dépassements de la valeur de 1 mm/sec, c'est pourquoi des recommandations sont présentées ci-après.

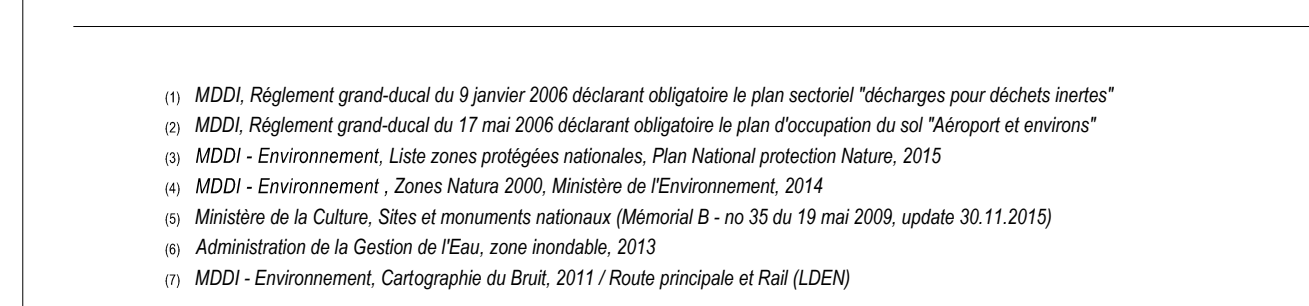
6.2 *Recommandations*

Les recommandations pour la phase travaux sont les suivantes :

1. Dans tous les cas, prévoir un monitoring permanent du chantier, surtout au droit de bâtiments les plus sensibles / proches (hôpital en particulier) ; ce monitoring pourra très utilement combiner la surveillance des impacts bruits et vibrations et permettra d'ajuster le process.
2. De procéder à des validations de procédés avant toute phase de chantier à risque afin de prévenir les possibles incidences plutôt que de les constater pendant le chantier même, avec les risques de ralentir le chantier, voire de l'arrêter.
3. Eviter dans la mesure du possible, le recours aux marteaux pneumatiques / brises roches / Montaberts très impactants au niveau vibratoire et aussi très bruyants : préférer autant que possible une méthodologie de travail comprenant un sciage adéquat permettant l'utilisation de pinces pneumatiques avec éventuellement, si nécessaire recours, à des *petits* marteaux pneumatiques.
4. Etablir un planning réaliste des travaux afin de pouvoir bien le respecter et ainsi assurer une communication transparente vis-à-vis des riverains (un riverain averti, tant sur la planification / durée, que sur le type des travaux qu'il va avoir en face de chez lui, y sera nettement moins sensible).

7. ANNEXES

7.1 *Carte PAG de la Ville de Luxembourg*




ZB ZEYEN BAUMANN
 Zeyen & Baumann sàrl
 7, rue de Stréimel
 L-1214 Luxembourg
 T + 352 33 23 02 04
 F + 352 33 23 02 06
 E info@zeyenbaumann.lu

Nord
Centre
Sud

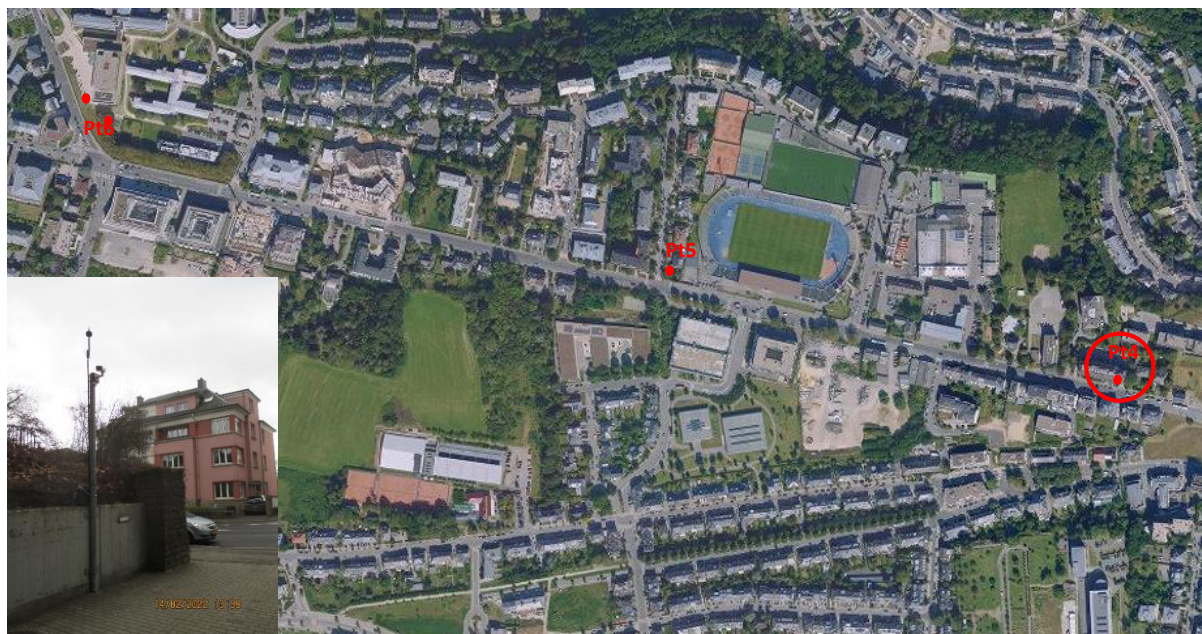
 échelle 1:5.000
 16. mars 2007

7.2 Campagne de mesures de bruit longue durée

7.2.1 Fiches descriptives des conditions de mesures, points 4 à 6.

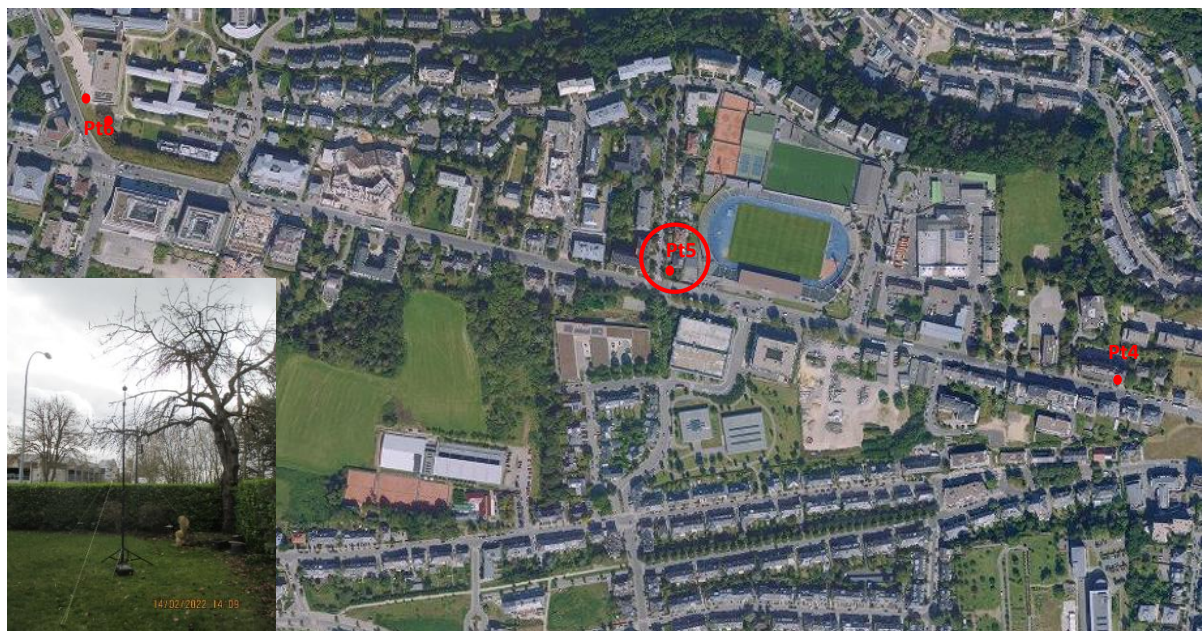
Point de mesure 4 : Bruit

<u>Adresse</u>	26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg
<u>Coordonnées GPS :</u>	X = 76187 Y = 75495
<u>Hauteur du micro :</u>	4.5 m
<u>Sonomètre :</u>	SVA04 : SVAN 977 sonomètre intégrateur de précision classe 1 IEC 61672-1 :2002 [#36801] équipé avec microphone type ACO 7052E [#50544] et préamplificateur type SV 12L [#7586]. Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3, mémoire étendue sur carte SD. Câble microphone (20m) et unité extérieure SA277. Le tout conditionné dans une valise type Pelicase (batterie intégrée)
<u>Calibration :</u> <u>Avant</u> <u>Après</u>	-0.12 dB +0.01 dB Différence de -0.13 dB
<u>Début de mesure :</u>	14 février 2022 13h33
<u>Fin de mesure :</u>	22 février 2022 11h47



Point de mesure 5 : Bruit

<u>Adresse</u>	2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg
<u>Coordonnées GPS :</u>	X = 75646 Y = 75631
<u>Hauteur du micro :</u>	4 m
<u>Sonomètre :</u>	SVA04 : SVAN 977 sonomètre intégrateur de précision classe 1 IEC 61672-1 :2002 [#36802] équipé avec microphone type ACO 7052E [#50543] et préamplificateur type SV 12L [#7592]. Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3, mémoire étendue sur carte SD. Câble microphone (20m) et unité extérieure SA277. Le tout conditionné dans une valise type Pelicase (batterie intégrée)
<u>Calibration :</u> <u>Avant</u> <u>Après</u>	+1.68 dB +1.49 dB Différence de 0.19 dB
<u>Début de mesure :</u>	14 février 2022 14h03
<u>Fin de mesure :</u>	22 février 2022 11h58



Point de mesure 6 : Bruit

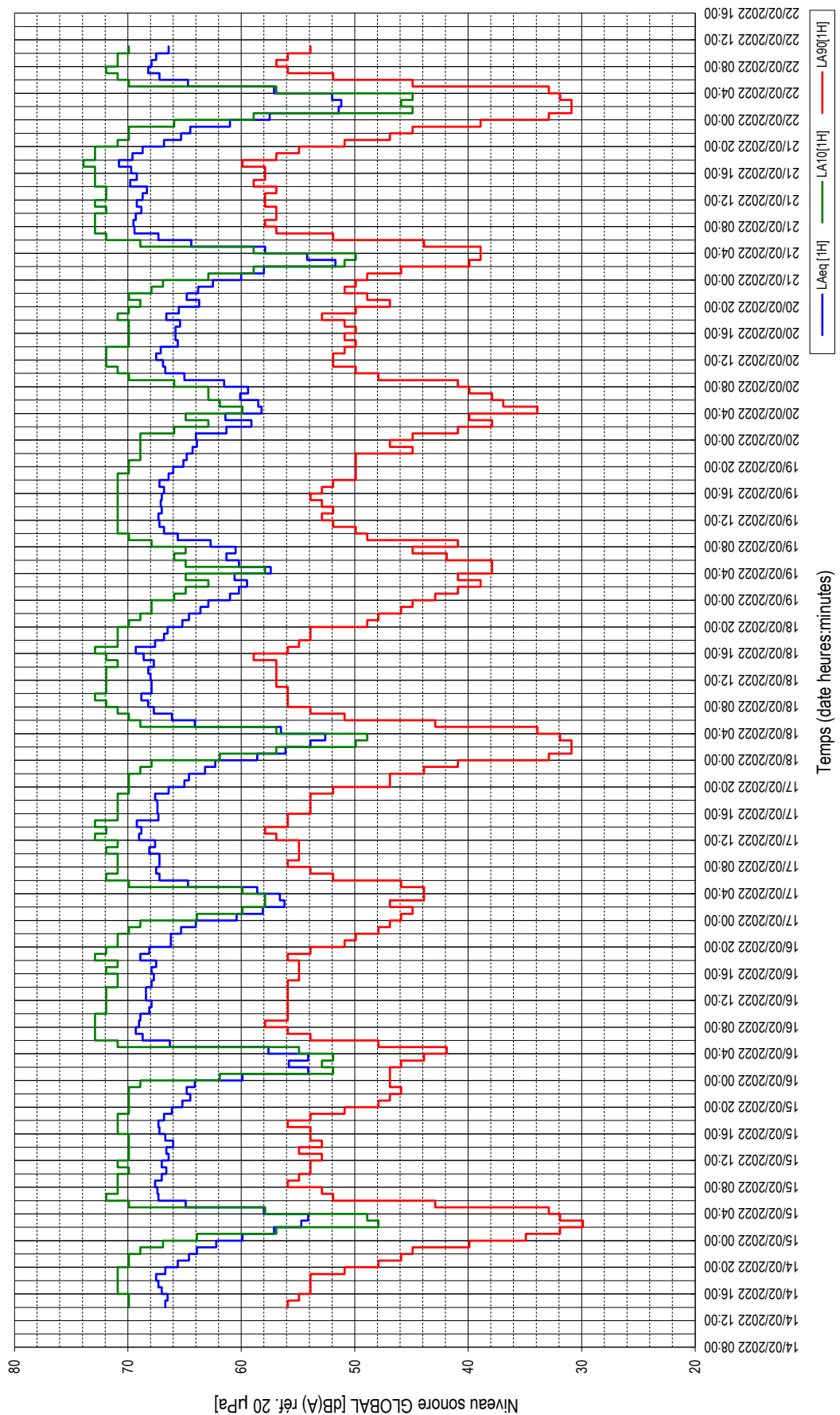
<u>Adresse</u>	2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg
<u>Coordonnées GPS :</u>	X = 74950 Y = 75844
<u>Hauteur du micro :</u>	4 m
<u>Sonomètre :</u>	SVA06 : SVAN 977 sonomètre intégrateur de précision classe 1 IEC 61672-1 :2002 [#36803] équipé avec microphone type ACO 7052E [#50550] et préamplificateur type SV 12L [#7577]. Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3, mémoire étendue sur carte SD. Câble microphone (20m) et unité extérieure SA277. Le tout conditionné dans une valise type Pelicase (batterie intégrée)
<u>Calibration :</u> <u>Avant</u> <u>Après</u>	+2.22 dB +2.20 dB Différence de 0.02 dB
<u>Début de mesure :</u>	14 février 2022 14h57
<u>Fin de mesure :</u>	22 février 2022 12h29



7.2.2 Résultats des mesures sous forme graphique et tabulaires par tranche horaire, points 4 à 6.

Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg



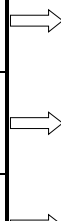
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg

Tranches horaires	Lundi 14/02	Mardi 15/02	Mercredi 16/02	Jeudi 17/02	Vendredi 18/02	Samedi 19/02	Dimanche 20/02	Lundi 21/02	Mardi 22/02
0 - 1	*	59.9	59.9	60.4	58.6	61.0	64.0	60.0	57.5
1 - 2	*	57.1	54.1	58.1	56.1	60.2	61.3	58.0	51.4
2 - 3	*	54.7	55.8	56.2	53.9	59.5	59.1	51.7	51.2
3 - 4	*	54.1	54.1	56.6	52.6	60.6	61.4	54.2	52.0
4 - 5	*	58.0	57.6	58.6	56.5	57.4	58.2	57.9	57.1
5 - 6	*	64.9	66.3	64.7	64.1	60.2	58.5	64.4	64.7
6 - 7	*	67.3	68.7	67.2	66.1	61.3	60.1	67.3	67.2
7 - 8	*	67.4	69.3	67.5	67.7	60.5	59.4	69.4	68.2
8 - 9	*	67.6	69.0	67.2	68.2	62.7	61.5	69.5	67.9
9 - 10	*	67.0	68.9	67.2	68.8	65.6	65.0	69.3	67.5
10 - 11	*	66.6	68.1	68.1	67.9	66.8	66.7	68.8	66.4
11 - 12	*	67.0	67.9	67.6	67.9	67.2	66.9	69.2	*
12 - 13	*	66.4	68.4	69.0	68.0	67.3	67.5	68.7	*
13 - 14	*	66.6	68.4	68.8	68.2	67.0	67.1	68.3	*
14 - 15	66.7	66.0	67.9	69.2	67.7	67.1	65.6	69.8	*
15 - 16	66.5	66.7	67.7	67.3	68.6	67.0	65.8	69.2	*
16 - 17	67.0	67.2	67.9	67.4	69.3	66.8	65.8	69.7	*
17 - 18	67.3	67.3	67.5	67.4	67.6	67.2	65.4	70.8	*
18 - 19	67.5	66.8	68.9	67.6	66.8	66.4	66.6	69.6	*
19 - 20	66.7	66.1	68.1	66.4	66.5	66.0	65.5	68.7	*
20 - 21	65.6	65.2	66.2	65.0	65.2	65.1	63.7	66.8	*
21 - 22	64.6	64.5	66.2	64.6	64.6	64.8	64.8	65.3	*
22 - 23	63.9	64.8	65.3	63.2	63.6	64.3	63.8	64.5	*
23 - 24	62.2	64.1	64.0	62.3	62.9	63.9	62.5	61.0	*



Tranches horaires	Semaine	Weekend	Sem. + Wk
0 - 1	59.5	62.8	60.6
1 - 2	56.4	60.8	57.9
2 - 3	54.3	59.3	56.2
3 - 4	54.2	61.0	57.1
4 - 5	57.7	57.8	57.7
5 - 6	64.9	59.4	64.1
6 - 7	67.4	60.7	66.4
7 - 8	68.3	60.0	67.3
8 - 9	68.3	62.1	67.4
9 - 10	68.2	65.3	67.6
10 - 11	67.7	66.8	67.5
11 - 12	68.0	67.1	67.7
12 - 13	68.2	67.4	68.0
13 - 14	68.1	67.1	67.8
14 - 15	68.1	66.4	67.7
15 - 16	67.8	66.4	67.5
16 - 17	68.2	66.3	67.8
17 - 18	68.2	66.4	67.8
18 - 19	68.0	66.5	67.7
19 - 20	67.2	65.8	66.9
20 - 21	65.7	64.5	65.4
21 - 22	65.0	64.8	65.0
22 - 23	64.3	64.1	64.2
23 - 24	62.9	63.3	63.0



L ₀ (07 - 19)	68.1	66.0	67.7
L _E (19 - 23)	65.7	64.8	65.5
L _N (23 - 07)	62.1	61.0	61.8
L _{DEN}	70.2	68.9	69.9

06 - 22	67.7	65.7	67.3
22 - 06	61.0	61.5	61.2

- : contribution énergétique négligeable / non mesurable * : absence de mesure

Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg

Tranches horaires	Lundi 14/02	Mardi 15/02	Mercredi 16/02	Jeudi 17/02	Vendredi 18/02	Samedi 19/02	Dimanche 20/02	Lundi 21/02	Mardi 22/02
0 - 1	*	34.9	46.9	45.9	32.9	42.9	44.9	48.9	32.9
1 - 2	*	31.9	46.9	44.9	30.9	40.9	40.9	45.9	30.9
2 - 3	*	29.9	45.9	46.9	30.9	38.9	37.9	39.9	30.9
3 - 4	*	31.9	43.9	43.9	31.9	40.9	39.9	38.9	31.9
4 - 5	*	32.9	41.9	43.9	33.9	37.9	33.9	38.9	32.9
5 - 6	*	42.9	47.9	45.9	42.9	37.9	36.9	43.9	44.9
6 - 7	*	51.9	53.9	51.9	50.9	41.9	37.9	51.9	51.9
7 - 8	*	52.9	55.9	53.9	53.9	44.9	39.9	56.9	55.9
8 - 9	*	55.9	57.9	55.9	55.9	40.9	40.9	57.9	56.9
9 - 10	*	54.9	55.9	54.9	55.9	48.9	47.9	56.9	55.9
10 - 11	*	53.9	55.9	54.9	55.9	49.9	49.9	56.9	53.9
11 - 12	*	53.9	55.9	54.9	56.9	51.9	51.9	57.9	*
12 - 13	*	52.9	55.9	56.9	56.9	52.9	51.9	57.9	*
13 - 14	*	54.9	55.9	57.9	56.9	51.9	50.9	56.9	*
14 - 15	55.9	52.9	55.9	55.9	56.9	52.9	49.9	58.9	*
15 - 16	54.9	53.9	54.9	55.9	55.9	53.9	50.9	57.9	*
16 - 17	53.9	53.9	54.9	53.9	55.9	52.9	49.9	57.9	*
17 - 18	53.9	55.9	54.9	53.9	54.9	51.9	50.9	59.9	*
18 - 19	53.9	53.9	55.9	53.9	53.9	49.9	52.9	56.9	*
19 - 20	50.9	50.9	53.9	51.9	53.9	49.9	49.9	54.9	*
20 - 21	47.9	47.9	50.9	46.9	48.9	49.9	46.9	50.9	*
21 - 22	45.9	46.9	49.9	46.9	47.9	49.9	48.9	46.9	*
22 - 23	44.9	45.9	47.9	43.9	45.9	44.9	50.9	44.9	*
23 - 24	39.9	46.9	46.9	40.9	44.9	46.9	49.9	38.9	*
07 - 19	*	54.2	55.8	55.2	56.1	50.2	49.0	57.7	*
19 - 23	47.4	47.9	50.7	47.4	49.2	48.7	49.2	49.4	*
23 - 07	37.0	46.8	46.3	36.9	40.8	39.9	44.8	36.9	*
06 - 22	*	52.7	54.8	53.7	54.3	48.9	47.5	55.9	*
22 - 06	36.2	45.8	45.8	36.0	41.3	40.8	44.7	36.0	*

Tranches horaires	Semaine	Weekend	Sem. + Wk
0 - 1	40.4	43.9	41.3
1 - 2	38.6	40.9	39.2
2 - 3	37.4	38.4	37.7
3 - 4	37.1	40.4	37.9
4 - 5	37.4	35.9	37.0
5 - 6	44.7	37.4	42.9
6 - 7	52.1	39.9	49.0
7 - 8	54.9	42.4	51.8
8 - 9	56.7	40.9	52.8
9 - 10	55.7	48.4	53.9
10 - 11	55.2	49.9	53.9
11 - 12	55.9	51.9	54.8
12 - 13	56.1	52.4	55.0
13 - 14	56.5	51.4	55.0
14 - 15	56.1	51.4	54.9
15 - 16	56.1	52.4	55.2
16 - 17	55.1	51.4	54.2
17 - 18	55.6	51.4	54.5
18 - 19	54.7	51.4	53.9
19 - 20	52.7	49.9	52.0
20 - 21	48.9	48.4	48.8
21 - 22	47.4	49.4	47.9
22 - 23	45.6	47.9	46.2
23 - 24	43.1	48.4	44.4
07 - 19	55.7	49.6	54.2
19 - 23	48.7	48.9	48.7
23 - 07	41.3	40.7	41.2
06 - 22	54.4	48.9	53.0
22 - 06	40.5	41.7	40.8

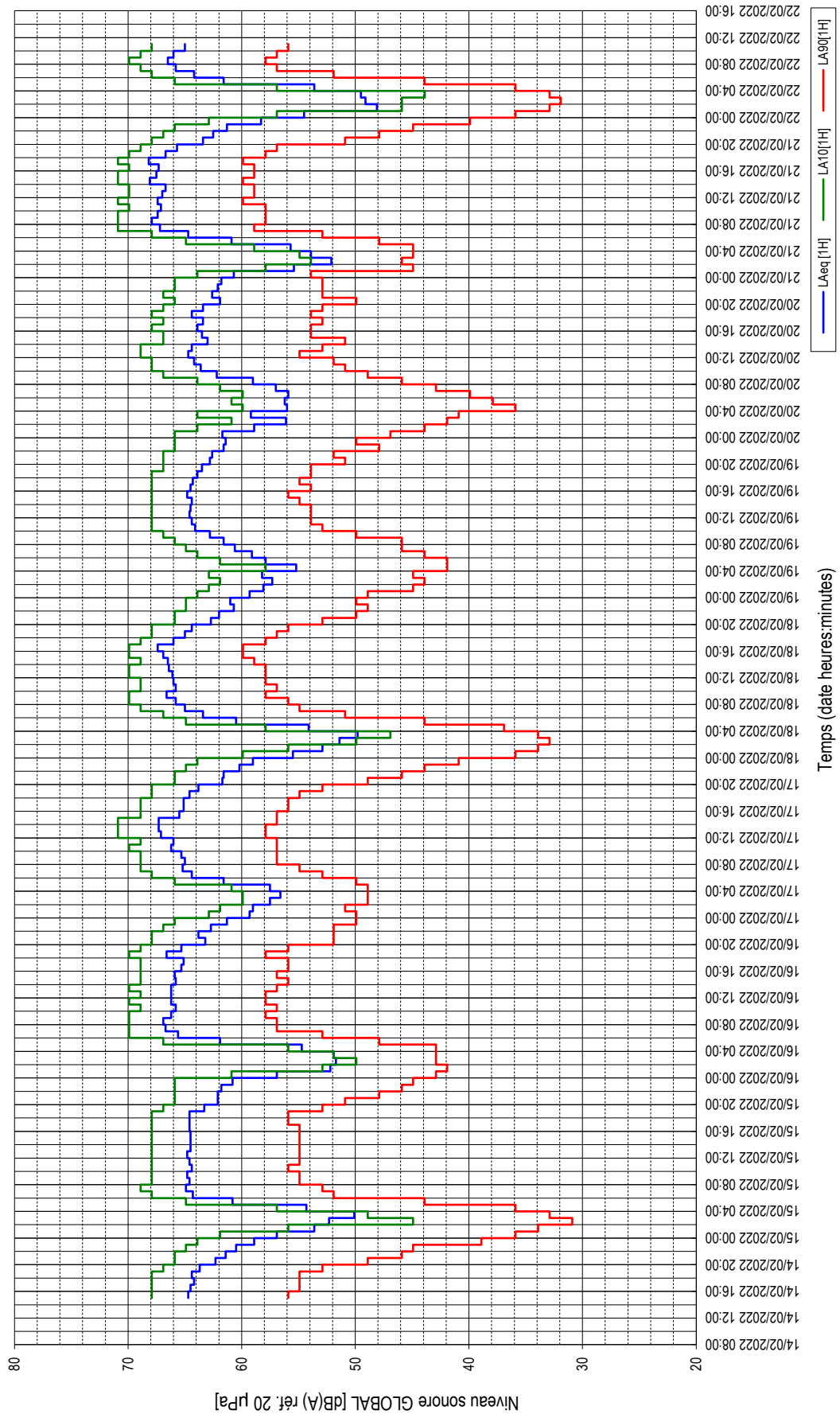
- : contribution énergétique négligeable / non mesurable * : absence de mesure

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg

- : contribution énergétique négligeable / non mesurable
* : absence de mesure

Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



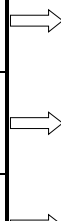
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg

Tranches horaires	Lundi 14/02	Mardi 15/02	Mercredi 16/02	Jeudi 17/02	Vendredi 18/02	Samedi 19/02	Dimanche 20/02	Lundi 21/02	Mardi 22/02
0 - 1	*	56.9	56.9	59.3	55.5	59.3	61.7	60.7	54.5
1 - 2	*	53.6	52.2	59.0	52.9	58.1	58.9	55.4	48.1
2 - 3	*	52.3	51.7	57.5	51.4	57.3	56.1	52.1	49.1
3 - 4	*	50.1	51.9	56.6	49.8	58.2	59.2	53.9	49.5
4 - 5	*	54.3	54.7	57.5	54.1	55.2	56.0	55.7	53.6
5 - 6	*	60.8	61.9	61.6	60.5	57.9	56.2	60.9	61.6
6 - 7	*	64.3	65.6	64.4	63.4	59.1	55.9	64.7	64.2
7 - 8	*	64.9	66.7	65.2	65.0	60.6	57.0	67.2	65.8
8 - 9	*	64.6	66.9	65.0	65.8	61.6	59.0	67.9	66.5
9 - 10	*	64.8	66.2	65.3	66.6	62.8	62.2	67.4	66.0
10 - 11	*	64.4	65.8	66.2	65.8	64.1	63.6	67.1	65.0
11 - 12	*	64.6	66.2	66.0	66.0	64.4	64.2	67.4	*
12 - 13	*	64.8	66.2	67.1	66.1	64.6	64.7	67.0	*
13 - 14	*	64.5	66.2	67.3	66.4	64.5	64.4	66.7	*
14 - 15	*	64.5	65.8	67.3	66.5	64.4	63.0	68.1	*
15 - 16	64.7	64.5	65.9	65.5	66.9	64.8	63.5	67.5	*
16 - 17	64.5	64.6	65.3	65.1	67.4	64.5	63.9	67.3	*
17 - 18	64.2	64.6	65.1	65.1	66.0	64.3	63.4	68.2	*
18 - 19	64.4	64.6	66.6	64.6	65.0	63.9	64.4	66.7	*
19 - 20	63.7	63.3	65.3	63.8	64.4	63.5	63.4	65.7	*
20 - 21	62.3	62.1	63.2	61.7	62.7	62.8	61.9	63.4	*
21 - 22	61.4	62.1	63.8	61.6	62.0	62.6	62.6	62.5	*
22 - 23	60.5	61.8	62.7	60.2	60.7	61.6	62.1	61.3	*
23 - 24	58.9	60.8	61.3	59.0	61.0	61.4	61.8	58.3	*



Tranches horaires	Semaine	Weekend	Sem. + Wk
0 - 1	57.8	60.7	58.7
1 - 2	54.8	58.5	56.0
2 - 3	53.2	56.7	54.4
3 - 4	52.8	58.7	55.2
4 - 5	55.2	55.6	55.3
5 - 6	61.2	57.1	60.5
6 - 7	64.5	57.8	63.5
7 - 8	65.9	59.2	64.9
8 - 9	66.3	60.5	65.4
9 - 10	66.1	62.5	65.5
10 - 11	65.8	63.9	65.4
11 - 12	66.1	64.3	65.7
12 - 13	66.3	64.7	65.9
13 - 14	66.3	64.5	65.9
14 - 15	66.6	63.8	66.0
15 - 16	66.0	64.2	65.6
16 - 17	65.9	64.2	65.5
17 - 18	65.8	63.9	65.4
18 - 19	65.4	64.2	65.1
19 - 20	64.5	63.5	64.2
20 - 21	62.6	62.4	62.6
21 - 22	62.3	62.6	62.4
22 - 23	61.3	61.9	61.4
23 - 24	60.0	61.6	60.5



L ₀ (07 - 19)	66.1	63.6	65.5
L _E (19 - 23)	62.8	62.6	62.8
L _N (23 - 07)	59.3	58.8	59.2
L _{DEN}	67.7	66.6	67.4

06 - 22	65.6	63.2	65.1
22 - 06	58.2	59.4	58.6

- : contribution énergétique négligeable / non mesurable

* : absence de mesure

Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg

Tranches horaires	Lundi 14/02	Mardi 15/02	Mercredi 16/02	Jeudi 17/02	Vendredi 18/02	Samedi 19/02	Dimanche 20/02	Lundi 21/02	Mardi 22/02
0 - 1	*	35.9	42.9	49.9	35.9	48.9	46.9	53.9	35.9
1 - 2	*	33.9	41.9	50.9	33.9	44.9	43.9	44.9	32.9
2 - 3	*	30.9	42.9	48.9	32.9	43.9	41.9	45.9	31.9
3 - 4	*	32.9	42.9	48.9	33.9	44.9	40.9	44.9	32.9
4 - 5	*	35.9	42.9	48.9	36.9	41.9	35.9	44.9	35.9
5 - 6	*	43.9	47.9	49.9	43.9	41.9	37.9	47.9	43.9
6 - 7	*	51.9	52.9	52.9	50.9	43.9	39.9	52.9	51.9
7 - 8	*	52.9	56.9	54.9	54.9	45.9	42.9	58.9	56.9
8 - 9	*	54.9	56.9	56.9	55.9	45.9	45.9	57.9	57.9
9 - 10	*	54.9	57.9	56.9	57.9	49.9	48.9	57.9	56.9
10 - 11	*	55.9	56.9	56.9	56.9	52.9	50.9	57.9	55.9
11 - 12	*	54.9	57.9	56.9	57.9	53.9	51.9	59.9	*
12 - 13	*	54.9	57.9	57.9	57.9	53.9	54.9	58.9	*
13 - 14	*	54.9	56.9	57.9	57.9	53.9	52.9	58.9	*
14 - 15	*	54.9	55.9	56.9	55.9	54.9	50.9	59.9	*
15 - 16	55.9	54.9	56.9	56.9	59.9	55.9	53.9	58.9	*
16 - 17	54.9	54.9	55.9	55.9	59.9	53.9	53.9	58.9	*
17 - 18	54.9	55.9	55.9	55.9	57.9	54.9	52.9	59.9	*
18 - 19	54.9	55.9	57.9	54.9	56.9	53.9	53.9	57.9	*
19 - 20	52.9	52.9	55.9	52.9	55.9	53.9	52.9	56.9	*
20 - 21	48.9	50.9	51.9	48.9	52.9	50.9	49.9	50.9	*
21 - 22	45.9	47.9	51.9	45.9	49.9	51.9	52.9	47.9	*
22 - 23	44.9	45.9	51.9	43.9	48.9	47.9	52.9	44.9	*
23 - 24	38.9	44.9	49.9	40.9	49.9	49.9	52.9	39.9	*

07 - 19	*	55.0	57.0	56.6	57.7	52.5	51.2	58.8	*
19 - 23	48.2	49.4	52.9	47.9	51.9	51.2	52.2	50.2	*
23 - 07	38.0	44.9	50.0	38.7	45.0	42.2	48.5	38.2	*

06 - 22	*	53.7	55.8	55.2	56.0	51.3	49.7	57.2	*
22 - 06	37.2	44.0	49.9	37.8	45.7	43.2	48.5	37.3	*

0 - 1	42.4	47.9	43.8
1 - 2	39.7	44.4	40.9
2 - 3	38.9	42.9	39.9
3 - 4	39.4	42.9	40.3
4 - 5	40.9	38.9	40.4
5 - 6	46.2	39.9	44.7
6 - 7	52.2	41.9	49.7
7 - 8	55.9	44.4	53.0
8 - 9	56.7	45.9	54.0
9 - 10	57.1	49.4	55.2
10 - 11	56.7	51.9	55.5
11 - 12	57.5	52.9	56.2
12 - 13	57.5	54.4	56.6
13 - 14	57.3	53.4	56.2
14 - 15	57.3	52.9	56.0
15 - 16	57.2	54.9	56.7
16 - 17	56.7	53.9	56.0
17 - 18	56.7	53.9	56.0
18 - 19	56.4	53.9	55.8
19 - 20	54.6	53.4	54.3
20 - 21	50.7	50.4	50.7
21 - 22	48.2	52.4	49.3
22 - 23	46.7	50.4	47.7
23 - 24	44.1	51.4	45.9

07 - 19	56.9	51.8	55.6
19 - 23	50.1	51.7	50.5
23 - 07	43.0	43.8	43.2

06 - 22	55.6	51.2	54.4
22 - 06	42.3	44.8	42.9

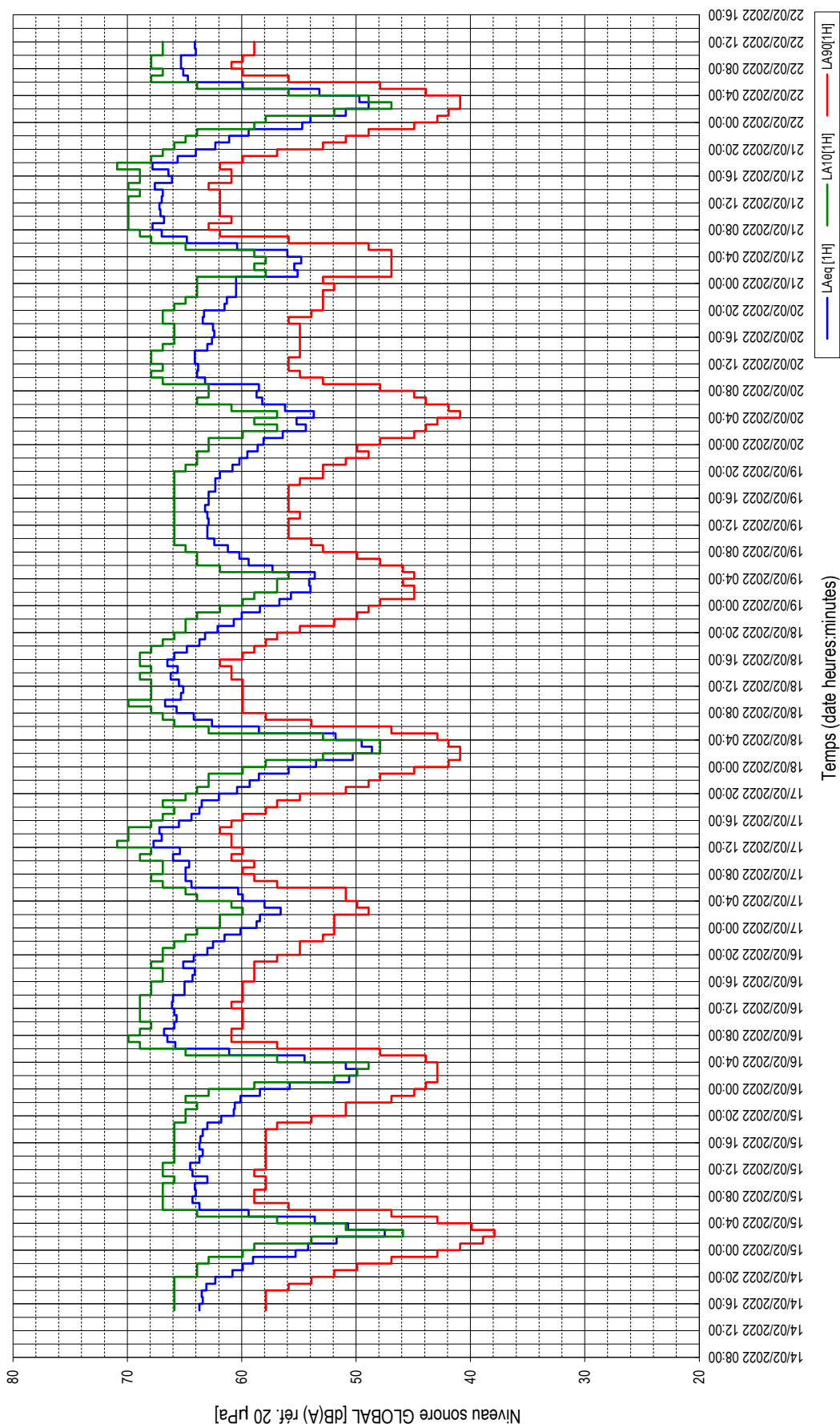
- : contribution énergétique négligeable / non mesurable * : absence de mesure

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg

- : contribution énergétique négligeable / non mesurable
* : absence de mesure

Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg

Tranches horaires	Lundi	Mardi	Mercredi	Judi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Lundi	Mardi
	14/02	15/02	16/02	17/02	18/02	19/02	20/02	21/02	22/02
0 - 1	*	54.2	55.8	58.7	53.5	56.7	58.1	60.5	54.0
1 - 2	*	51.7	50.6	58.4	50.3	55.7	56.4	55.1	50.9
2 - 3	*	47.5	49.9	56.6	48.6	54.0	54.4	55.4	48.9
3 - 4	*	50.7	50.9	58.0	49.5	54.1	55.2	54.8	49.7
4 - 5	*	53.6	54.5	59.9	51.8	53.6	53.7	56.0	53.2
5 - 6	*	59.4	61.1	60.3	58.5	57.3	56.2	60.4	59.9
6 - 7	*	63.7	65.8	64.4	62.6	59.4	58.2	64.8	64.7
7 - 8	*	64.3	66.5	64.9	64.2	60.2	58.7	67.0	65.1
8 - 9	*	64.0	66.8	64.9	65.7	61.2	58.5	67.8	65.3
9 - 10	*	64.1	65.9	64.6	66.7	62.4	63.2	66.8	65.3
10 - 11	*	63.0	65.7	66.0	65.3	63.0	63.9	67.1	64.0
11 - 12	*	64.3	65.9	65.4	65.1	63.0	63.8	67.2	64.1
12 - 13	*	64.5	66.1	67.7	65.5	62.9	64.1	67.0	*
13 - 14	*	63.7	66.0	67.0	66.2	63.0	64.1	66.9	*
14 - 15	*	63.4	65.0	67.2	65.6	63.2	63.0	67.6	*
15 - 16	63.7	63.7	65.0	65.5	66.5	62.9	62.6	66.1	*
16 - 17	63.4	63.6	64.3	64.4	65.9	62.9	62.4	66.4	*
17 - 18	63.5	63.4	64.1	63.7	64.8	62.3	62.5	67.8	*
18 - 19	63.1	63.0	65.1	63.5	63.7	62.3	63.4	65.6	*
19 - 20	62.3	61.8	64.2	62.0	63.2	61.9	63.3	64.0	*
20 - 21	60.8	60.7	63.0	60.4	62.1	60.8	61.5	62.3	*
21 - 22	59.9	60.6	62.5	59.3	60.7	60.2	61.3	61.1	*
22 - 23	59.0	60.1	61.5	58.5	60.0	59.5	60.5	59.4	*
23 - 24	55.3	58.4	60.1	55.9	58.4	58.6	60.5	54.7	*
L ₀ (07 - 19)	*	63.8	65.6	65.6	65.5	62.5	62.8	67.0	*
L _E (19 - 23)	60.7	60.8	62.9	60.3	61.7	60.7	61.8	62.0	*
L _N (23 - 07)	57.4	59.3	60.2	56.5	56.6	56.7	59.9	57.9	*
L _{DEN}	*	66.7	68.0	65.9	66.1	64.9	67.0	67.3	*
06 - 22	*	63.4	65.3	64.9	64.9	62.1	62.5	66.3	*
22 - 06	55.5	57.0	59.4	54.9	56.8	56.9	58.6	55.6	*

Moyenne énergétique L _{Aeq(1h)}				
Tranches horaires	Semaine	Weekend	Sem. + Wk	
0 - 1	57.0	57.5	57.1	
1 - 2	54.0	56.1	54.6	
2 - 3	52.7	54.2	53.1	
3 - 4	53.5	54.7	53.9	
4 - 5	55.7	53.7	55.3	
5 - 6	60.0	56.8	59.4	
6 - 7	64.4	58.8	63.6	
7 - 8	65.5	59.5	64.6	
8 - 9	65.9	60.1	65.0	
9 - 10	65.7	62.8	65.1	
10 - 11	65.4	63.5	65.0	
11 - 12	65.5	63.4	65.0	
12 - 13	66.3	63.5	65.7	
13 - 14	66.1	63.6	65.5	
14 - 15	66.0	63.1	65.4	
15 - 16	65.2	62.8	64.7	
16 - 17	64.8	62.7	64.4	
17 - 18	64.9	62.4	64.4	
18 - 19	64.1	62.9	63.8	
19 - 20	63.0	62.7	62.9	
20 - 21	61.7	61.2	61.5	
21 - 22	60.8	60.8	60.8	
22 - 23	59.9	60.0	59.9	
23 - 24	57.6	59.7	58.2	
L ₀ (07 - 19)	65.5	62.7	64.9	
L _E (19 - 23)	61.5	61.3	61.4	
L _N (23 - 07)	58.7	56.9	58.3	
L _{DEN}	67.0	65.1	66.6	
06 - 22	64.9	62.3	64.4	
22 - 06	57.1	57.2	57.1	

- : contribution énergétique négligeable / non mesurable * : absence de mesure

Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg

Tranches horaires	Lundi 14/02	Mardi 15/02	Mercredi 16/02	Jeudi 17/02	Vendredi 18/02	Samedi 19/02	Dimanche 20/02	Lundi 21/02	Mardi 22/02										
0 - 1	*	40.9	43.9	51.9	41.9	47.9	47.9	52.9	42.9										
1 - 2	*	38.9	42.9	51.9	40.9	44.9	44.9	46.9	41.9										
2 - 3	*	37.9	42.9	48.9	40.9	44.9	43.9	46.9	40.9										
3 - 4	*	39.9	42.9	49.9	41.9	45.9	42.9	46.9	40.9										
4 - 5	*	42.9	43.9	50.9	42.9	44.9	40.9	46.9	43.9										
5 - 6	*	46.9	47.9	50.9	46.9	45.9	41.9	48.9	47.9										
6 - 7	*	55.9	56.9	56.9	53.9	47.9	43.9	55.9	55.9										
7 - 8	*	58.9	60.9	58.9	57.9	49.9	44.9	61.9	59.9										
8 - 9	*	58.9	60.9	59.9	59.9	52.9	47.9	62.9	60.9										
9 - 10	*	57.9	59.9	58.9	59.9	53.9	52.9	60.9	59.9										
10 - 11	*	57.9	59.9	60.9	59.9	55.9	54.9	61.9	58.9										
11 - 12	*	58.9	59.9	59.9	59.9	55.9	55.9	61.9	58.9										
12 - 13	*	57.9	60.9	60.9	59.9	55.9	55.9	61.9	*										
13 - 14	*	57.9	59.9	60.9	60.9	54.9	54.9	61.9	*										
14 - 15	*	57.9	59.9	61.9	60.9	55.9	54.9	62.9	*										
15 - 16	57.9	57.9	59.9	60.9	61.9	55.9	54.9	60.9	*										
16 - 17	57.9	57.9	58.9	59.9	59.9	55.9	54.9	60.9	*										
17 - 18	57.9	57.9	58.9	57.9	58.9	55.9	54.9	61.9	*										
18 - 19	55.9	56.9	58.9	56.9	57.9	54.9	55.9	59.9	*										
19 - 20	53.9	53.9	56.9	54.9	55.9	52.9	53.9	56.9	*										
20 - 21	51.9	50.9	54.9	50.9	54.9	52.9	52.9	52.9	*										
21 - 22	49.9	50.9	54.9	48.9	51.9	50.9	52.9	50.9	*										
22 - 23	46.9	46.9	52.9	47.9	49.9	48.9	52.9	48.9	*										
23 - 24	42.9	44.9	51.9	44.9	48.9	49.9	51.9	44.9	*										
07 - 19	*	58.1	59.9	59.8	59.8	54.8	53.6	61.7	*										
19 - 23	50.7	50.7	54.9	50.7	53.4	51.4	53.2	52.4	*										
23 - 07	43.3	45.8	51.7	44.3	46.4	44.5	49.7	44.9	*										
06 - 22	*	56.5	58.5	58.2	58.2	53.6	52.2	59.7	*										
22 - 06	42.2	44.5	51.2	43.5	46.7	45.2	49.3	44.0	*										

- : contribution énergétique négligeable / non mesurable

* : absence de mesure

Moyenne arithmétique $L_{Aeq}(1h)$

Tranches horaires	Semaine	Weekend	Sem. + Wk
0 - 1	45.7	47.9	46.3
1 - 2	43.9	44.9	44.2
2 - 3	43.1	44.4	43.4
3 - 4	43.7	44.4	43.9
4 - 5	45.2	42.9	44.7
5 - 6	48.2	43.9	47.2
6 - 7	55.9	45.9	53.4
7 - 8	59.7	47.4	56.7
8 - 9	60.6	50.4	58.0
9 - 10	59.6	53.4	58.0
10 - 11	59.9	55.4	58.8
11 - 12	59.9	55.9	58.9
12 - 13	60.3	55.9	59.0
13 - 14	60.3	54.9	58.8
14 - 15	60.7	55.4	59.2
15 - 16	59.9	55.4	58.8
16 - 17	59.2	55.4	58.3
17 - 18	58.9	55.4	58.0
18 - 19	57.7	55.4	57.2
19 - 20	55.6	53.4	55.0
20 - 21	52.7	52.9	52.8
21 - 22	51.2	51.9	51.4
22 - 23	48.9	50.9	49.4
23 - 24	46.4	50.9	47.5
07 - 19	59.7	54.2	58.3
19 - 23	52.1	52.3	52.2
23 - 07	46.5	45.7	46.3
06 - 22	58.3	53.4	57.0
22 - 06	45.7	46.3	45.8

Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg

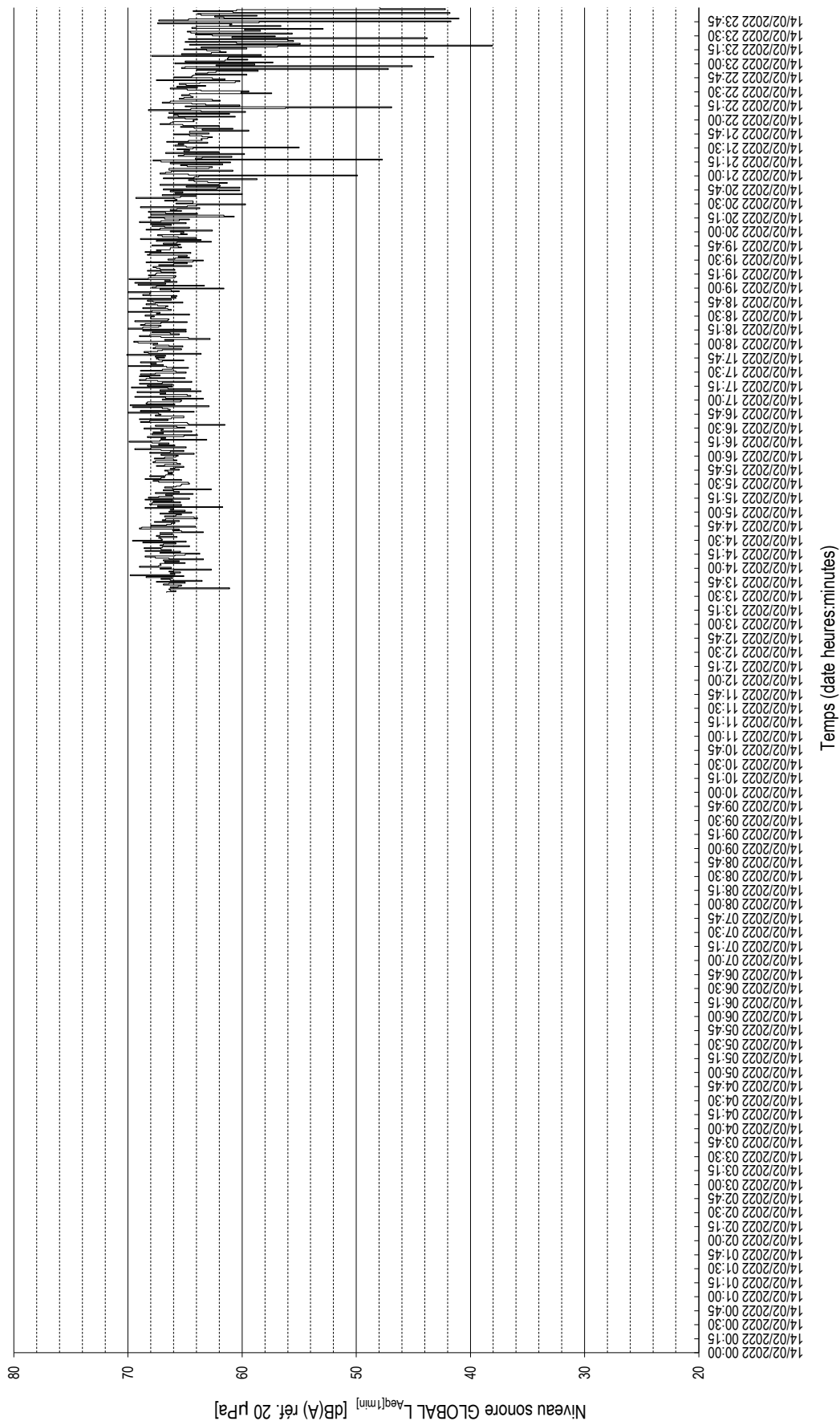
Tranches horaires	Moyenne arithmétique $L_{A10}(1h)$							Sem. + Wk
	Lundi 14/02	Mardi 15/02	Mercredi 16/02	Jeudi 17/02	Vendredi 18/02	Samedi 19/02	Dimanche 20/02	
0 - 1	*	58.9	58.9	61.9	57.9	59.9	62.9	60.3
1 - 2	*	53.9	51.9	61.9	52.9	58.9	59.9	56.2
2 - 3	*	45.9	49.9	59.9	47.9	56.9	56.9	52.9
3 - 4	*	50.9	48.9	60.9	47.9	56.9	58.9	53.9
4 - 5	*	56.9	56.9	63.9	52.9	55.9	56.9	57.3
5 - 6	*	63.9	64.9	64.9	62.9	61.9	60.9	63.5
6 - 7	*	66.9	68.9	66.9	65.9	63.9	63.9	66.5
7 - 8	*	66.9	69.9	67.9	66.9	63.9	62.9	66.8
8 - 9	*	66.9	68.9	66.9	67.9	64.9	62.9	67.0
9 - 10	*	66.9	67.9	66.9	69.9	65.9	66.9	67.8
10 - 11	*	65.9	68.9	68.9	67.9	65.9	67.9	67.8
11 - 12	*	66.9	68.9	67.9	67.9	65.9	66.9	67.7
12 - 13	*	66.9	68.9	70.9	67.9	65.9	67.9	68.3
13 - 14	*	65.9	68.9	69.9	68.9	65.9	67.9	68.0
14 - 15	*	65.9	67.9	69.9	67.9	65.9	66.9	67.8
15 - 16	65.9	65.9	67.9	67.9	68.9	65.9	65.9	67.2
16 - 17	65.9	65.9	66.9	66.9	68.9	65.9	65.9	66.9
17 - 18	65.9	65.9	66.9	65.9	67.9	65.9	65.9	66.9
18 - 19	65.9	65.9	67.9	66.9	66.9	65.9	66.9	66.8
19 - 20	65.9	64.9	66.9	64.9	65.9	65.9	66.9	66.0
20 - 21	63.9	64.9	66.9	63.9	64.9	64.9	65.9	65.2
21 - 22	63.9	63.9	65.9	62.9	64.9	63.9	64.9	64.4
22 - 23	62.9	64.9	64.9	62.9	63.9	63.9	63.9	63.9
23 - 24	59.9	62.9	63.9	59.9	61.9	62.9	63.9	61.8
→ → → → → → → → →								
07 - 19	*	66.3	68.3	68.1	68.2	65.7	66.2	67.4
19 - 23	64.2	64.7	66.2	63.7	64.9	64.7	65.4	64.9
23 - 07	57.2	57.9	63.0	56.0	59.5	60.4	61.8	59.0
→ → → → → → → → →								
06 - 22	*	66.0	68.0	67.3	67.3	65.3	66.8	66.9
22 - 06	56.7	57.4	62.8	55.7	59.5	60.4	60.1	58.7

- : contribution énergétique négligeable / non mesurable * : absence de mesure

7.2.3 Résultats des mesures sous forme graphique des niveaux $L_{Aeq, 1min}$, points 4 à 6.

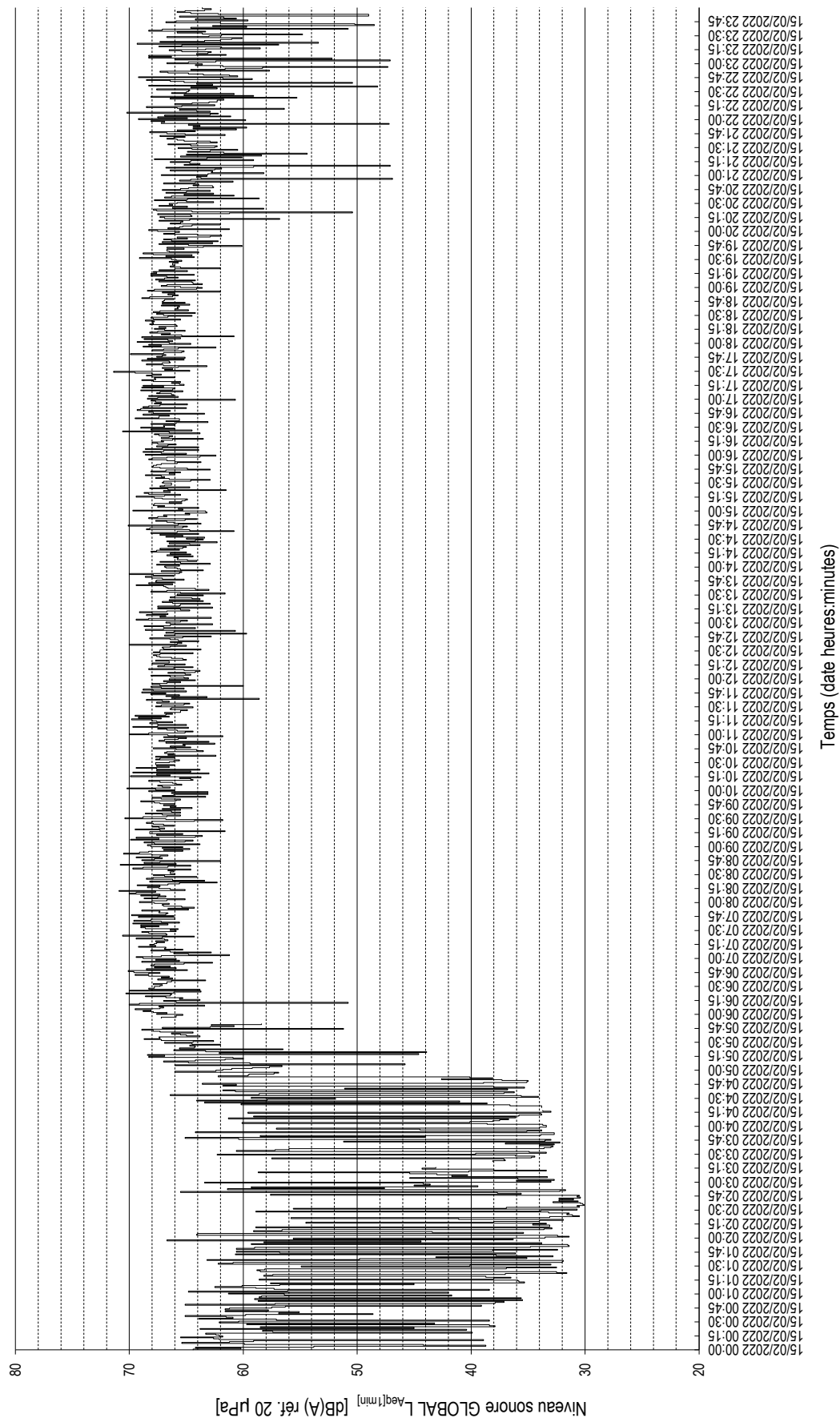
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Ar'lon, 1140 Luxembourg



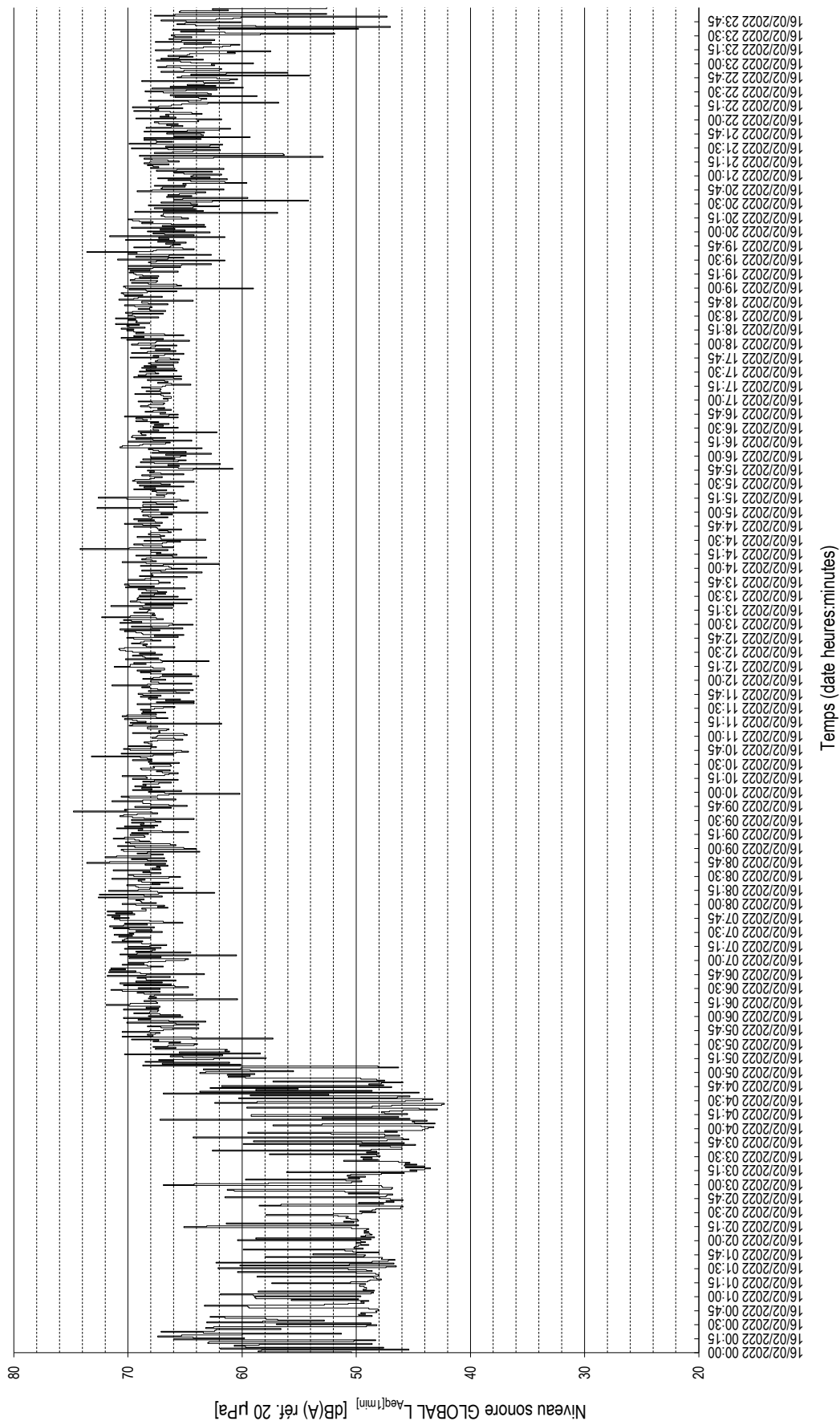
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arion, 1140 Luxembourg



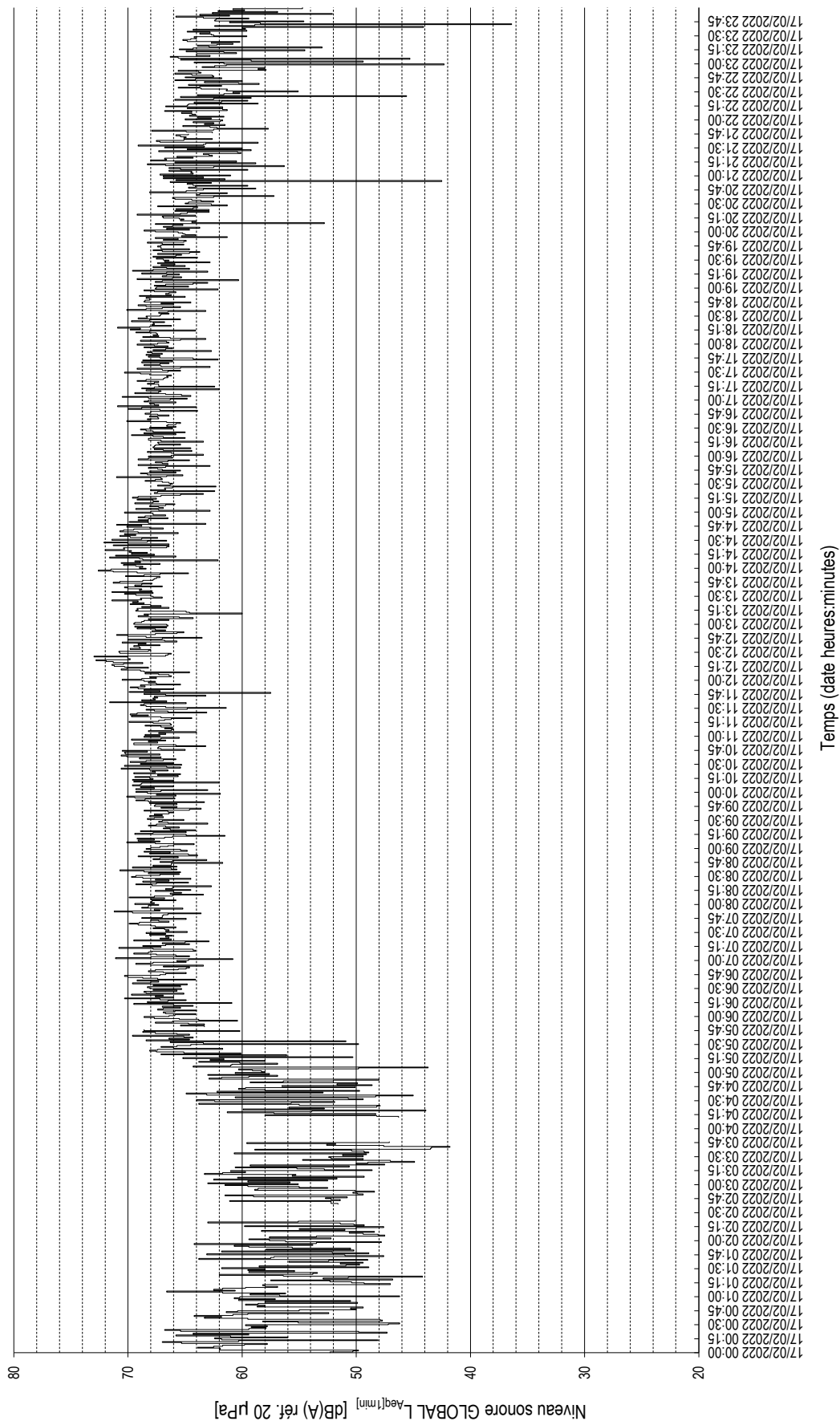
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Ar'lon, 1140 Luxembourg



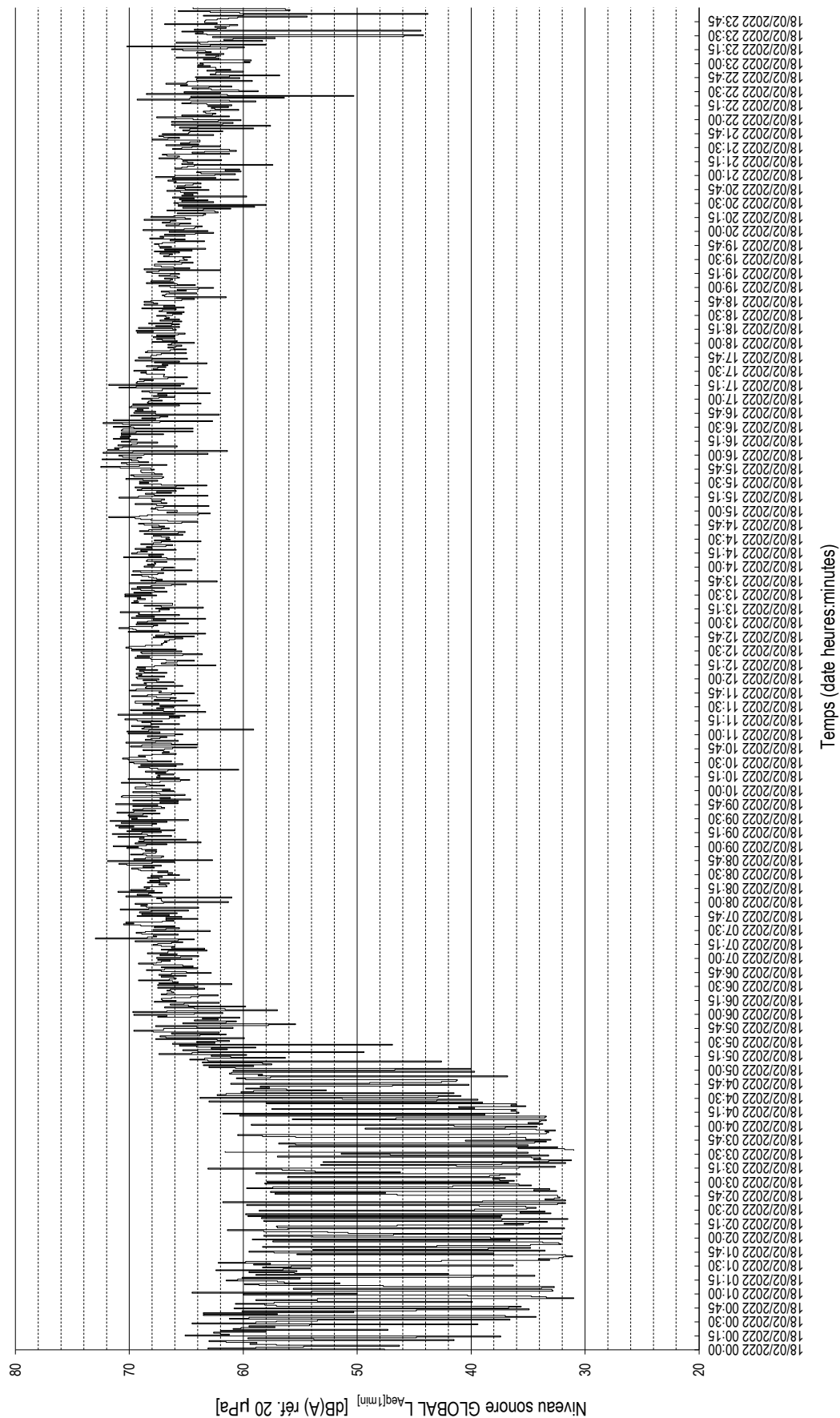
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Ar'lon, 1140 Luxembourg



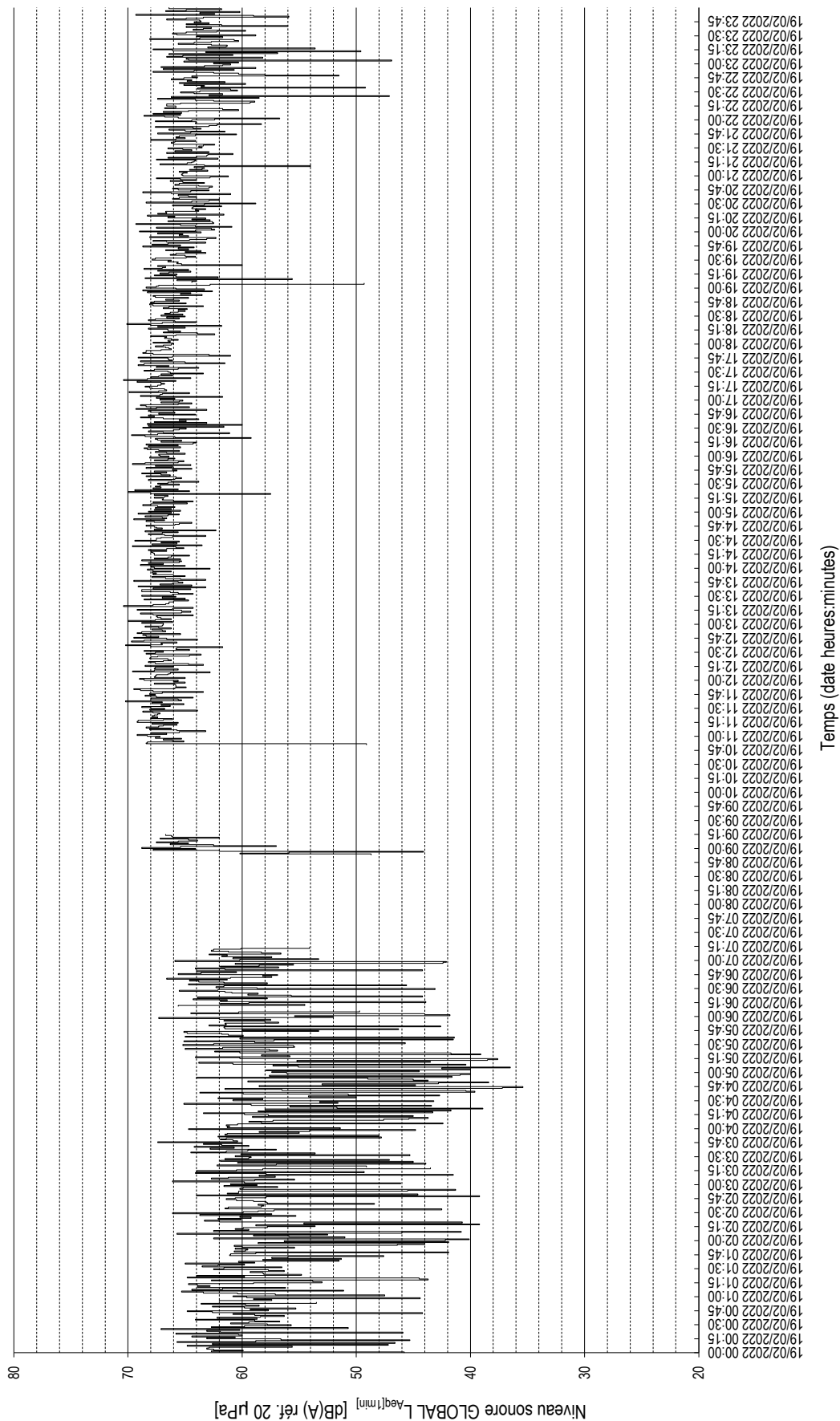
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Ar'lon, 1140 Luxembourg



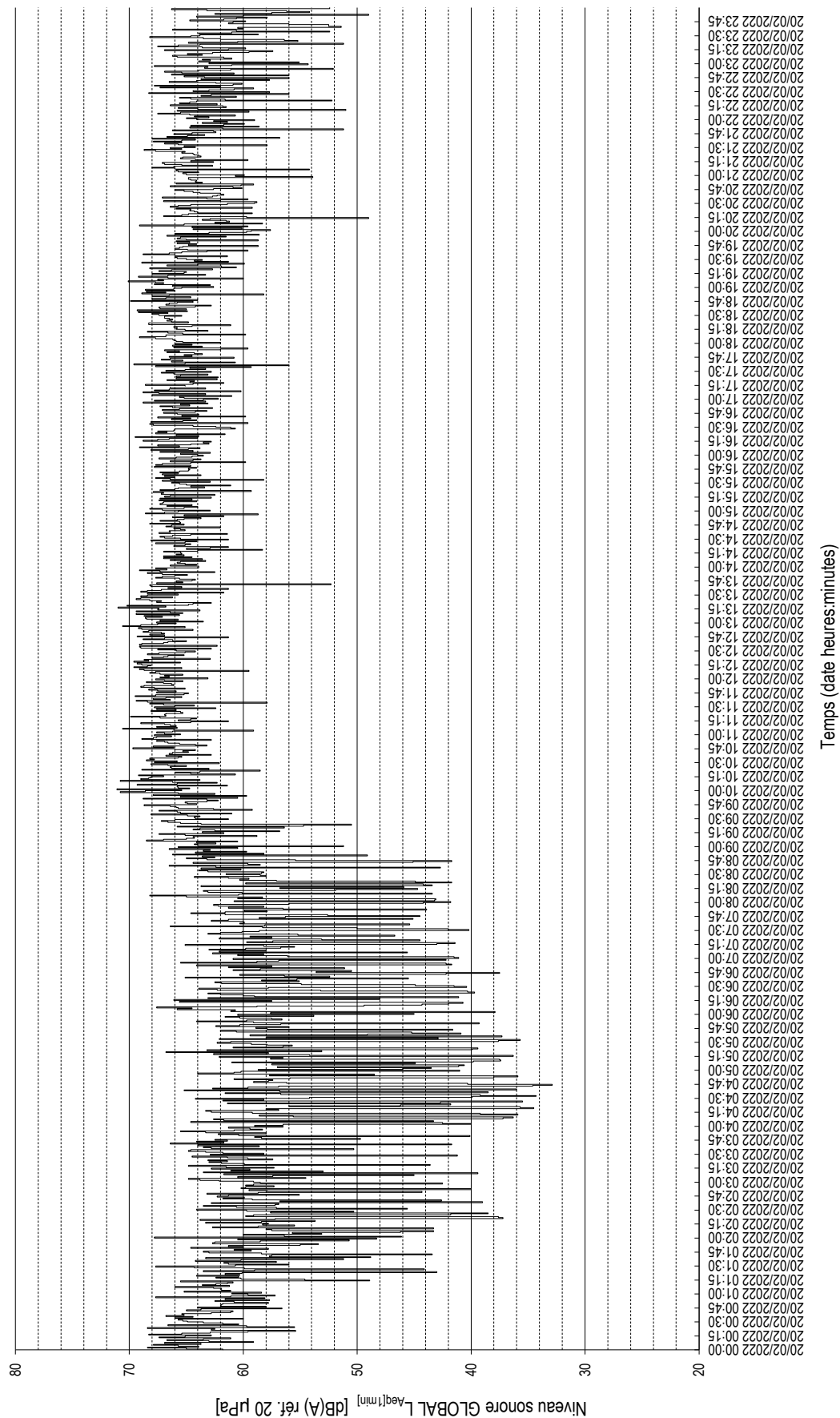
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Ar'lon, 1140 Luxembourg



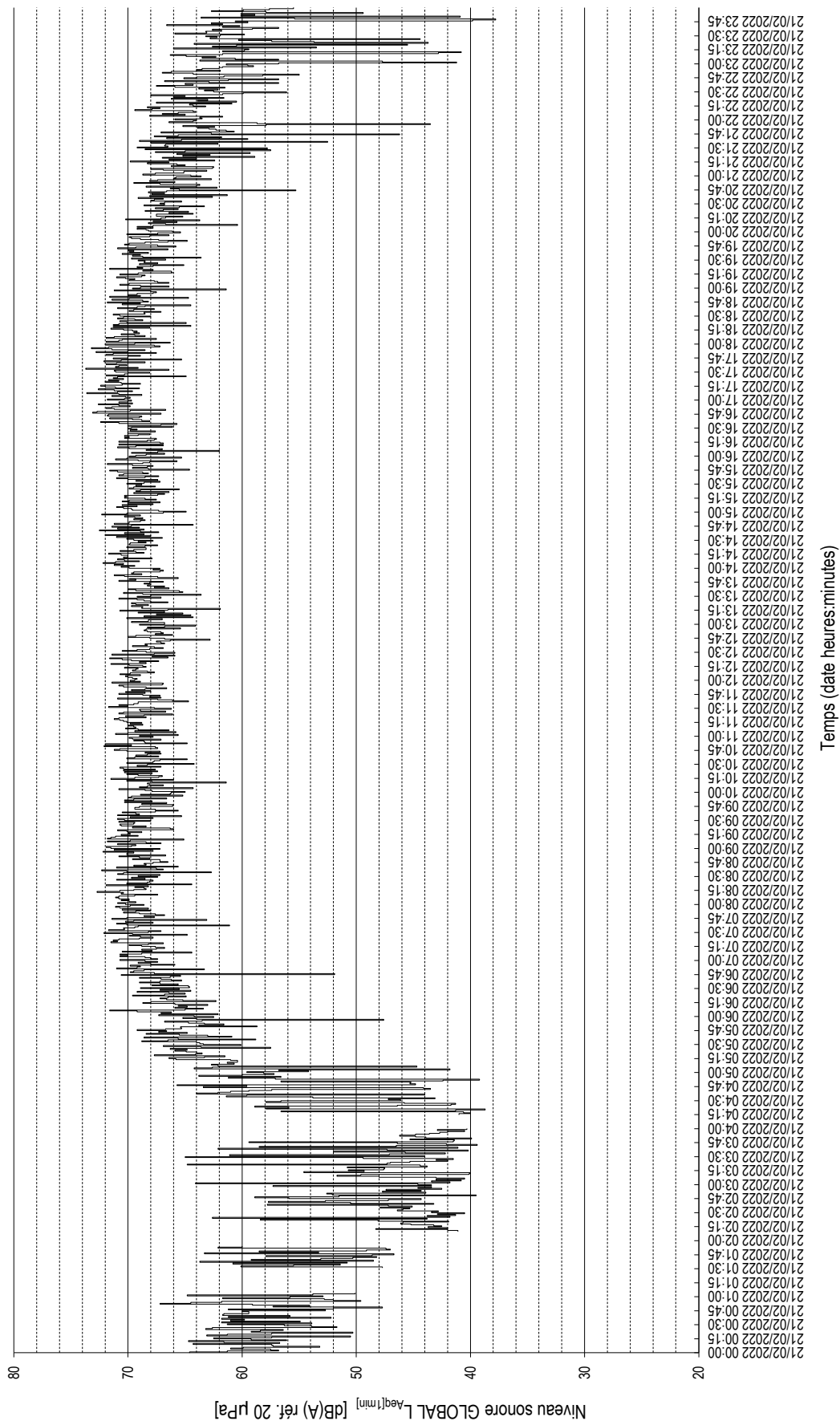
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Ar'lon, 1140 Luxembourg



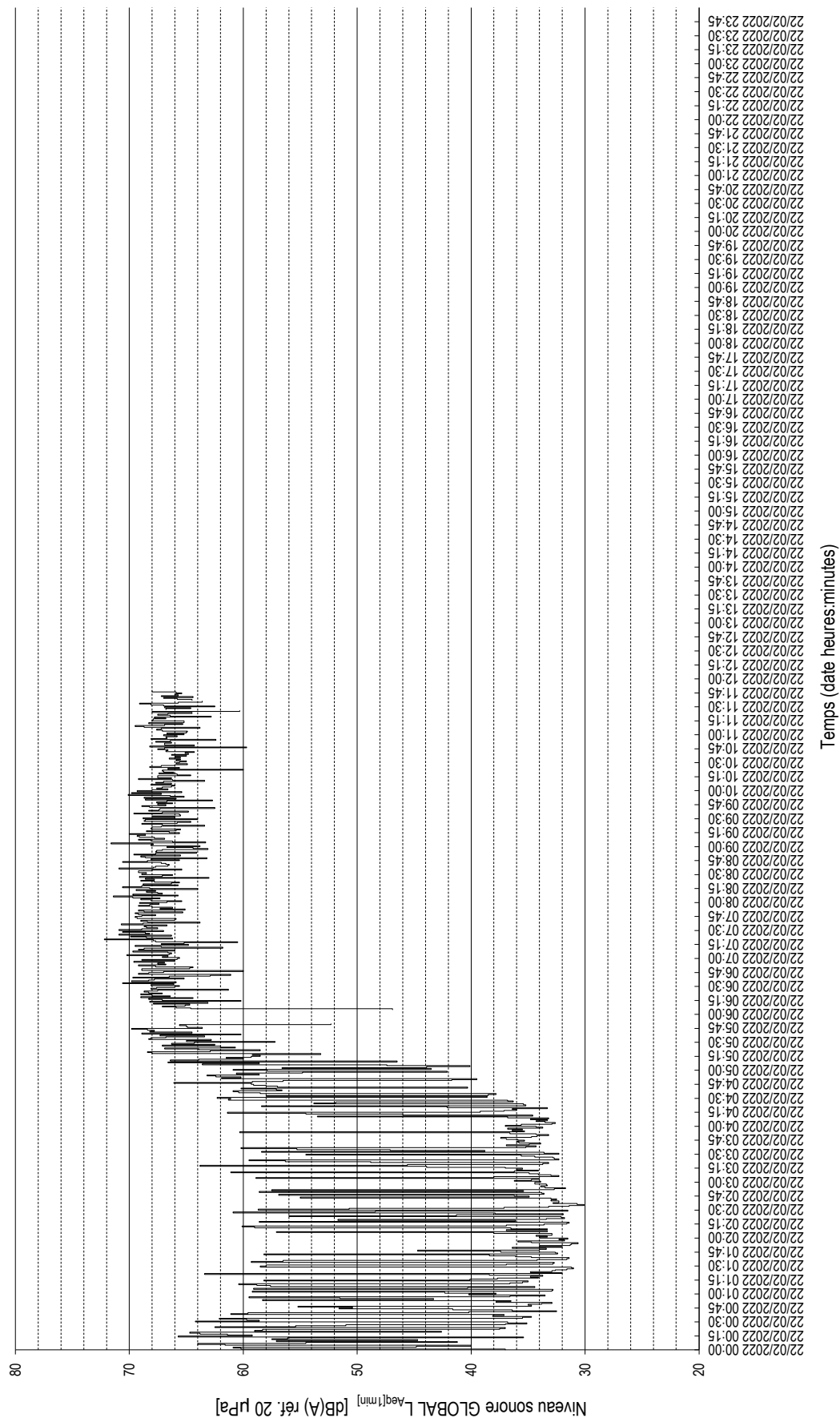
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Ar'lon, 1140 Luxembourg



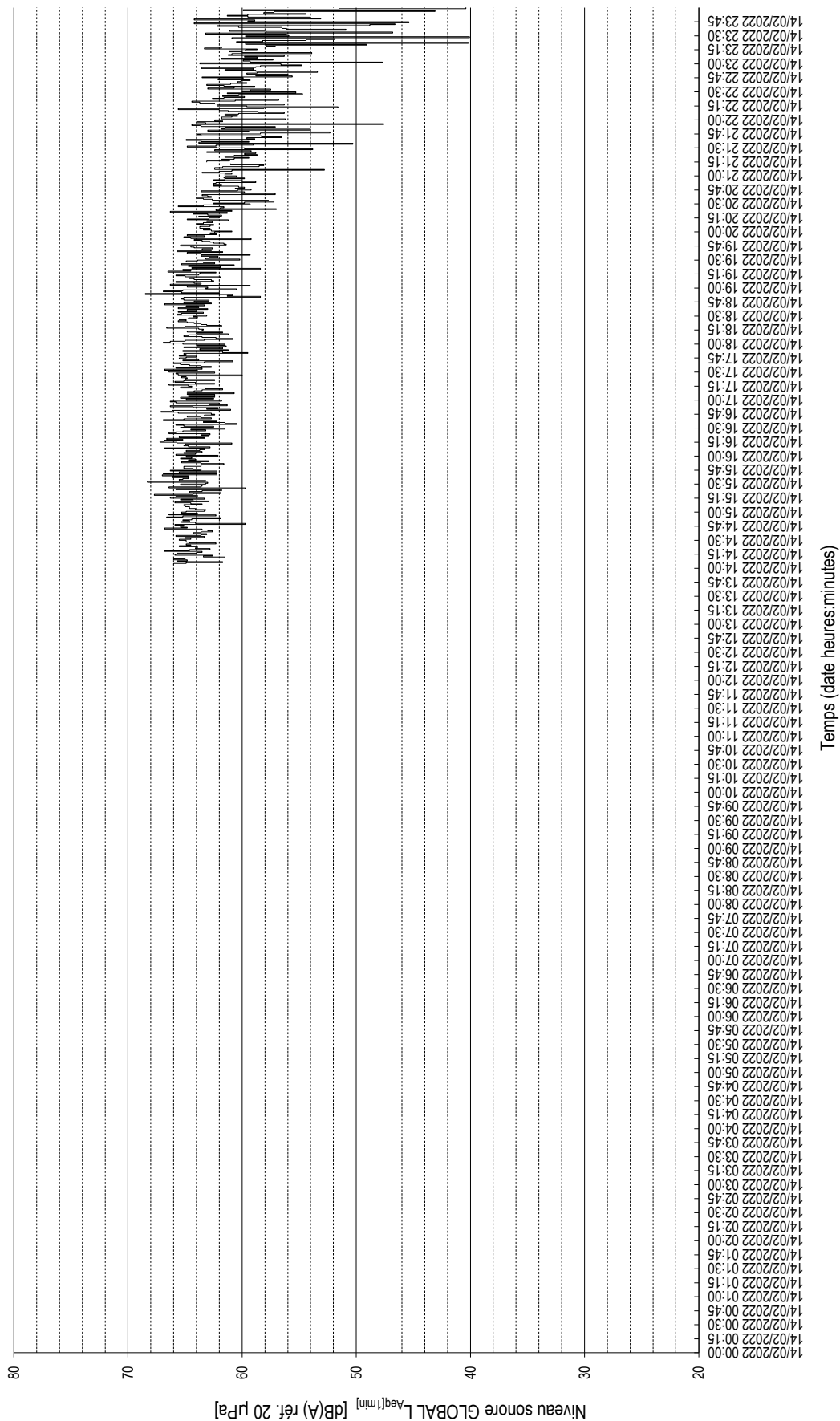
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arion, 1140 Luxembourg



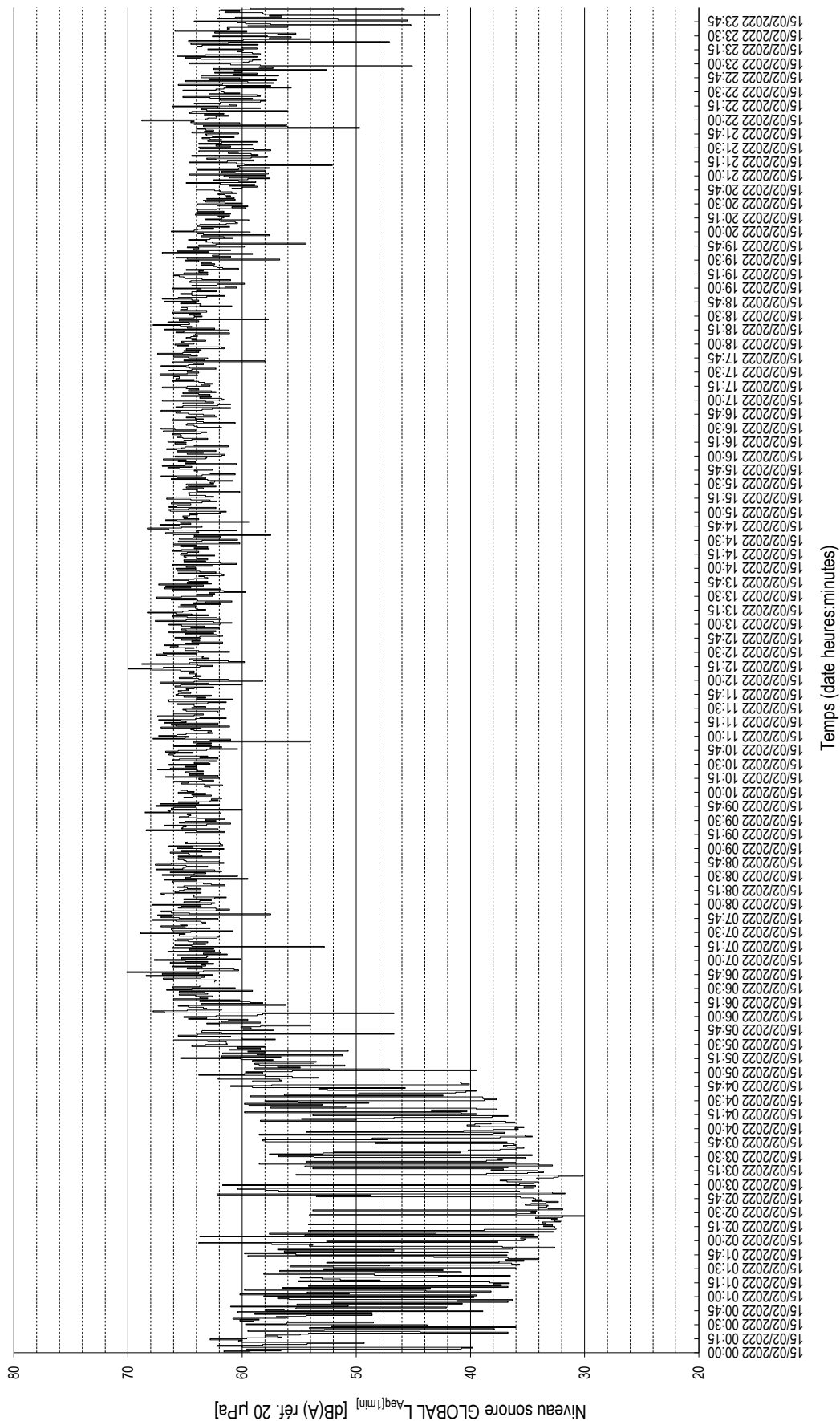
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



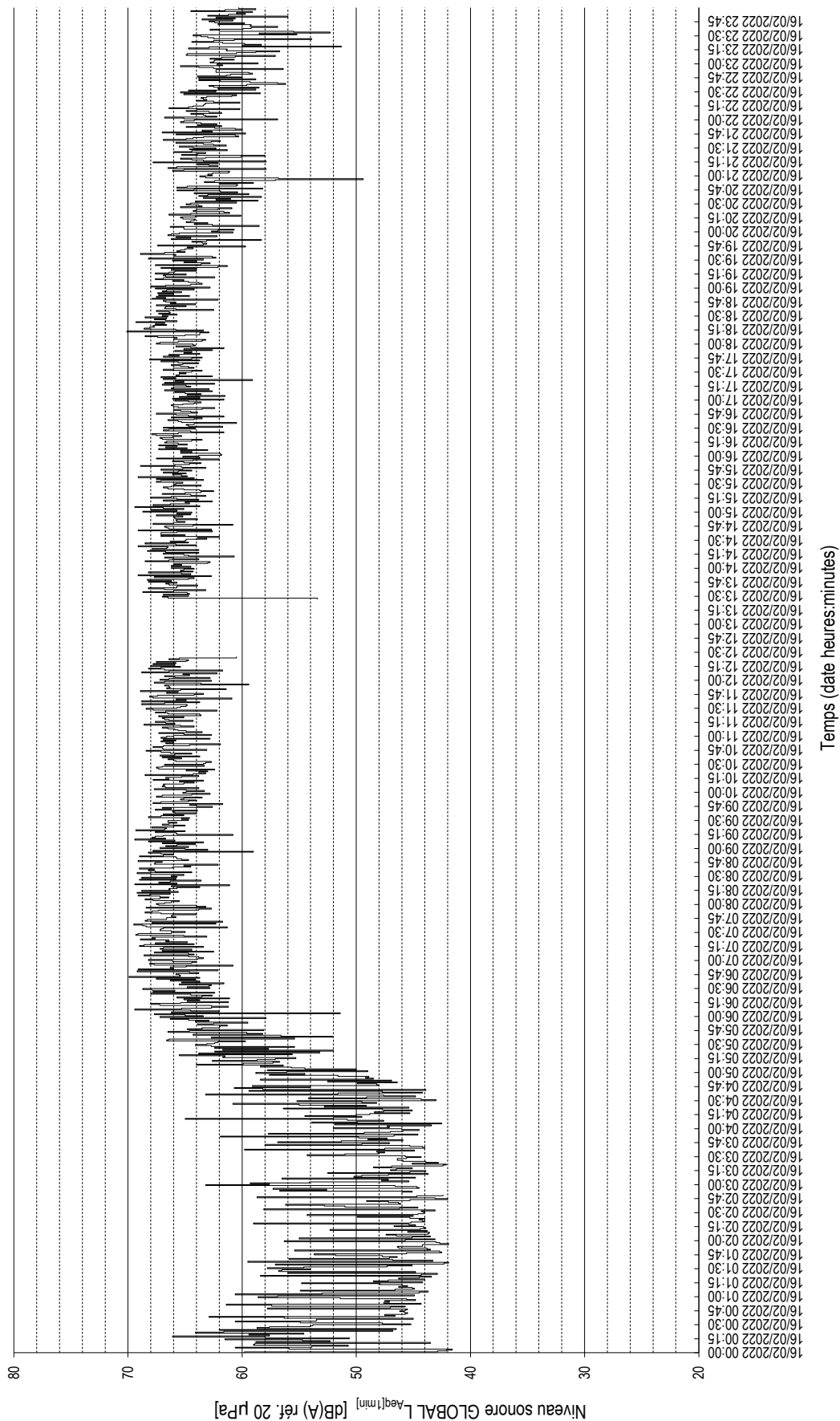
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



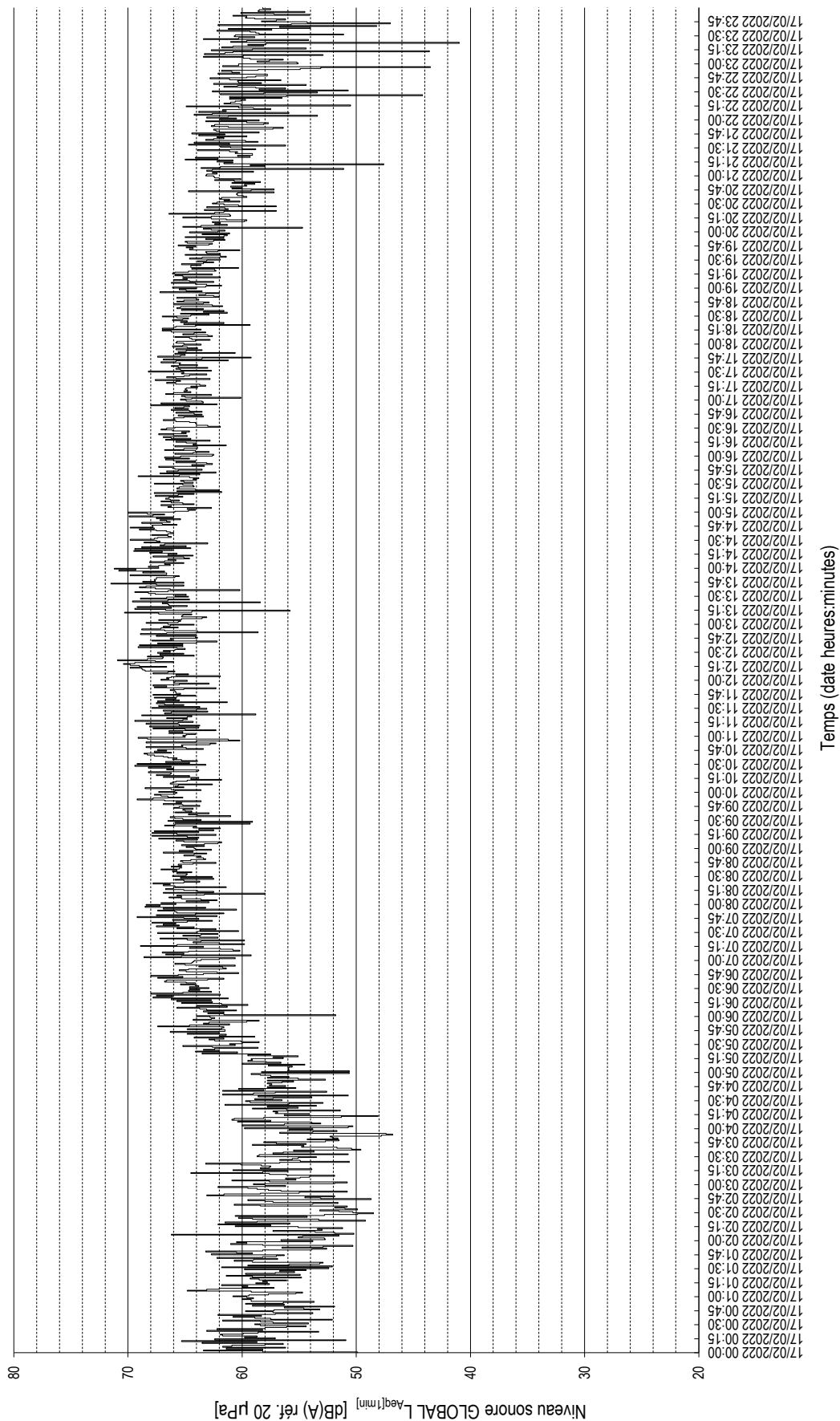
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



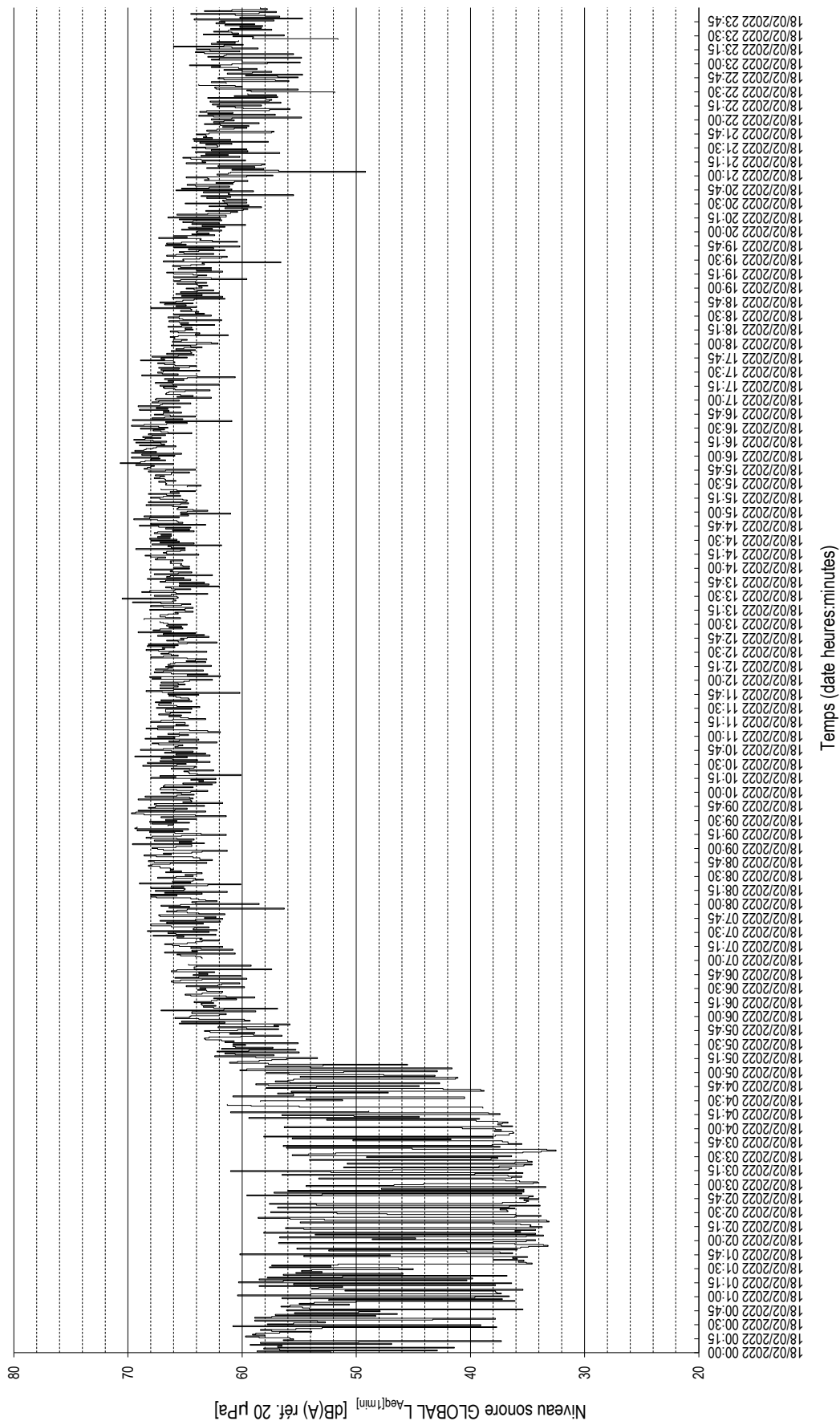
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



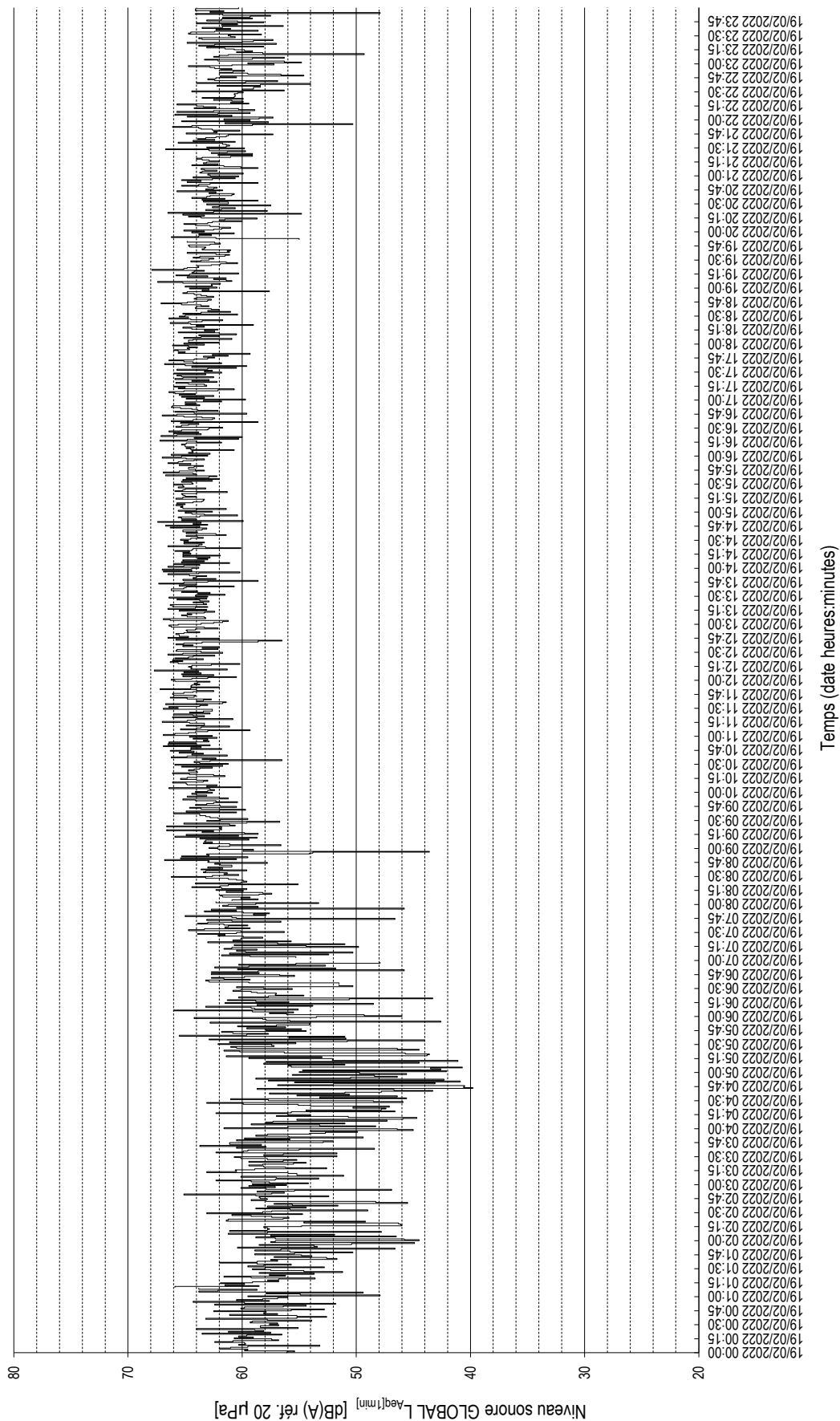
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



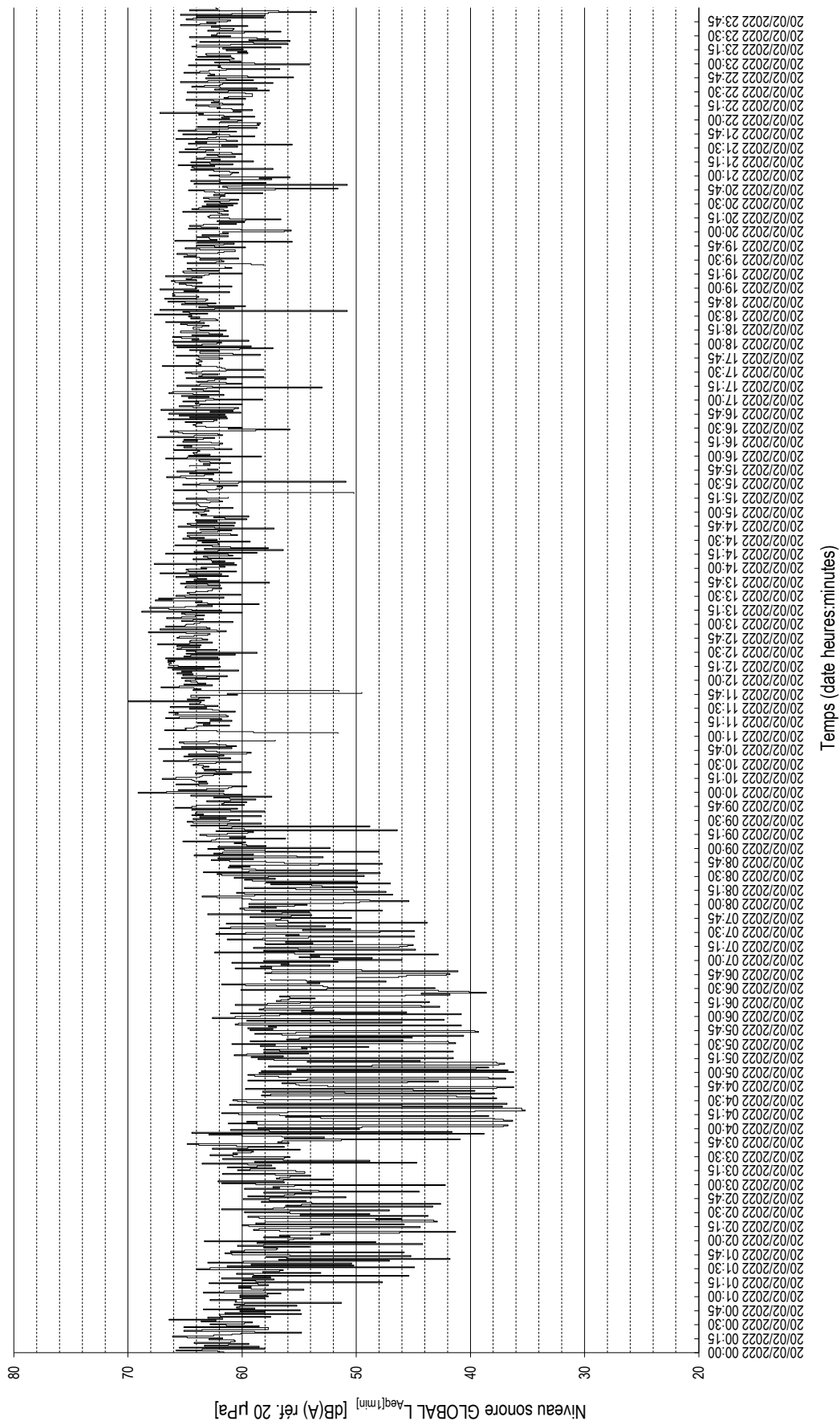
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



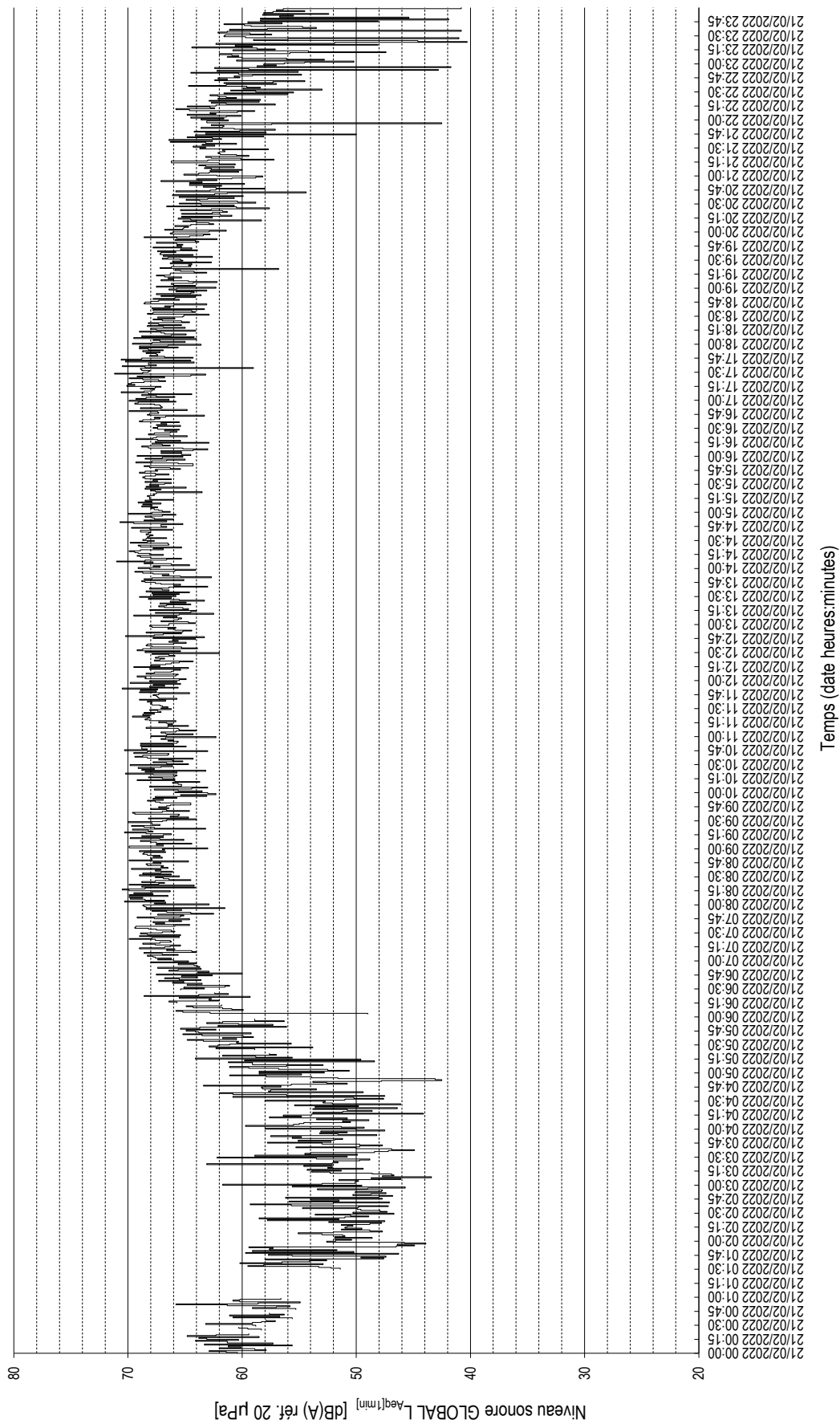
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



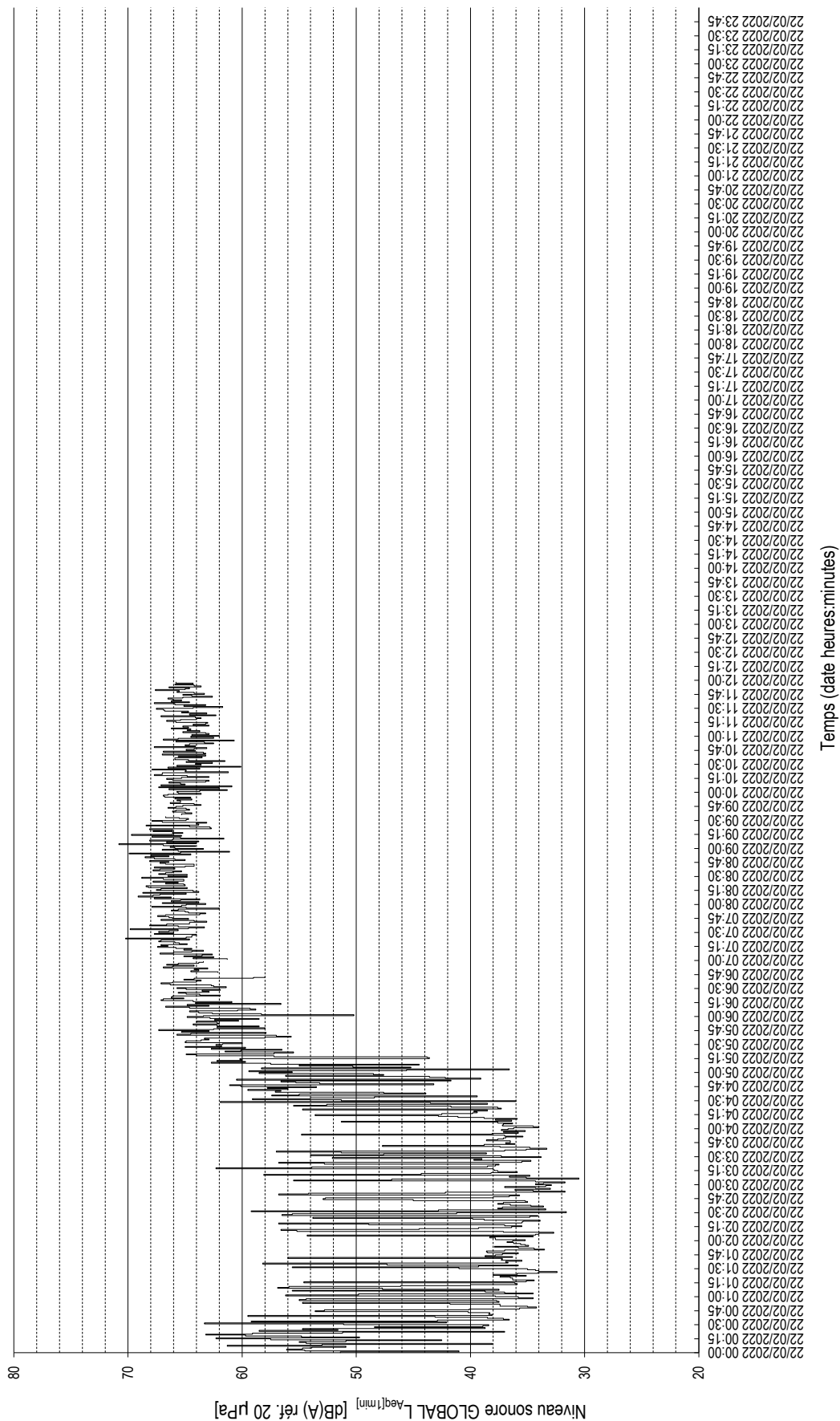
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



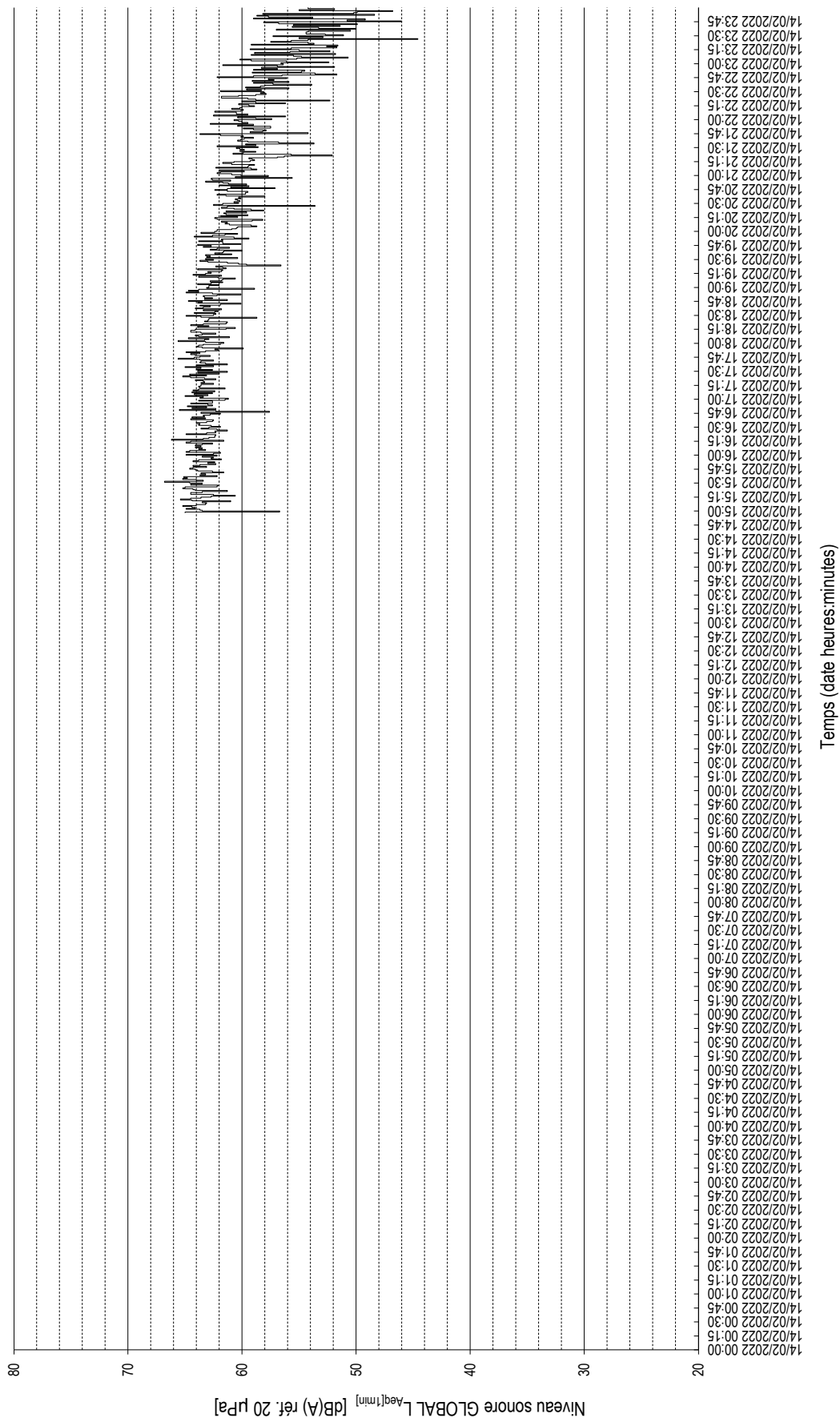
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 5 - 2 Rue des Foyers, 1537 Luxembourg



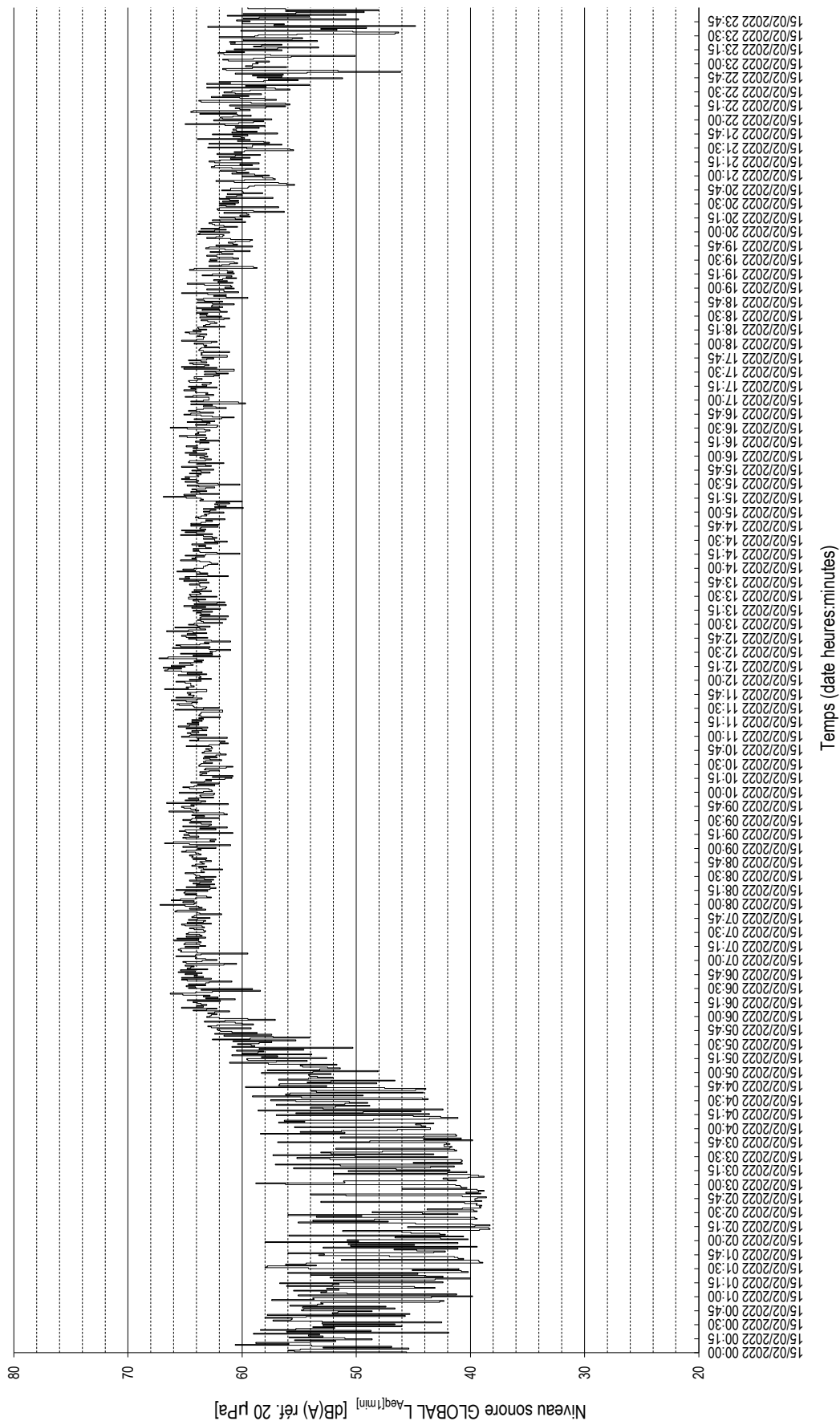
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



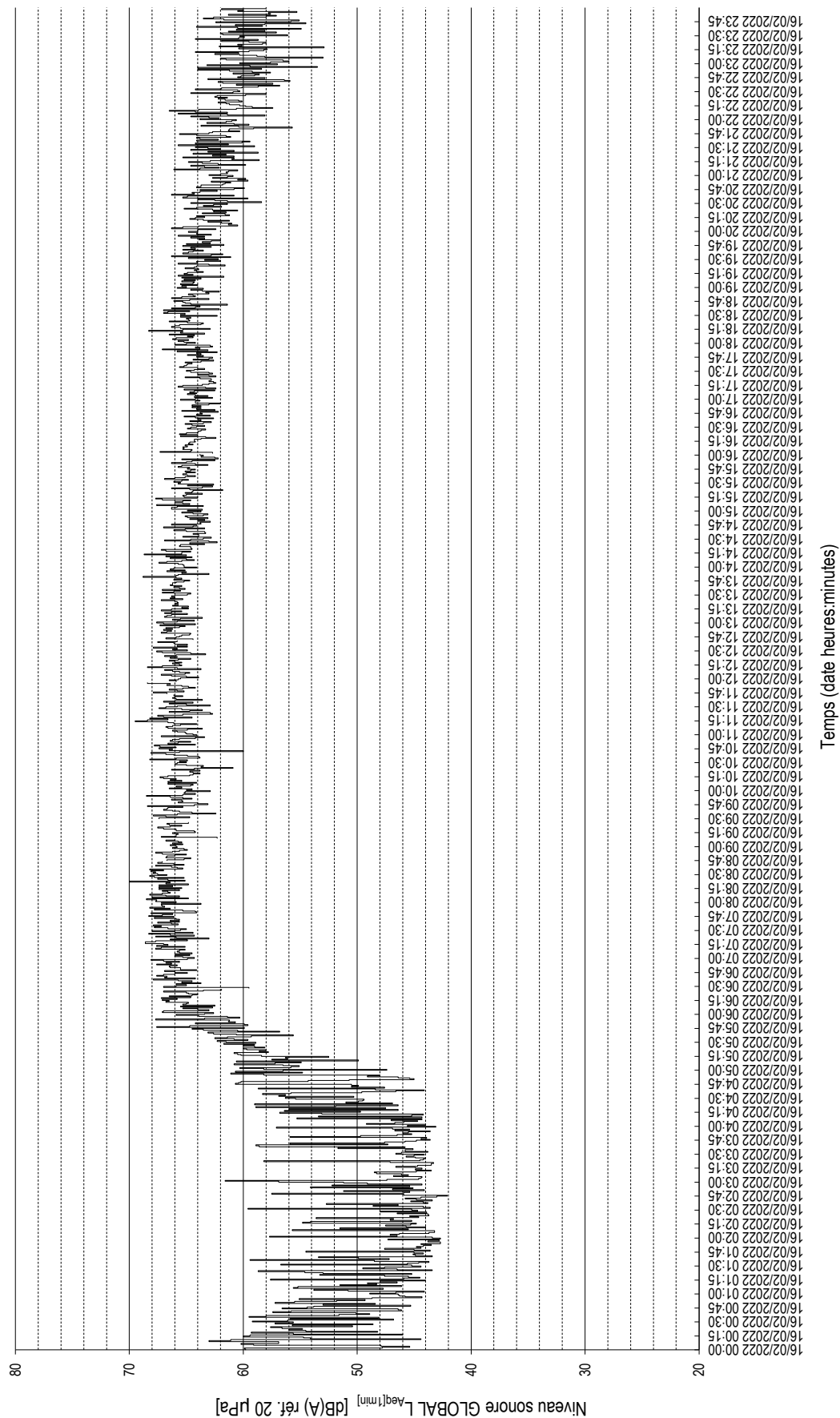
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



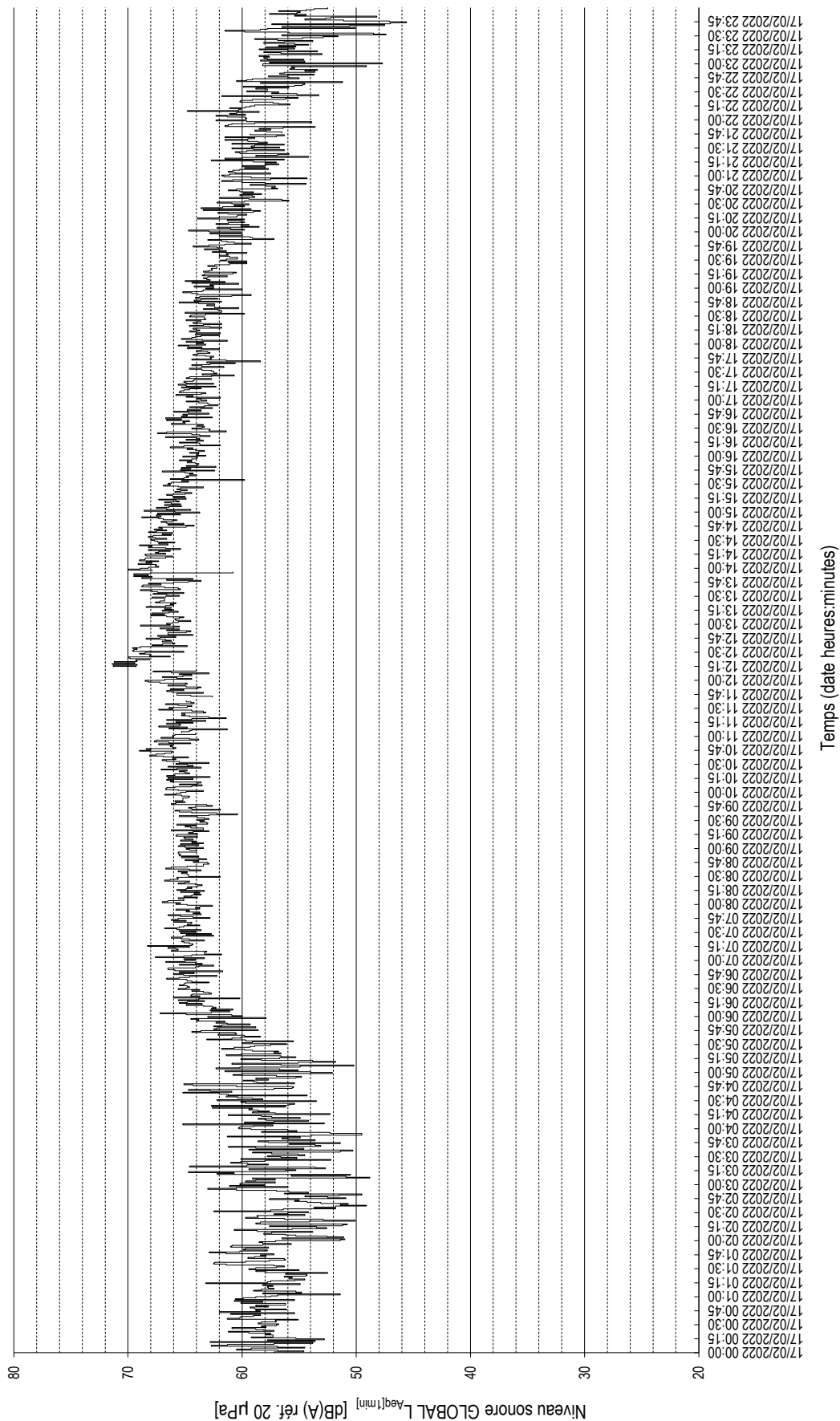
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



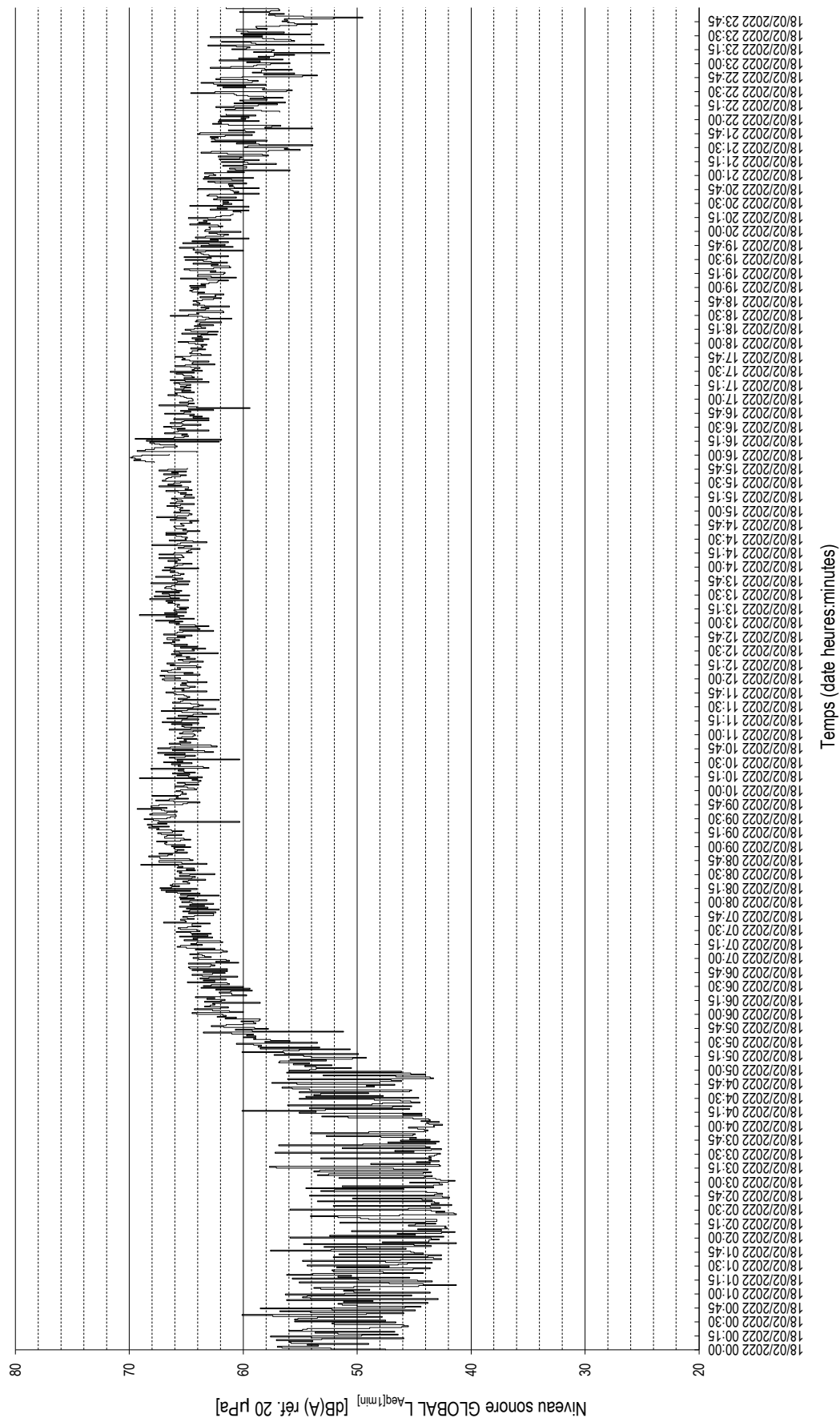
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



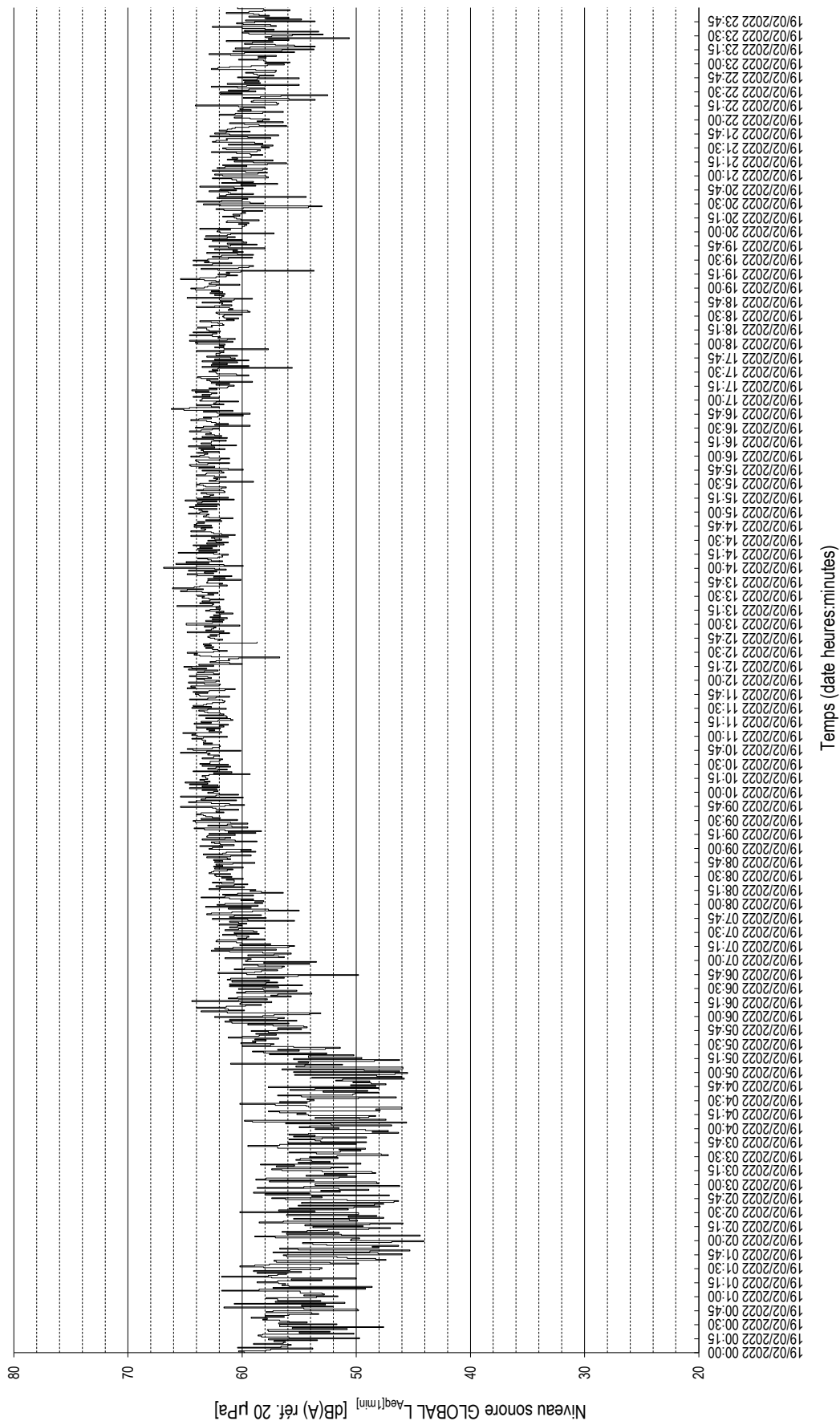
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



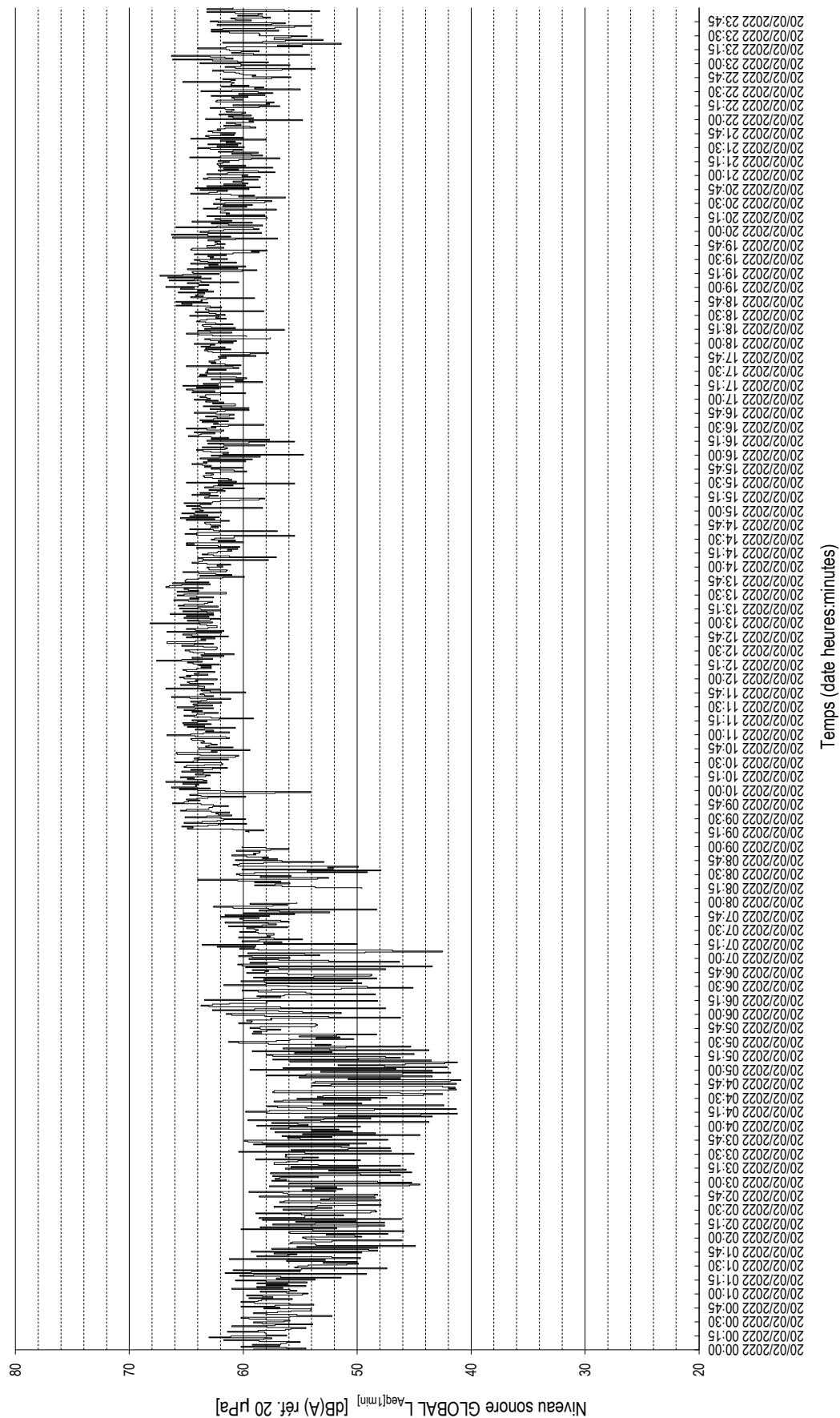
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



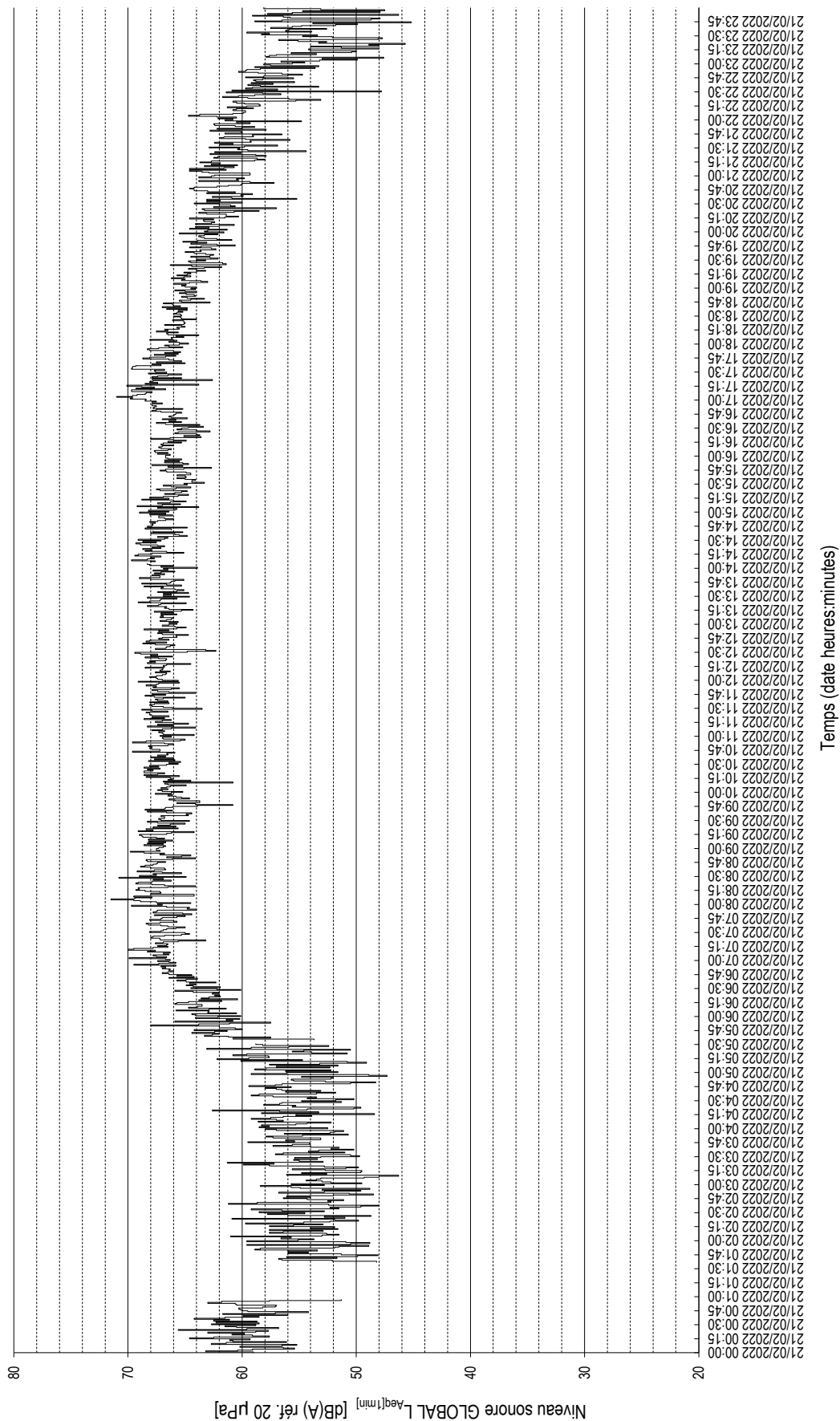
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



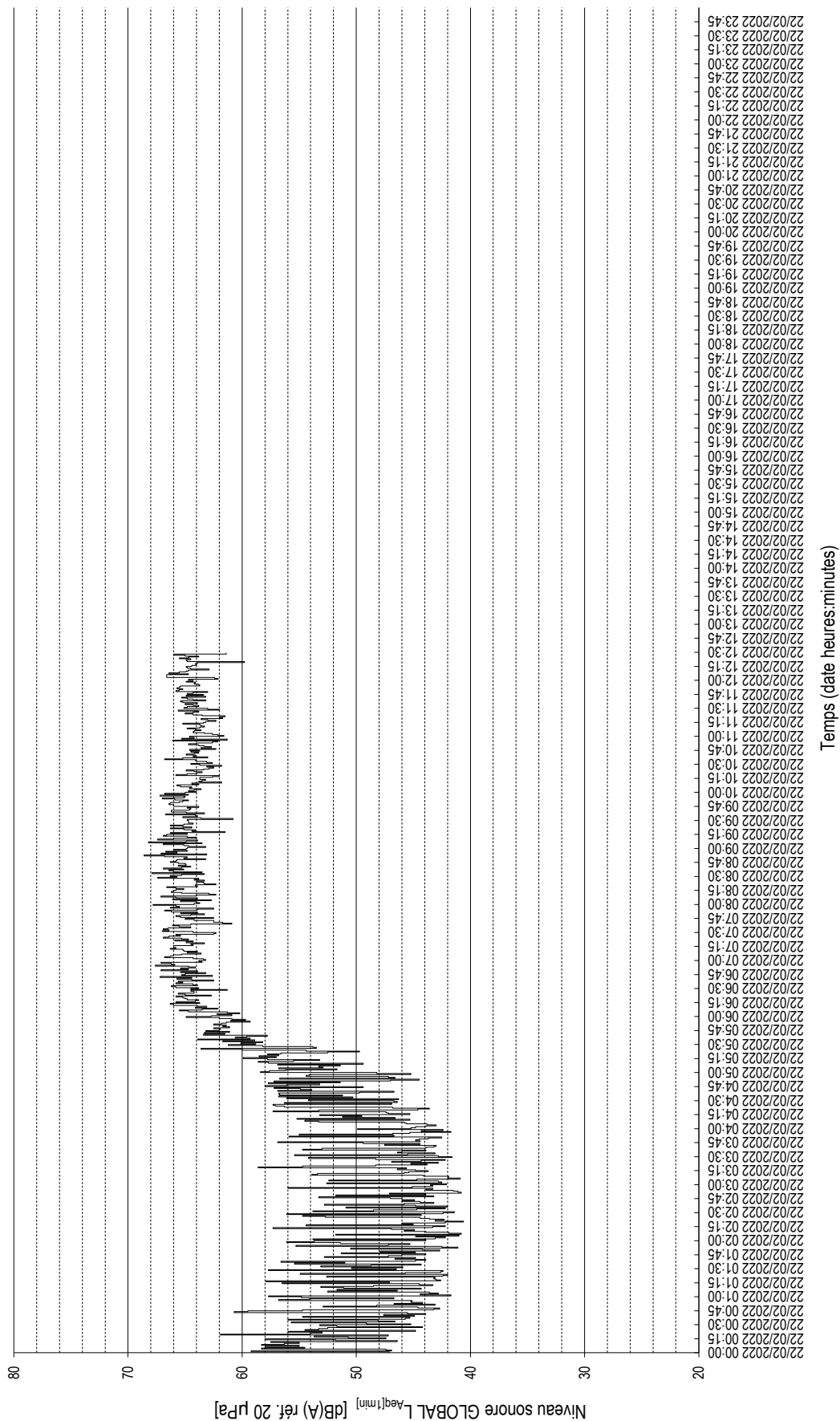
Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg



Relevés sonométriques du 14/02/2022 au 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg

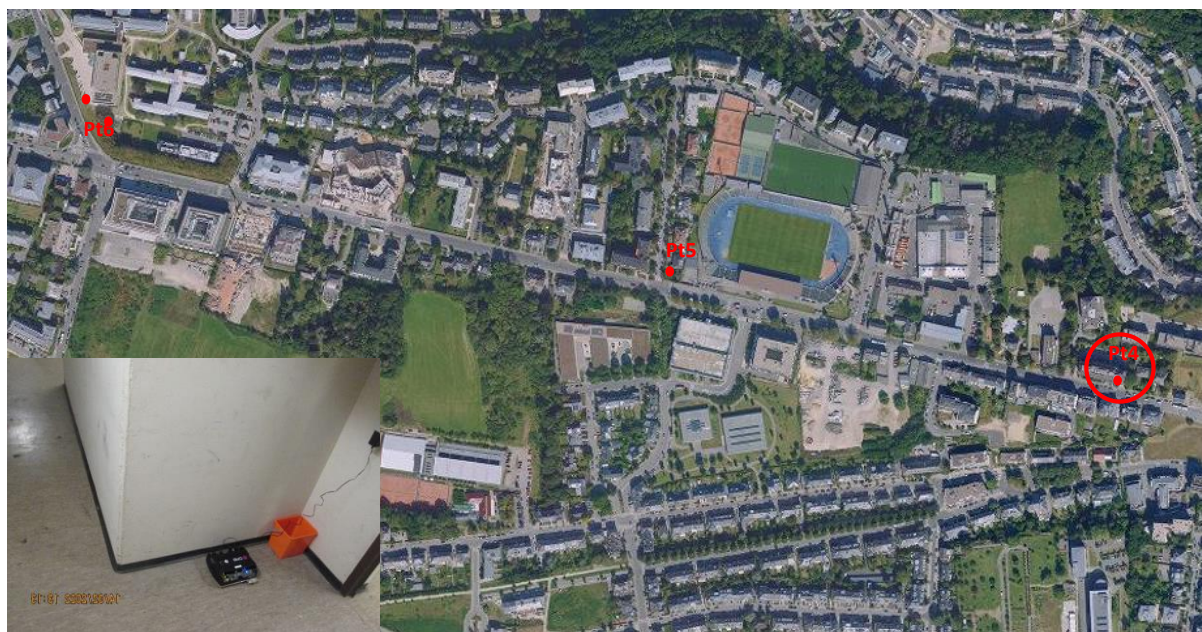


7.3 Campagne de mesures vibratoire longue durée

7.3.1 Fiches descriptives des conditions de mesures, points 4 et 6.

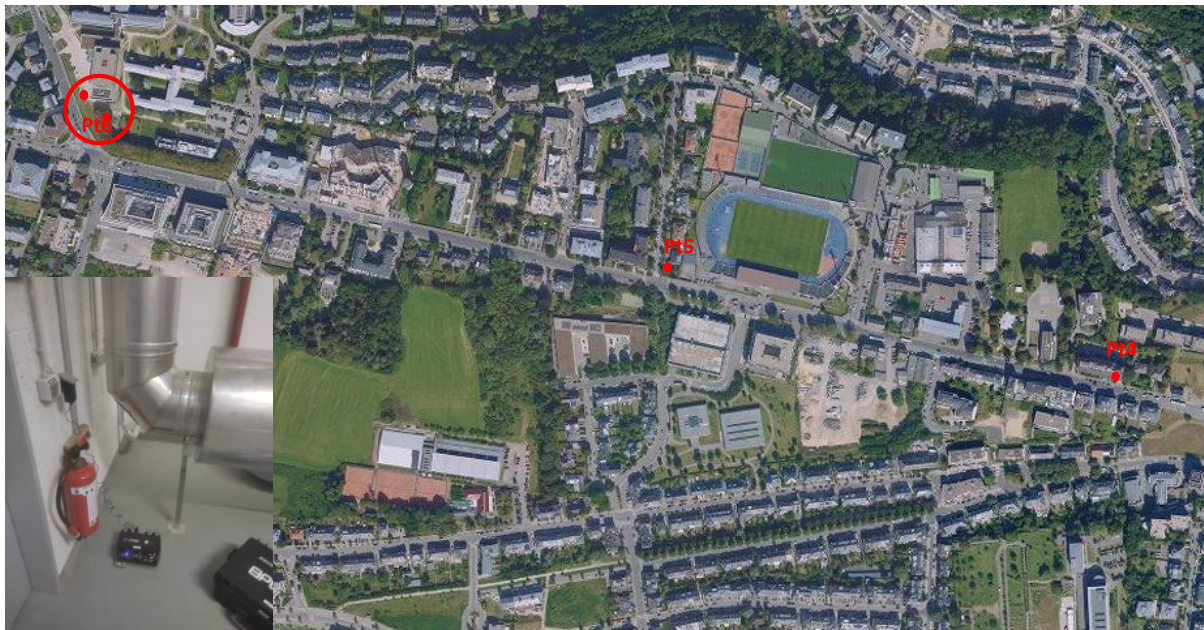
Point de mesure 4 : Vibrations

<u>Adresse</u>	26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg
<u>Coordonnées GPS :</u>	X = 76187 Y = 75495
<u>Capteur :</u>	Cave R-1
<u>Capteur vibratoire :</u>	<p>ORI04 : 01dB ORION Smart Vibration Monitoring Terminal Classe 1 DIN 45669-1 [#10292] avec antenne wifi, modem 3G et connecteur RJ45.</p> <p>Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3 / mesures suivant les normes / réglementations DIN4150-2, DIN4150-3, BS 5228-2 (BS 7385-2), BS5228-4, Arrête du 22/09/1994 et Circulaire du 23/07/1986.</p> <p>Capacité de mémoire étendue sur carte SD 2 Go. Sept voies de mesures disponibles, 3 voies X, Y et Z sur accéléromètres internes (500 mV/g) [#00137], 3 voies X, Y et Z pour capteur externe (accéléromètre ou vélocimètre IEPE) et 1 voie pression acoustique pour mesure explosion.</p> <p>L'ensemble est conditionné dans un boîtier résistant et étanche.</p>
<u>Calibration :</u> <u>Avant</u> <u>Après</u>	- dB - dB
<u>Début de mesure :</u>	14 février 2022 13h14
<u>Fin de mesure :</u>	22 février 2022 11h39



Point de mesure 6 : Vibrations

<u>Adresse</u>	2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg
<u>Coordonnées GPS :</u>	X = 74950 Y = 75844
<u>Capteur :</u>	Cave R-1
<u>Capteur vibratoire :</u>	<p>ORI05 : 01dB ORION Smart Vibration Monitoring Terminal Classe 1 DIN 45669-1 [#10296] avec antenne wifi, modem 3G et connecteur RJ45.</p> <p>Analyseur fréquentiel temps réel, bandes d'octave 1/1 et 1/3 / mesures suivant les normes / réglementations DIN4150-2, DIN4150-3, BS 5228-2 (BS 7385-2), BS5228-4, Arrête du 22/09/1994 et Circulaire du 23/07/1986.</p> <p>Capacité de mémoire étendue sur carte SD 2 Go. Sept voies de mesures disponibles, 3 voies X, Y et Z sur accéléromètres internes (500 mV/g) [#00124], 3 voies X, Y et Z pour capteur externe (accéléromètre ou vélocimètre IEPE) et 1 voie pression acoustique pour mesure explosion.</p> <p>L'ensemble est conditionné dans un boîtier résistant et étanche.</p>
<u>Calibration :</u> <u>Avant</u> <u>Après</u>	- dB - dB
<u>Début de mesure :</u>	14 février 2022 14h36
<u>Fin de mesure :</u>	22 février 2022 12h20



7.3.2 Résultats des mesures suivant la DIN4150-2

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)
Analyse vibratoire suivante la norme DIN 4150-2

KB _{Fmax, 1H} [06-22H ≤ 3.0 (=A ₀) ; 22-06H ≤ 0.2 (=A ₀)]																		
Tranches horaires	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Lundi	Mardi									
	14/02	15/02	16/02	17/02	18/02	19/02	20/02	21/02	22/02									
0 - 1	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01									
1 - 2	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01									
2 - 3	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01									
3 - 4	*	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01									
4 - 5	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01									
5 - 6	*	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01									
6 - 7	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01									
7 - 8	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.02									
8 - 9	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01									
9 - 10	*	0.02	0.01	0.01	0.01	0.09	0.01	0.02	0.03									
10 - 11	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01									
11 - 12	*	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
12 - 13	*	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	*									
13 - 14	*	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
14 - 15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
15 - 16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
16 - 17	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
17 - 18	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
18 - 19	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	*									
19 - 20	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
20 - 21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
21 - 22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
22 - 23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
23 - 24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	*									
KB _{FTr, période} [06-22H ≤ 0.07 (=A ₀) ; 22-06H ≤ 0.05 (=A ₀)]																		
06 - 22	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*									
22 - 06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*									

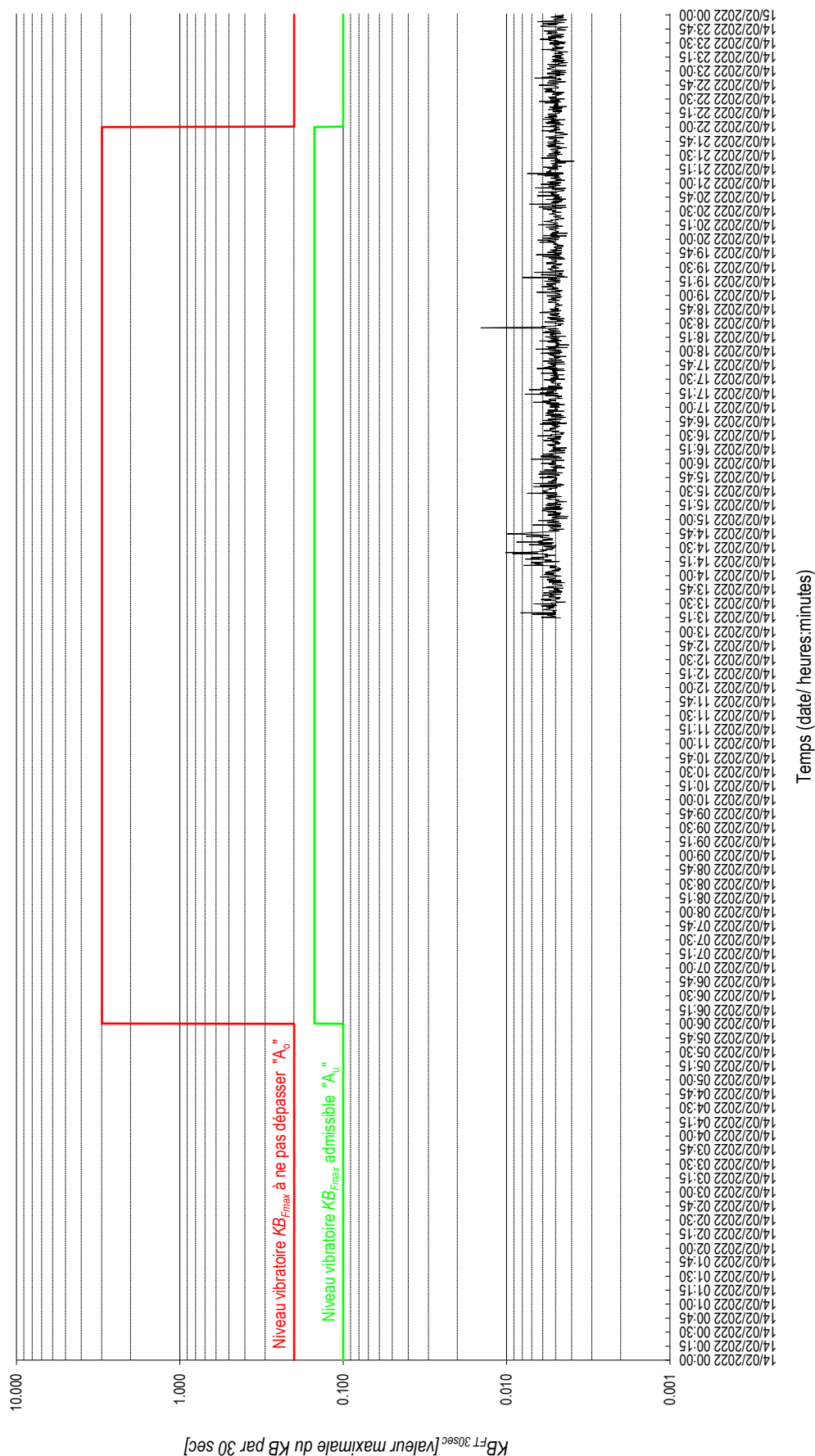
- : contribution énergétique négligeable / non mesurable

* : absence de mesure

GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

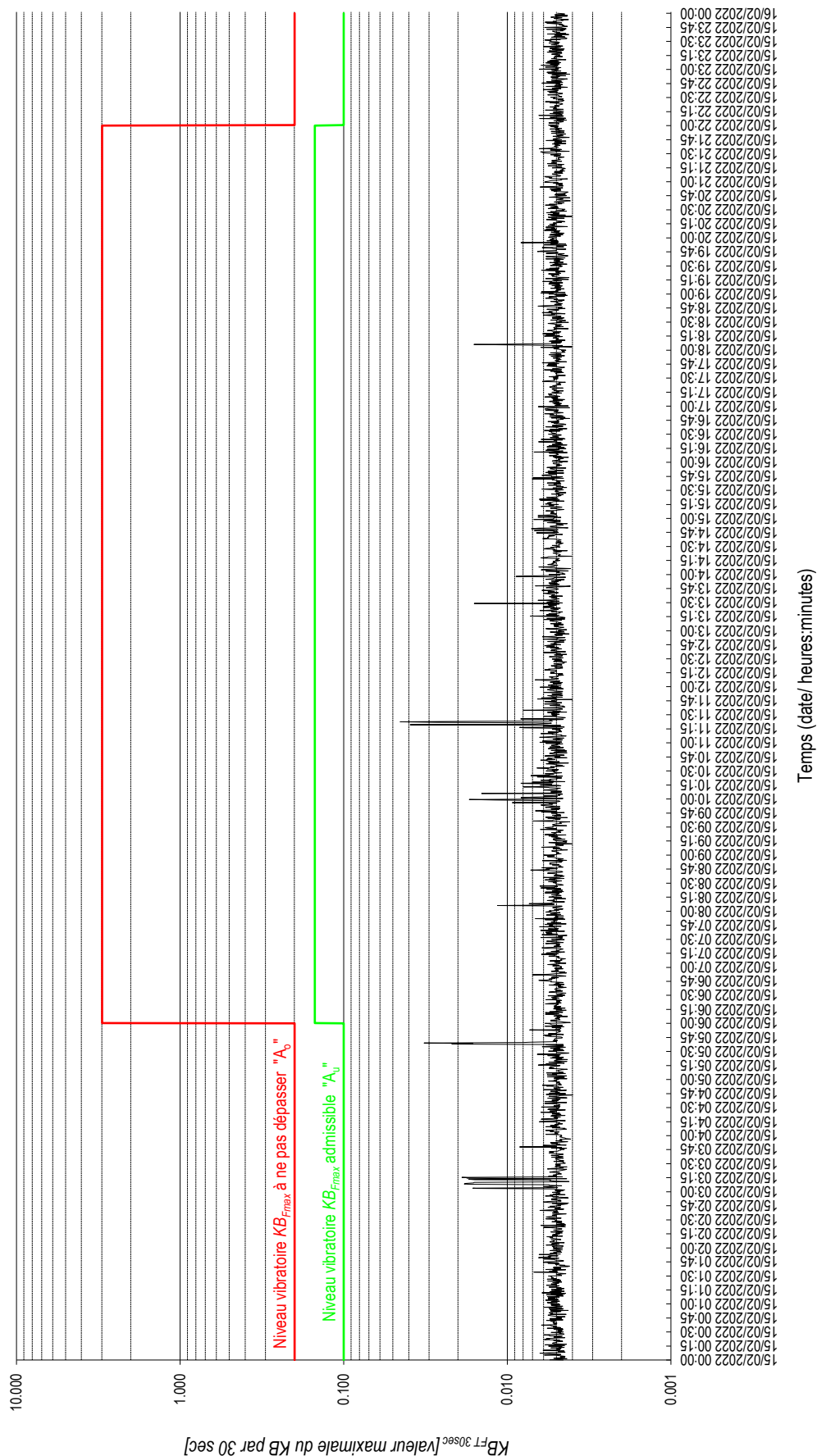
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

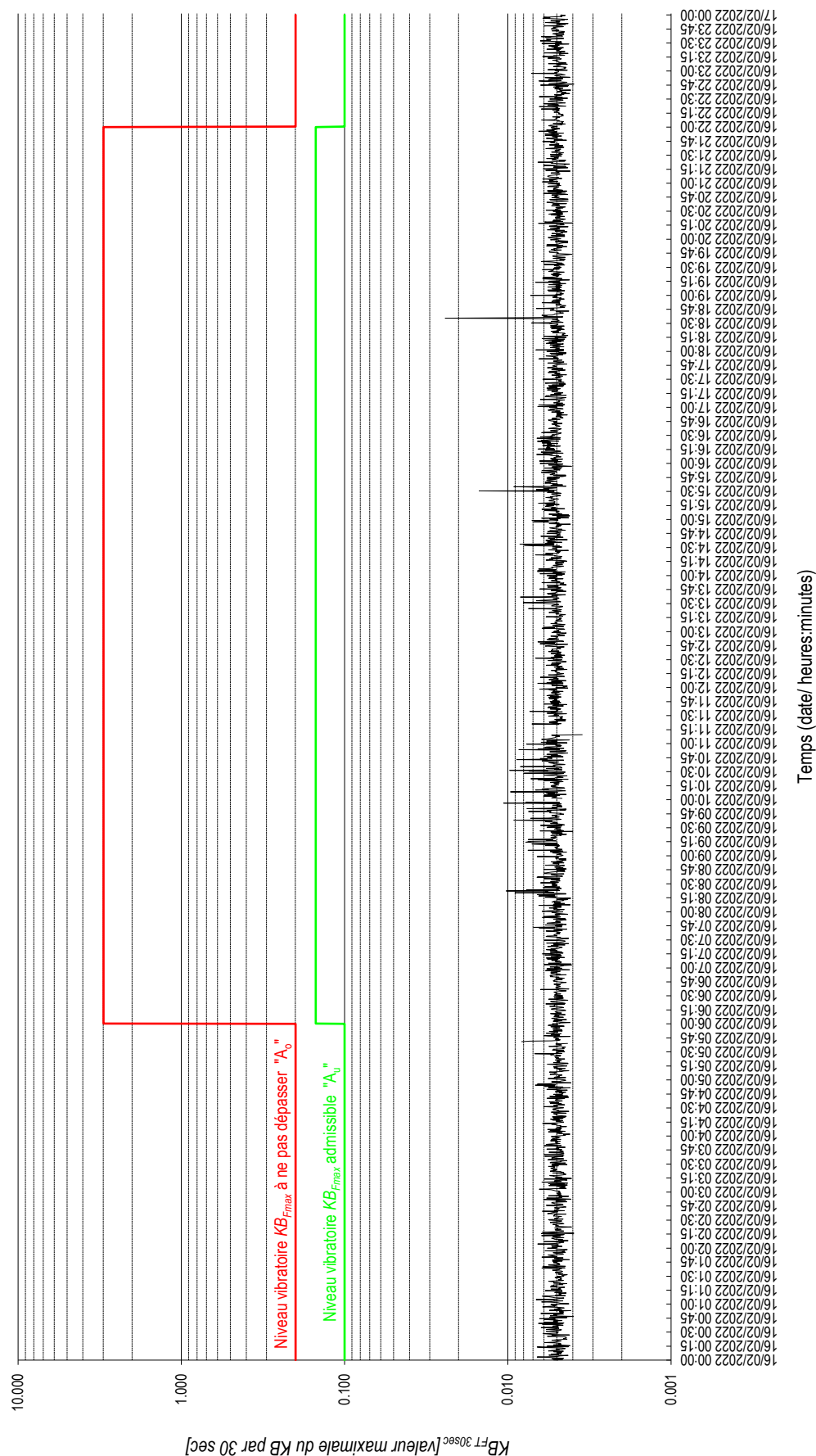
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

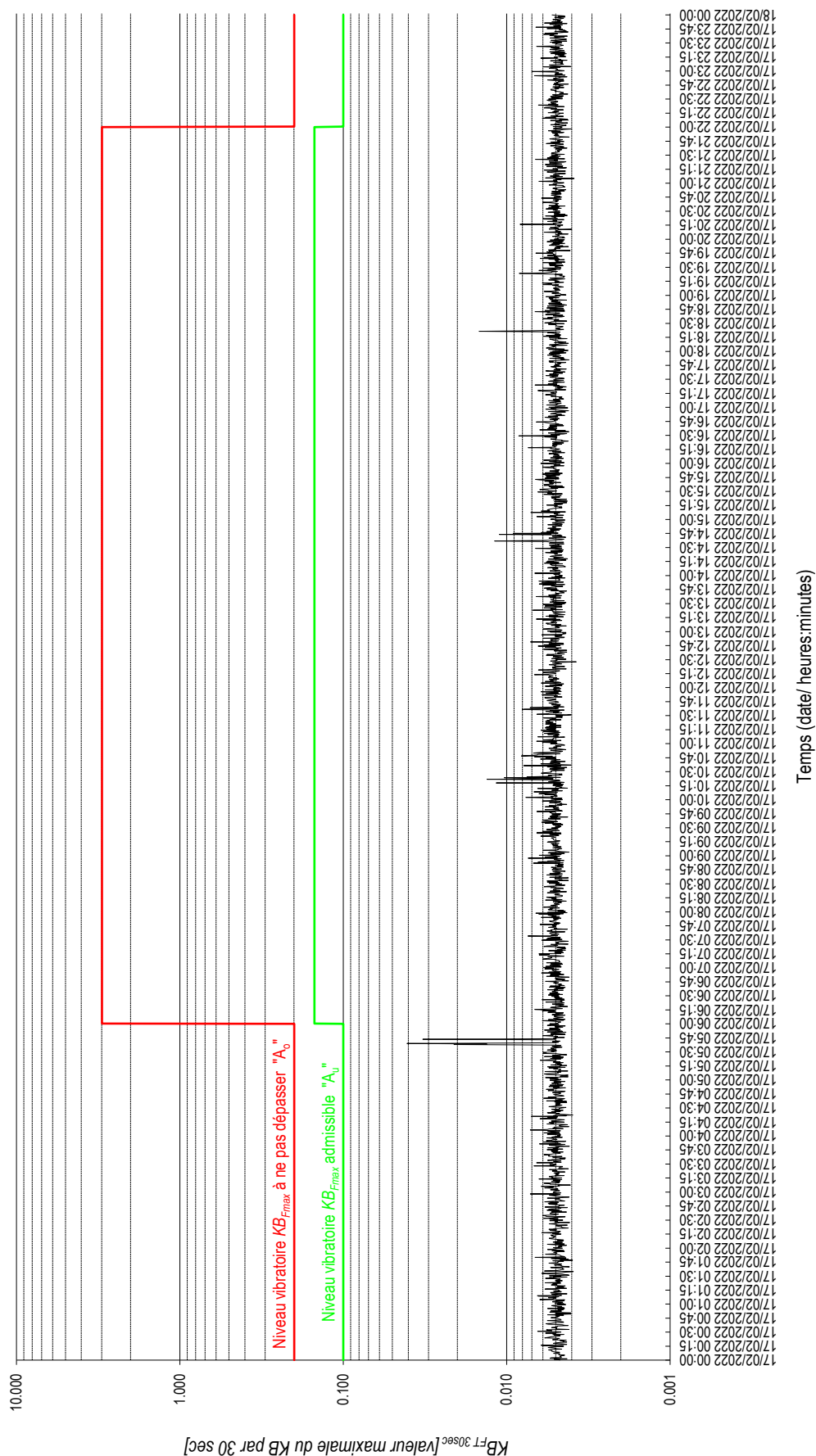
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

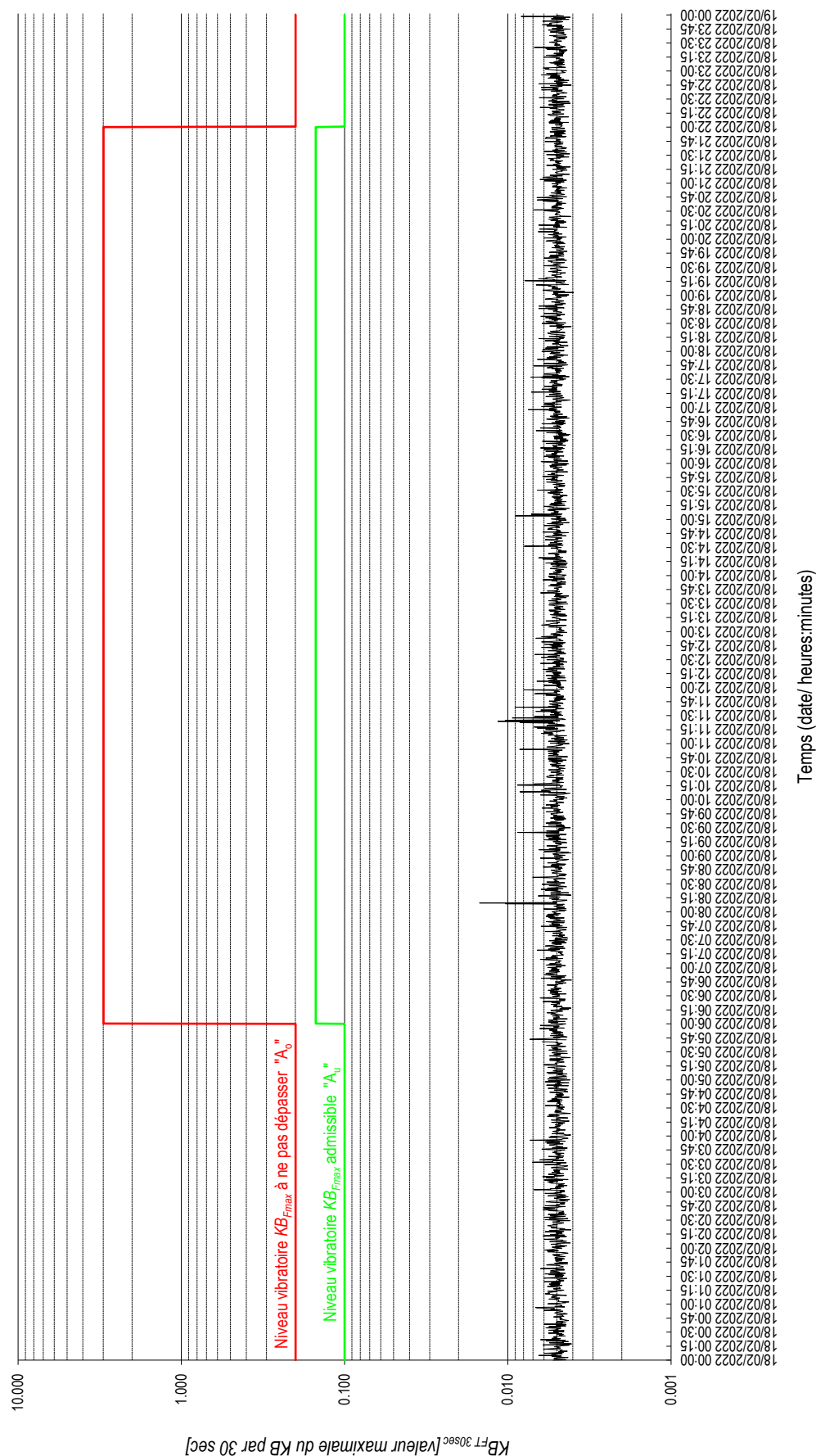
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

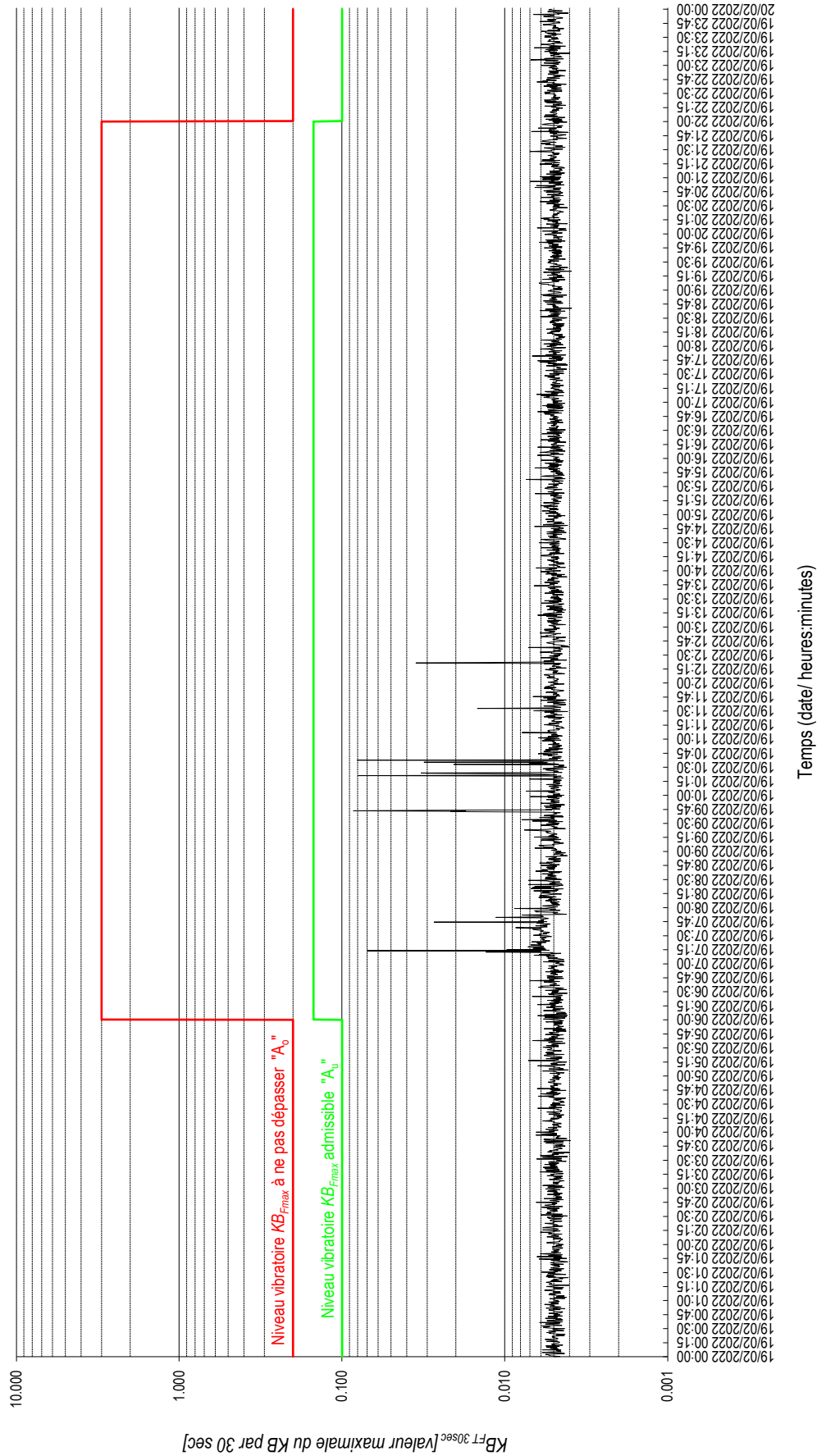
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

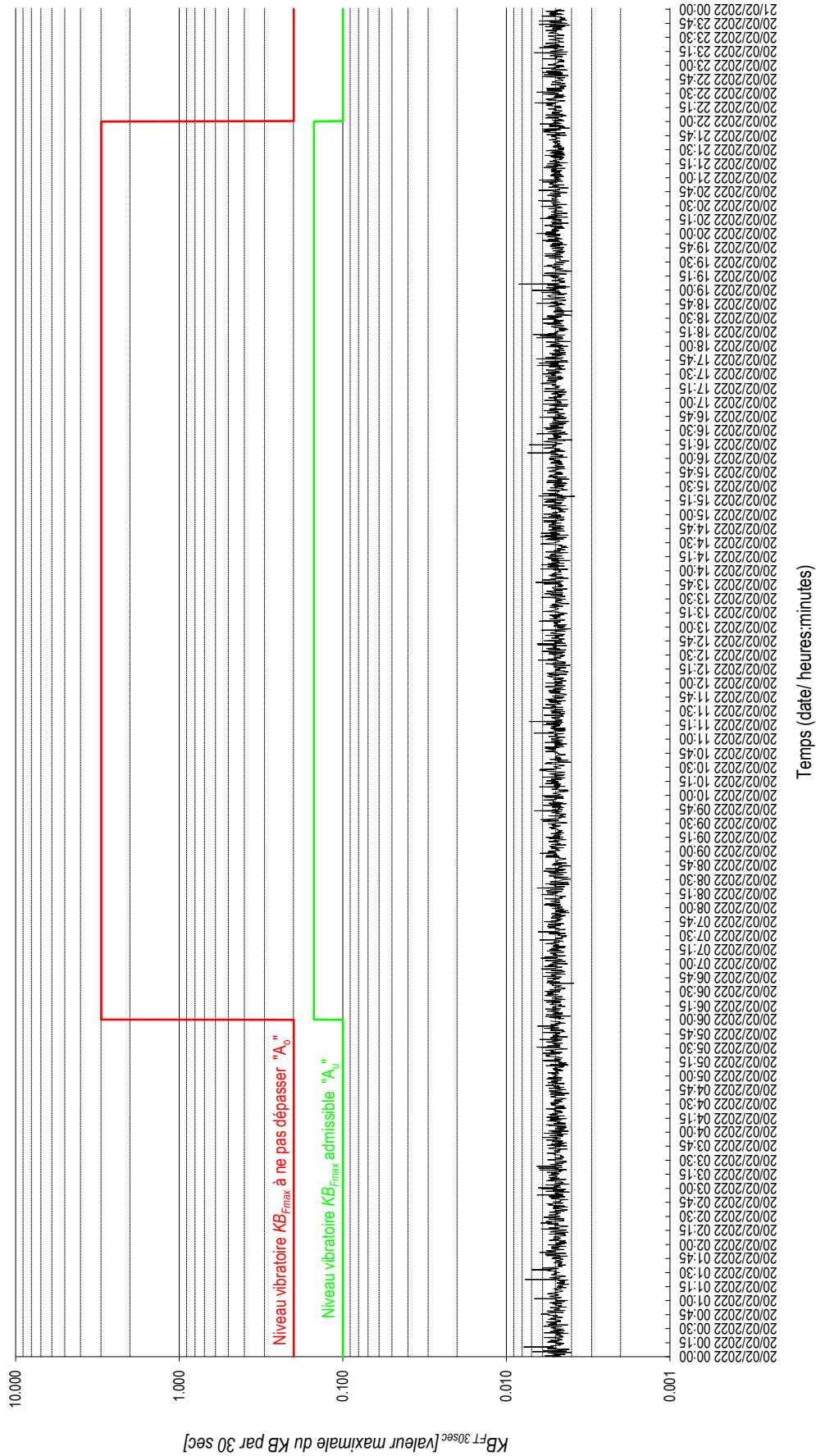
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

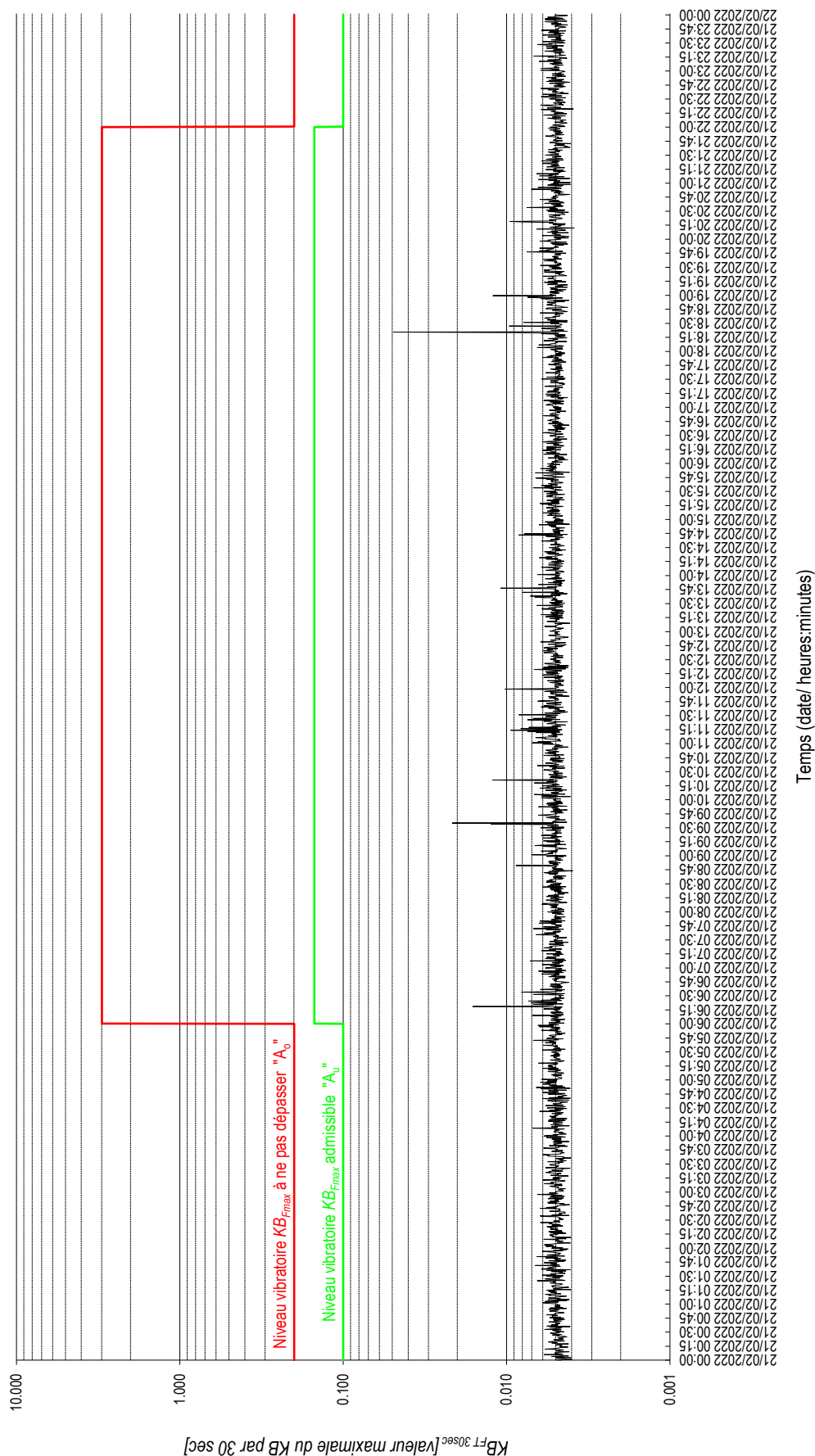
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

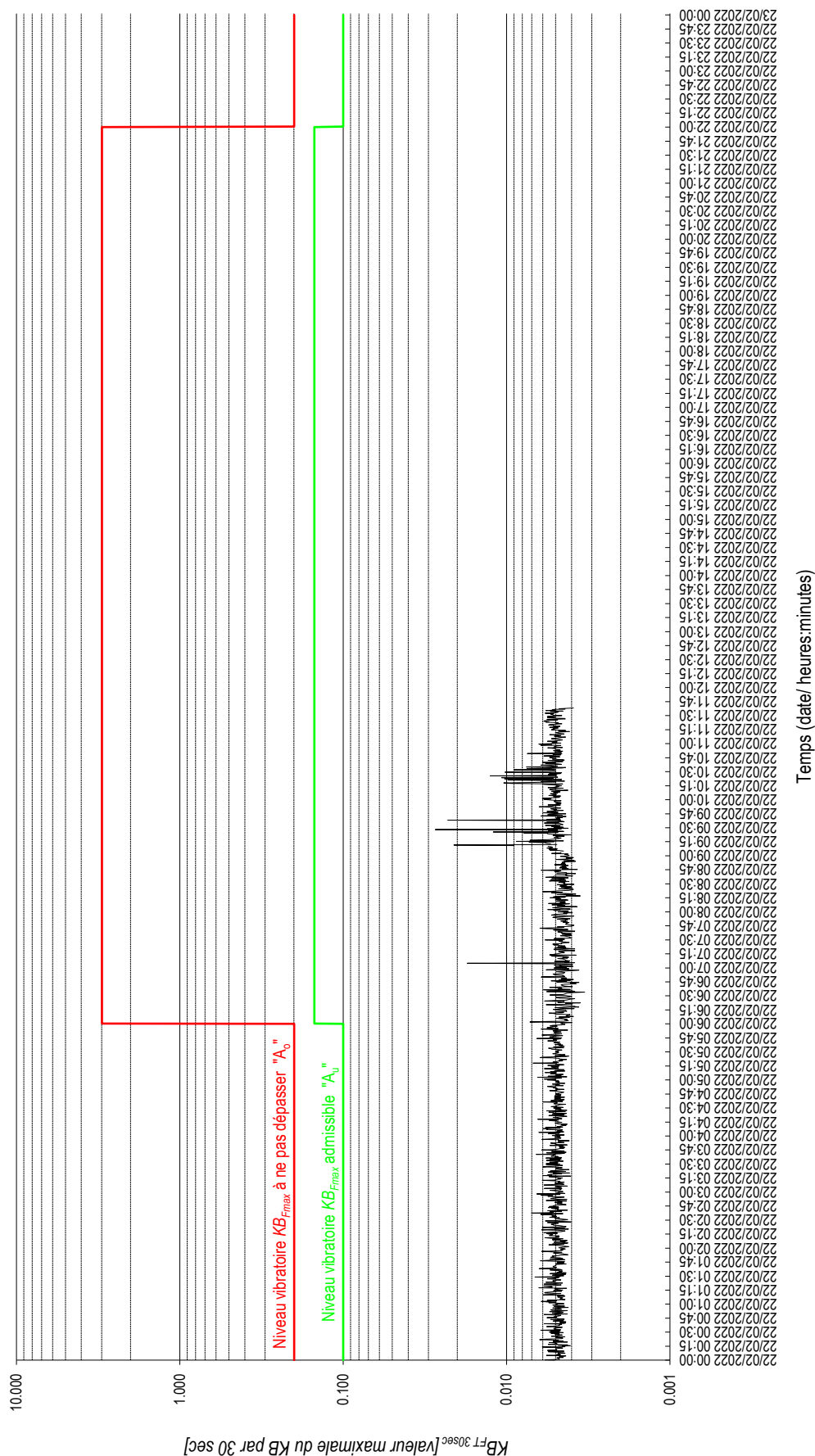
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)

Analyse vibratoire suivante la norme DIN 4150-2

Tranches horaires	KB _{Fmax, 1H} [06-22H ≤ 3.0 (=A ₀) ; 22-06H ≤ 0.15 (=A ₀)]										Lundi 14/02	Mardi 15/02	Mercredi 16/02	Jeudi 17/02	Vendredi 18/02	Samedi 19/02	Dimanche 20/02	Lundi 21/02	Mardi 22/02	
0 - 1	*	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.07	
1 - 2	*	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	
2 - 3	*	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.06	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	
3 - 4	*	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.06	0.02	0.02	0.07	0.04	0.07	
4 - 5	*	0.05	0.05	0.06	0.06	0.02	0.05	0.07	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.08	0.03	0.03	0.09	0.04	
5 - 6	*	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.07	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04	
6 - 7	*	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	
7 - 8	*	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	
8 - 9	*	0.04	0.04	0.07	0.07	0.02	0.05	0.07	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.01	0.04	0.04	
9 - 10	*	0.04	0.04	0.07	0.07	0.02	0.03	0.07	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	
10 - 11	*	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	
11 - 12	*	0.04	0.04	0.05	0.05	0.02	0.09	0.05	0.09	0.01	0.03	0.04	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04	
12 - 13	*	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	*	
13 - 14	*	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04	*	
14 - 15	*	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	*	
15 - 16	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.08	*	
16 - 17	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	*	
17 - 18	0.02	0.04	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	*	
18 - 19	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.04	*	
19 - 20	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	*	
20 - 21	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04	0.04	0.05	*	
21 - 22	0.04	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	*	
22 - 23	0.04	0.02	0.02	0.04	0.07	0.04	0.07	0.04	0.07	0.03	0.09	0.03	0.09	0.03	0.09	0.09	0.09	0.04	*	
23 - 24	0.05	0.05	0.05	0.06	0.03	0.06	0.03	0.06	0.03	0.06	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.04	0.04	0.07	*	
<div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> <div>⇨</div> </div>																				
KB _{FTr, période} [06-22H ≤ 0.05 (=A ₀) ; 22-06H ≤ 0.05 (=A ₀)]																				
06 - 22	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	
22 - 06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	

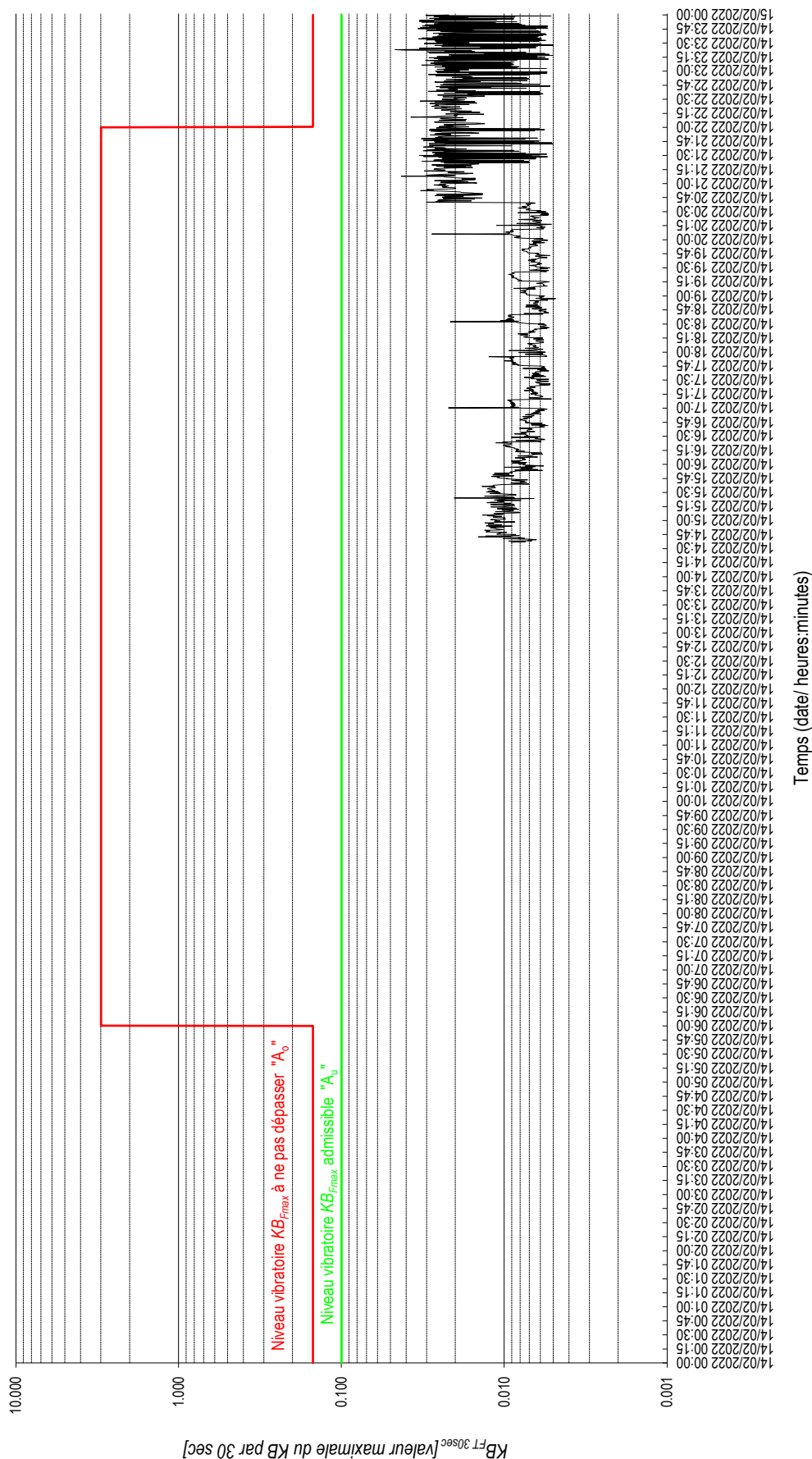
- : contribution énergétique négligeable / non mesurable

* : absence de mesure

GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

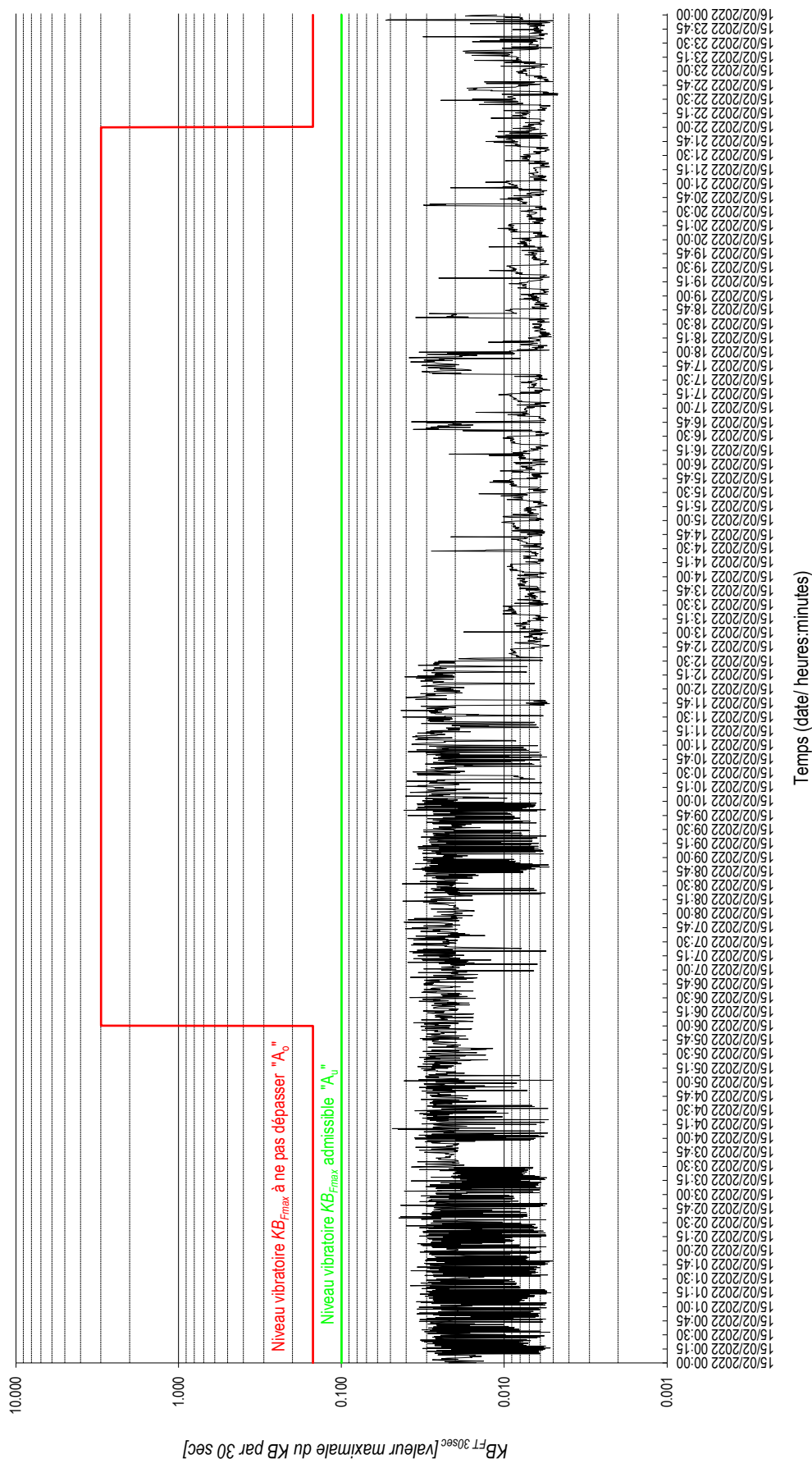
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

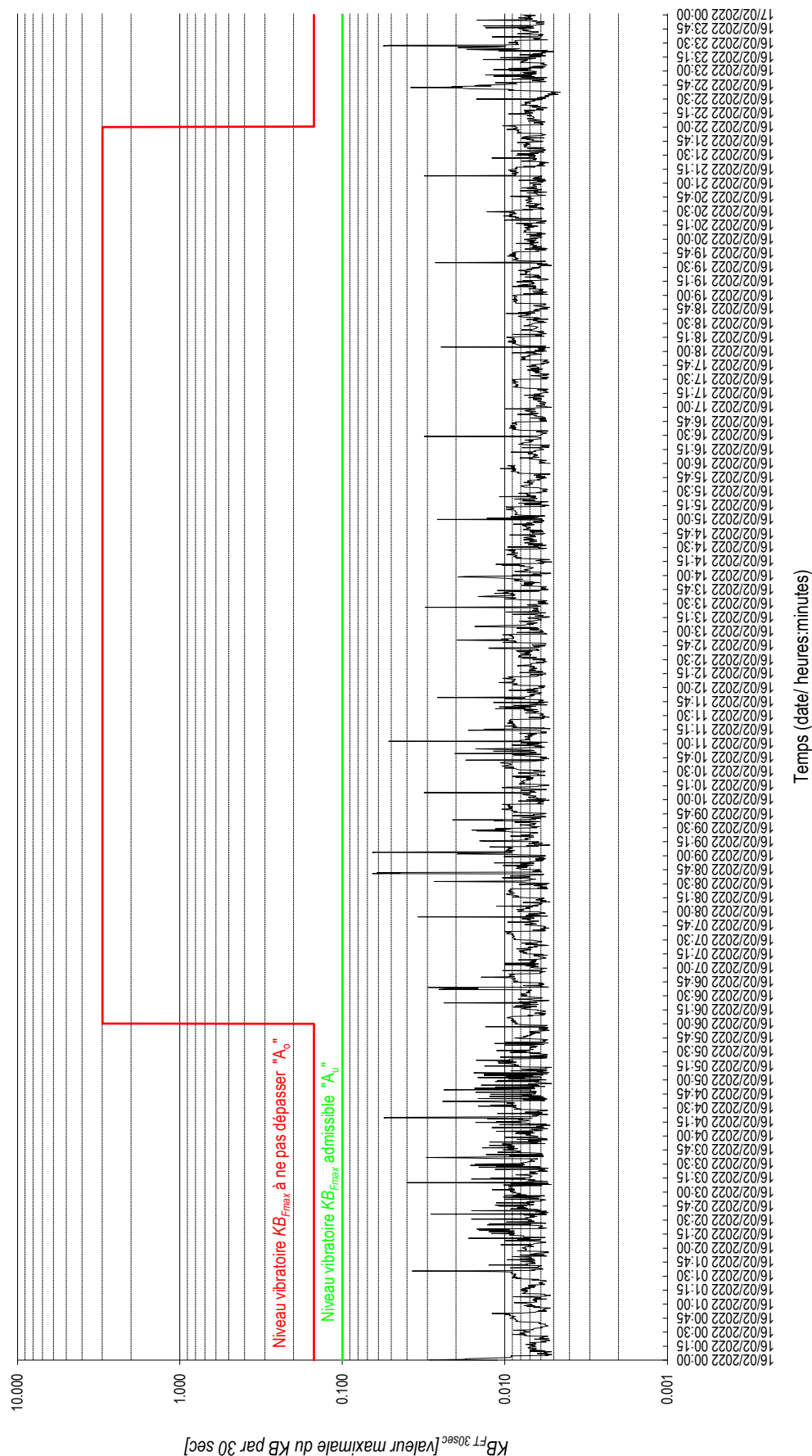
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

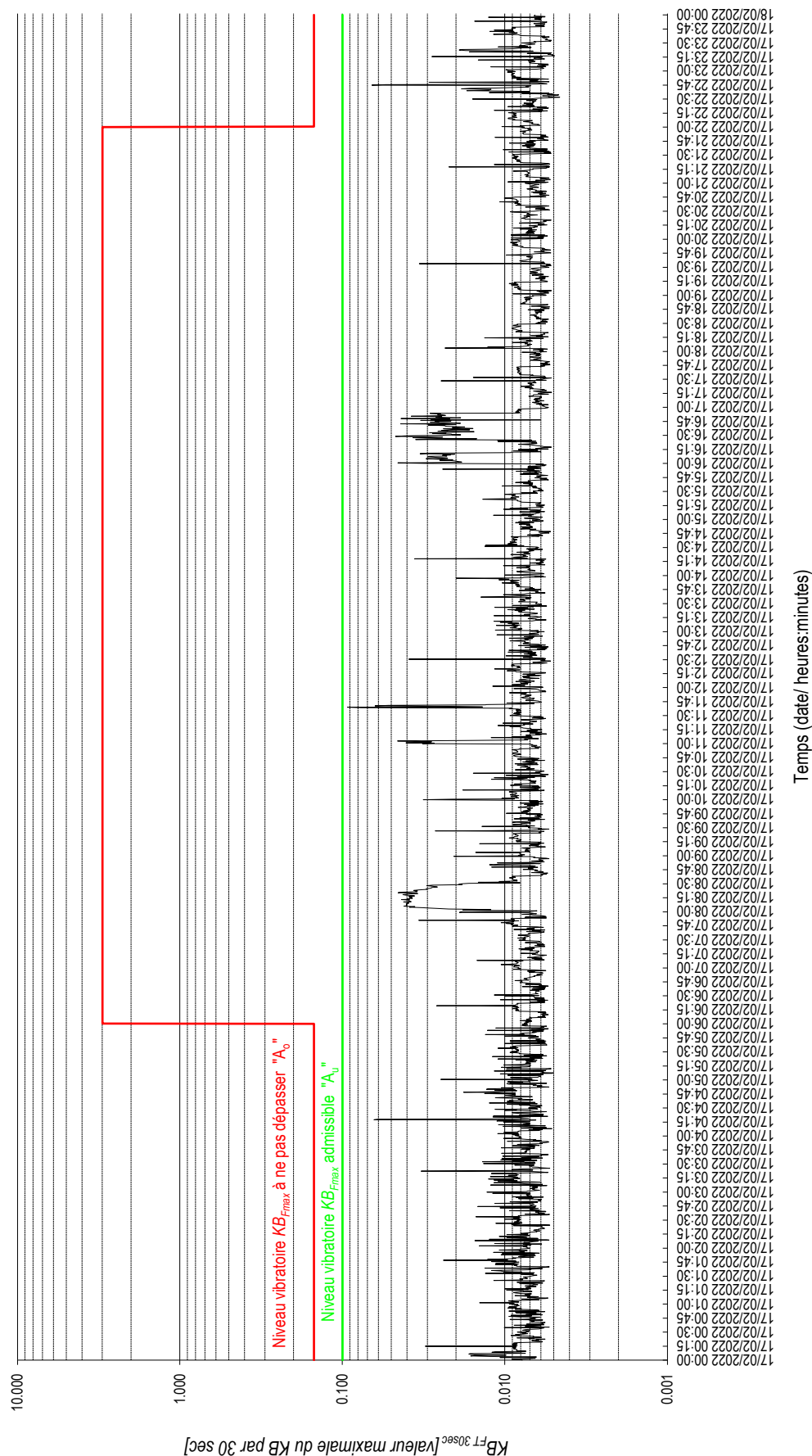
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

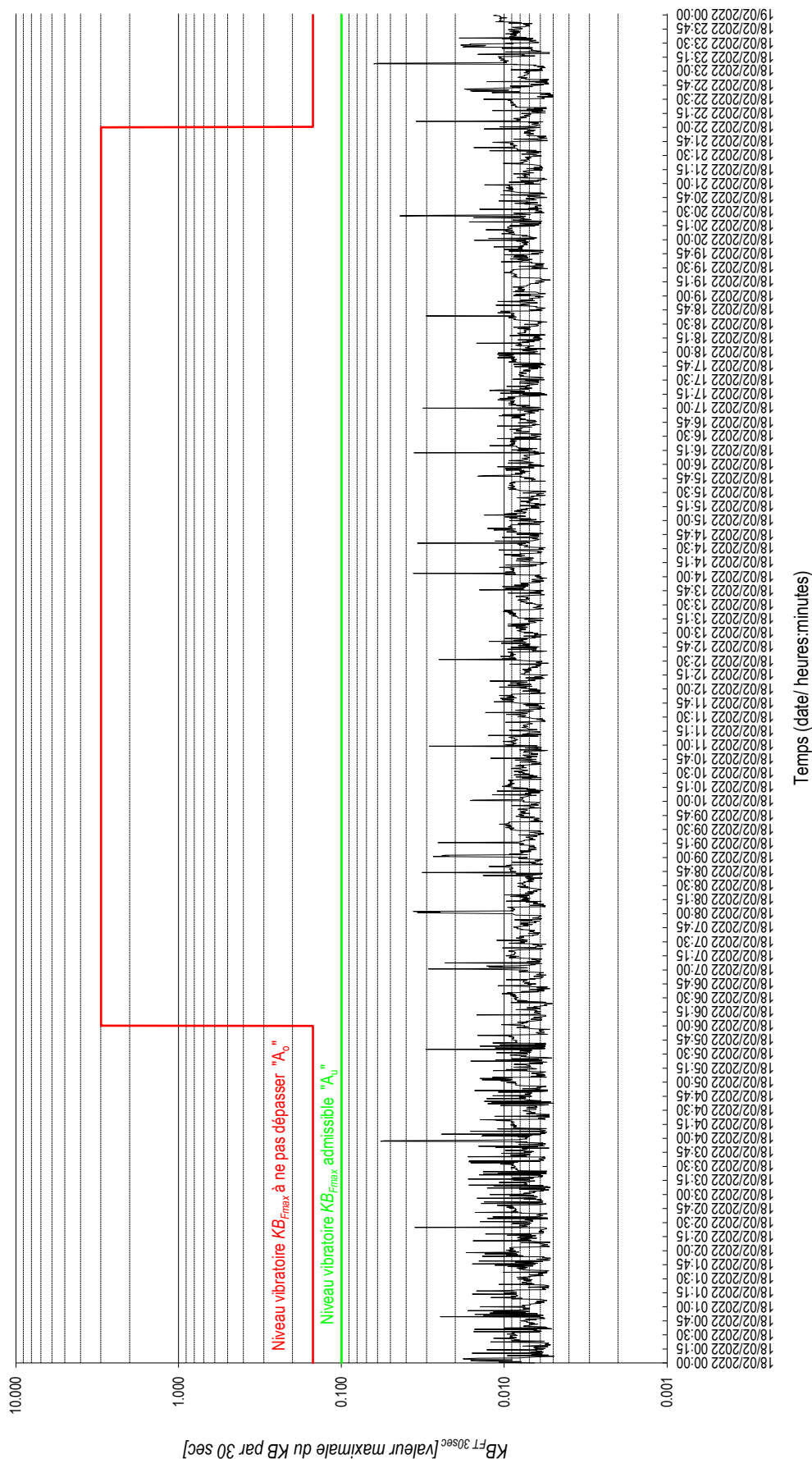
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

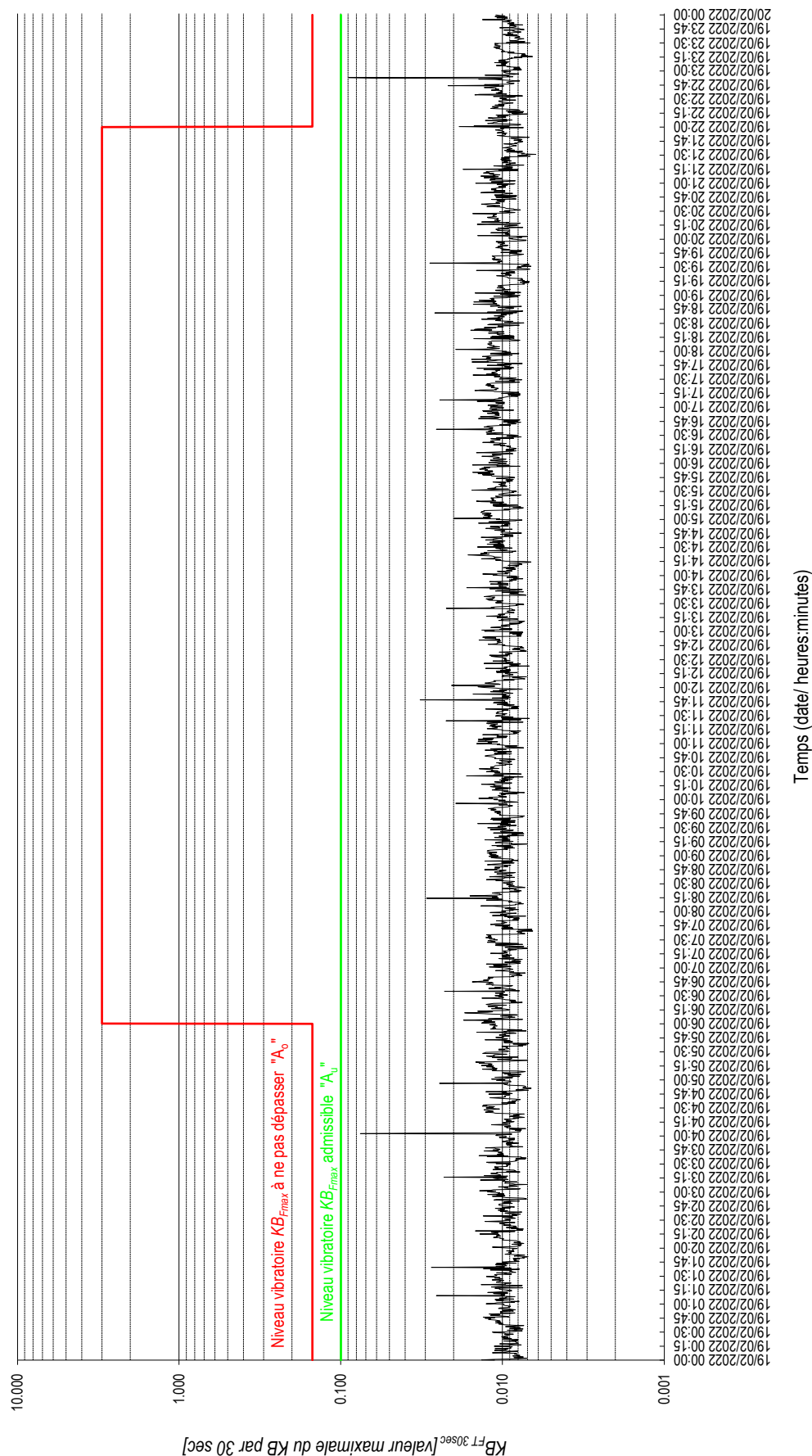
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

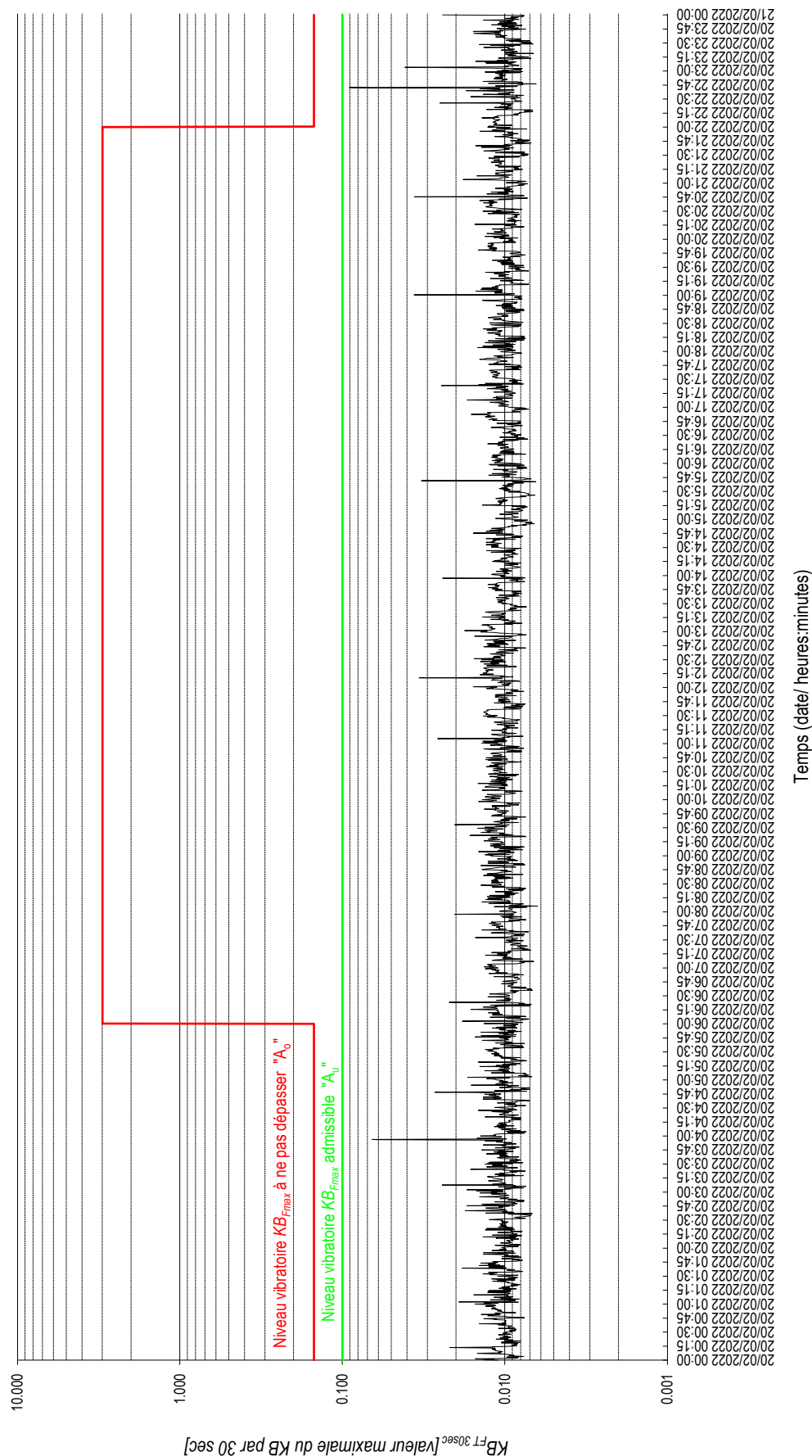
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

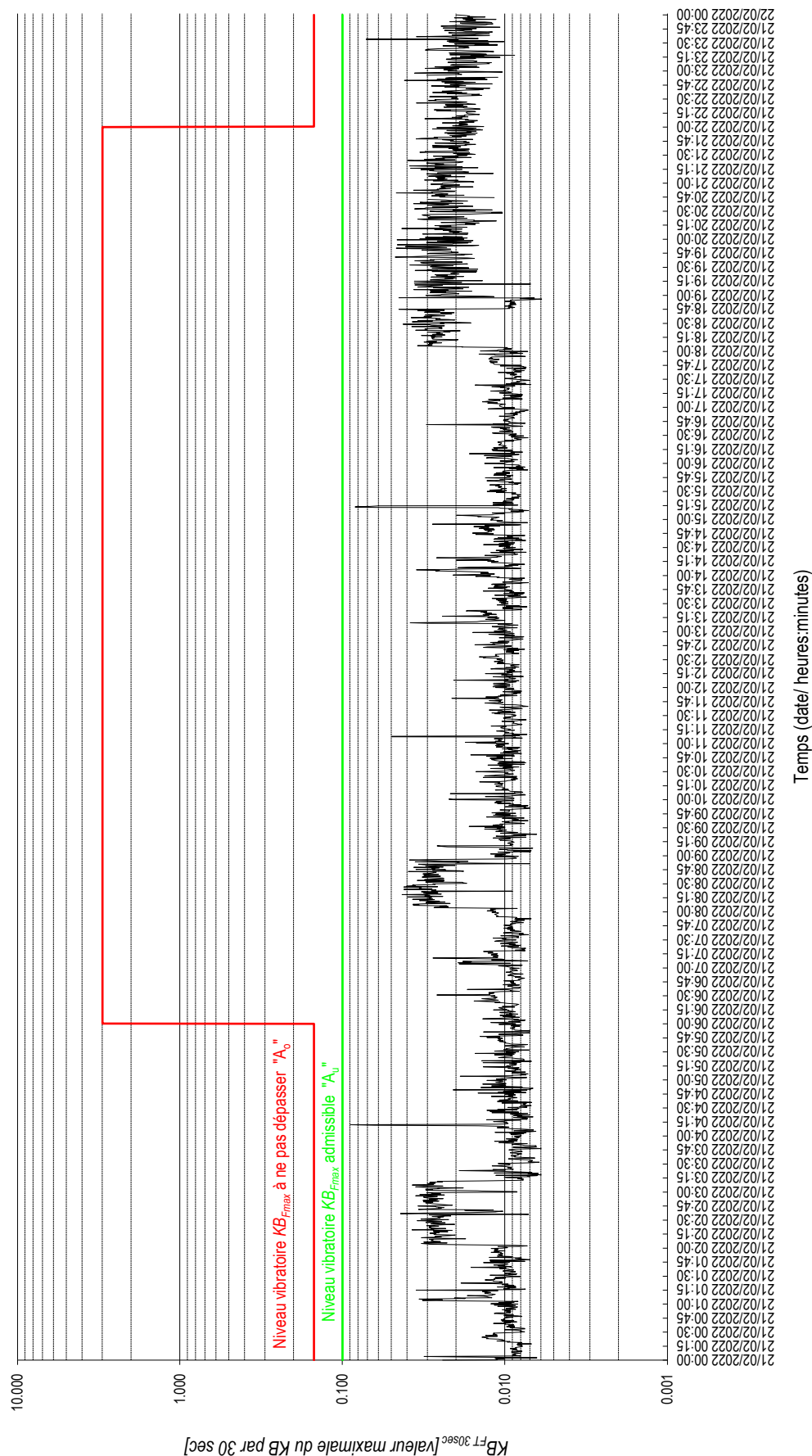
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

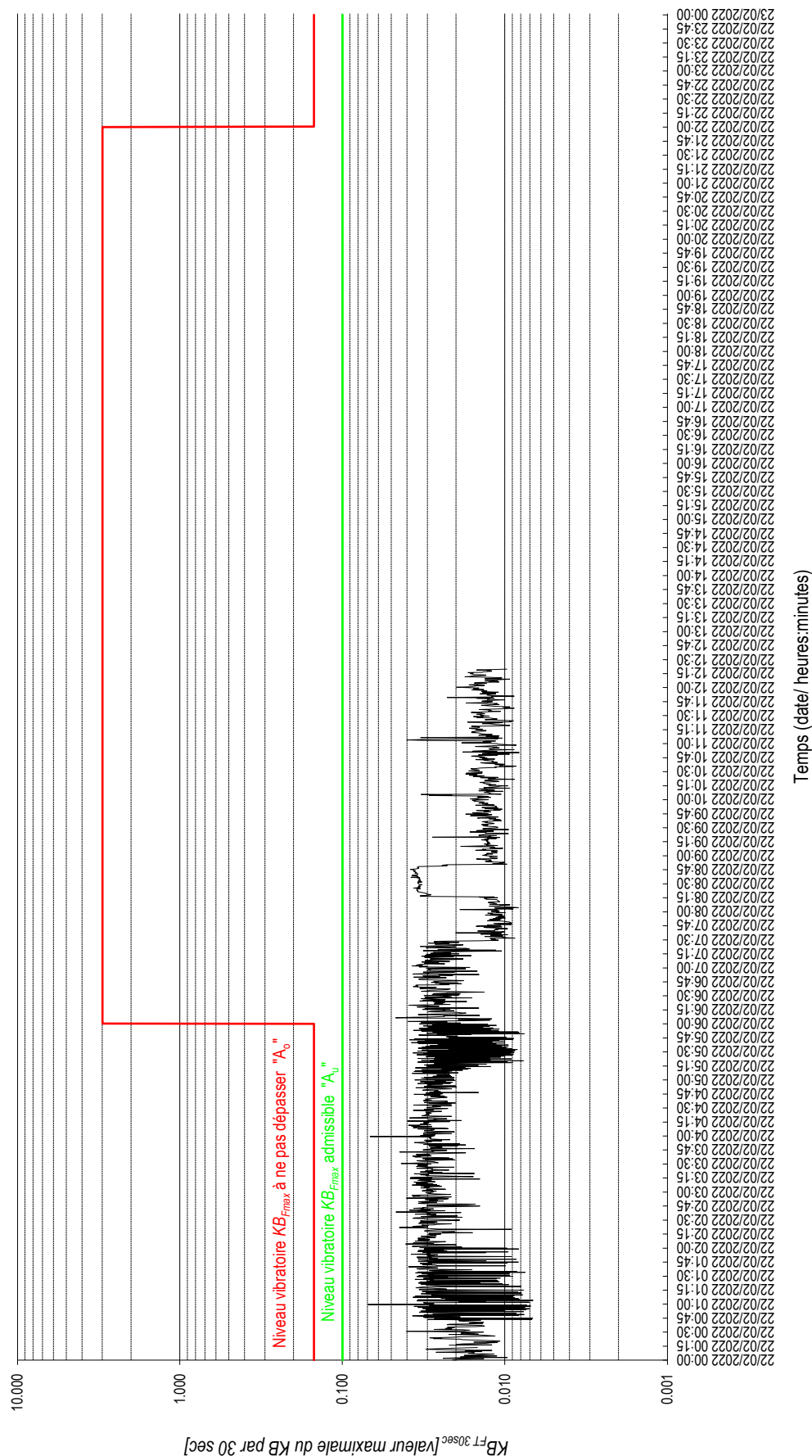
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-2)



GLOBAL

7.3.3 Résultats des mesures suivant la DIN4150-3

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arton, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)
Analyse vibratoire suivante la norme DIN 4150-3

Tranches horaires	V _{max,1h} [mm/s] pour les axes X, Y et Z																							
	Lundi 14/02			Mardi 15/02			Mercredi 16/02			Jeudi 17/02			Vendredi 18/02			Samedi 19/02			Dimanche 20/02			Lundi 21/02		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
0 - 1	*	*	*	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03
1 - 2	*	*	*	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
2 - 3	*	*	*	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
3 - 4	*	*	*	0.04	0.03	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
4 - 5	*	*	*	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
5 - 6	*	*	*	0.04	0.10	0.08	0.03	0.03	0.03	0.08	0.13	0.12	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
6 - 7	*	*	*	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
7 - 8	*	*	*	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.07	0.13	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
8 - 9	*	*	*	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
9 - 10	*	*	*	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.06	0.19	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06
10 - 11	*	*	*	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.05	0.09	0.17	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
11 - 12	*	*	*	0.08	0.15	0.12	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
12 - 13	*	*	*	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.07	0.08	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
13 - 14	*	*	*	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
14 - 15	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.03
15 - 16	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
16 - 17	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
17 - 18	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03
18 - 19	0.03	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	0.03	0.07	0.08	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.13	0.10	0.03
19 - 20	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
20 - 21	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03
21 - 22	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03
22 - 23	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
23 - 24	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03

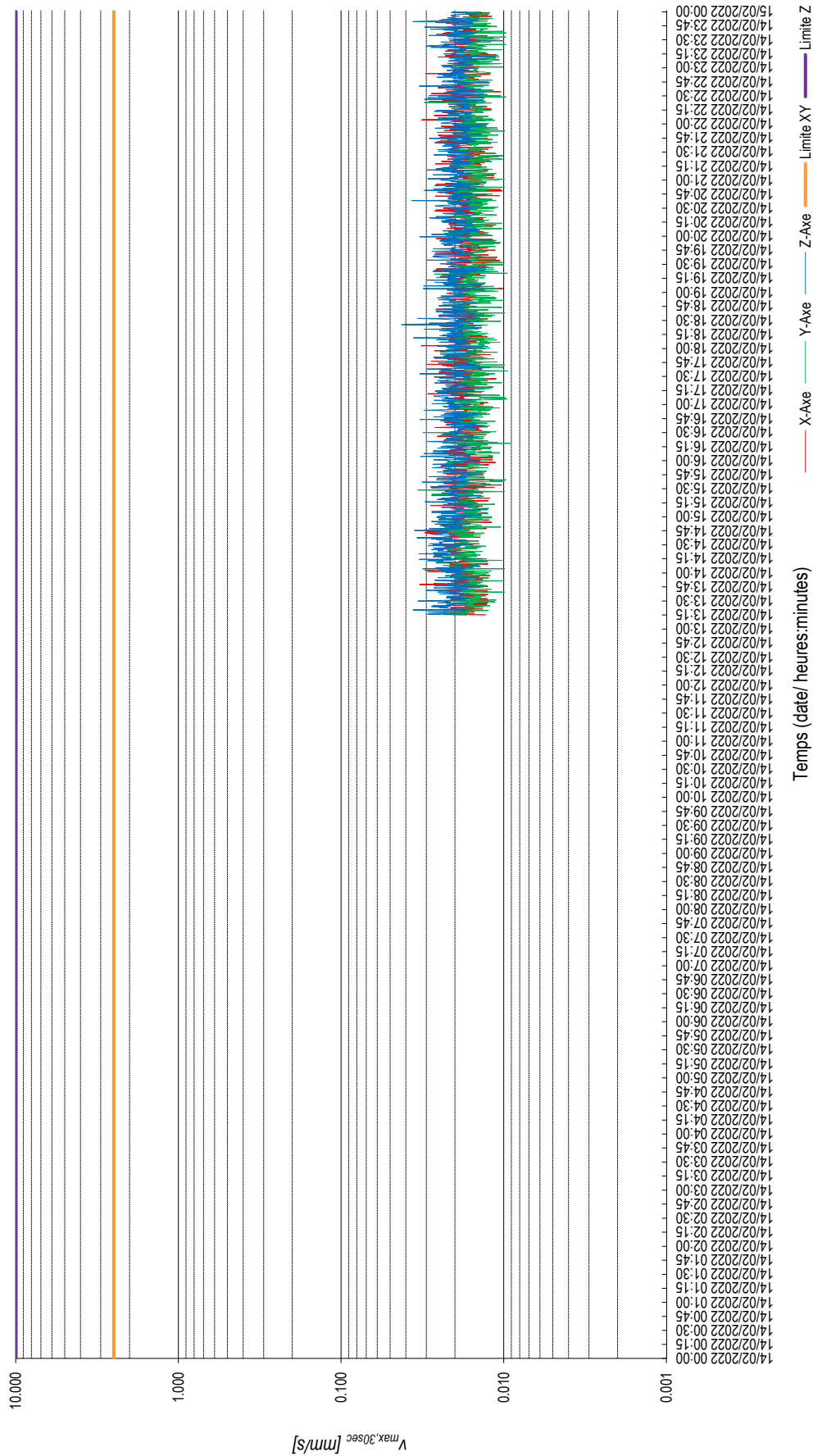
- : contribution énergétique négligeable / non mesurable

* : absence de mesure

GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

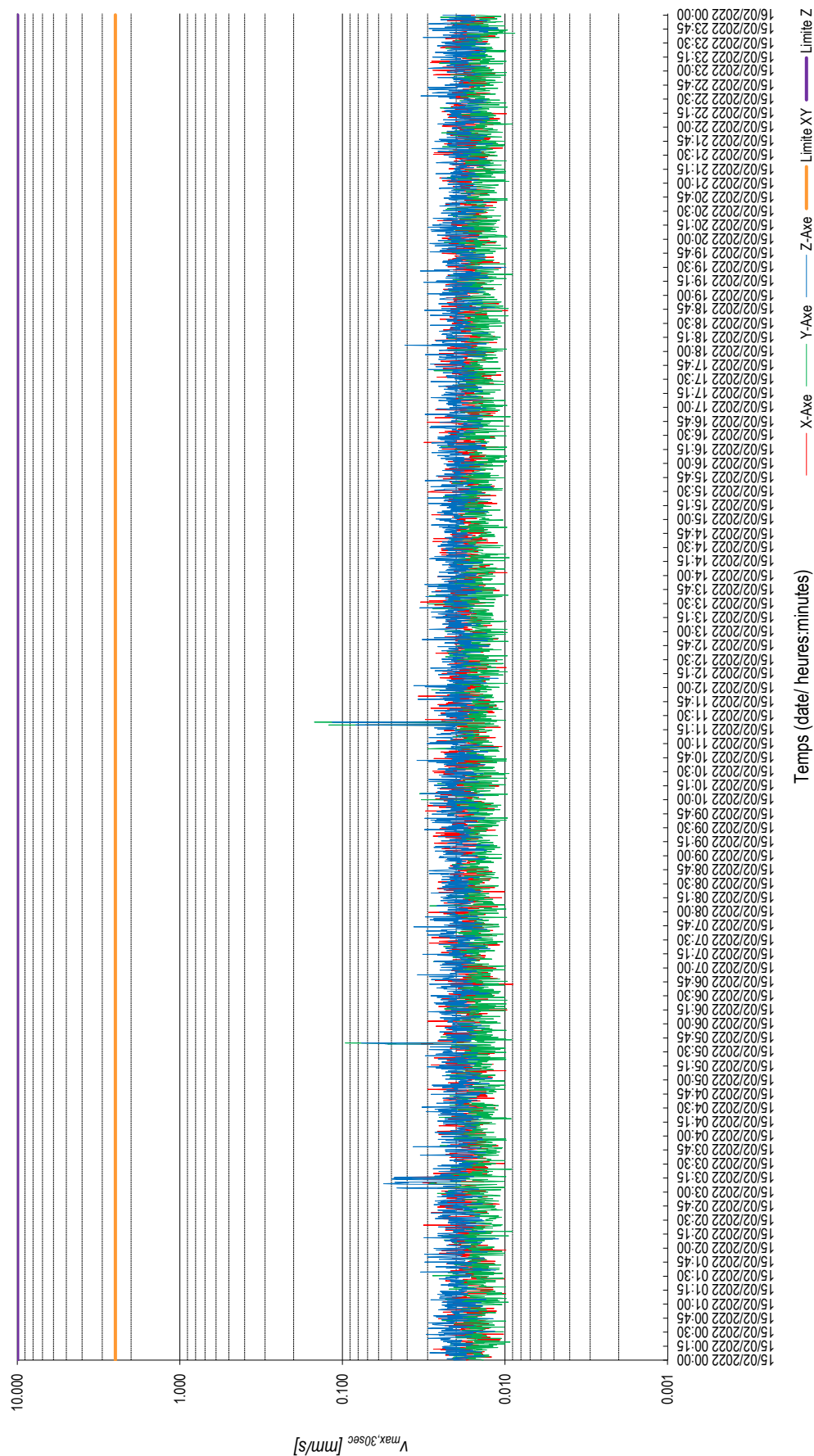
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

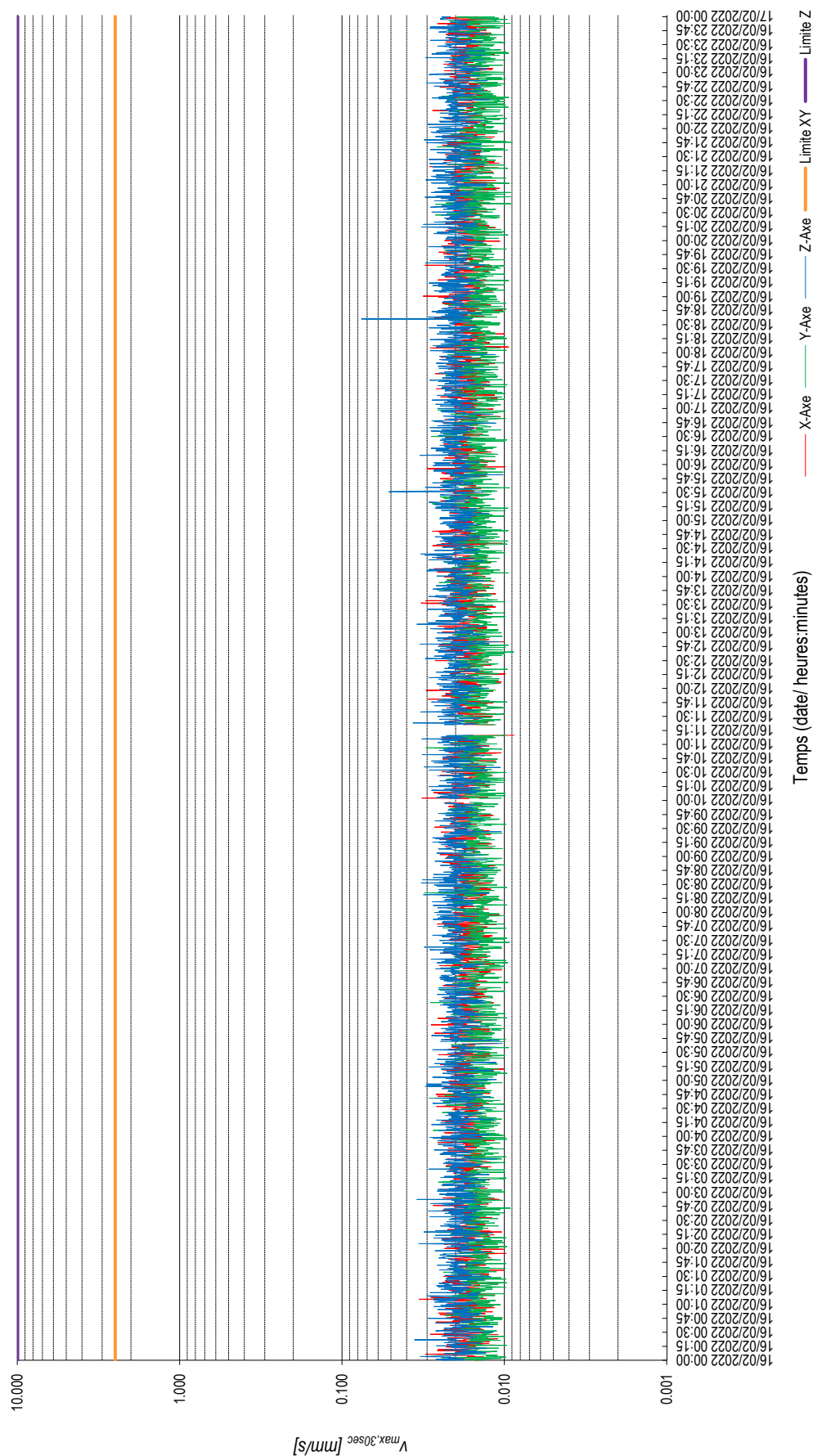
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

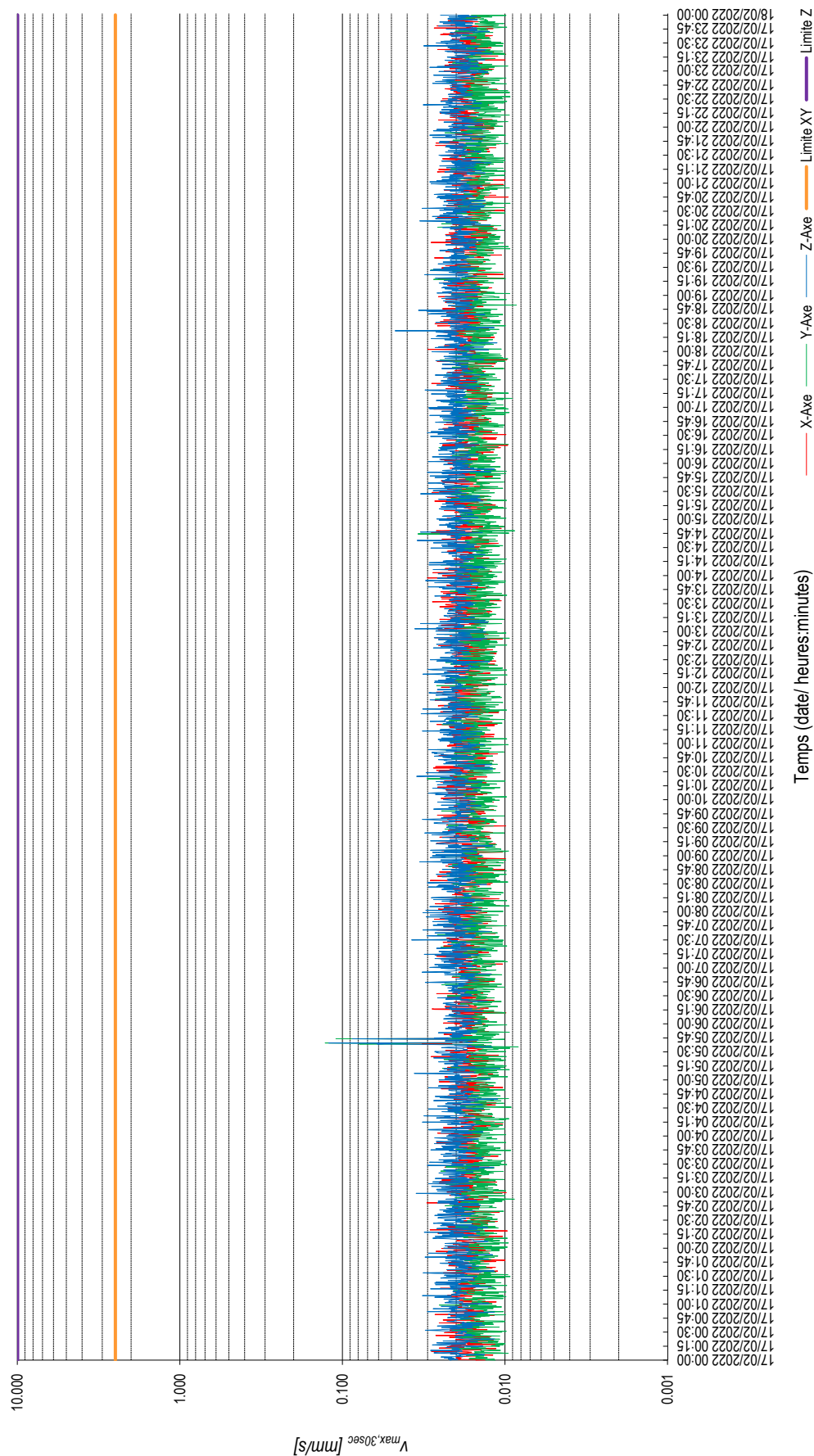
Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

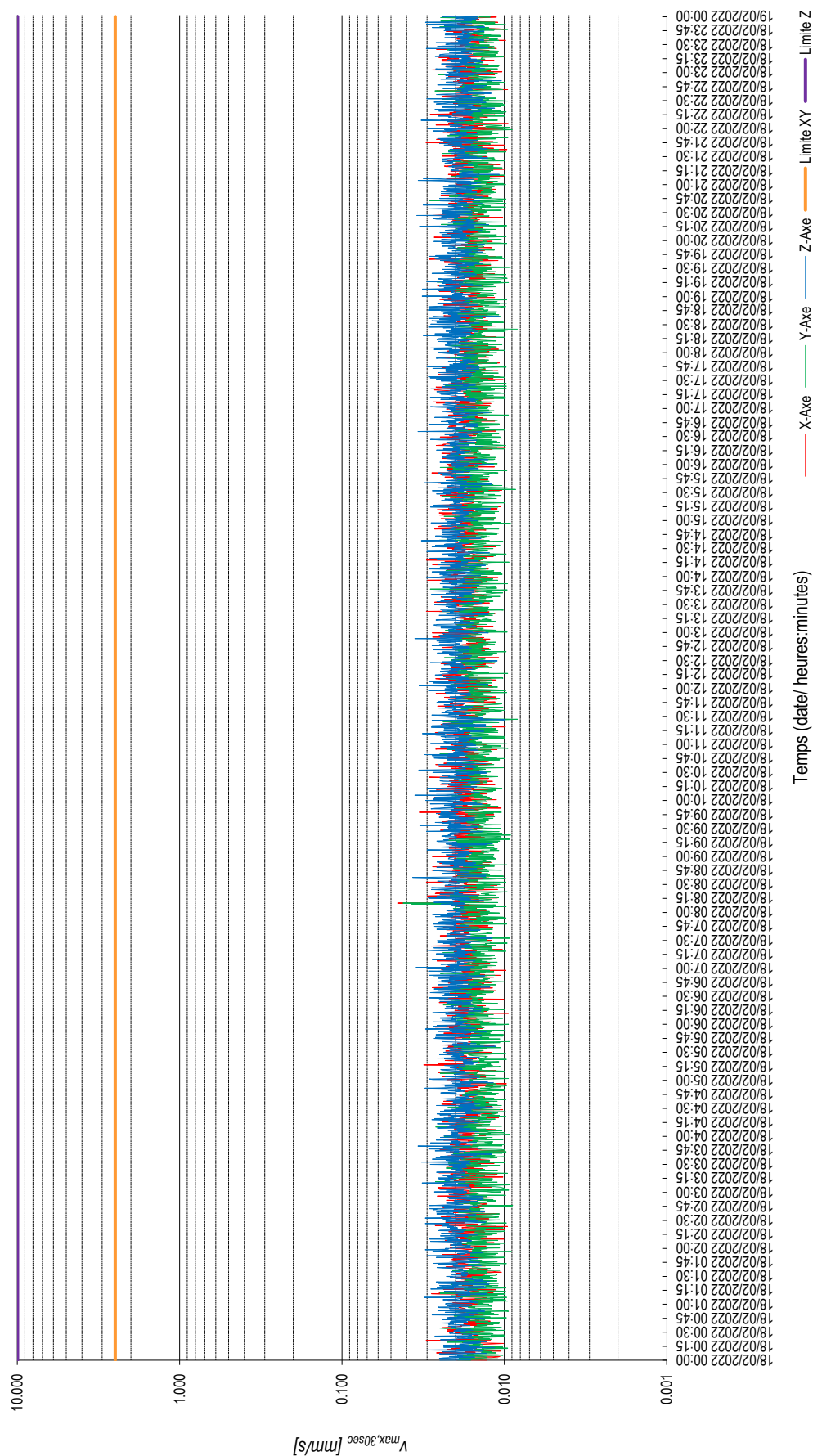
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

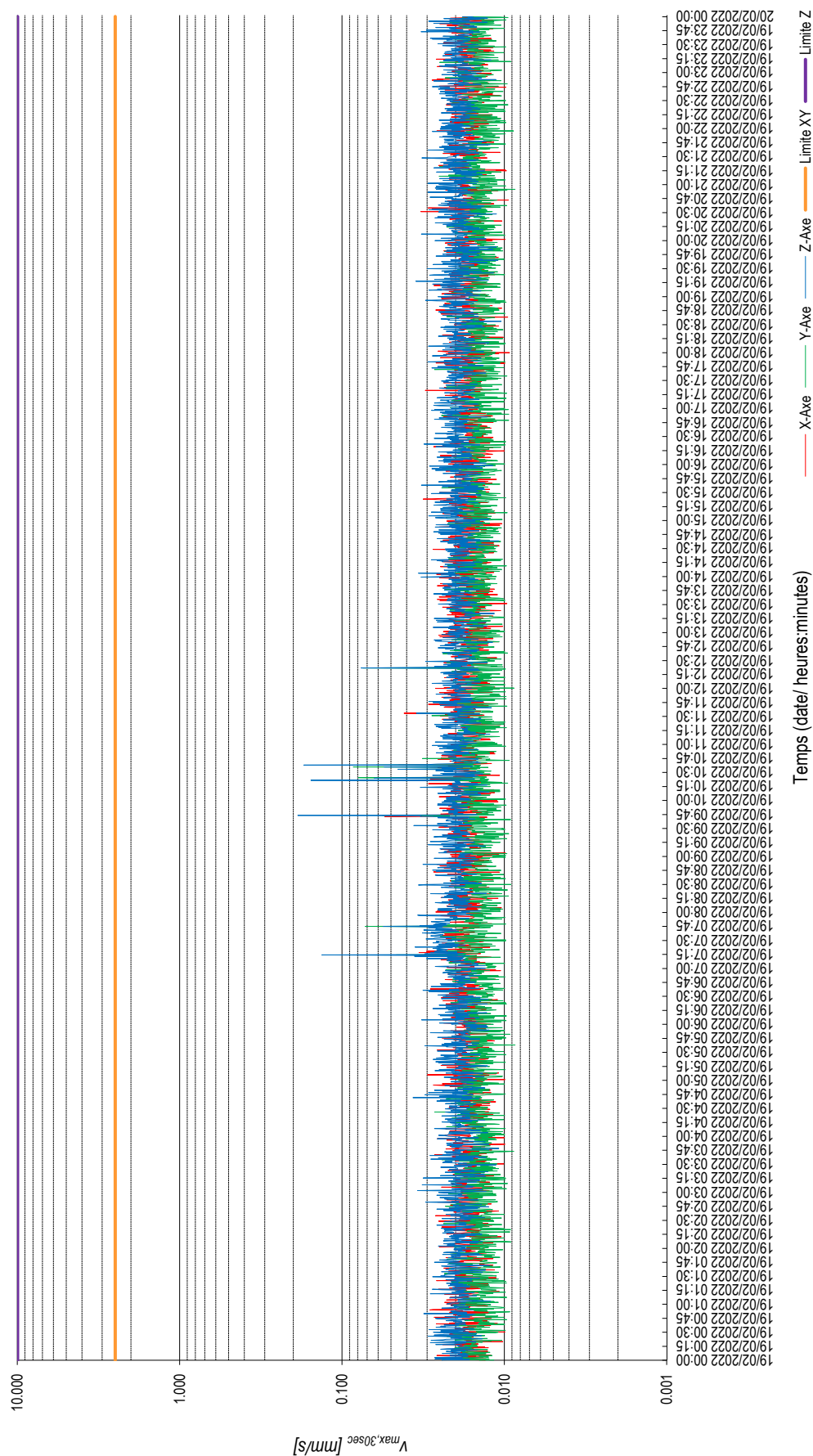
Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



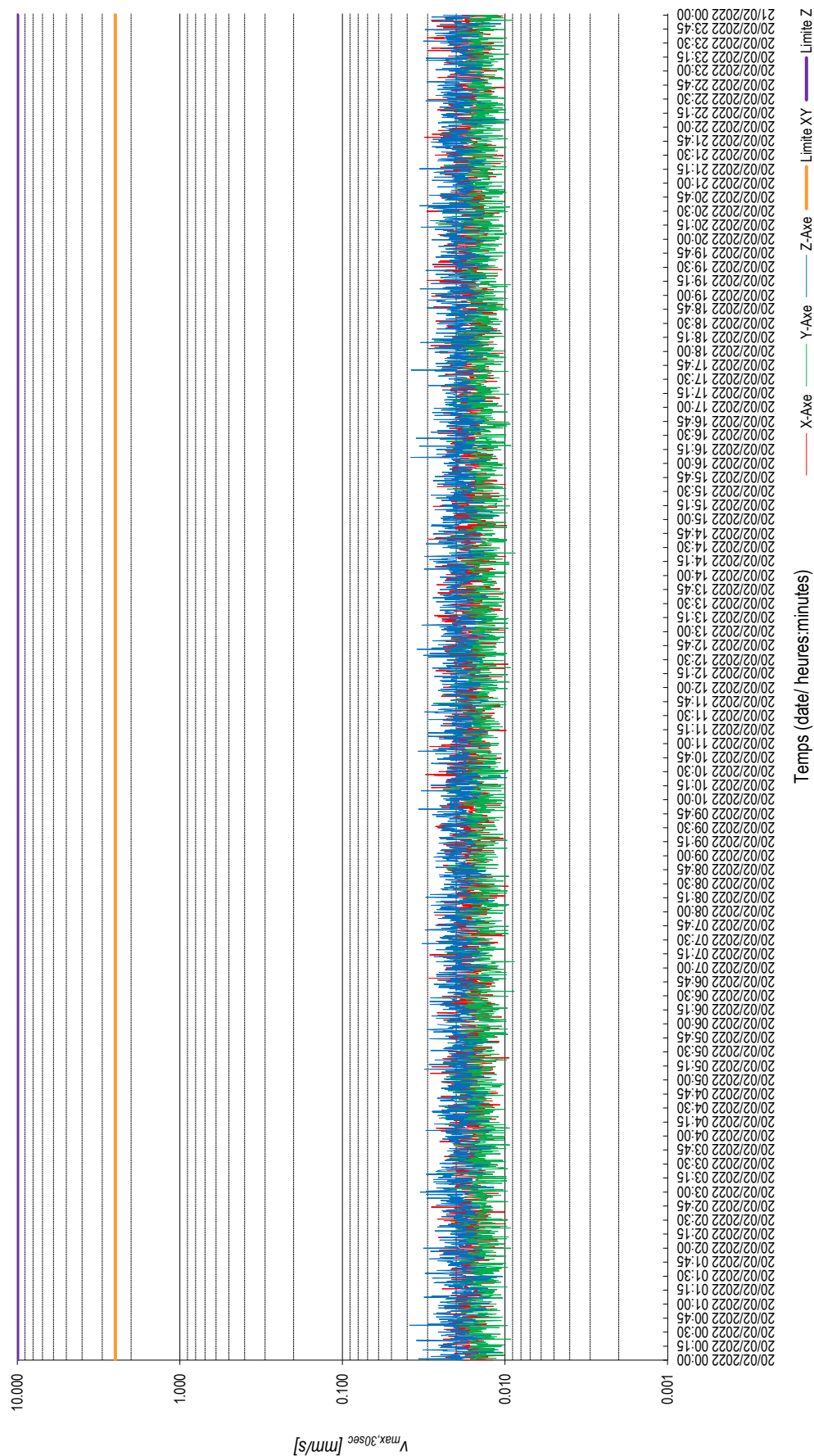
Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



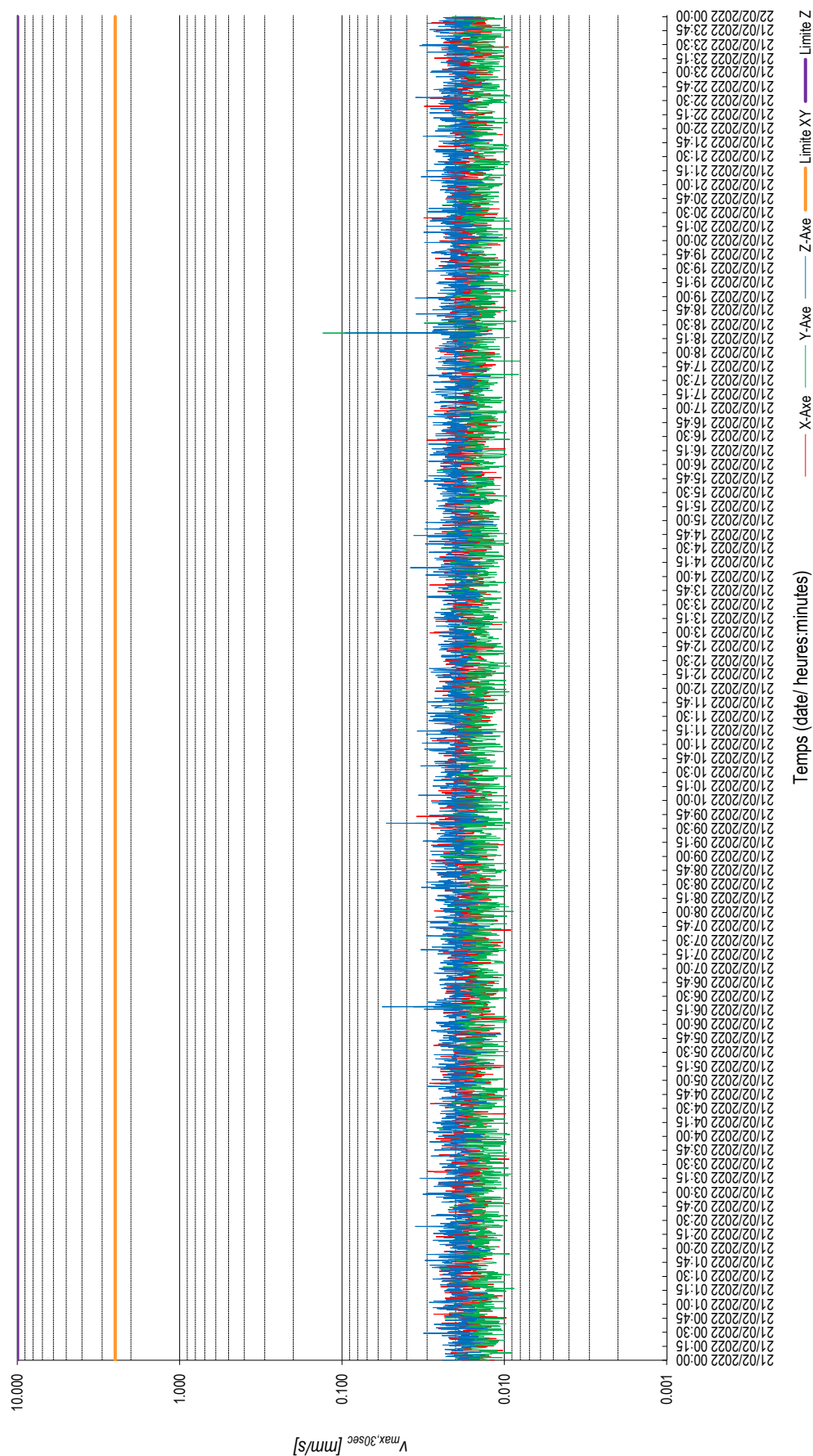
Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

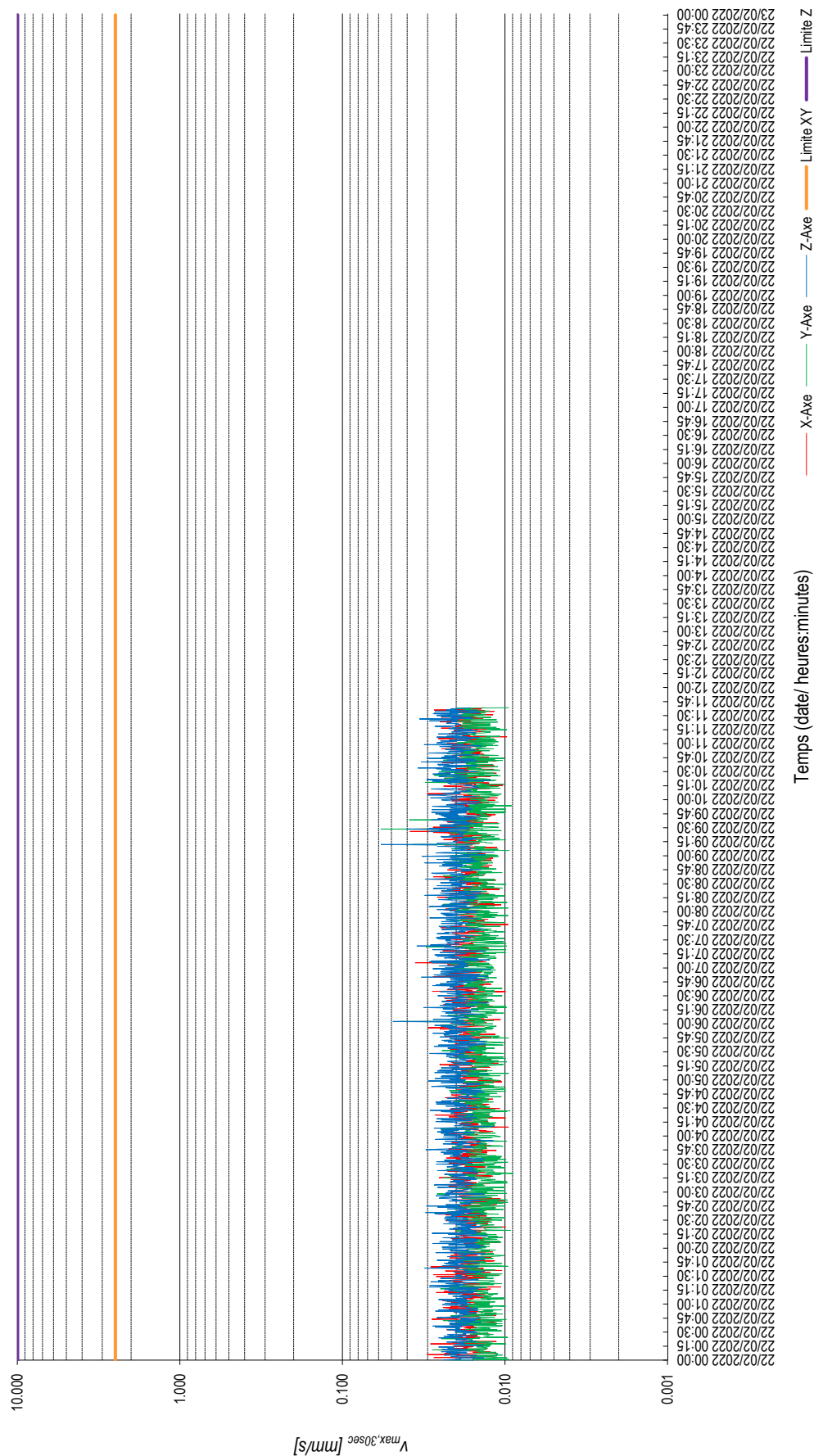
Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 4 - 26 Route d'Arlon, 1140 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)

Analyse vibratoire suivante la norme DIN 4150-3

Tranches horaires	V _{max,1h} [mm/s] pour les axes X, Y et Z																							
	Lundi 14/02			Mardi 15/02			Mercredi 16/02			Jeudi 17/02			Vendredi 18/02			Samedi 19/02			Dimanche 20/02			Lundi 21/02		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
0 - 1	*	*	*	0.16	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03	0.11	0.04	0.04
1 - 2	*	*	*	0.19	0.04	0.03	0.07	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06	0.05	0.04	0.07	0.04	0.03	0.15	0.06	0.05
2 - 3	*	*	*	0.23	0.05	0.04	0.19	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.06	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.24	0.06	0.04
3 - 4	*	*	*	0.22	0.05	0.04	0.16	0.06	0.04	0.05	0.05	0.04	0.17	0.18	0.17	0.04	0.05	0.04	0.18	0.20	0.10	0.19	0.07	0.03
4 - 5	*	*	*	0.16	0.14	0.11	0.16	0.20	0.11	0.16	0.18	0.16	0.04	0.05	0.03	0.18	0.23	0.15	0.06	0.05	0.04	0.34	0.26	0.18
5 - 6	*	*	*	0.20	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.05	0.06	0.03	0.04	0.04	0.03	0.06	0.04	0.04	0.06	0.03	0.03
6 - 7	*	*	*	0.24	0.06	0.04	0.18	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.07	0.04	0.03	0.06	0.05	0.03
7 - 8	*	*	*	0.18	0.04	0.04	0.07	0.06	0.04	0.08	0.06	0.04	0.15	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.16	0.04	0.03
8 - 9	*	*	*	0.23	0.05	0.04	0.18	0.19	0.14	0.22	0.09	0.04	0.15	0.05	0.03	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.20	0.07	0.04
9 - 10	*	*	*	0.22	0.05	0.05	0.19	0.18	0.14	0.04	0.05	0.04	0.12	0.06	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03
10 - 11	*	*	*	0.23	0.05	0.04	0.06	0.06	0.04	0.14	0.04	0.03	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03
11 - 12	*	*	*	0.24	0.06	0.03	0.14	0.16	0.08	0.31	0.22	0.35	0.04	0.04	0.03	0.06	0.06	0.04	0.06	0.04	0.04	0.07	0.18	0.06
12 - 13	*	*	*	0.21	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.09	0.06	0.03	0.04	0.04	0.04	0.09	0.04	0.04	0.07	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04
13 - 14	*	*	*	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.06	0.03	0.05	0.05	0.04	0.24	0.07	0.03
14 - 15	*	*	*	0.04	0.05	0.13	0.04	0.03	0.03	0.06	0.07	0.05	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.17	0.05	0.03	0.03
15 - 16	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07	0.03	0.17	0.27	0.20
16 - 17	0.04	0.04	0.04	0.20	0.04	0.04	0.06	0.06	0.03	0.28	0.06	0.04	0.07	0.06	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04
17 - 18	0.04	0.04	0.04	0.25	0.05	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.10	0.04	0.06	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03
18 - 19	0.04	0.04	0.04	0.19	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.23	0.07	0.04	0.04
19 - 20	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.08	0.04	0.04	0.03	0.07	0.06	0.03	0.04	0.03	0.04	0.06	0.06	0.03	0.07	0.06	0.04	0.31	0.07	0.04
20 - 21	0.18	0.06	0.04	0.16	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.08	0.08	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.06	0.04	0.25	0.06	0.03
21 - 22	0.26	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.06	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.07	0.03	0.03	0.22	0.06	0.04
22 - 23	0.18	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.06	0.06	0.04	0.16	0.19	0.21	0.07	0.06	0.04	0.26	0.27	0.15	0.22	0.27	0.11	0.23	0.06	0.04
23 - 24	0.18	0.14	0.08	0.17	0.17	0.18	0.16	0.21	0.21	0.04	0.06	0.03	0.18	0.22	0.22	0.04	0.04	0.03	0.14	0.04	0.04	0.18	0.23	0.14

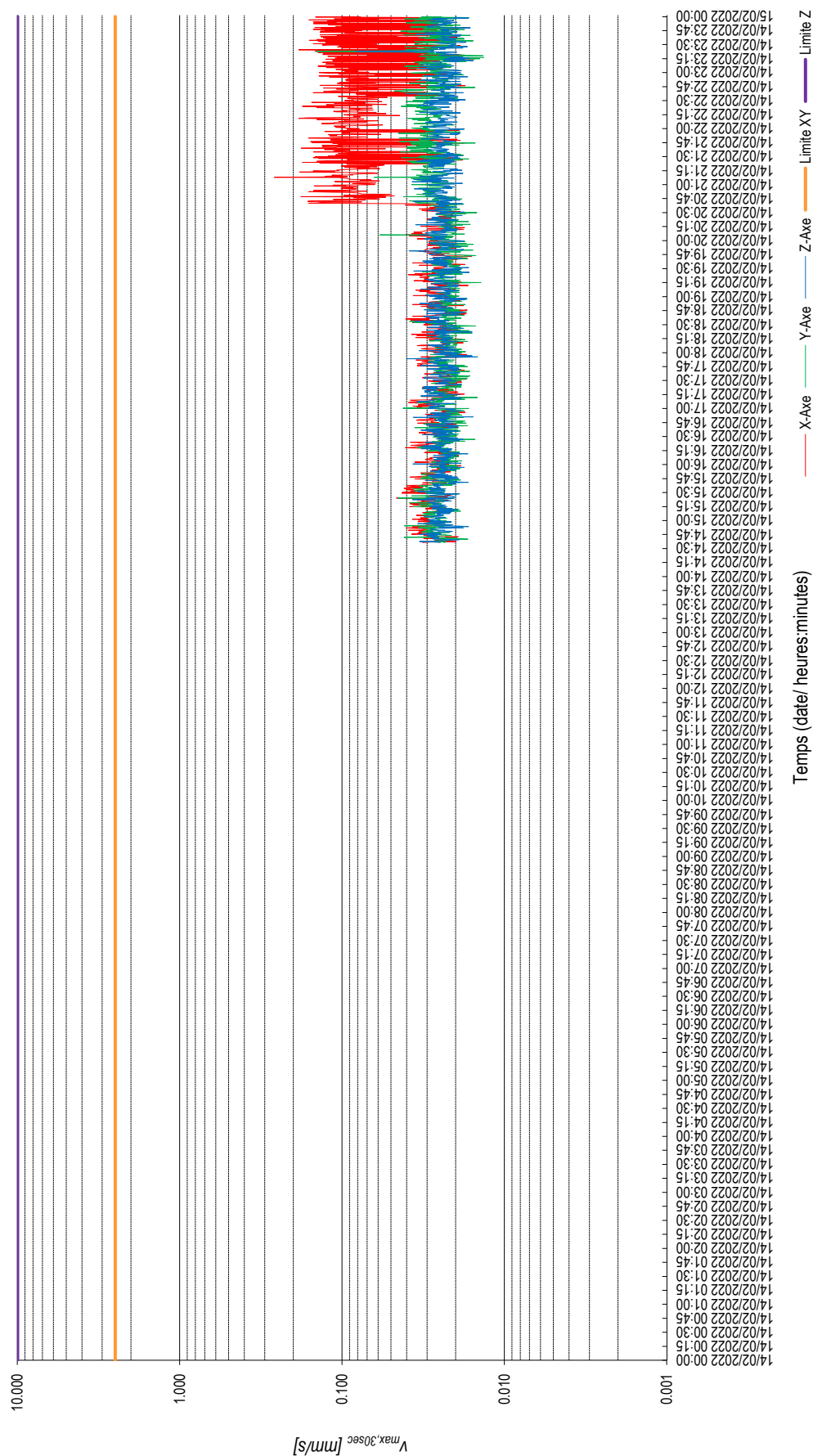
- : contribution énergétique négligeable / non mesurable

* : absence de mesure

GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

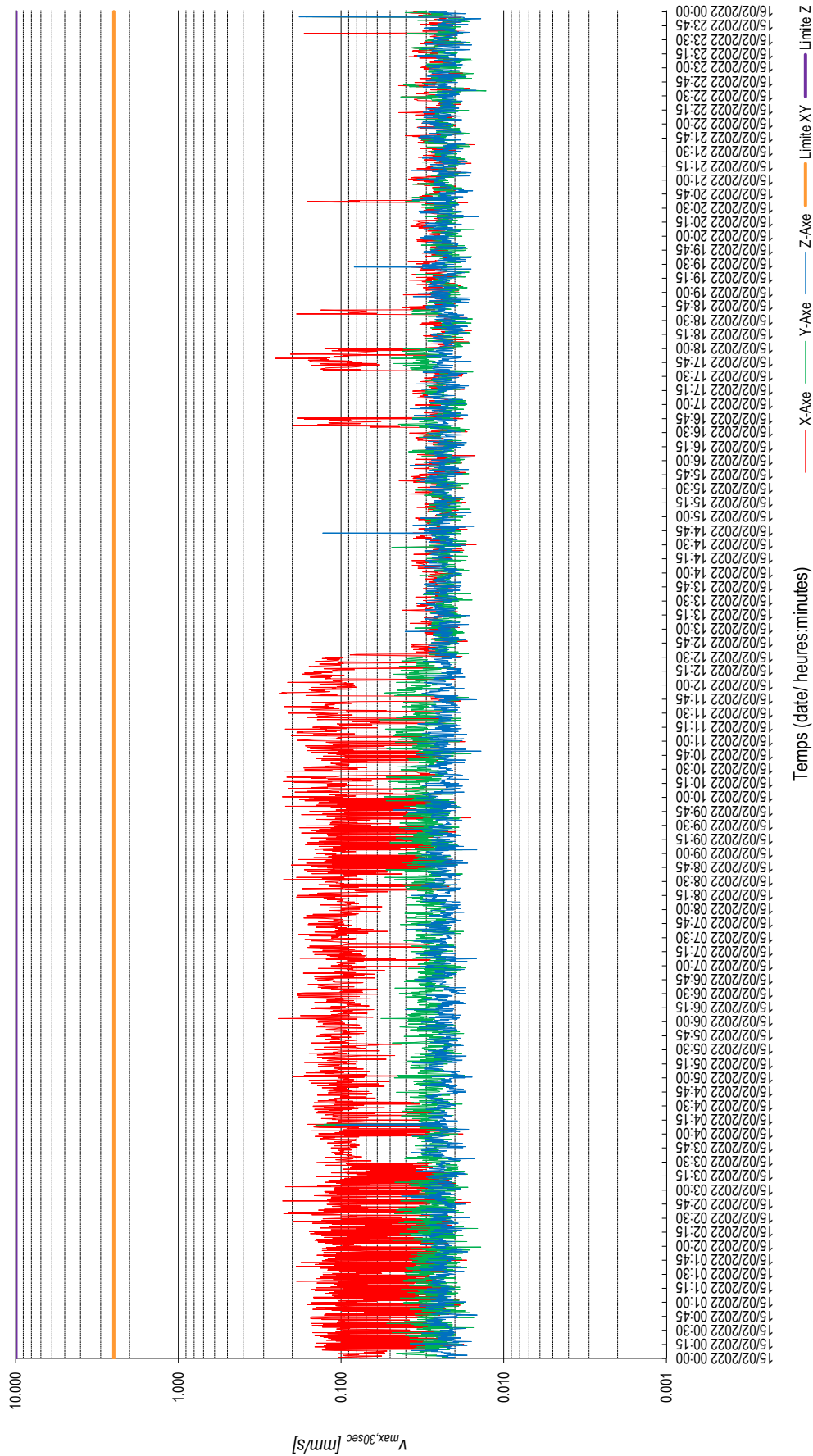
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

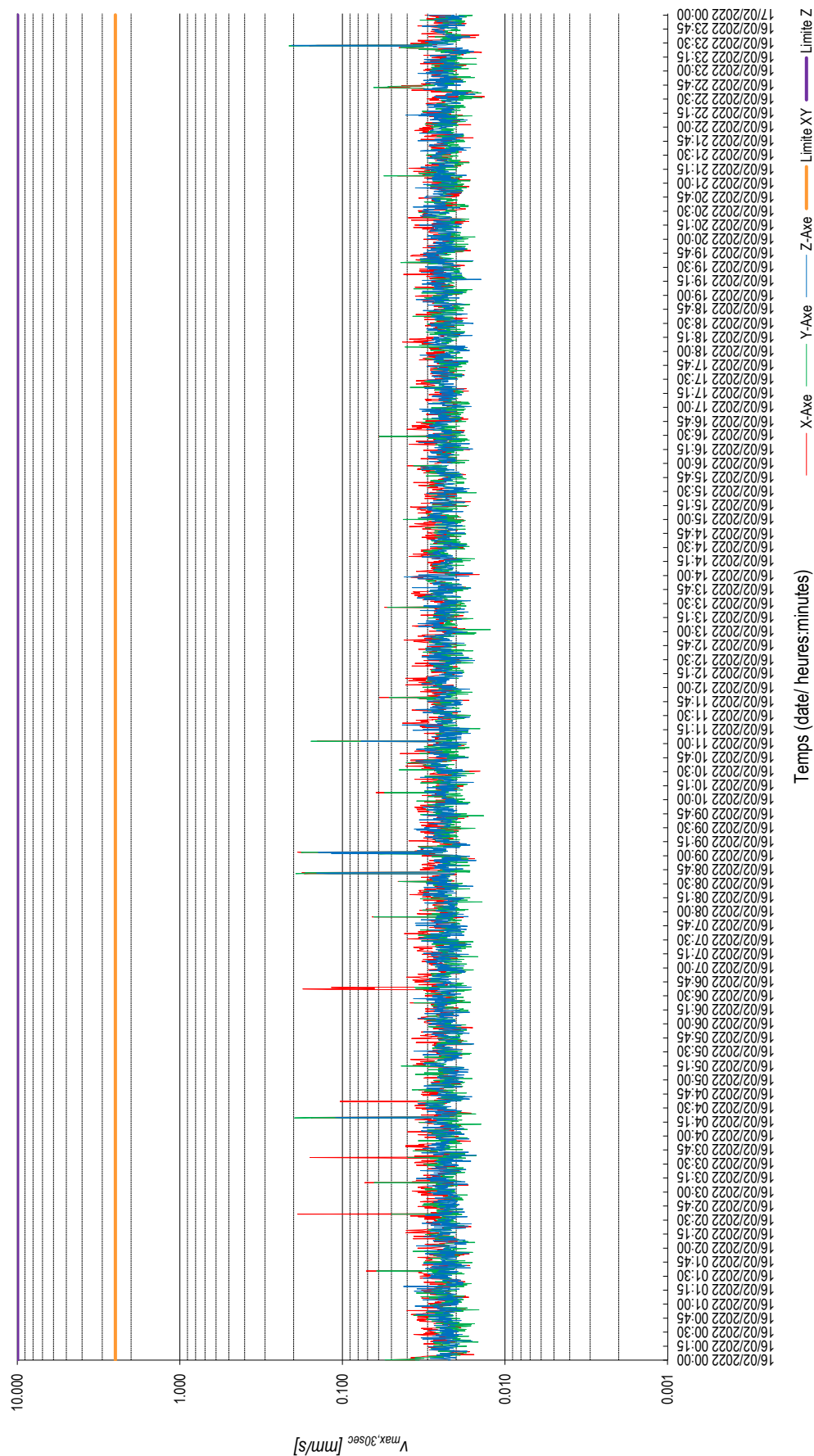
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

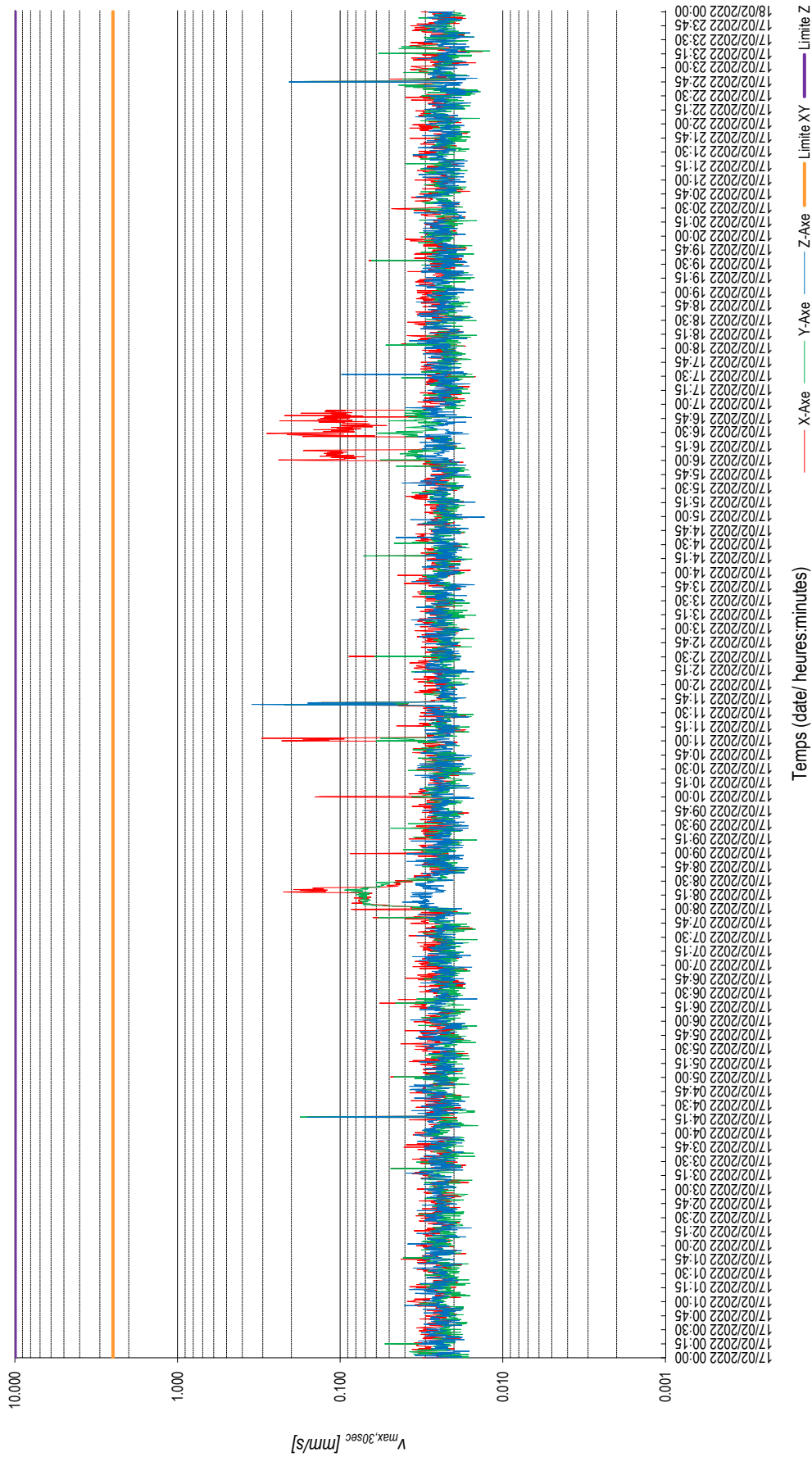
Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

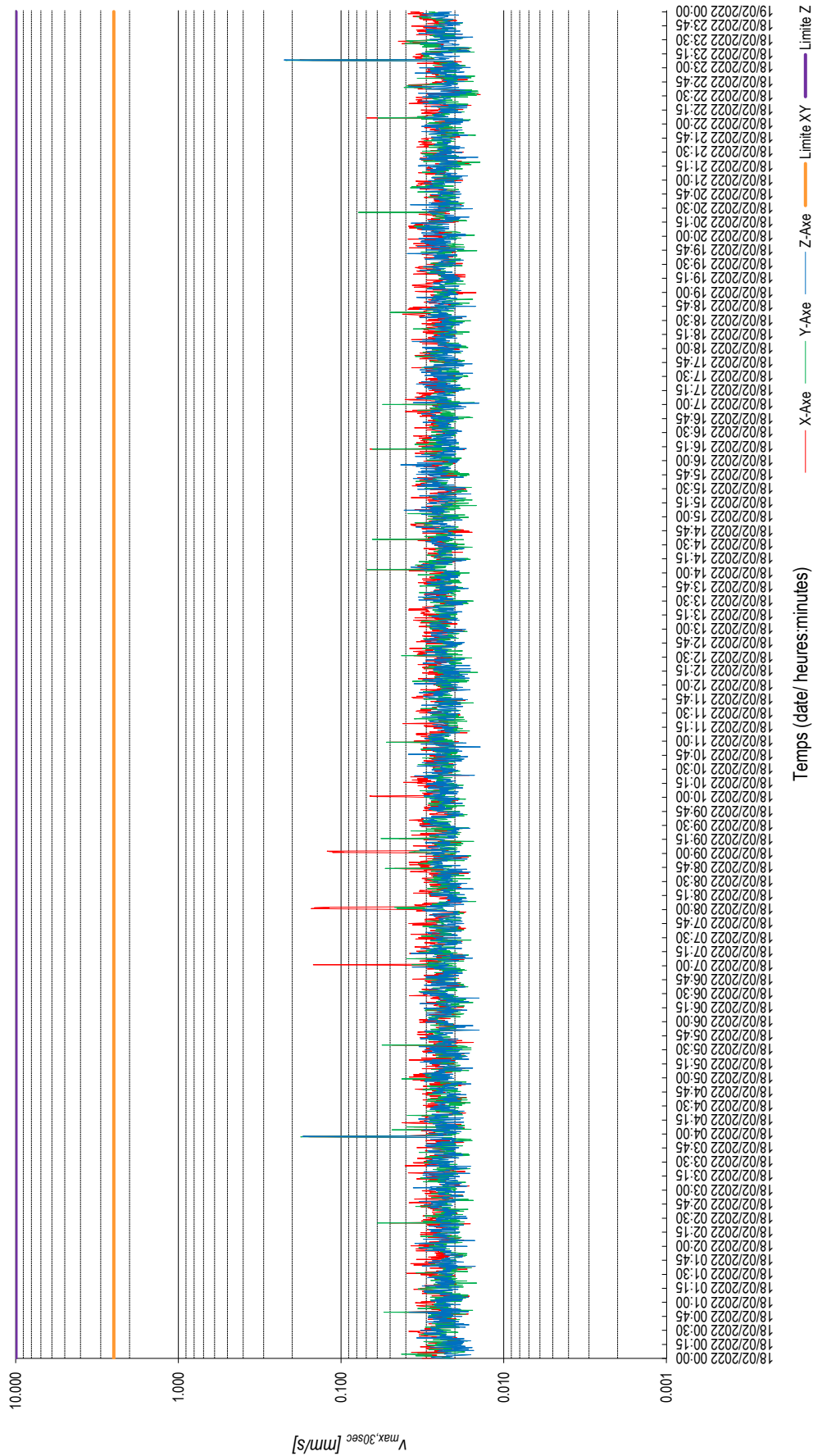
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

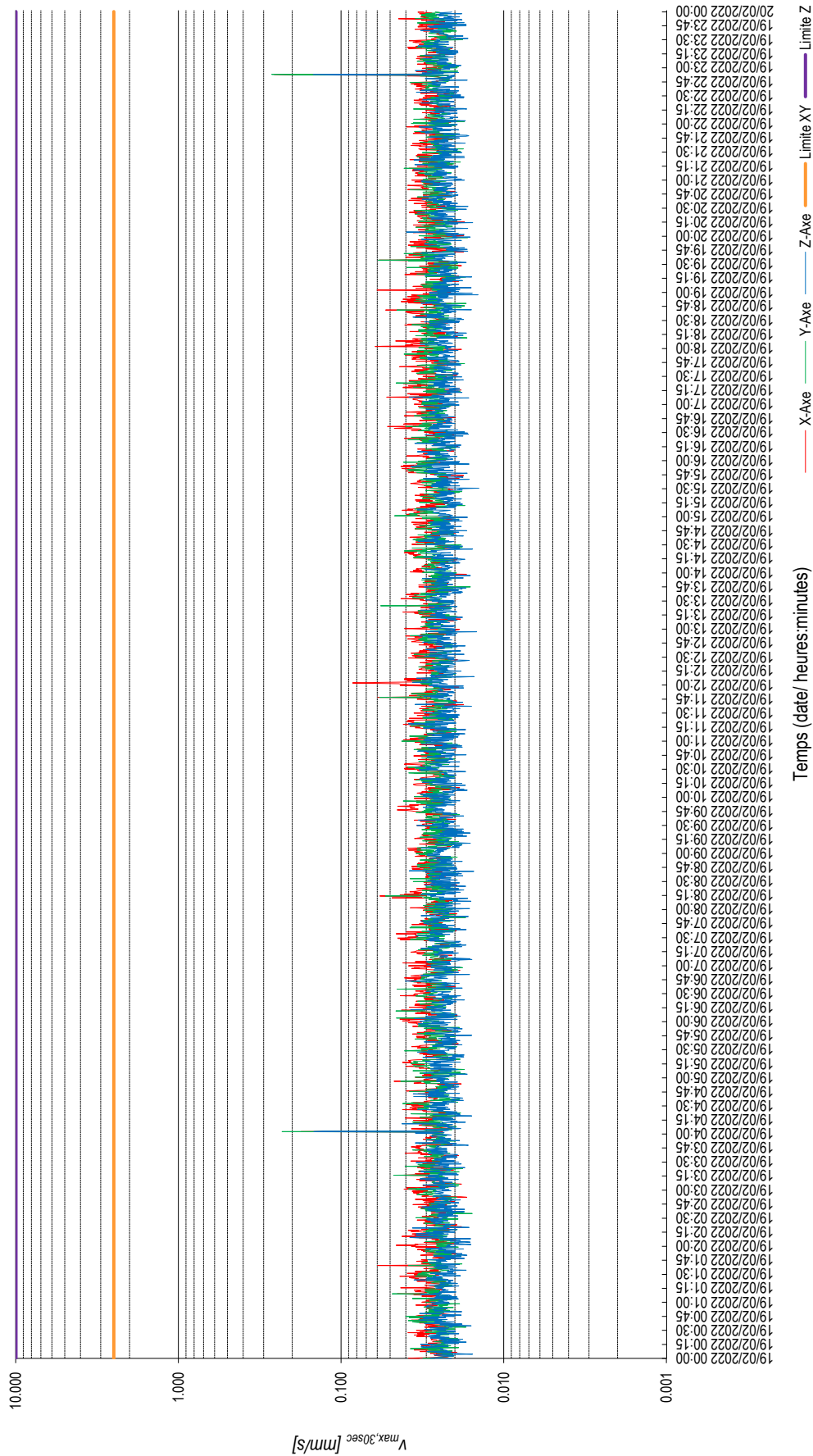
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

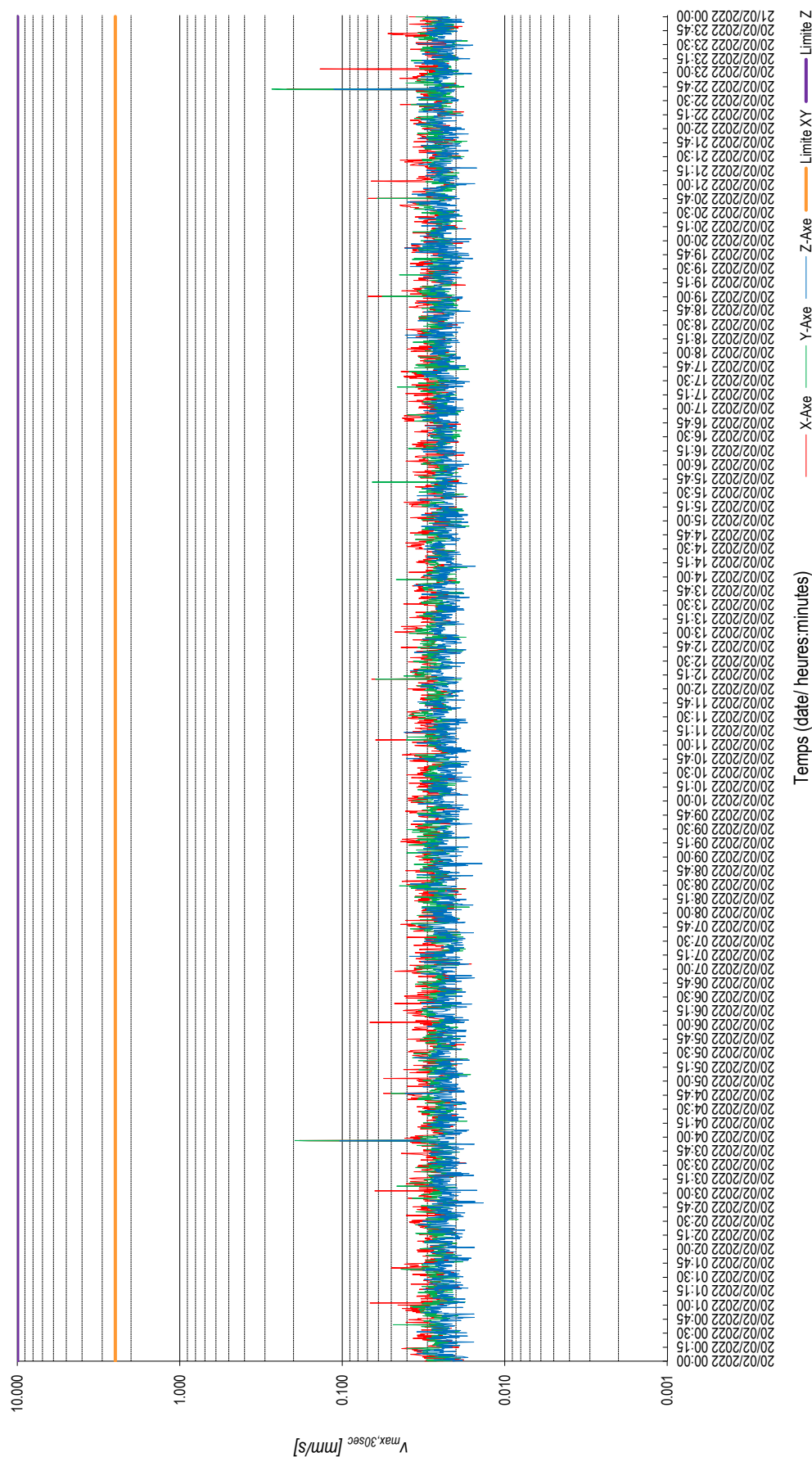
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

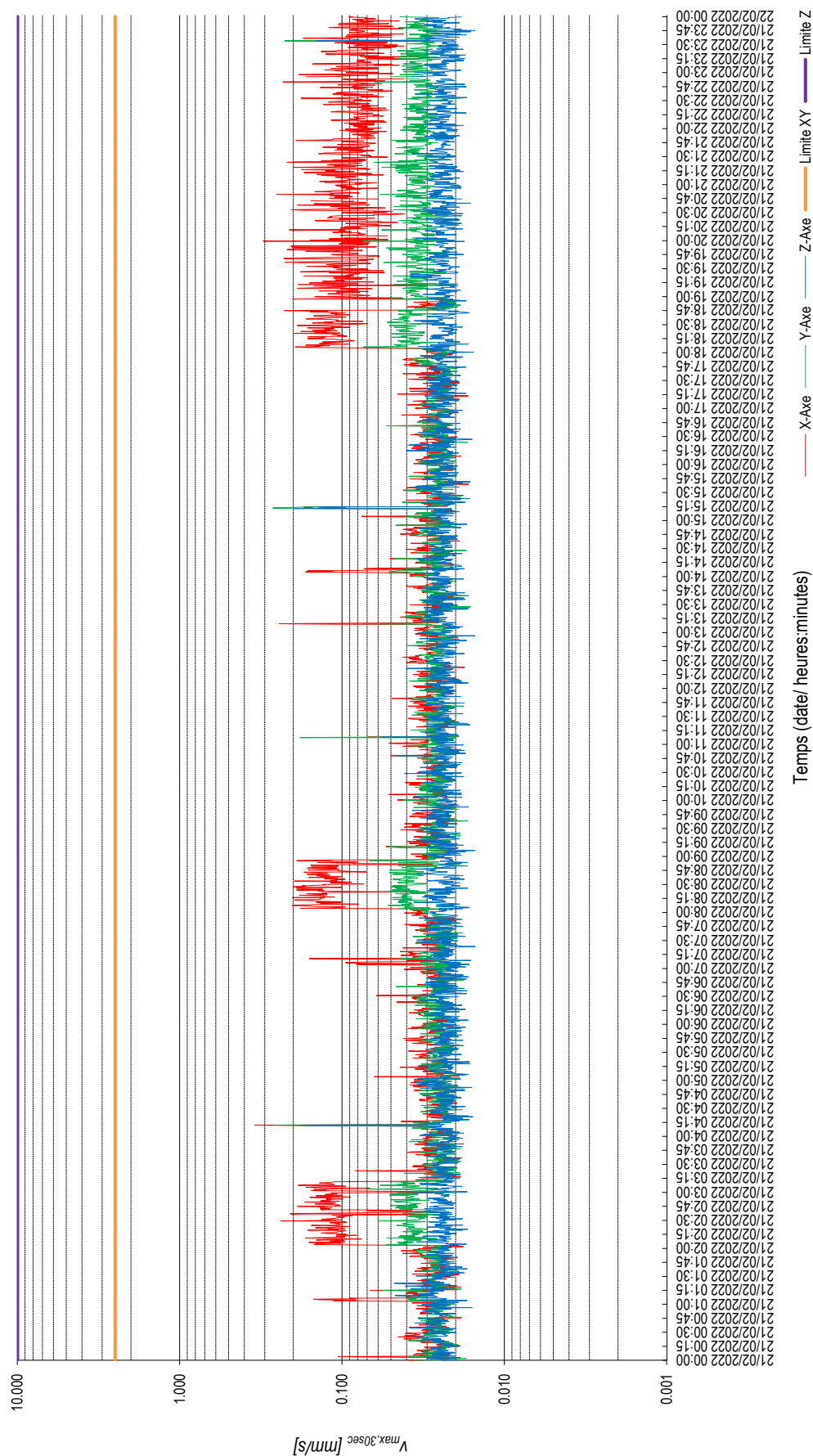
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

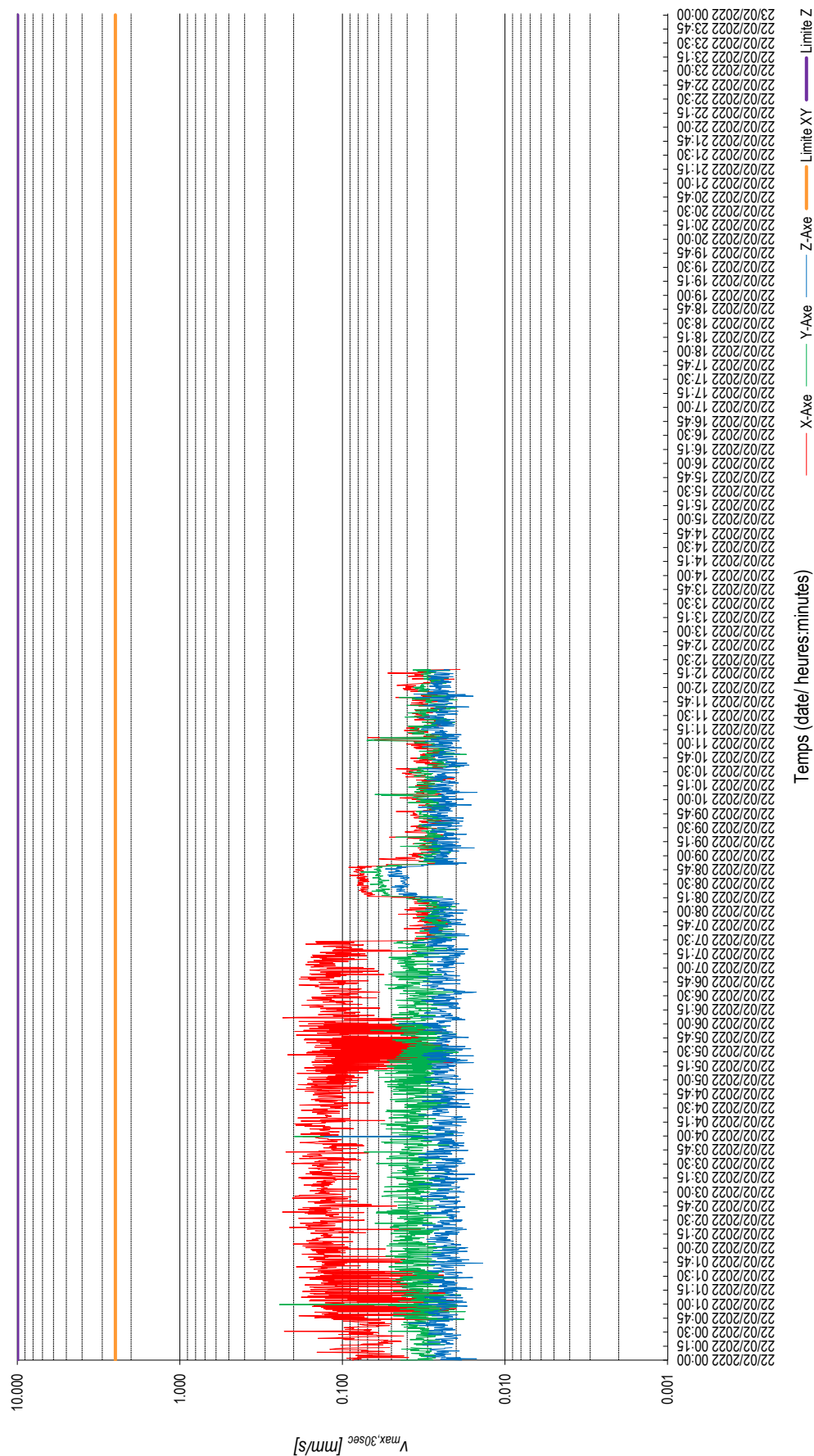
Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

Relevés vibratoires du LUNDI 14/02/2022 au MARDI 22/02/2022

Point 6 - 2 Rue Pierre Federspiel, 1512 Luxembourg - Niveaux vibratoires (DIN 4150-3)



GLOBAL

7.4 Etat des lieux vibratoires

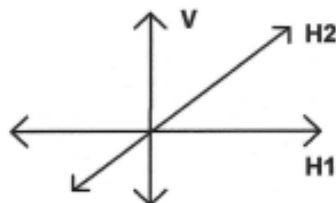
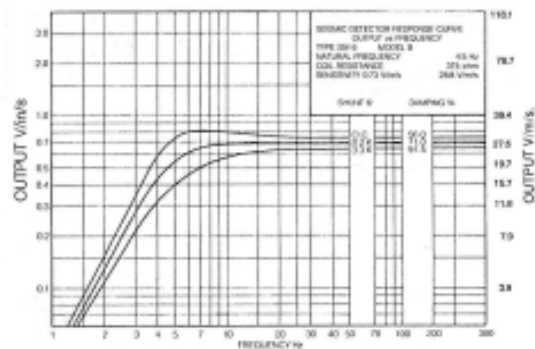
7.4.1 Fiches techniques capteurs



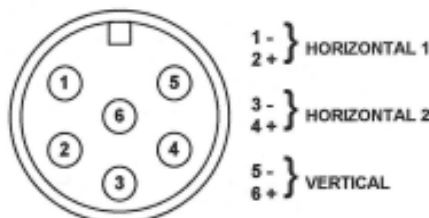
CAPTEUR TRIDIRECTIONNEL A GEOPHONES 4,5 Hz

- SM6 -

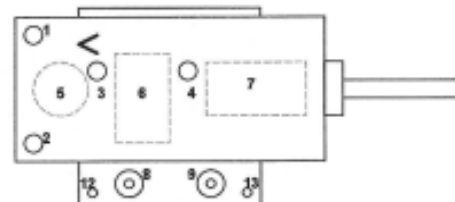
Résistance 375 Ohms \pm 5%
Fréquence 4,5 Hz \pm 11%
Sensibilité 28,8 mV / mm/s \pm 5%
Amortissement 0,56 \pm 5%
Masse en mouvement 11,1 g
Excursion max 4 mm



Dimensions :
Capteur : 165 x 50 x 50 mm
Platine de fixation : ... 110 x 70 x 12 mm
Câble : \approx 1,50 m
Poids : 1,8 Kg



Prise Jaeger femelle étanche



1 -2 -3 -4 : Perçages pour fixation capteur sur platine.
Idem sur la 2^{ème} face.

5 : Géophone Vertical (V)

6 : Géophone Horizontal 2 (H2)

7 : Géophone Horizontal 1 (H1)

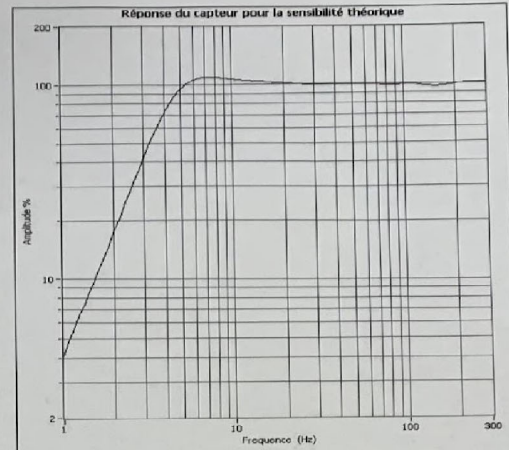
8 -9 -10 -11 : Perçages pour fixation platine sur mur.

12 - 13 : Rattrapage possible d'un défaut du support
(H ou V)

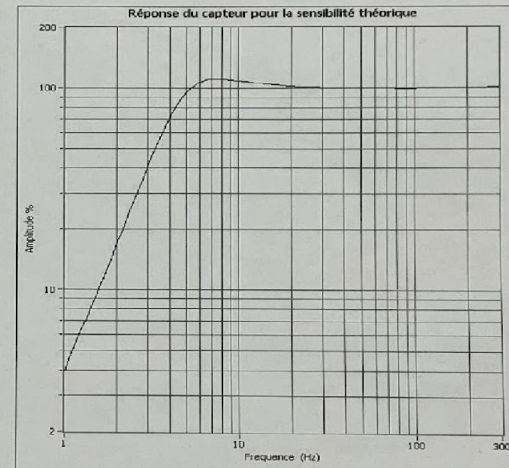
Marquage V impératif sur le sommet du capteur en position verticale.

Capteur et Platine de Fixation (vue du dessus)

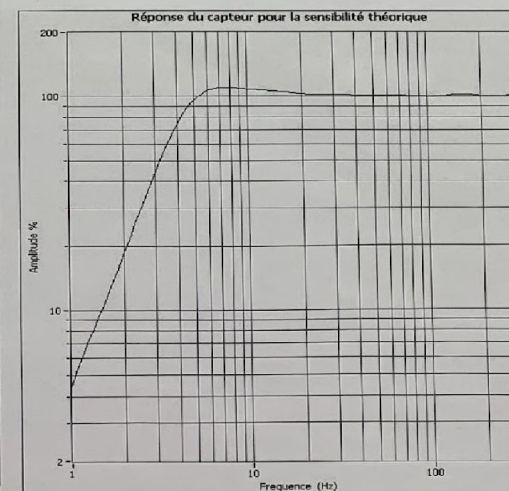
SM63D 861 H1 ou Longitudinal				
Client : IDETEC				
Date : 02/10/2015				
Sensibilité théorique du capteur mesuré : 28,8 mV/mm/s				
Sensibilité moyenne du capteur mesuré (50-100 Hz) : 28,3 mV/mm/s				
Ecart de sensibilité : 1,1 %				
Résistance de la bobine : 376 Ohms				
Fréquence (Hz)	Référence (mm/s)	Capteur (mm/s)	Réponse (%)	Incertitude (+/- %)
1,0	10,40	0,42	4,08	4,47
1,5	10,40	0,99	9,48	4,21
2,0	10,23	1,40	17,51	3,60
3,0	10,23	4,29	41,00	3,53
4,0	10,20	7,32	71,74	3,45
4,5	9,99	8,50	85,02	3,21
5,0	9,97	9,19	91,97	2,98
6,0	9,97	10,50	105,01	3,00
7,0	10,63	10,55	108,04	2,96
8,0	10,63	10,97	108,83	2,92
9,0	10,69	10,88	107,62	2,98
10,0	10,68	10,75	108,60	2,94
15,0	9,79	10,14	103,54	2,04
20,0	9,75	9,89	101,34	2,04
30,0	9,97	9,90	99,57	1,93
40,0	10,11	10,04	99,30	1,91
50,0	9,82	9,74	99,10	1,87
60,0	9,94	9,84	99,06	1,83
70,0	9,83	9,73	98,96	1,79
80,0	9,89	9,77	98,75	1,75
90,0	9,87	9,73	98,61	1,73
100,0	9,96	9,77	98,18	1,71
150,0	9,74	9,45	97,11	1,70
200,0	9,70	9,05	99,48	1,77
300,0	9,75	9,84	100,83	1,78



SM63D 861 H2 ou Transversal				
Client : IDETEC				
Date : 02/10/2015				
Sensibilité théorique du capteur mesuré : 28,8 mV/mm/s				
Sensibilité moyenne du capteur mesuré (50-100 Hz) : 28,8 mV/mm/s				
Ecart de sensibilité : 0,1 %				
Résistance de la bobine : 380 Ohms				
Fréquence (Hz)	Référence (mm/s)	Capteur (mm/s)	Réponse (%)	Incertitude (+/- %)
1,0	10,30	0,41	3,94	4,49
1,5	10,34	0,94	9,13	4,22
2,0	10,24	1,73	16,89	3,60
3,0	10,21	4,15	40,64	3,53
4,0	10,20	7,19	70,43	3,45
4,5	9,81	9,28	94,37	3,21
5,0	9,88	9,21	95,17	2,98
6,0	9,97	10,69	107,24	3,00
7,0	10,08	11,16	110,97	2,96
8,0	10,10	11,20	110,86	2,92
9,0	10,11	11,10	109,83	2,98
10,0	10,09	10,96	108,53	2,94
15,0	9,89	10,31	105,60	2,04
20,0	9,76	9,97	102,14	2,04
30,0	10,09	10,09	100,74	1,93
40,0	10,13	10,17	100,45	1,91
50,0	9,84	9,80	100,28	1,87
60,0	9,96	9,93	100,18	1,83
70,0	9,88	9,88	99,90	1,79
80,0	9,89	9,87	99,77	1,75
90,0	9,83	9,79	99,55	1,73
100,0	9,61	9,49	99,26	1,71
150,0	9,66	9,68	100,30	1,76
200,0	9,71	9,74	100,37	1,77
300,0	9,80	9,89	100,95	1,78



SM63D 861 V ou Vertical				
Client : IDETEC				
Date : 02/10/2015				
Sensibilité théorique du capteur mesuré : 28,8 mV/mm/s				
Sensibilité moyenne du capteur mesuré (50-100 Hz) : 29,0 mV/mm/s				
Ecart de sensibilité : 0,7 %				
Résistance de la bobine : 380 Ohms				
Fréquence (Hz)	Référence (mm/s)	Capteur (mm/s)	Réponse (%)	Incertitude (+/- %)
1,0	10,01	0,45	4,46	4,54
1,5	9,99	1,07	10,28	4,20
2,0	10,01	1,88	18,75	3,59
3,0	10,02	4,41	44,00	3,53
4,0	9,99	7,37	73,78	3,45
4,5	10,00	8,65	86,56	3,21
5,0	10,00	9,60	96,07	2,98
6,0	10,00	10,64	106,44	3,00
7,0	10,01	10,58	105,97	2,96
8,0	9,98	10,56	105,81	2,92
9,0	9,98	10,80	108,11	2,98
10,0	9,90	10,81	108,16	2,94
15,0	9,72	10,74	109,55	2,04
20,0	10,31	10,60	102,83	2,04
30,0	10,07	10,76	107,89	1,93
40,0	10,00	10,15	101,50	1,91
50,0	9,90	9,67	101,25	1,87
60,0	9,90	10,11	101,15	1,83
70,0	9,64	9,73	100,95	1,79
80,0	10,01	10,08	100,62	1,75
90,0	10,11	10,15	100,40	1,73
100,0	9,89	9,86	99,76	1,76
150,0	9,54	9,76	102,35	1,76
200,0	9,59	9,66	100,67	1,77
300,0	9,66	9,83	101,53	1,78





SENSOR Nederland bv

SM-6 Geophone

- Long travel version of the SM-4 (8-Hz, 10-Hz, & 14-Hz) geophone; also available in 4.5-Hz natural frequency
- Special orientations upon request beyond the normal vertical and horizontal options
- Widely used in industrial vibration-monitoring systems
- Rugged construction with precious-metal, rotating-coil contacts
- 2-year limited warranty



The SM-6 geophone is a long coil travel version of the time-proven SM-4 geophone. The extra coil travel offers an advantage for higher tilt requirements and where larger amplitude signals may be encountered, for example, in industrial vibration monitoring. A range of natural frequencies is available from 4.5 Hz to 14 Hz, providing choice of the correct geophone for a wide variety of applications.

The SM-6 can be supplied for vertical and horizontal orientation. Other specialized versions are available upon request, for example, Galperin (54.7°), 45°.

The SM-6 is an ideal choice for the shear-wave horizontal elements, partnering an SM-4 vertical geophone in a 3-component package.

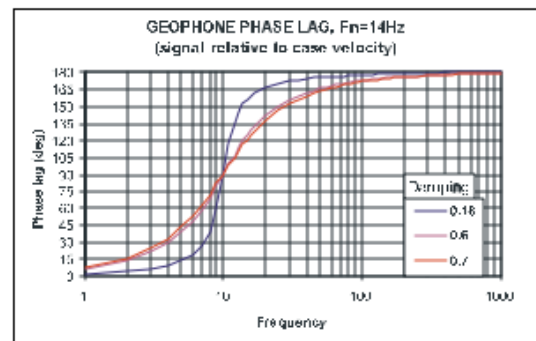
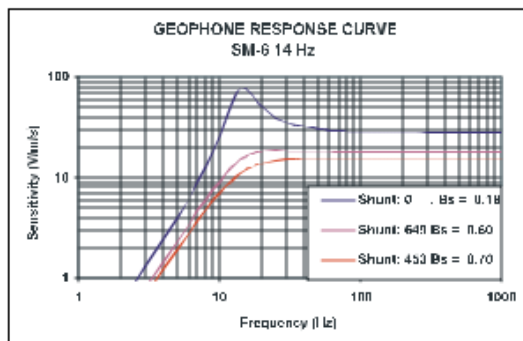
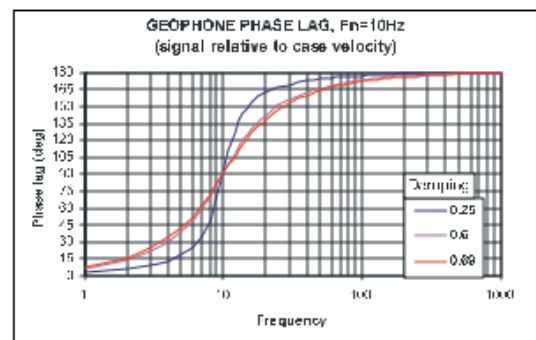
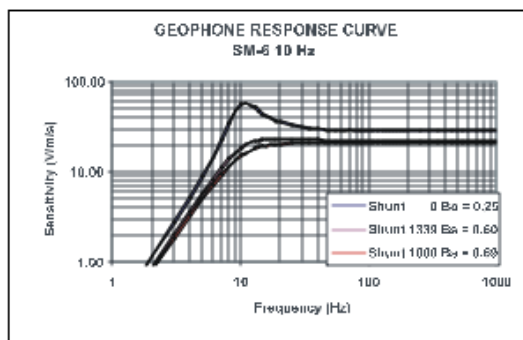
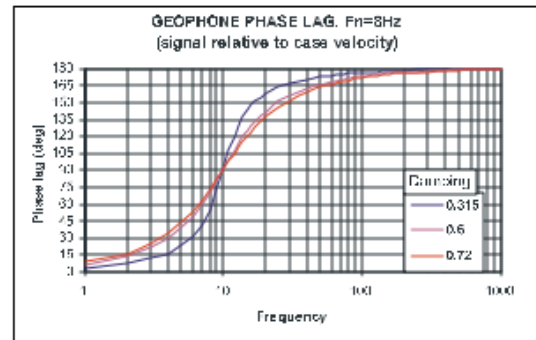
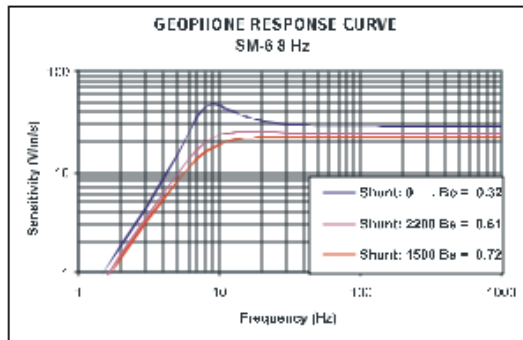
A variety of I/O Sensor land cases can accommodate the SM-6 geophone elements, making them suitable for an extensive range of field applications.

Specifications		INPUT/OUTPUT, INC.		
	SM-6/U-B			
Frequency				
Natural frequency (f_n)	8 Hz	10 Hz	14 Hz	
Tolerance	± 0.5 Hz	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	
Maximum tilt angle for specified f_n	20°	25°	25°	
Typical spurious frequency	150 Hz	170 Hz	190 Hz	
Distortion				
Distortion with 0.7 in/s p.p. coil-to-case velocity	<0.2%	<0.2%	<0.2%	
Distortion measurement frequency	12 Hz	12 Hz	14 Hz	
Maximum tilt angle for distortion specification	15°	20°	20°	
Damping				
Open-circuit damping	0.315	0.25	0.18	
Damping calibration-shunt resistance	2,257 Ω	1,339 Ω	645 Ω	
Damping with shunt	0.6	0.6	0.6	
Tolerance with shunt	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	
Resistance				
Standard coil resistance	375 Ω	375 Ω	375 Ω	
Tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	
Sensitivity				
Open-circuit sensitivity	28.8 V/m/s	28.8 V/m/s	28.8 V/m/s	(0.73 V/in/s)
Tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	
$R_l B_c f_n$	6,000 Ω Hz	6,000 Ω Hz	6,000 Ω Hz	
Moving mass	11.1 g	11.1 g	11.1 g	(0.39 oz)
Maximum coil excursion p.p.	4 mm	4 mm	4 mm	(0.16 in)
Physical Characteristics				
Diameter	25.4 mm	25.4 mm	25.4 mm	(1 in)
Height	36 mm	36 mm	36 mm	(1.42 in)
Weight	81 g	81 g	81 g	(2.85 oz)
Operating temperature range	-40°C to +100°C	-40°C to +100°C	-40°C to +100°C	(-40°F to +212°F)
Limited Warranty Period*				
	2 years	2 years	2 years	
* Warranty excludes damage caused by high-voltage and physical damage to the element case.				
All parameters are specified at +20°C in the vertical position unless otherwise stated.				

Specifications (cont.)		INPUT/OUTPUT, INC.
SM-6 LOW FREQUENCY GEOPHONE	A-Coil	B-Coil
Frequency		
Natural frequency (f_n)	4.5 Hz	4.5 Hz
Tolerance	± 0.5 Hz	± 0.5 Hz
Maximum tilt angle for specified f_n	0°	0°
Typical spurious frequency	140 Hz	140 Hz
Distortion		
Distortion with 0.7 ips p.p. coil-to-case velocity	<0.3%	<0.3%
Distortion measurement frequency	12 Hz	12 Hz
Maximum tilt angle for distortion specification	0°	0°
Damping		
Open-circuit damping	0.265	0.56
Open-circuit damping tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
Resistance		
Standard coil resistance	375 Ω	375 Ω
Tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
Sensitivity		
Open-circuit sensitivity	28.0 V/m/s (0.71 V/in/s)	28.8 V/m/s (0.73 V/in/s)
Tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
$R_B C_{f_n}$	3,875 Ω Hz	6,000 Ω Hz
Moving mass	16.1 g (0.57 oz)	11.1 g (0.39 oz)
Maximum coil excursion p.p.	4 mm (0.16 in)	4mm (0.16 in)
Physical		
Diameter	25.4 mm (1 in)	25.4 mm (1 in)
Height	36 mm (1.42 in)	36 mm (1.42 in)
Weight	81 g (2.85 oz)	81 g (2.85 oz)
Operating temperature range	-40°C to +100°C (-40°F to +212°F)	-40°C to +100°C (-40°F to +212°F)
Limited Warranty Period*	1 year	1 year
	* Warranty excludes damage caused by high-voltage and physical damage to the element case.	
	All parameters are specified at +20°C in the vertical position unless otherwise stated.	
Ordering Information		
SM-6 4.5 Hz		
SM-6/U-A 4.5Hz 375 Ω (upright A-coil)	P/N 1006050	
SM-6/H-A 4.5Hz 375 Ω (horizontal A-coil)	P/N 1006090	
SM-6/U-B 4.5Hz 375 Ω (upright B-coil)	P/N 1006060	
SM-6/H-B 4.5Hz 375 Ω (horizontal B-coil)	P/N 1006100	
SM-6 8 Hz		
SM-6/U-B 8 Hz 375 Ω (upright)	P/N 1006280	
SM-6/H-B 8 Hz 375 Ω (horizontal)	P/N 1006300	
SM-6 10 Hz		
SM-6/U-B 10 Hz 375 Ω (upright)	P/N 1006330	
SM-6/H-B 10 Hz 375 Ω (horizontal)	P/N 1006350	
SM-6 14 Hz		
SM-6/U-B 14 Hz 375 Ω (upright)	P/N 1006400	
SM-6/H-B 14 Hz 375 Ω (horizontal)	P/N 1006420	

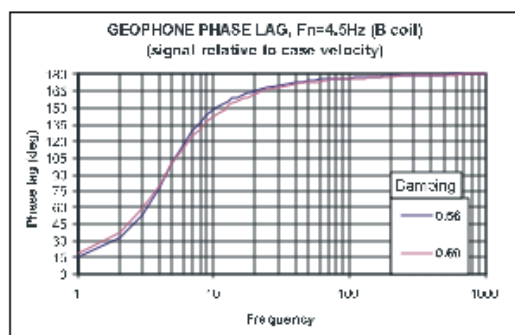
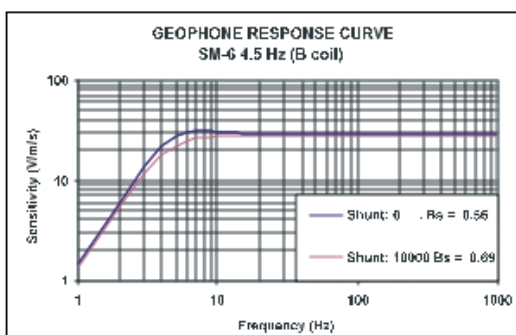
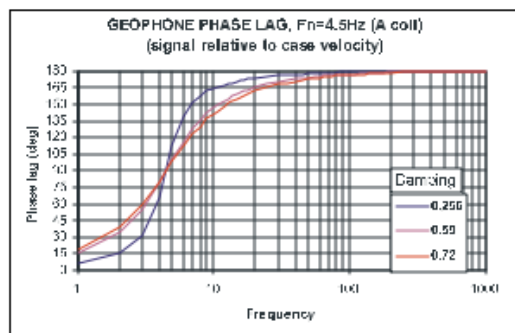
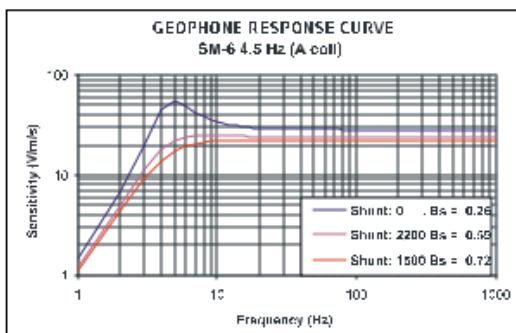
Geophone Response Curve and Phase Lag

INPUT/OUTPUT, INC.

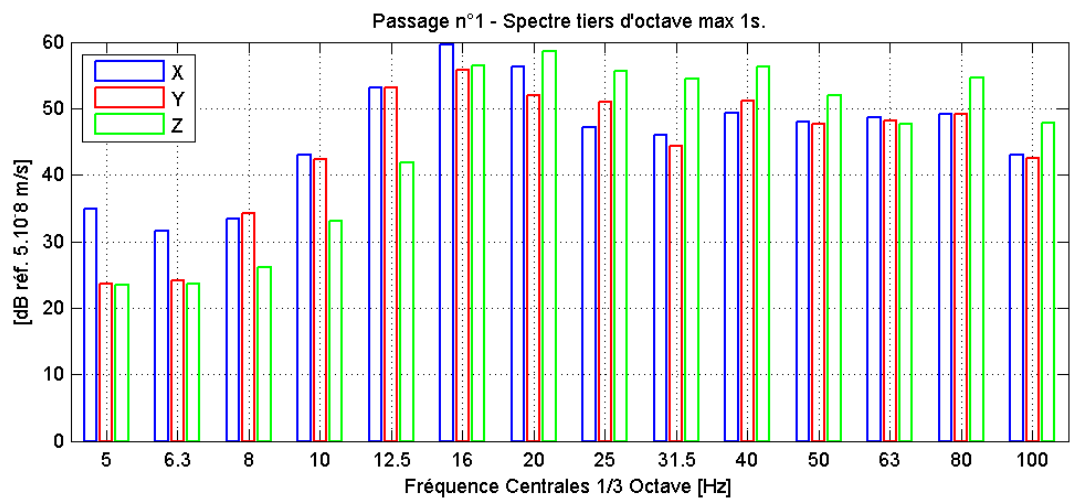
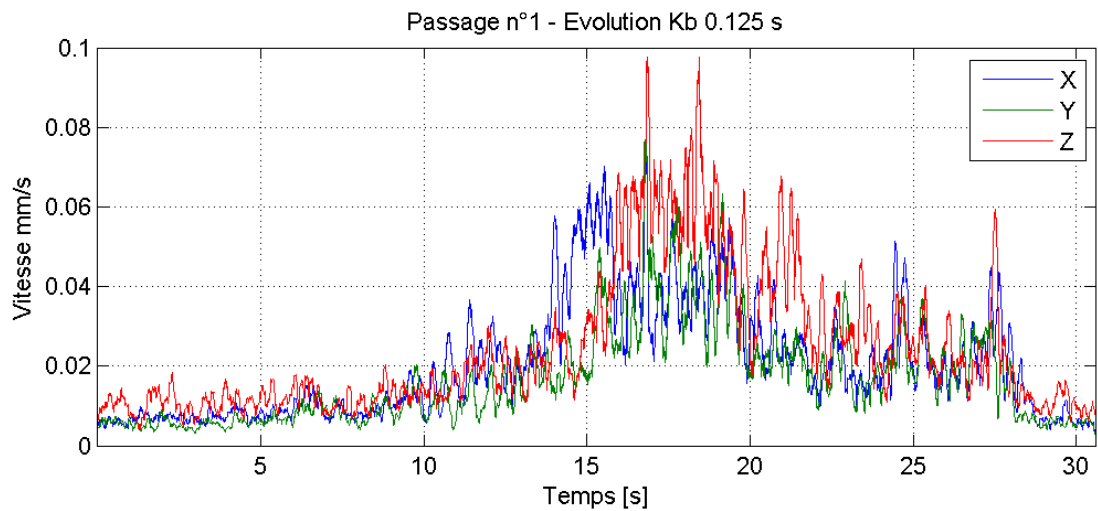
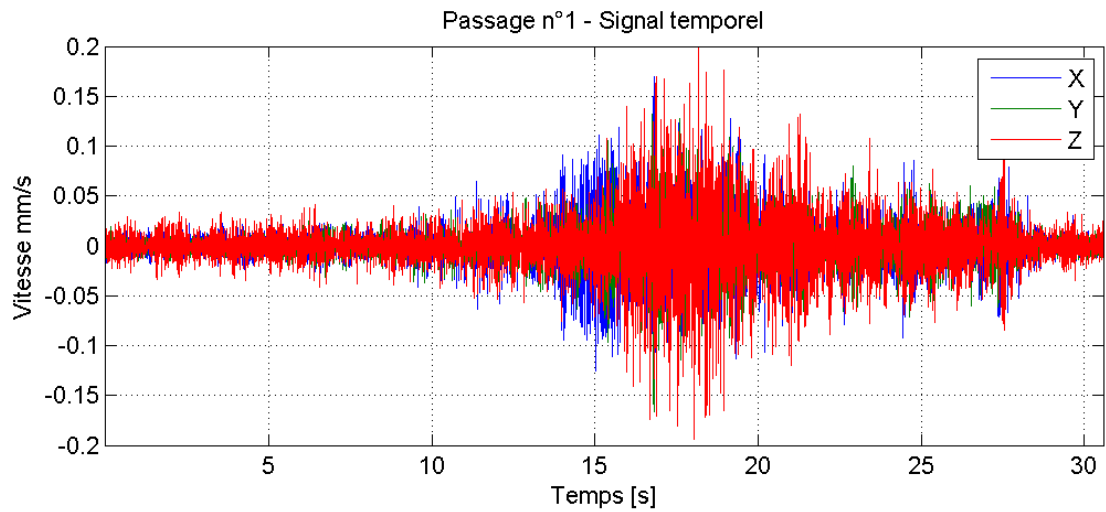


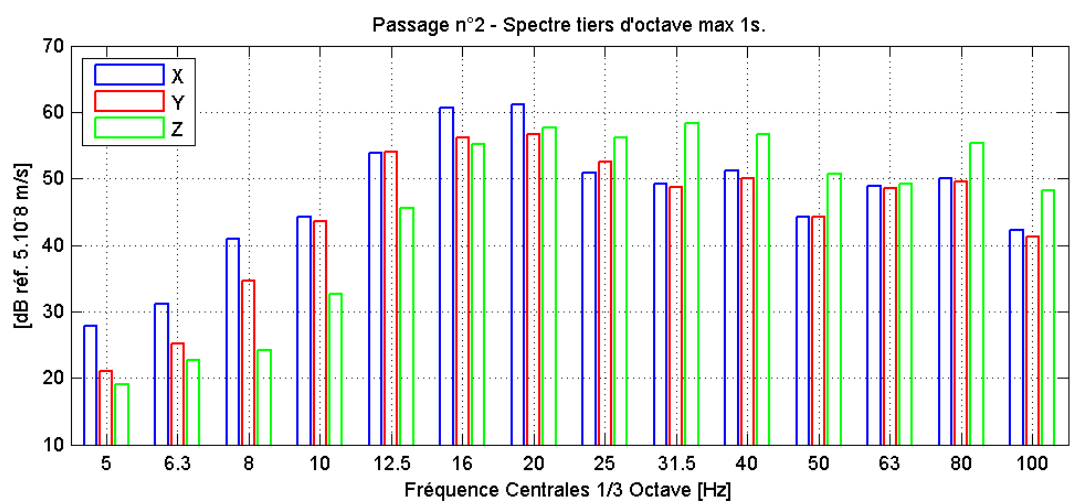
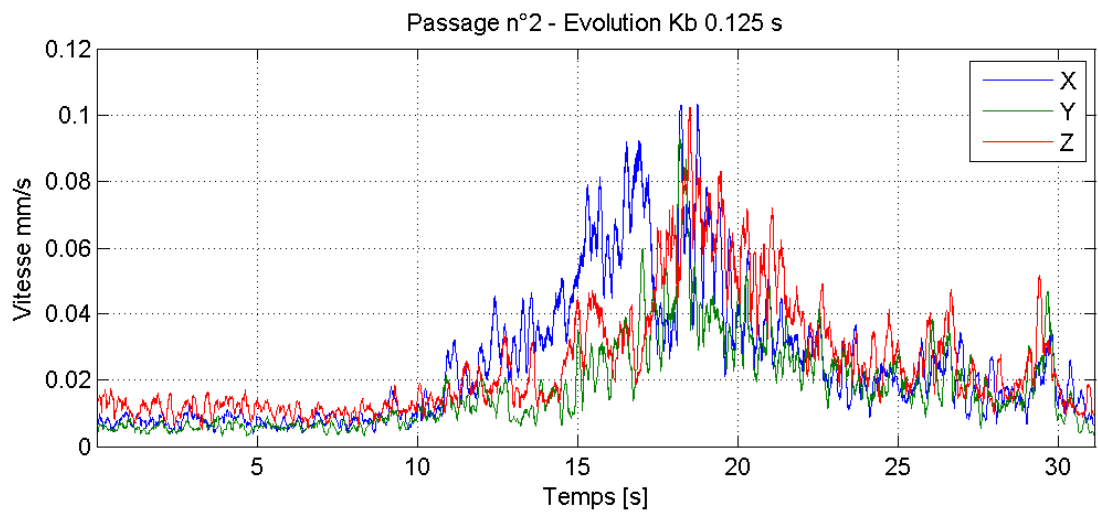
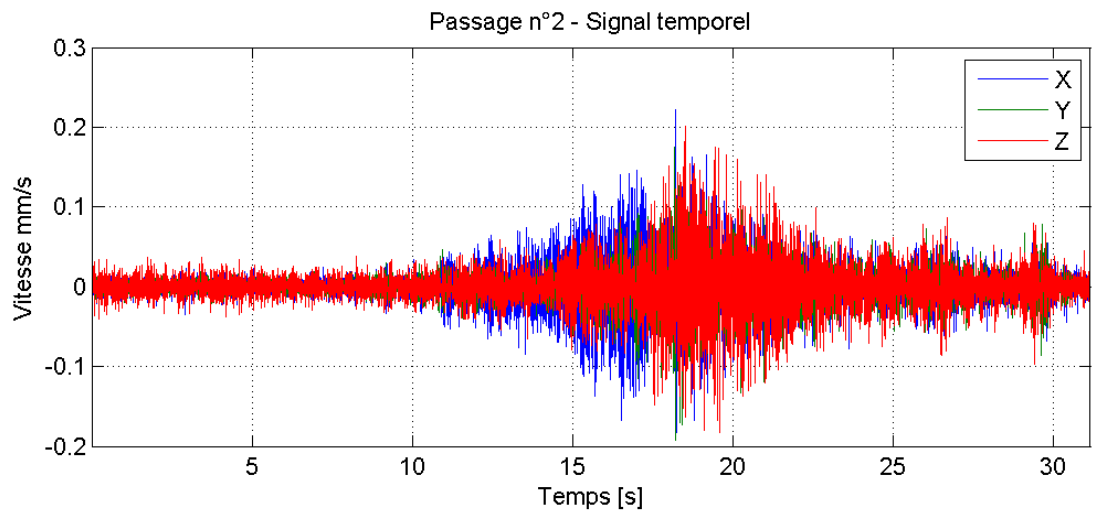
Geophone Response Curve and Phase Lag

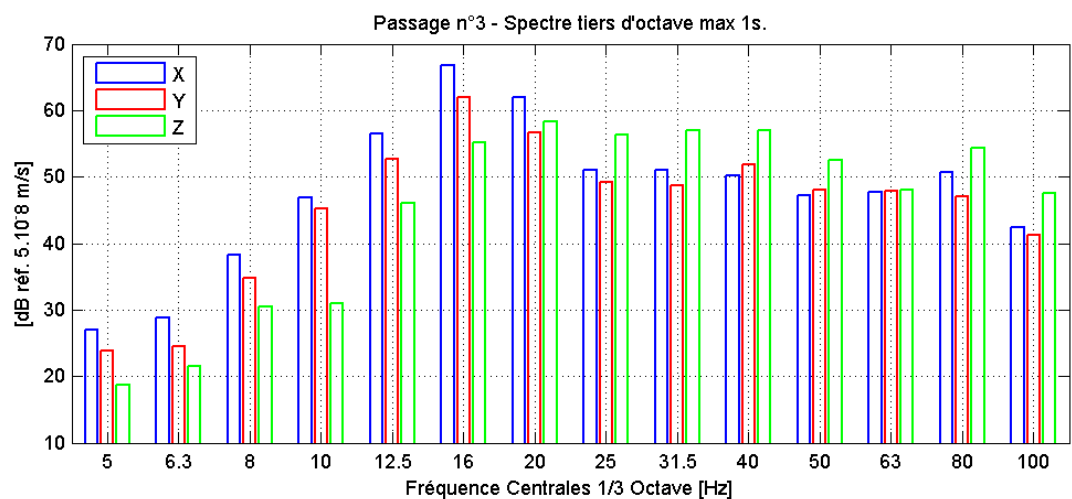
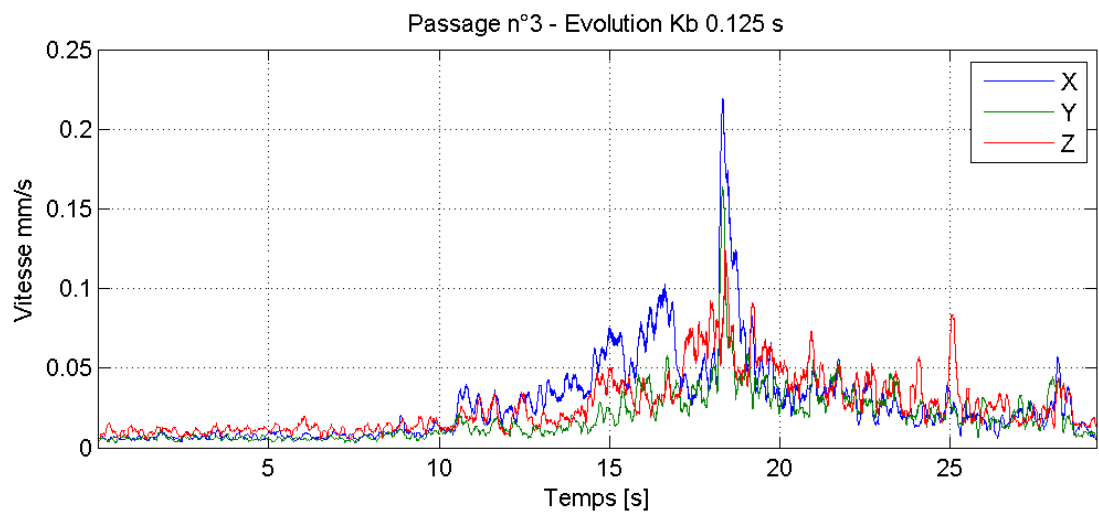
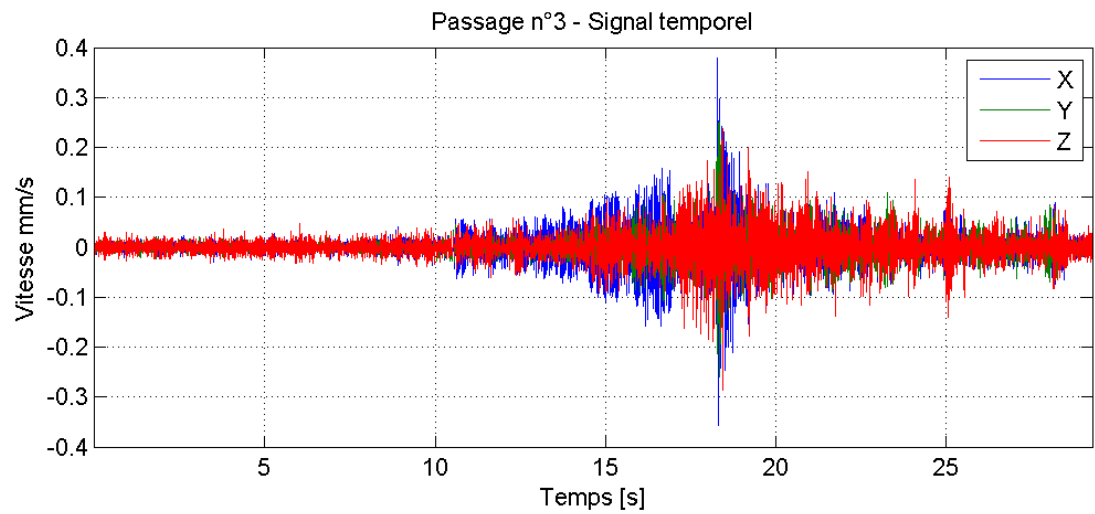
INPUT/OUTPUT, INC.

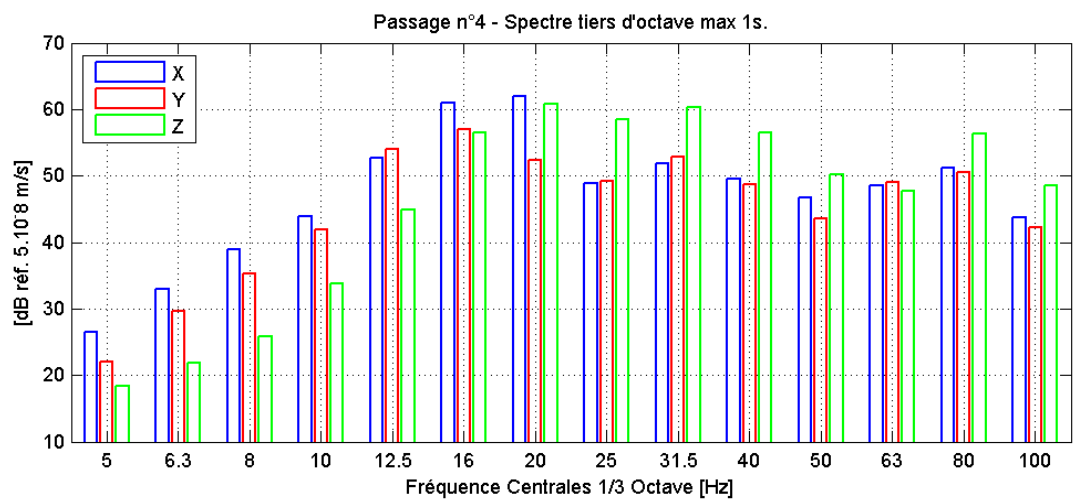
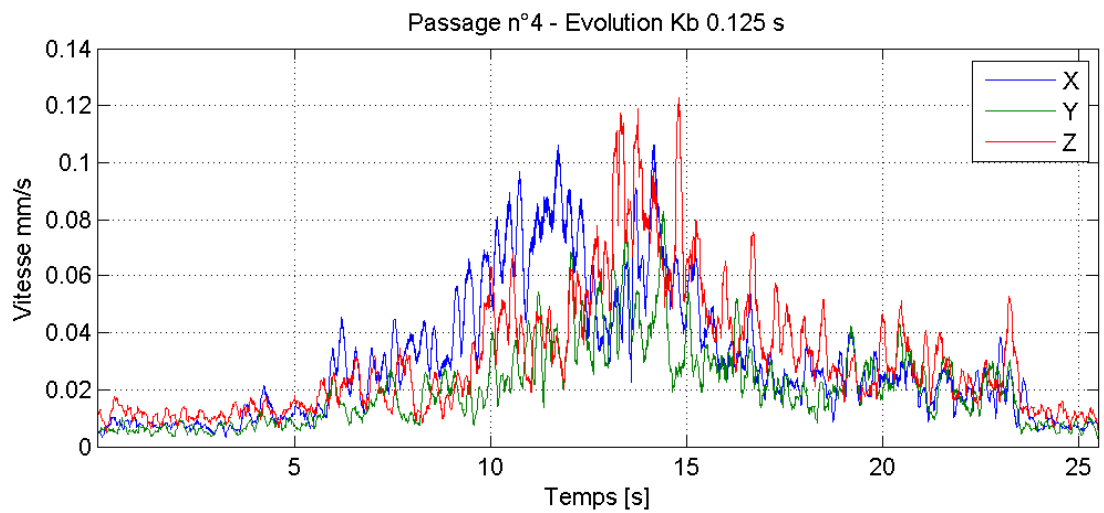
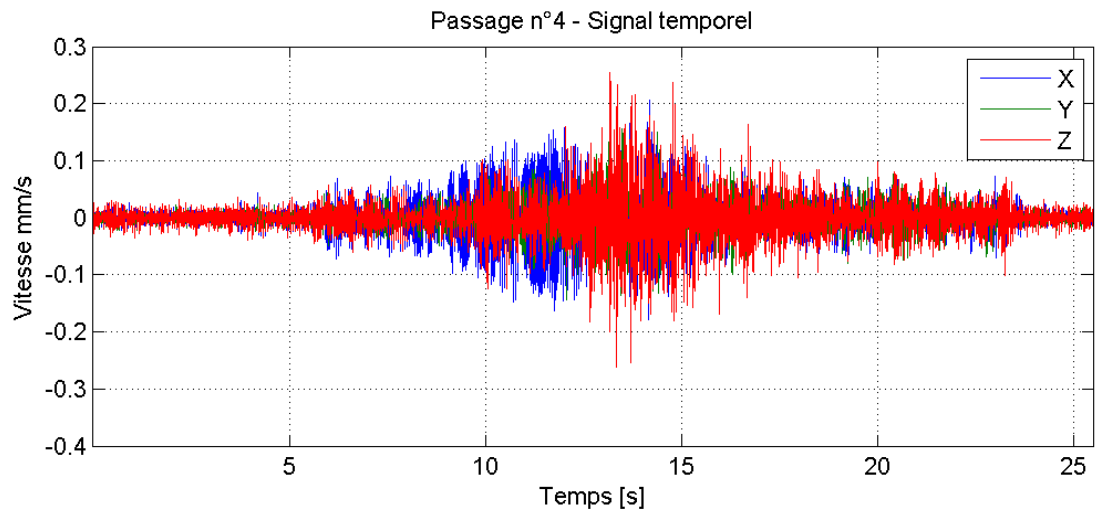


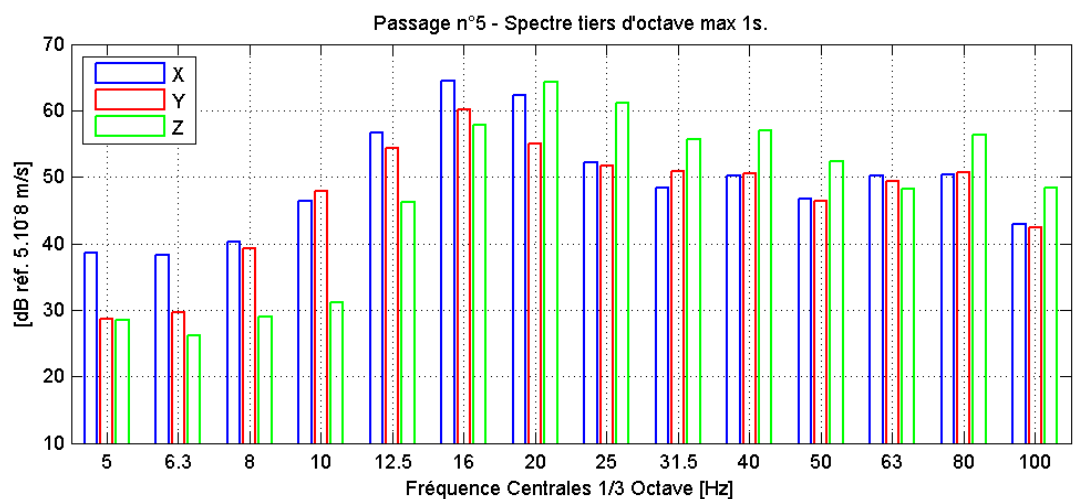
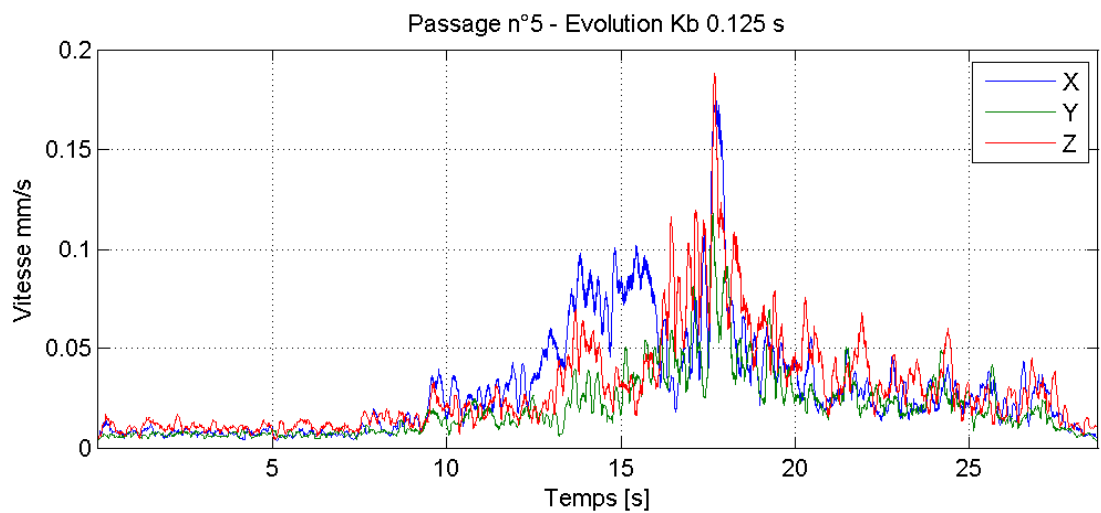
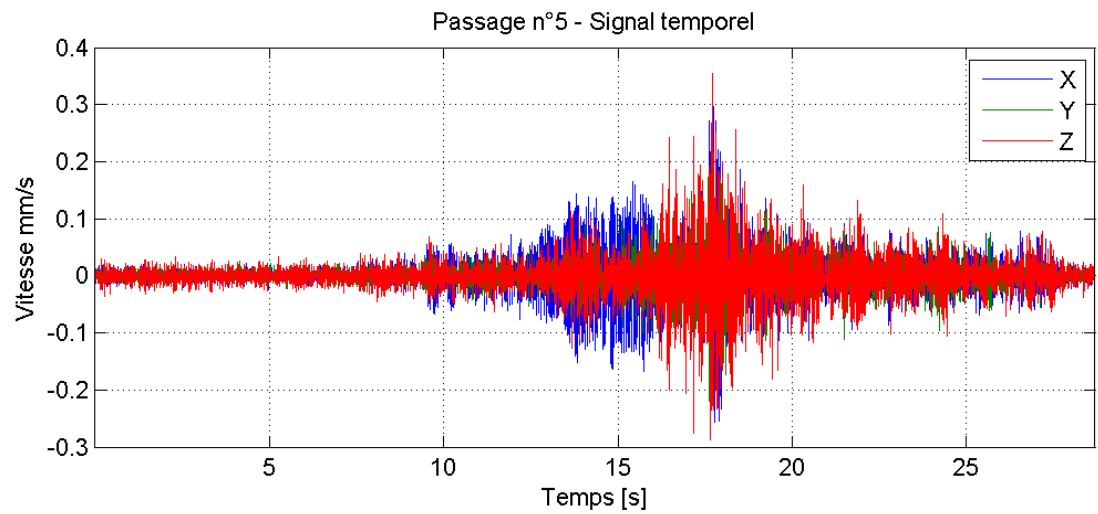
7.4.2 Mesure vibratoire au passage de trams

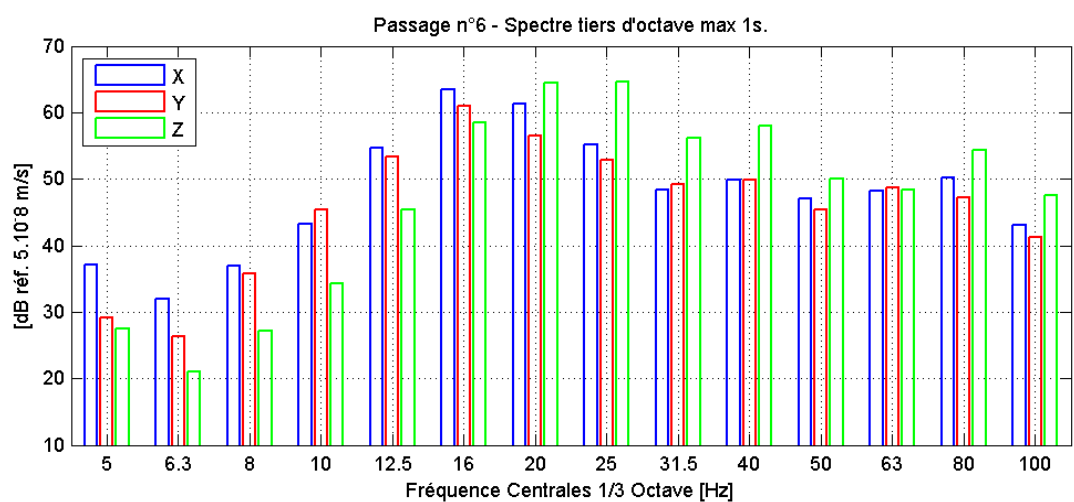
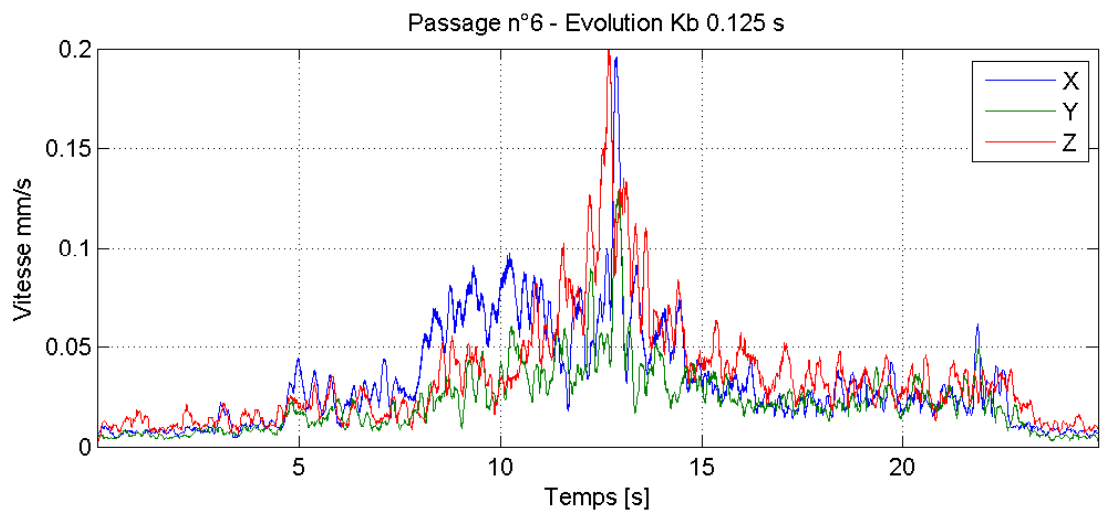
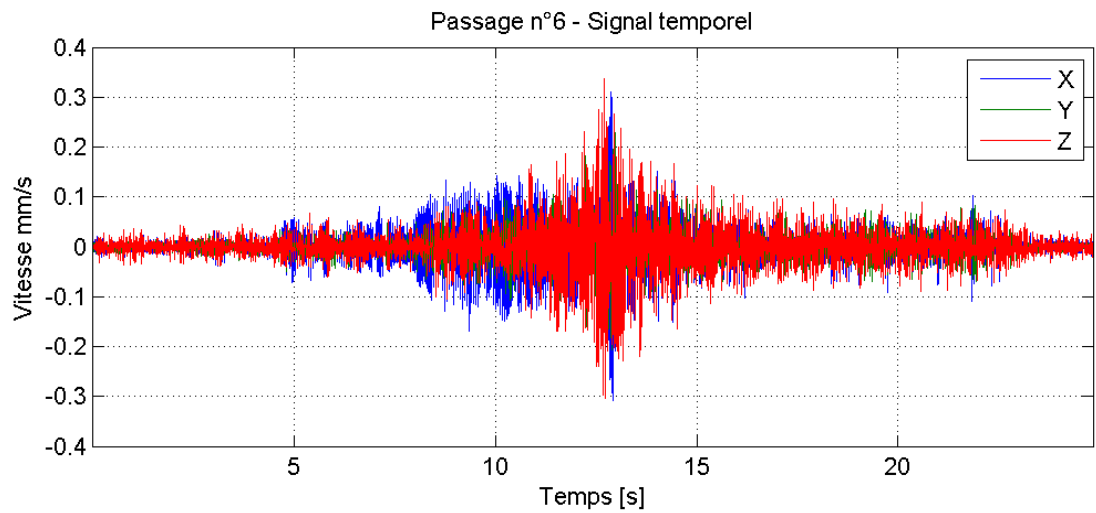


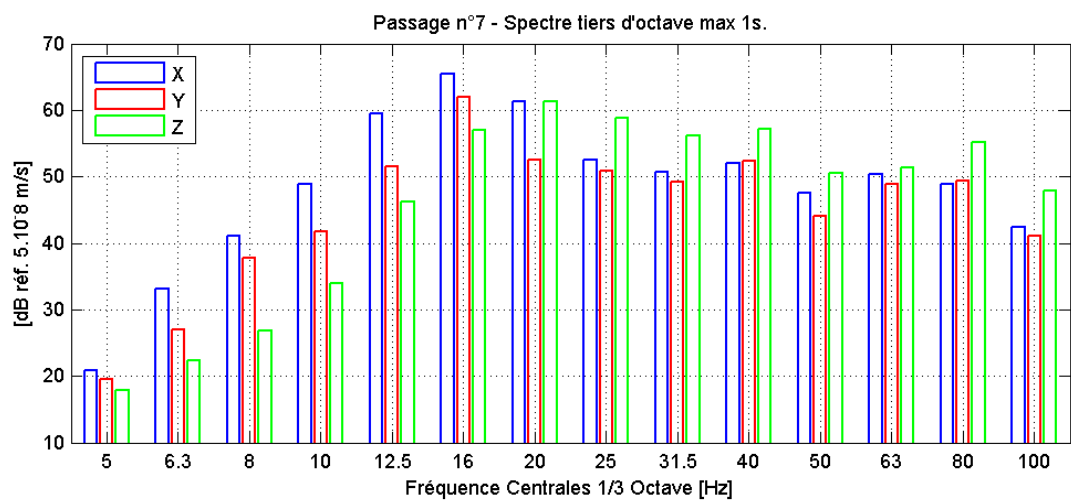
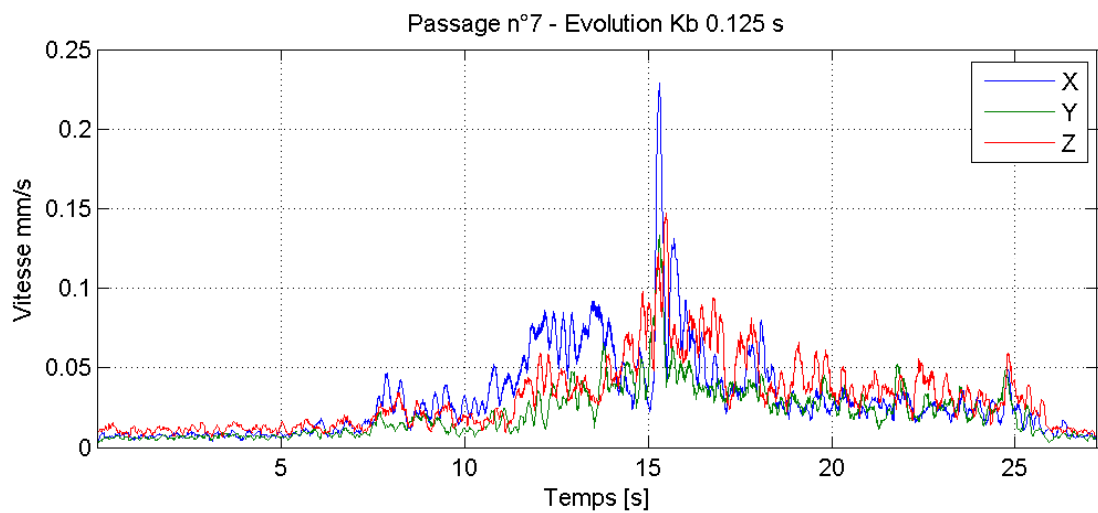
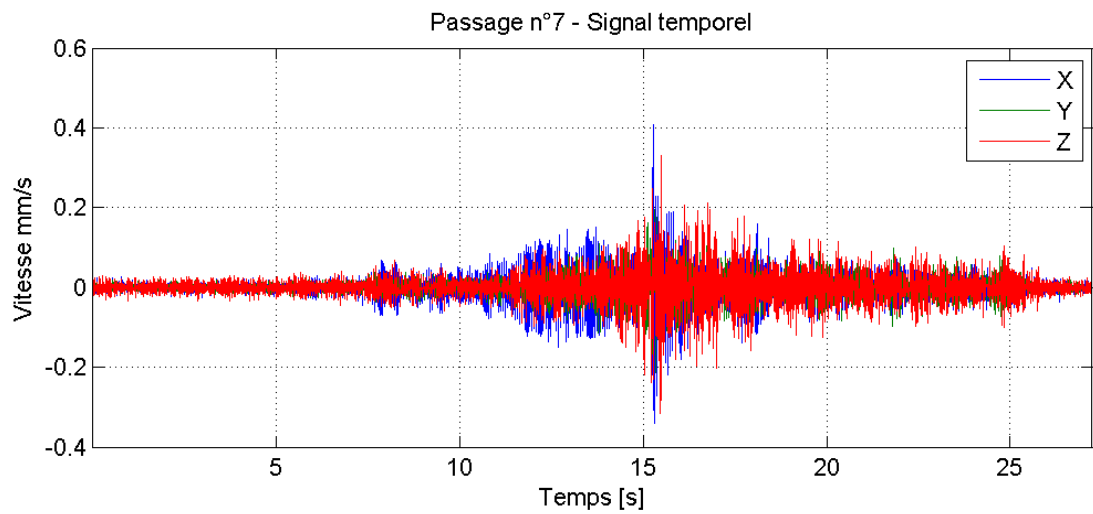


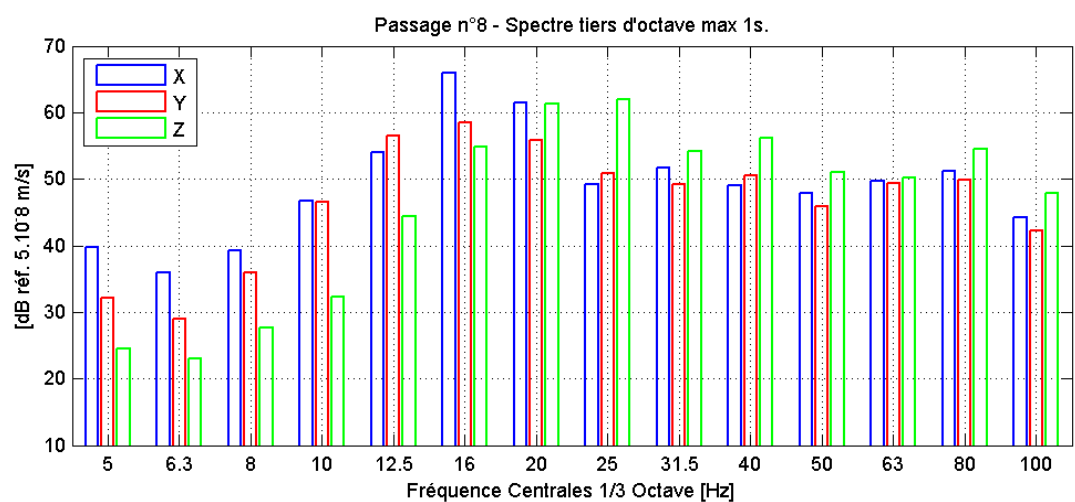
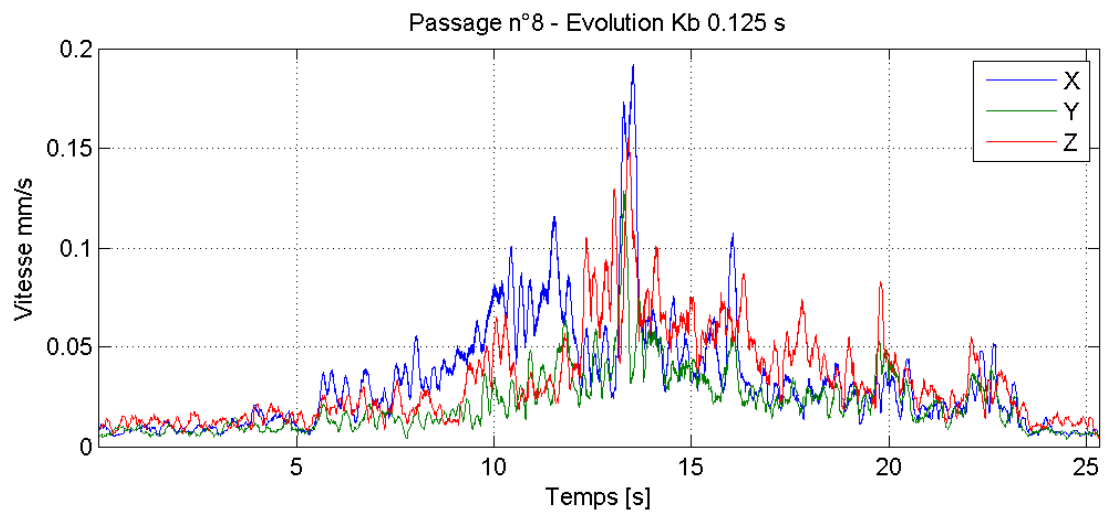
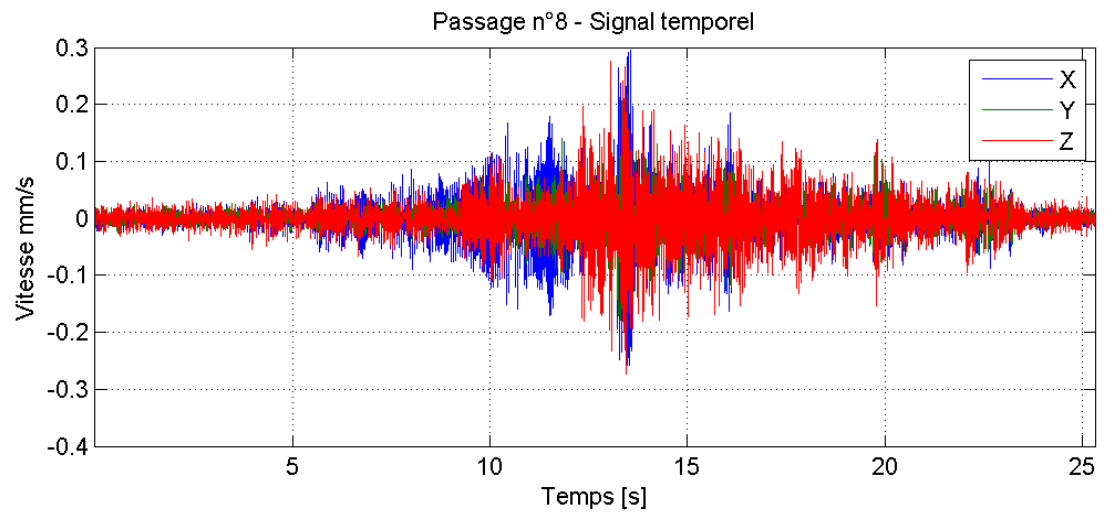


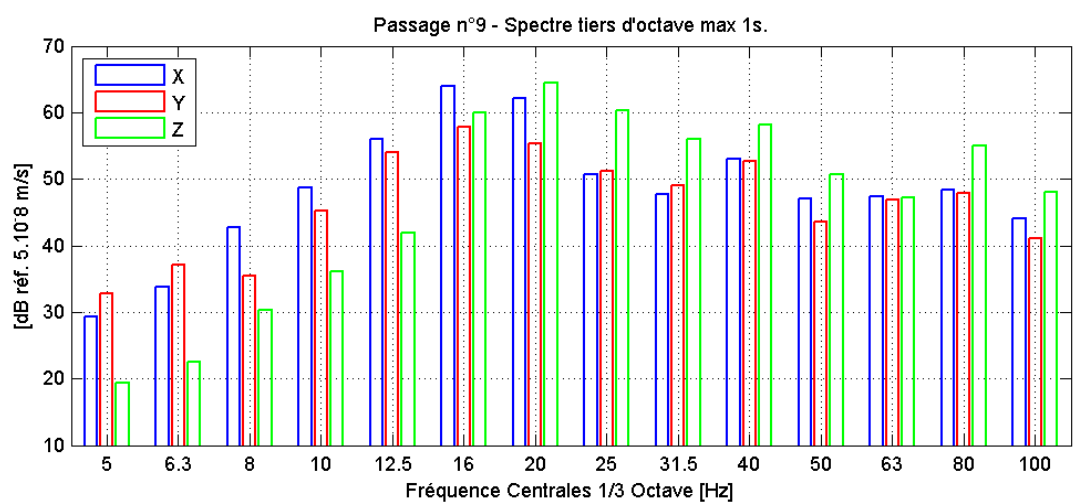
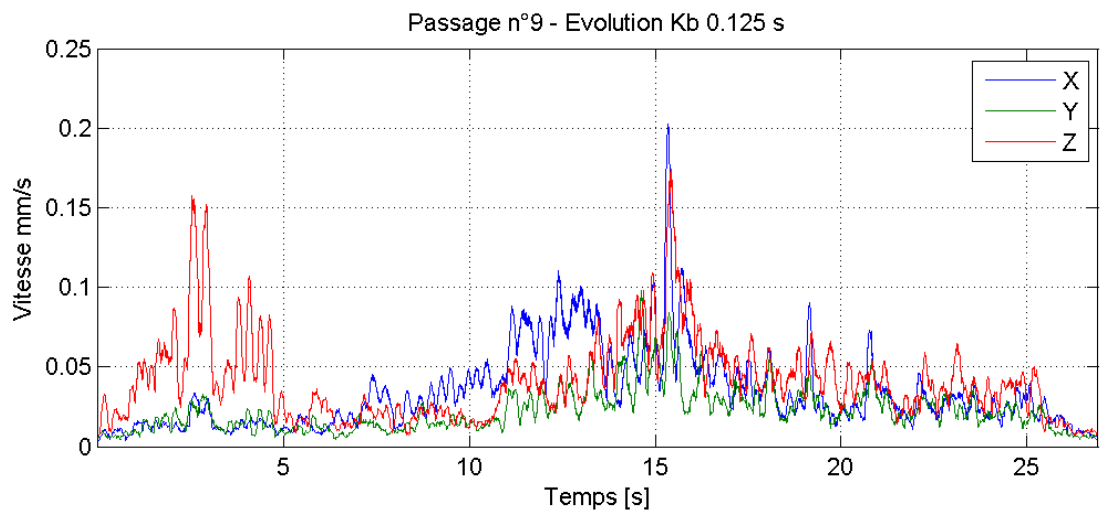
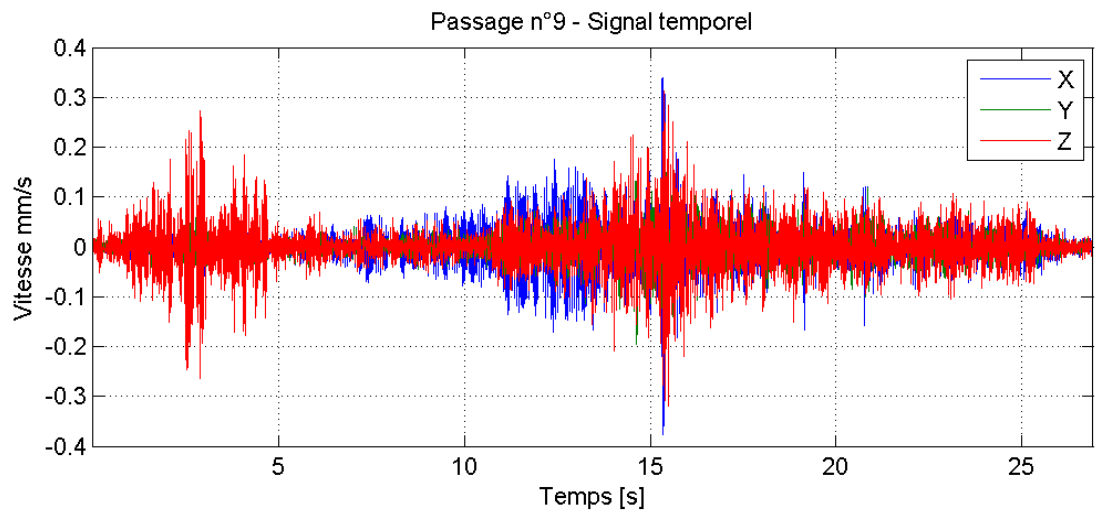


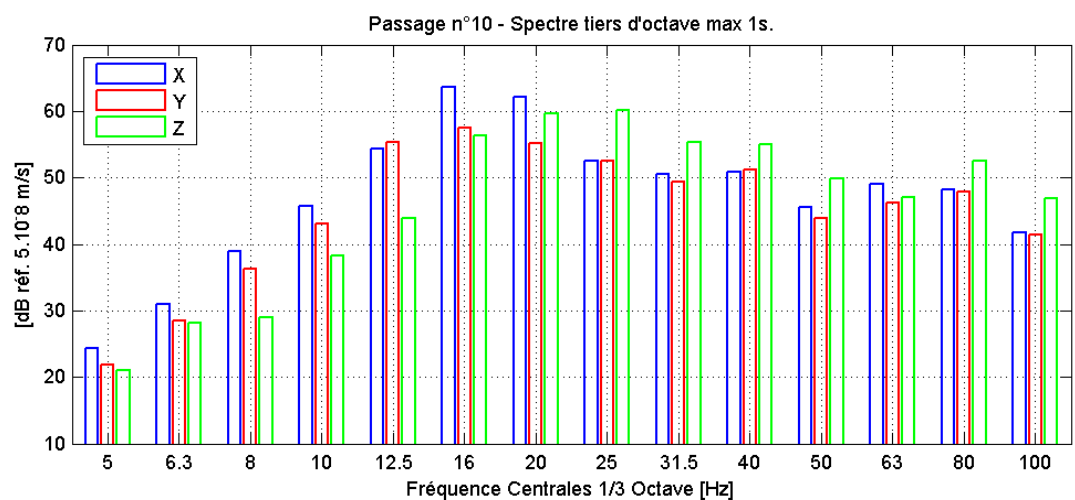
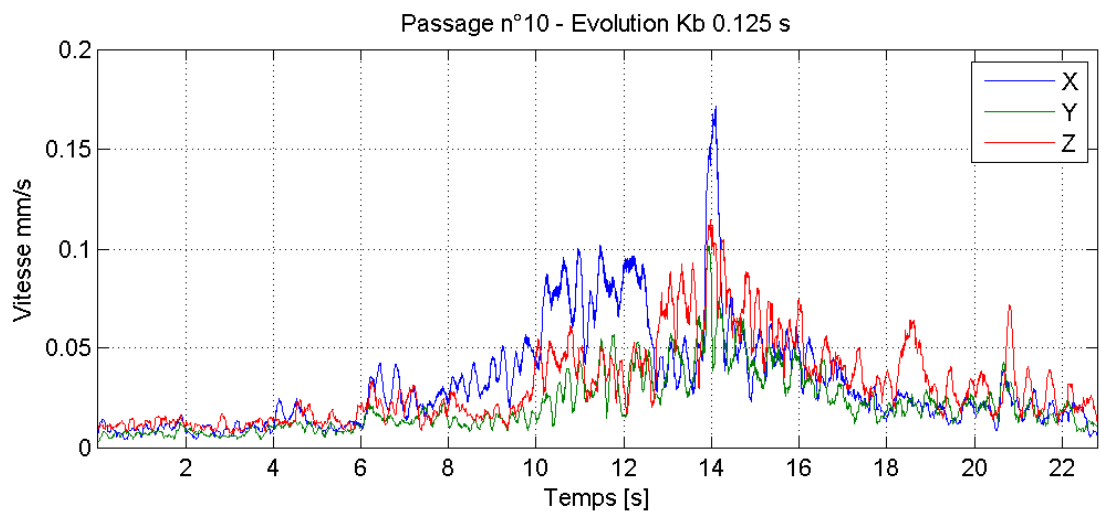
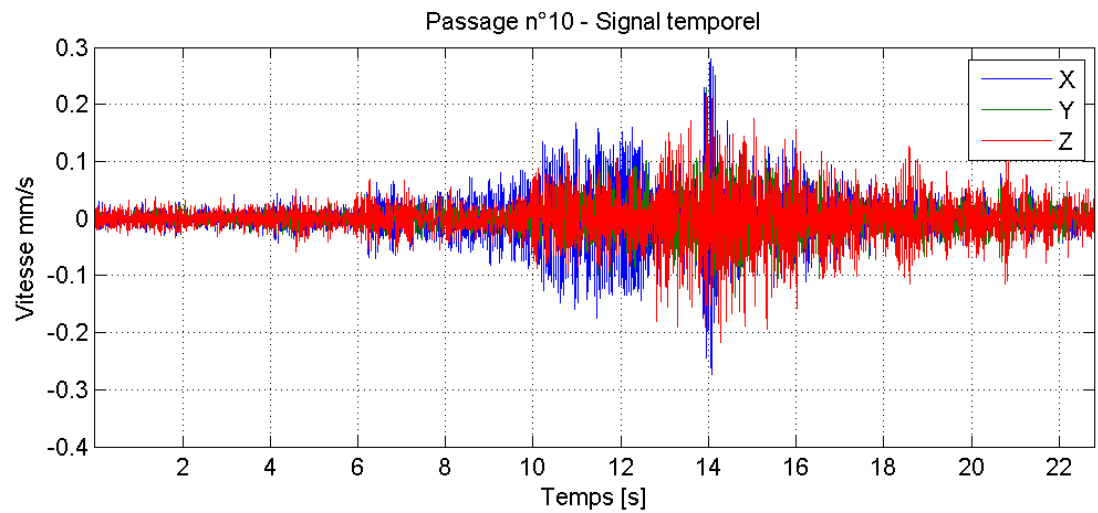




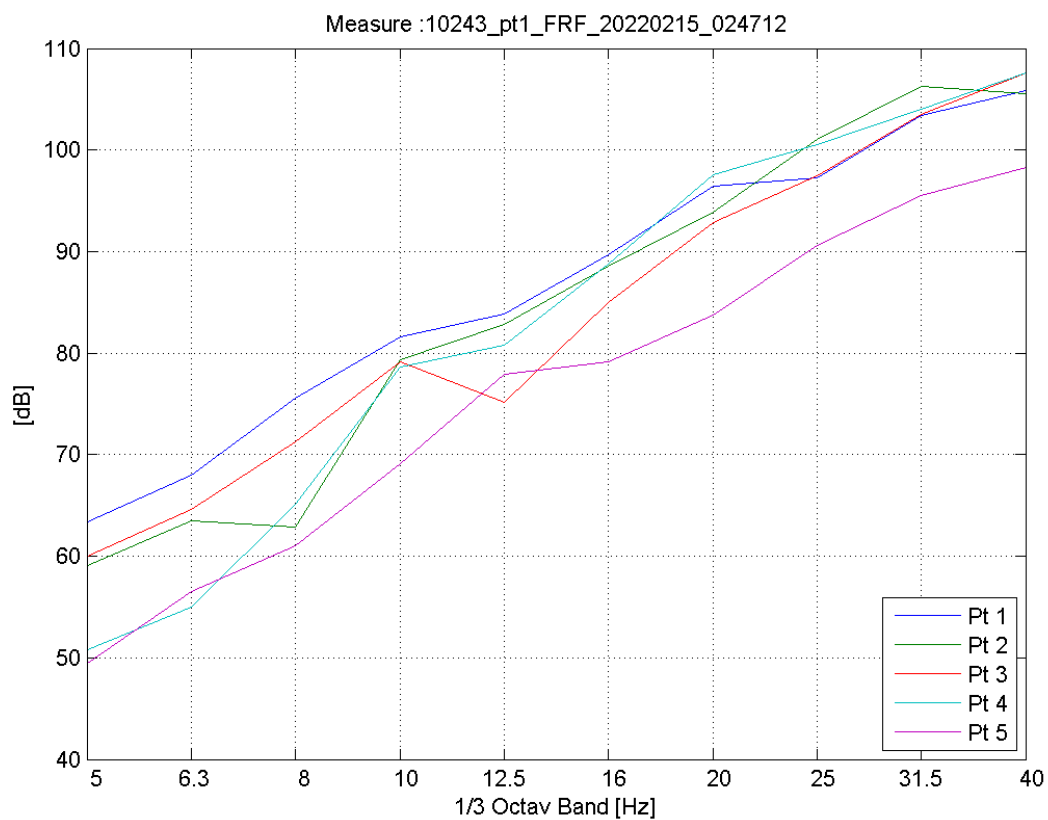


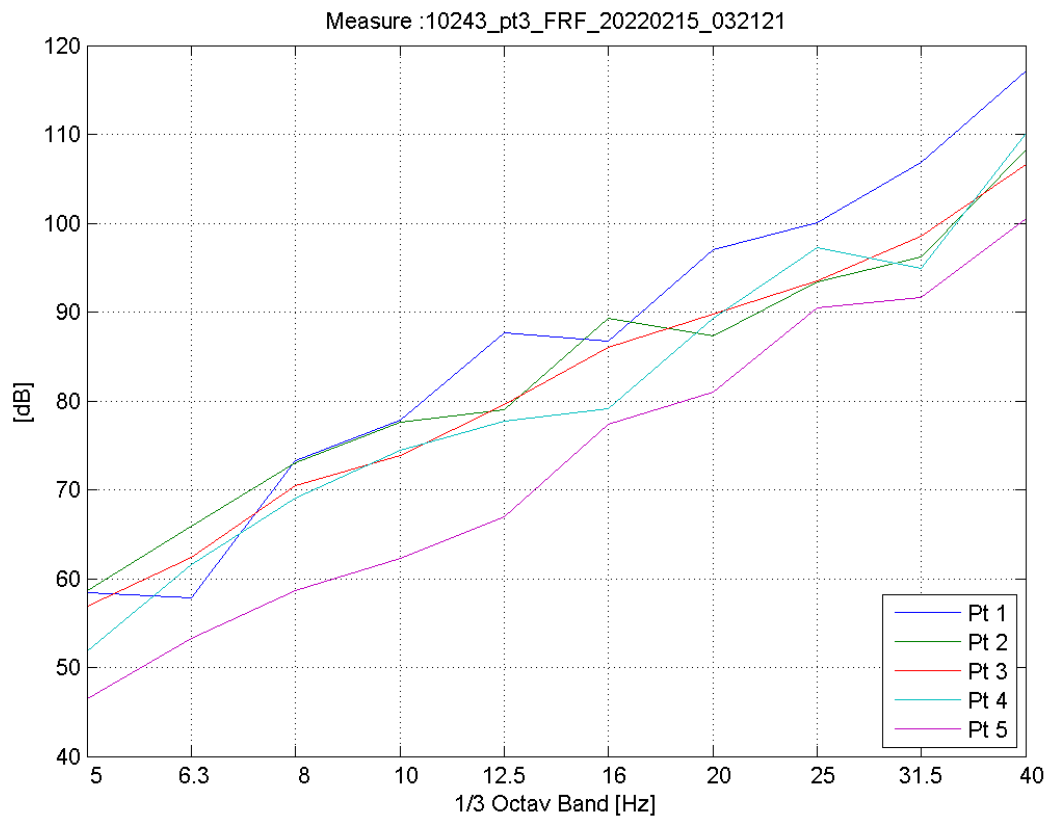
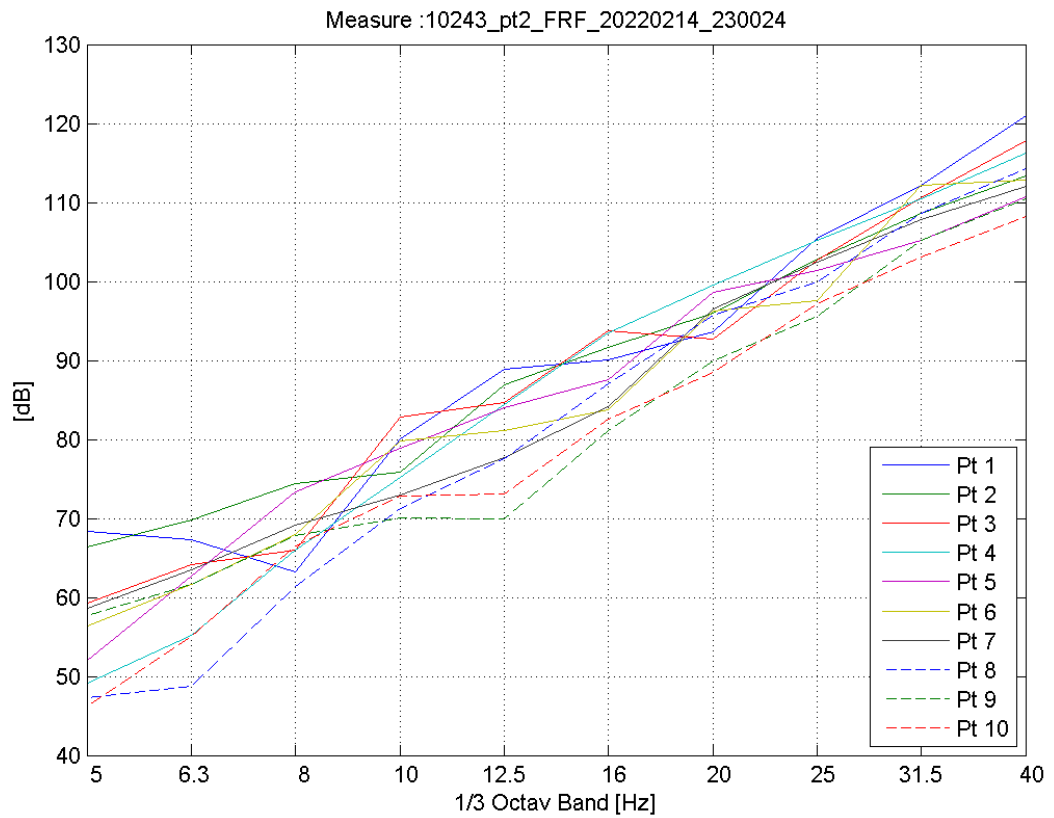


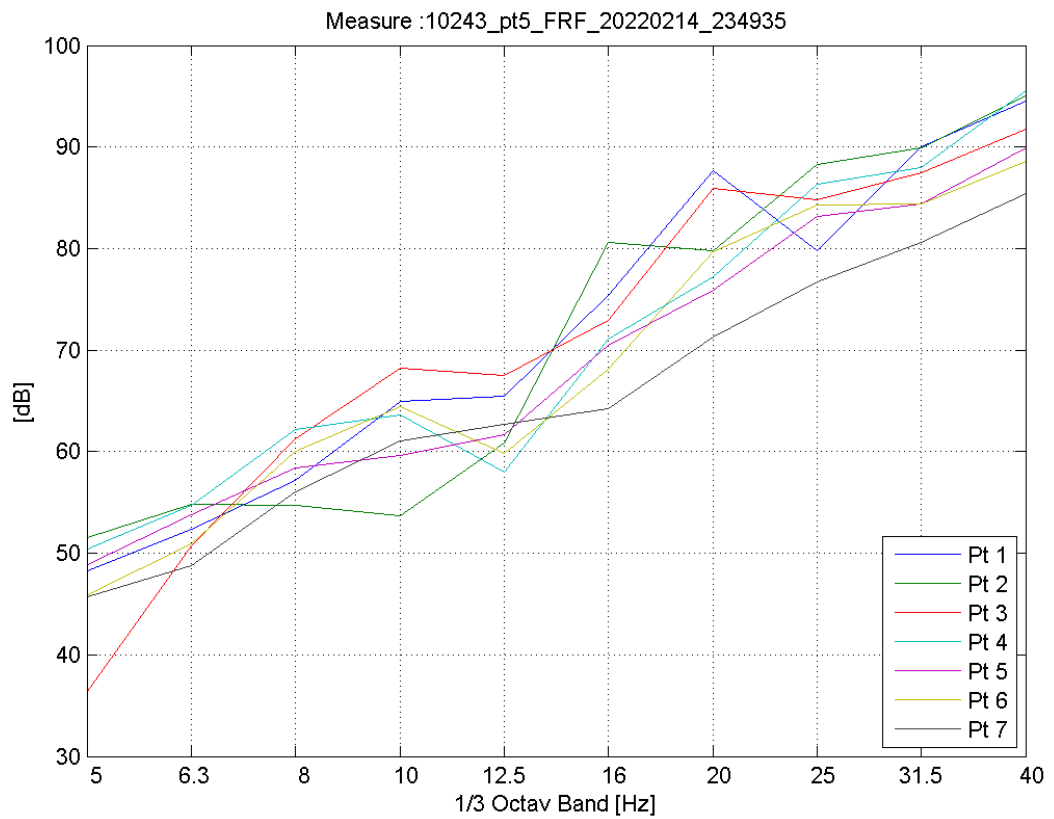
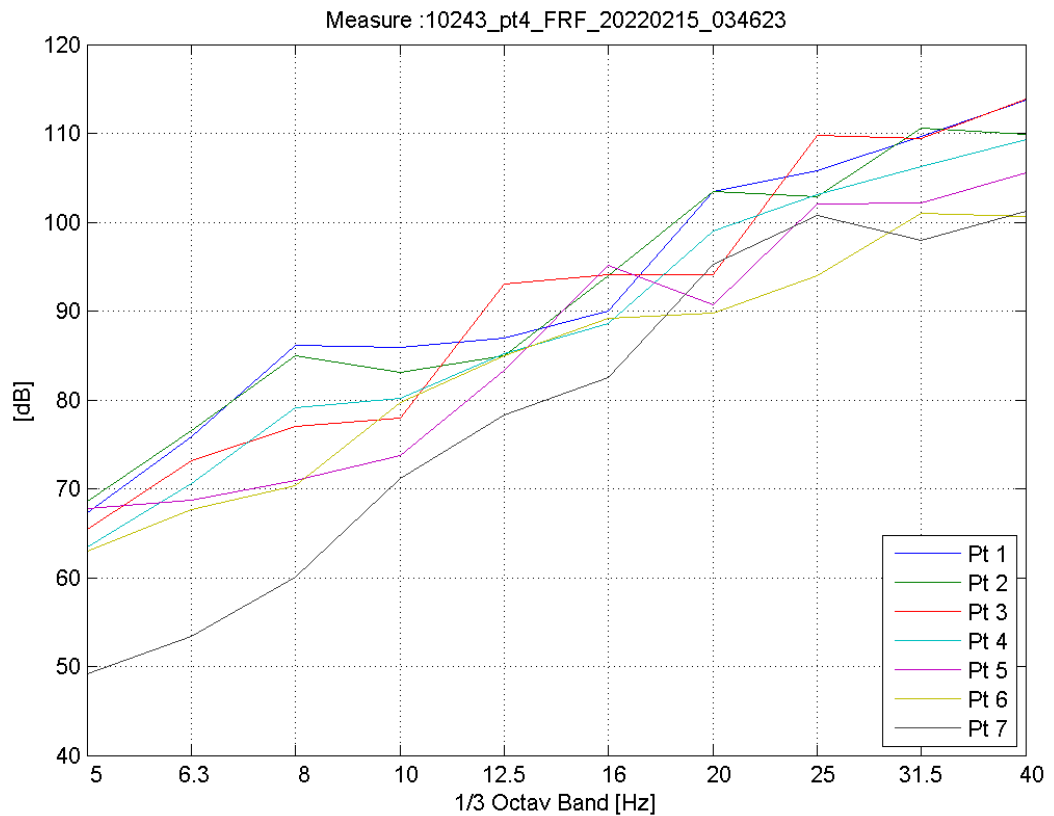


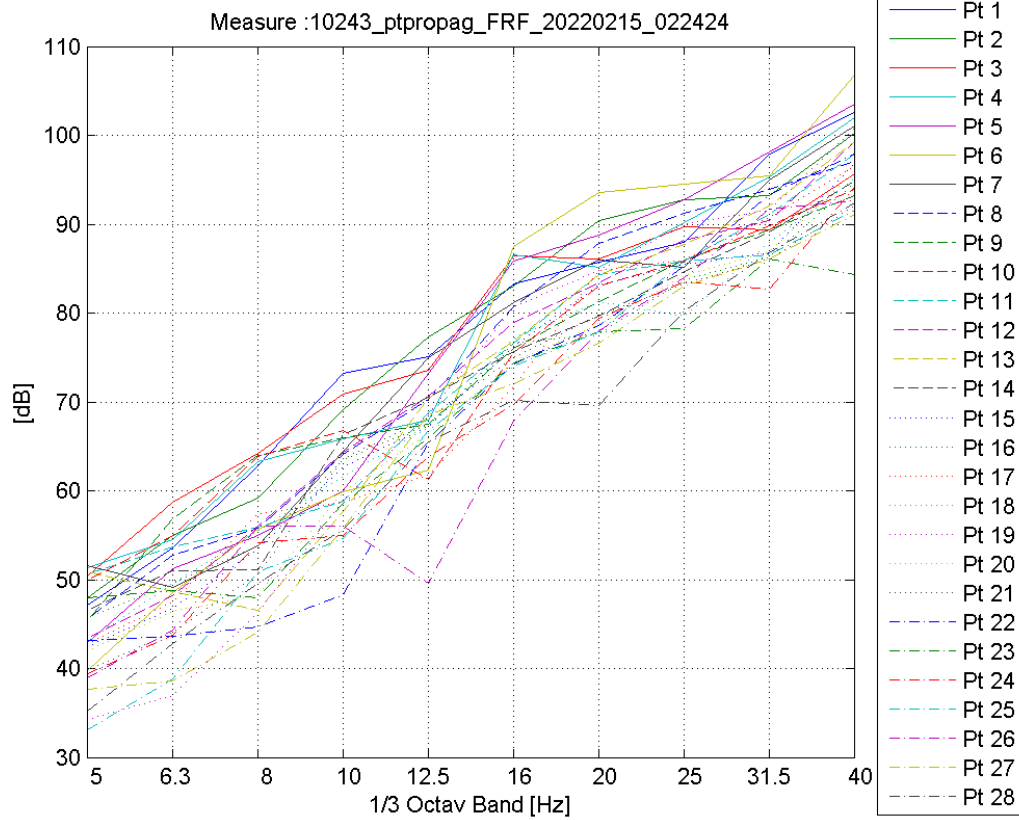


7.4.3 Mesures de propagation

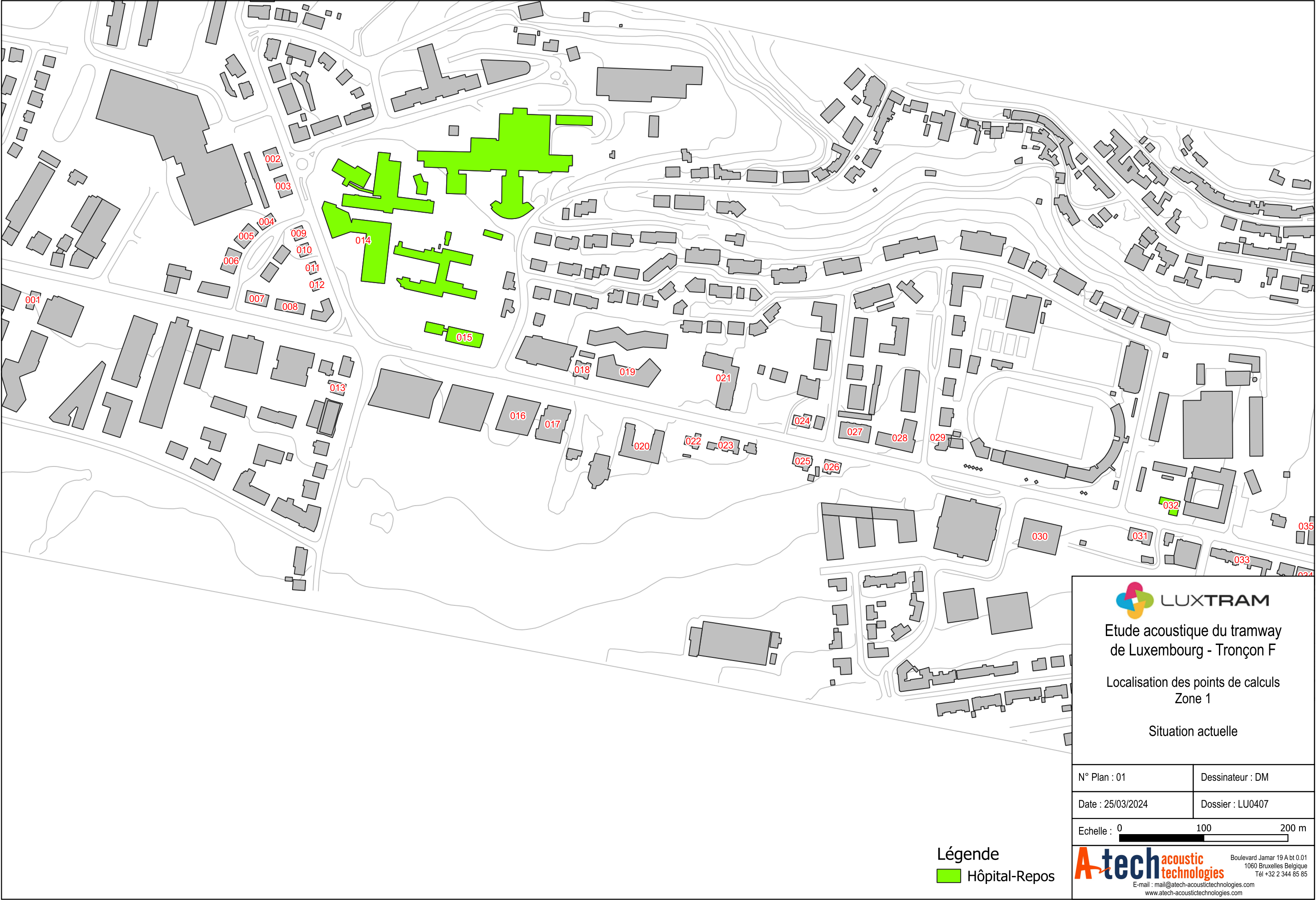








7.5 Localisation et numérotation des bâtiments étudiés



Etude acoustique du tramway
de Luxembourg - Tronçon F

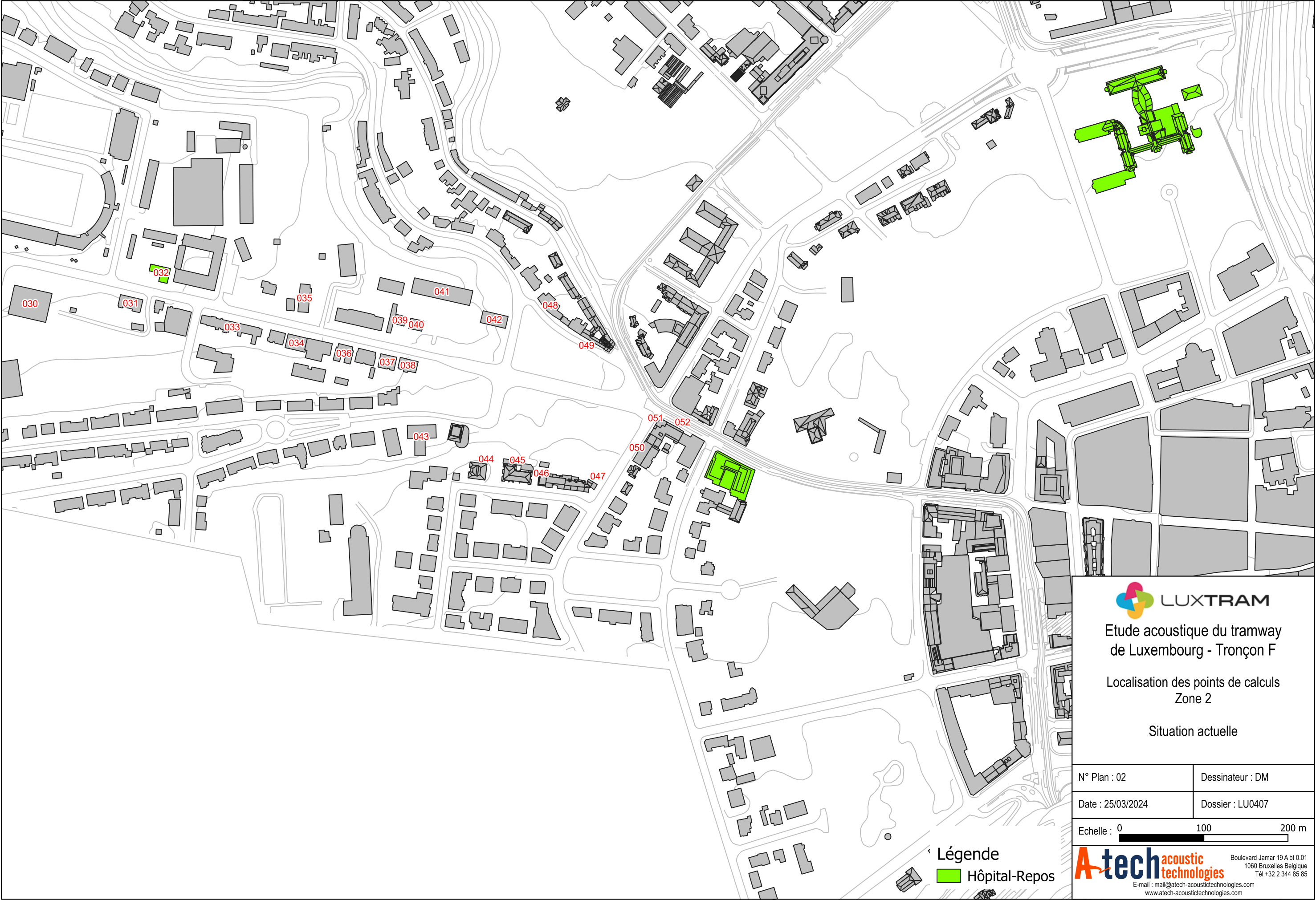
Localisation des points de calculs
Zone 1

Situation actuelle

N° Plan : 01	Dessinateur : DM
Date : 25/03/2024	Dossier : LU0407
Echelle : 0 100 200 m	

Légende
Hôpital-Repos

Boulevard Jamar 19 A bt 0.01
1060 Bruxelles Belgique
Tél +32 2 344 85 85
E-mail : mail@atech-acoustictechnologies.com
www.atech-acoustictechnologies.com



Etude acoustique du tramway
de Luxembourg - Tronçon F

Localisation des points de calculs
Zone 2

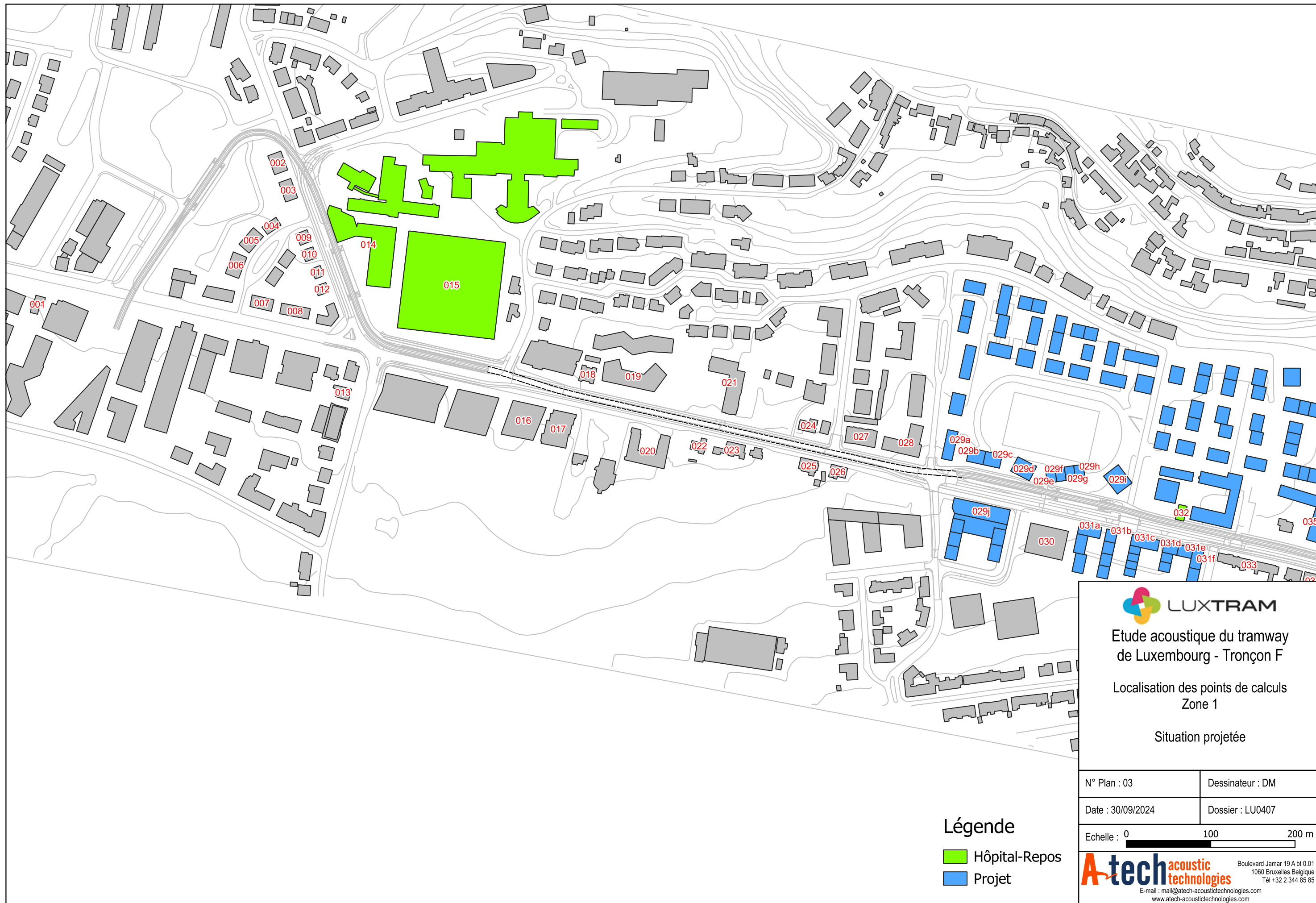
Situation actuelle

N° Plan : 02	Dessinateur : DM
Date : 25/03/2024	Dossier : LU0407
Echelle : 0 100 200 m	

Légende
Hôpital-Repos

atech acoustic technologies

Boulevard Jamar 19 A bt 0.01
1060 Bruxelles Belgique
Tél +32 2 344 85 85
E-mail : mail@atech-acoustictechnologies.com
www.atech-acoustictechnologies.com





Etude acoustique du tramway
de Luxembourg - Tronçon F

Localisation des points de calculs
Zone 2

Situation projetée

N° Plan : 04	Dessinateur : DM
Date : 30/09/2024	Dossier : LU0407
Echelle : 0 100 200 m	

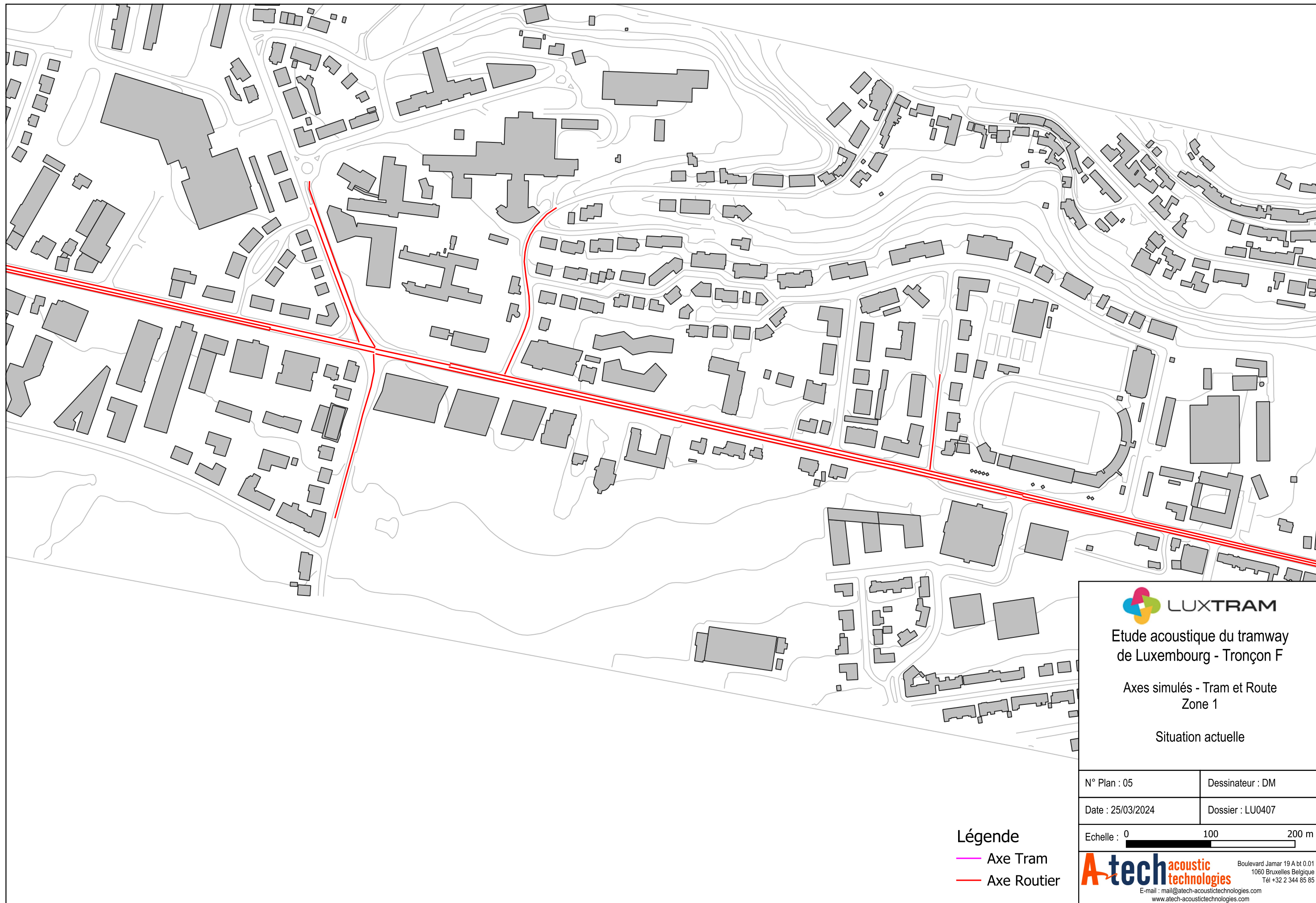
Légende

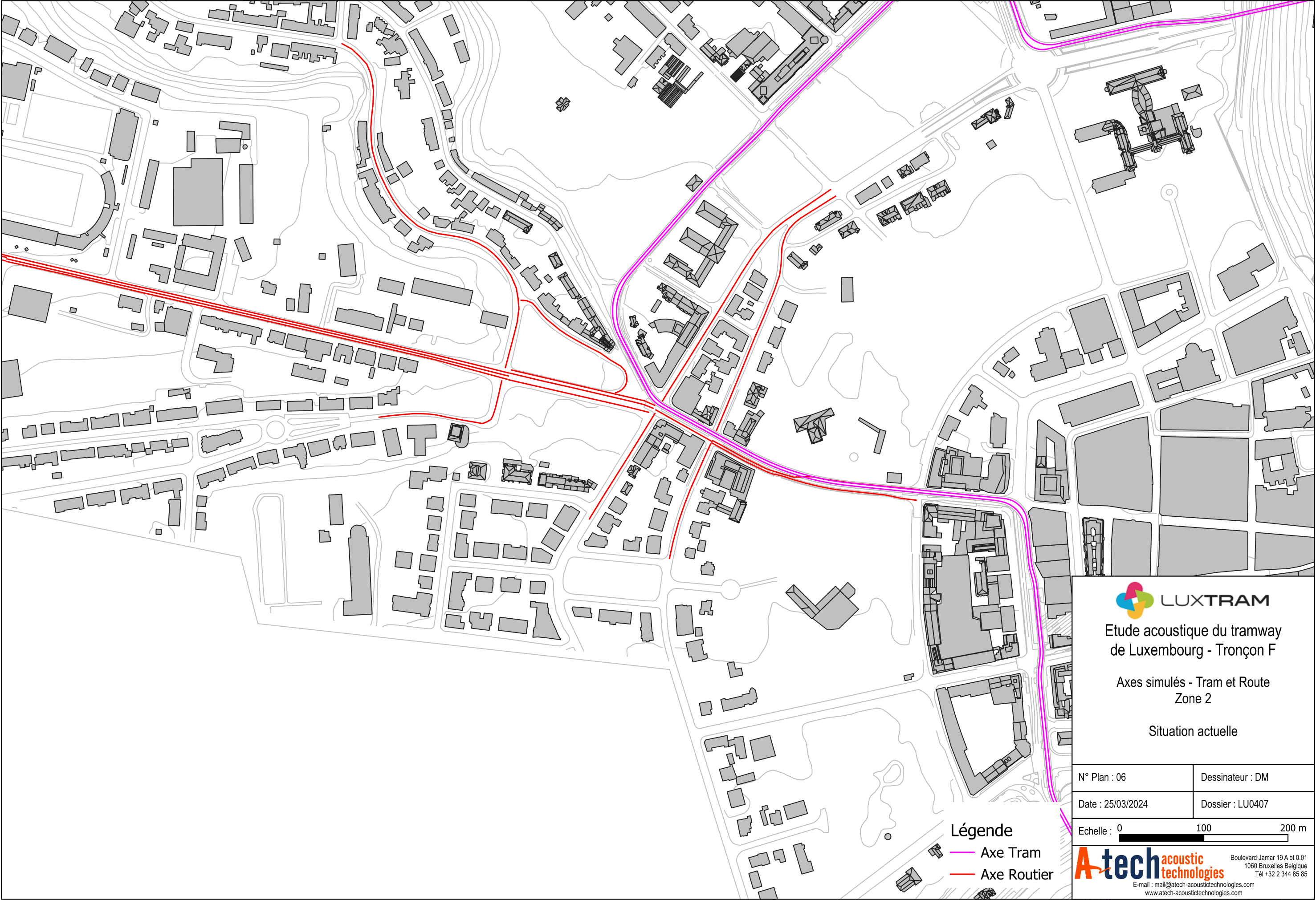
- Hôpital-Repos
- Projet

atech acoustic technologies

Boulevard Jamar 19 A bt 0.01
1060 Bruxelles Belgique
Tél +32 2 344 85 85
E-mail : mail@atech-acoustictechnologies.com
www.atech-acoustictechnologies.com

7.6 Axes simulés – Tram et route





Etude acoustique du tramway
de Luxembourg - Tronçon F

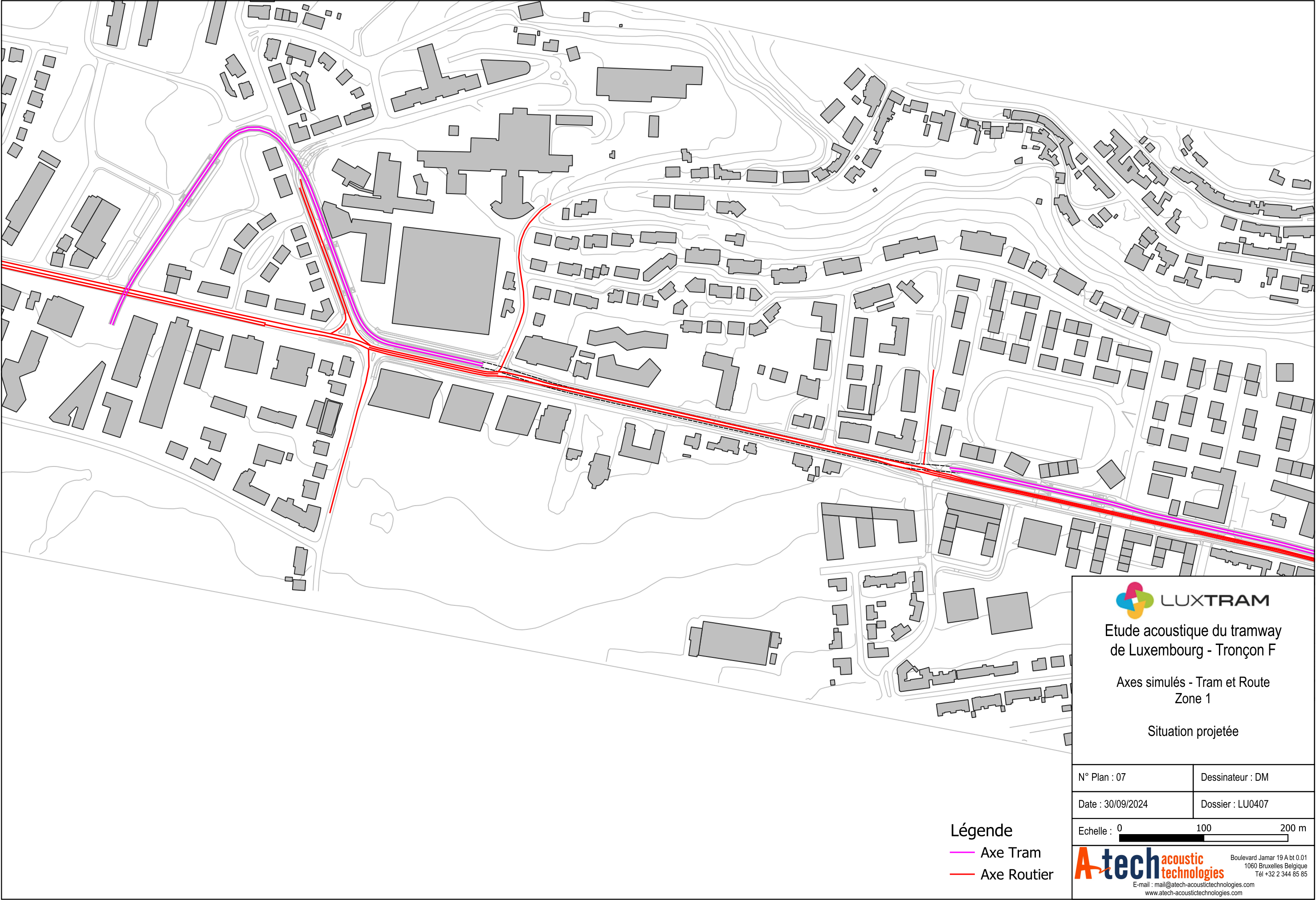
Axes simulés - Tram et Route
Zone 2

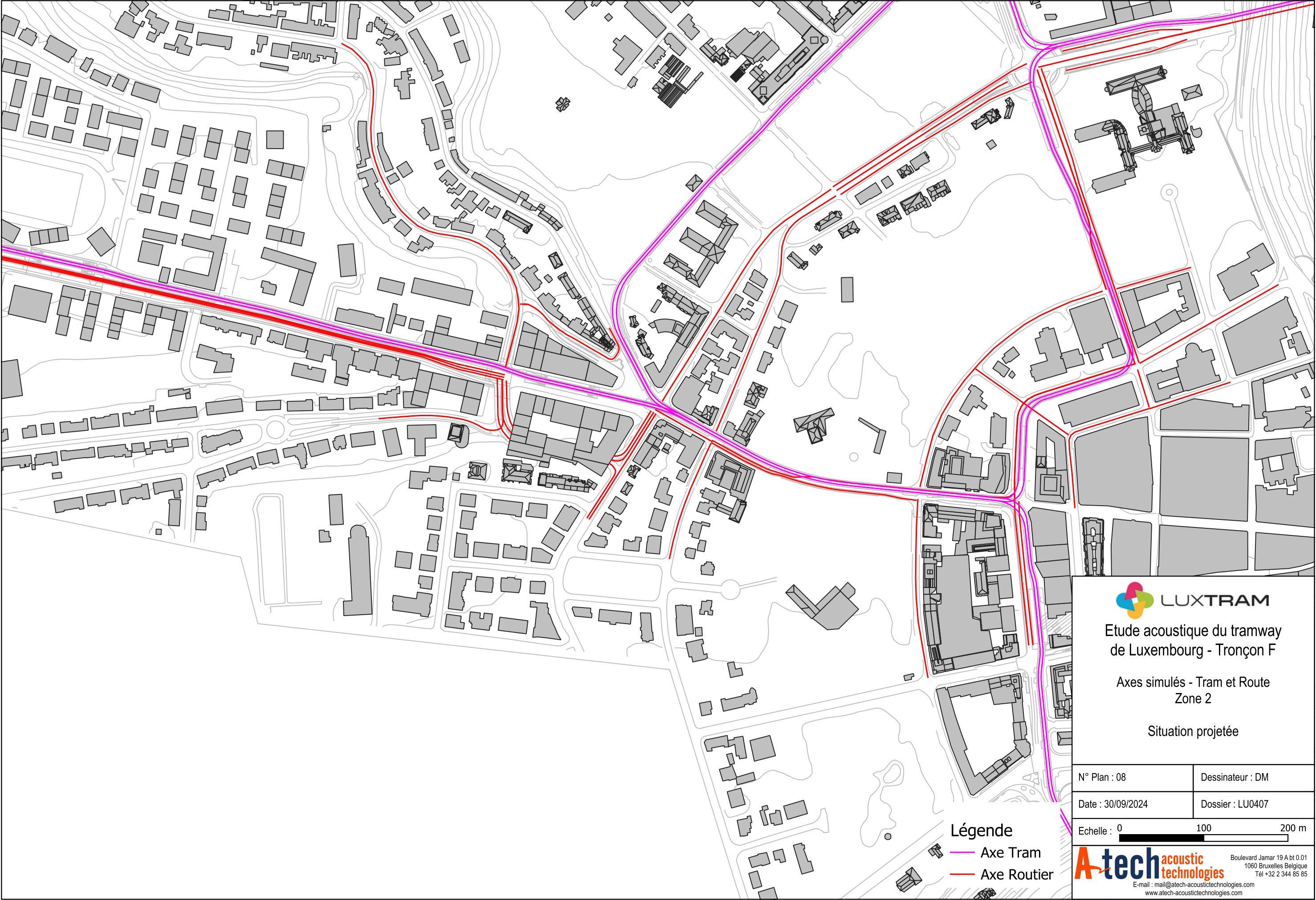
Situation actuelle

N° Plan : 06	Dessinateur : DM
Date : 25/03/2024	Dossier : LU0407
Echelle : 0 100 200 m	

Boulevard Jamar 19 A bt 0.01
 1060 Bruxelles Belgique
 Tél +32 2 344 85 85
 E-mail : mail@atech-acoustictechnologies.com
 www.atech-acoustictechnologies.com

- Légende**
- Axe Tram
 - Axe Routier





Etude acoustique du tramway
de Luxembourg - Tronçon F

Axes simulés - Tram et Route
Zone 2

Situation projetée

N° Plan : 08	Dessinateur : DM
Date : 30/09/2024	Dossier : LU0407
Echelle : 0 100 200 m	

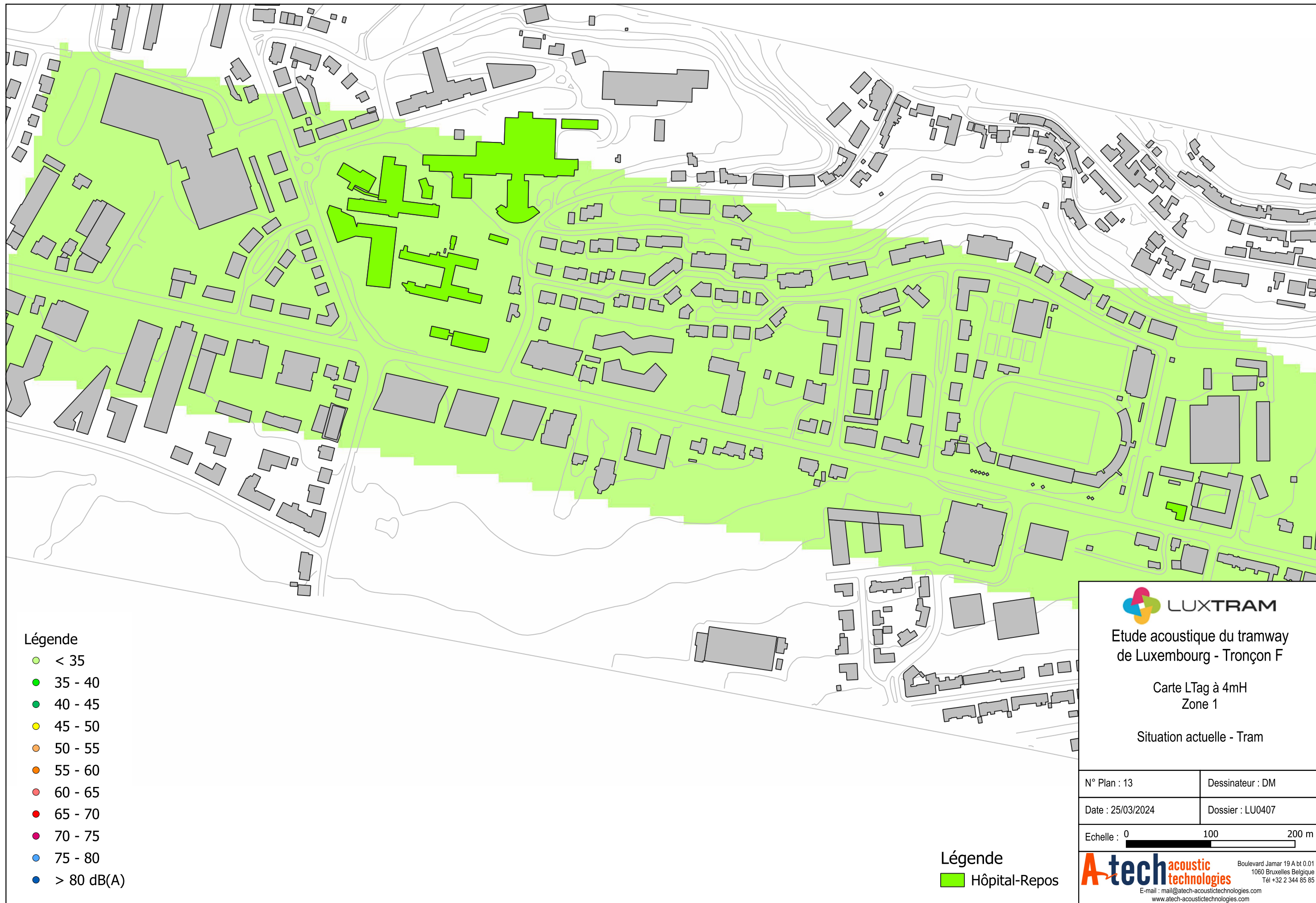
Légende

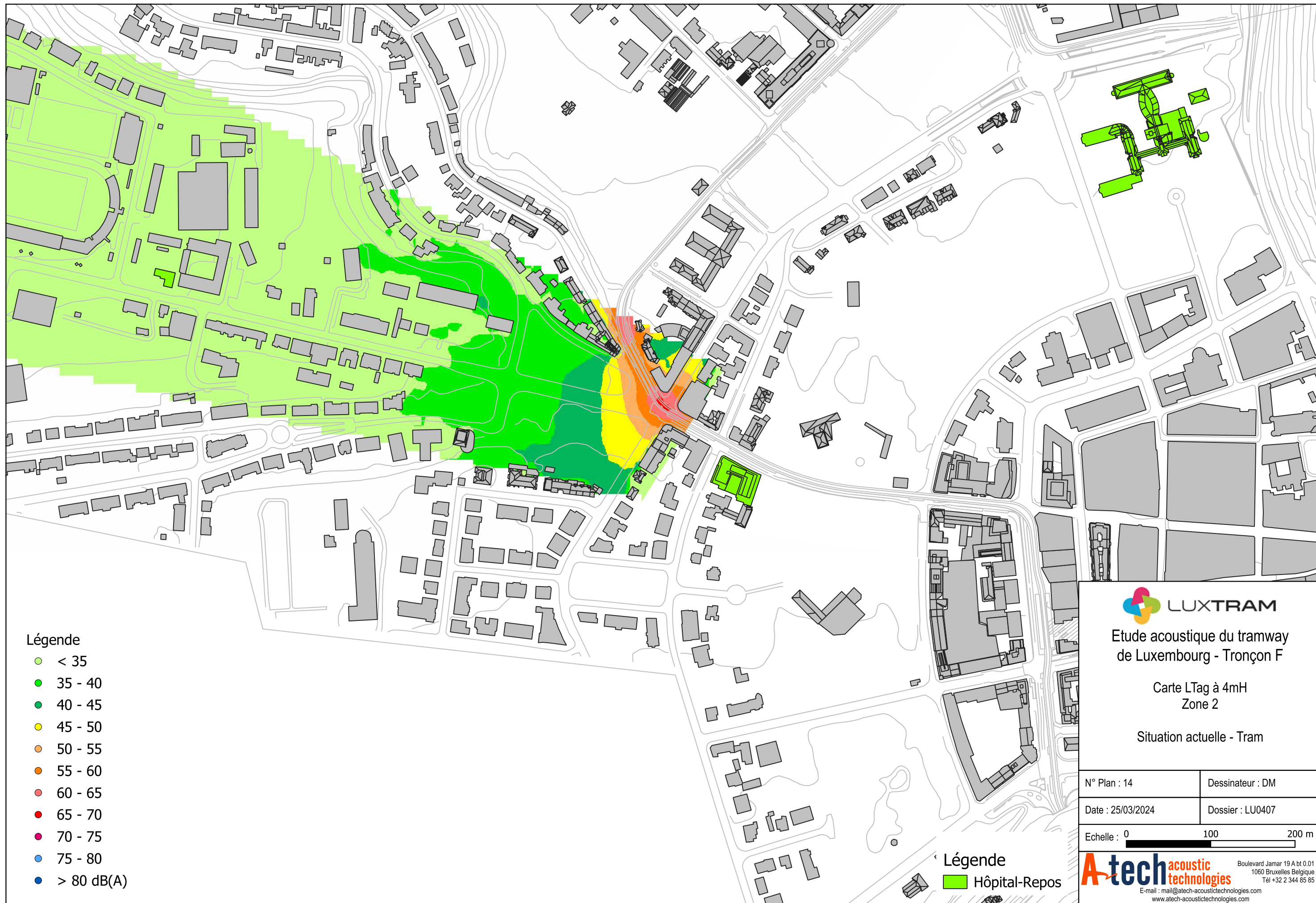
- Axe Tram
- Axe Routier

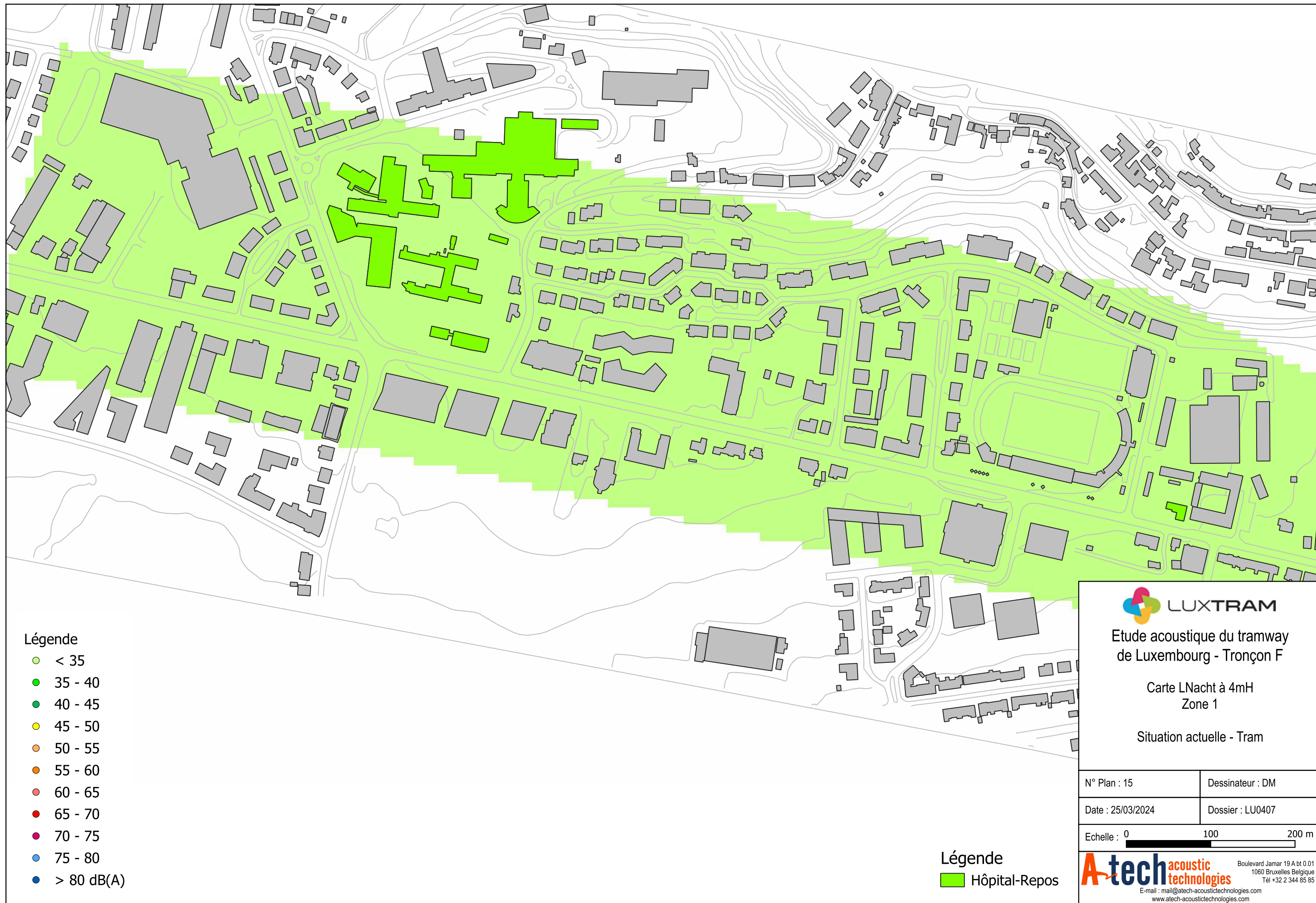
atech acoustic technologies

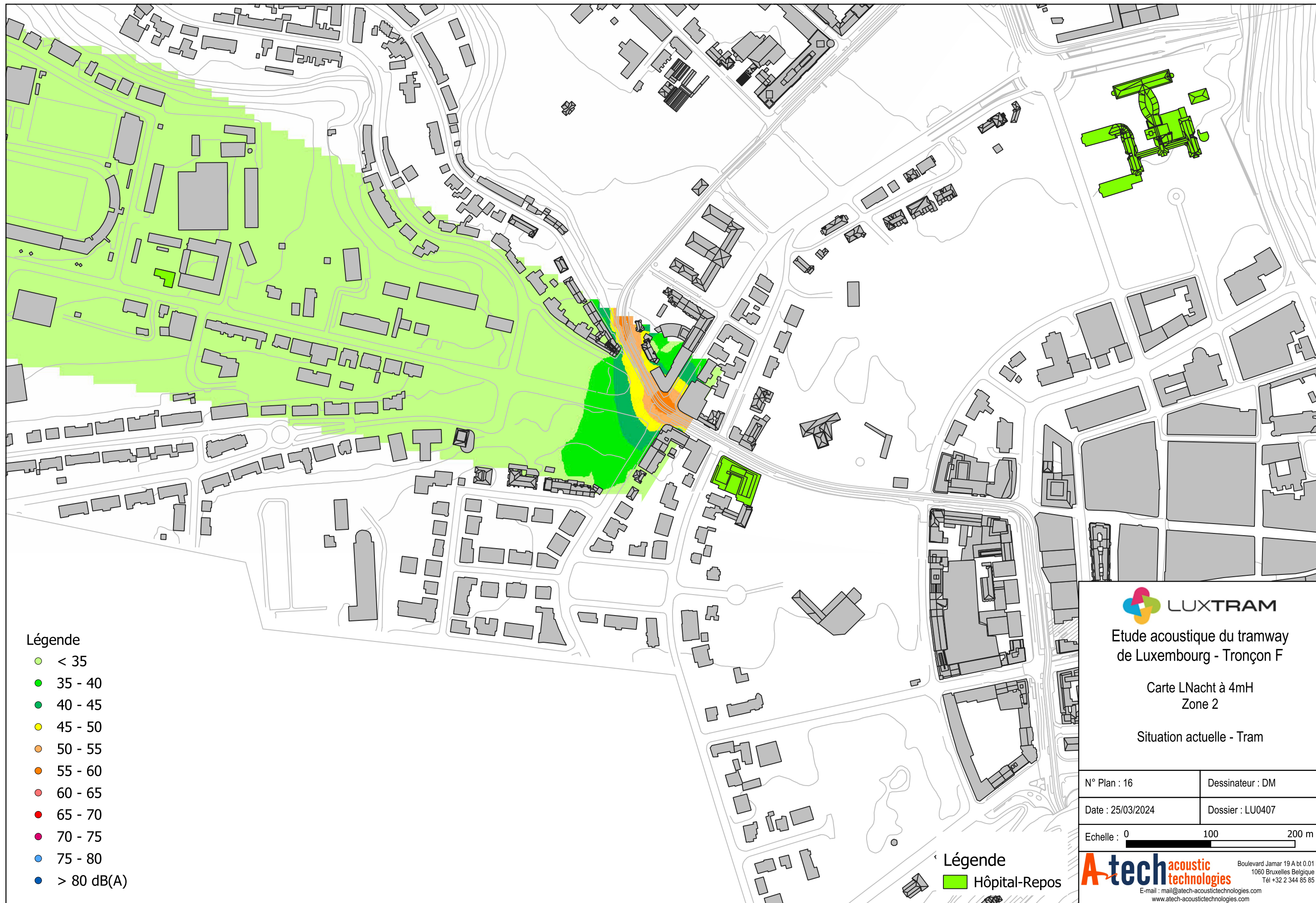
Boulevard Jamar 19 A bt 0.01
1060 Bruxelles Belgique
Tél +32 2 344 85 85
E-mail : mail@atech-acoustictechnologies.com
www.atech-acoustictechnologies.com

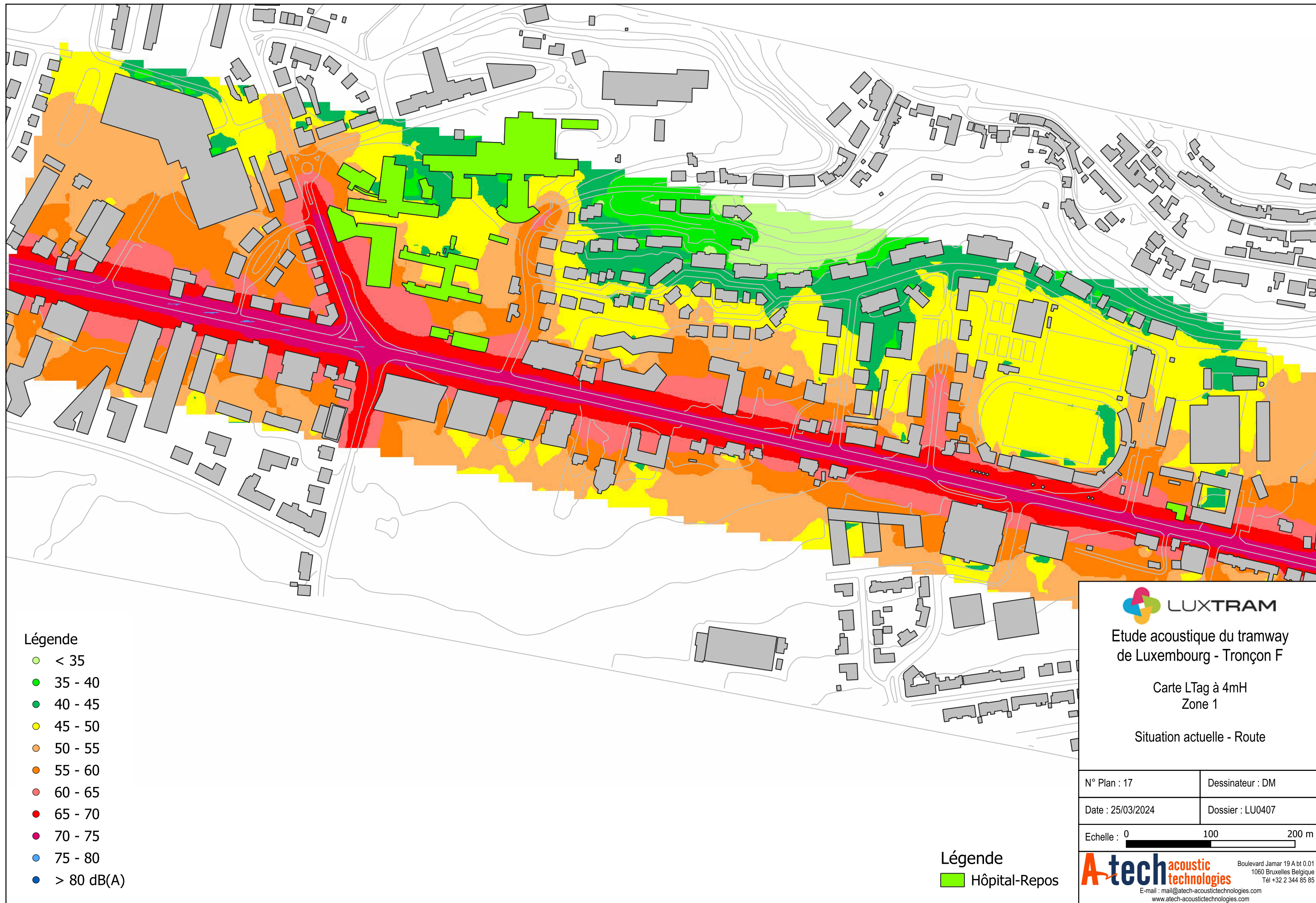
7.7 Cartes du bruit en situation actuelle

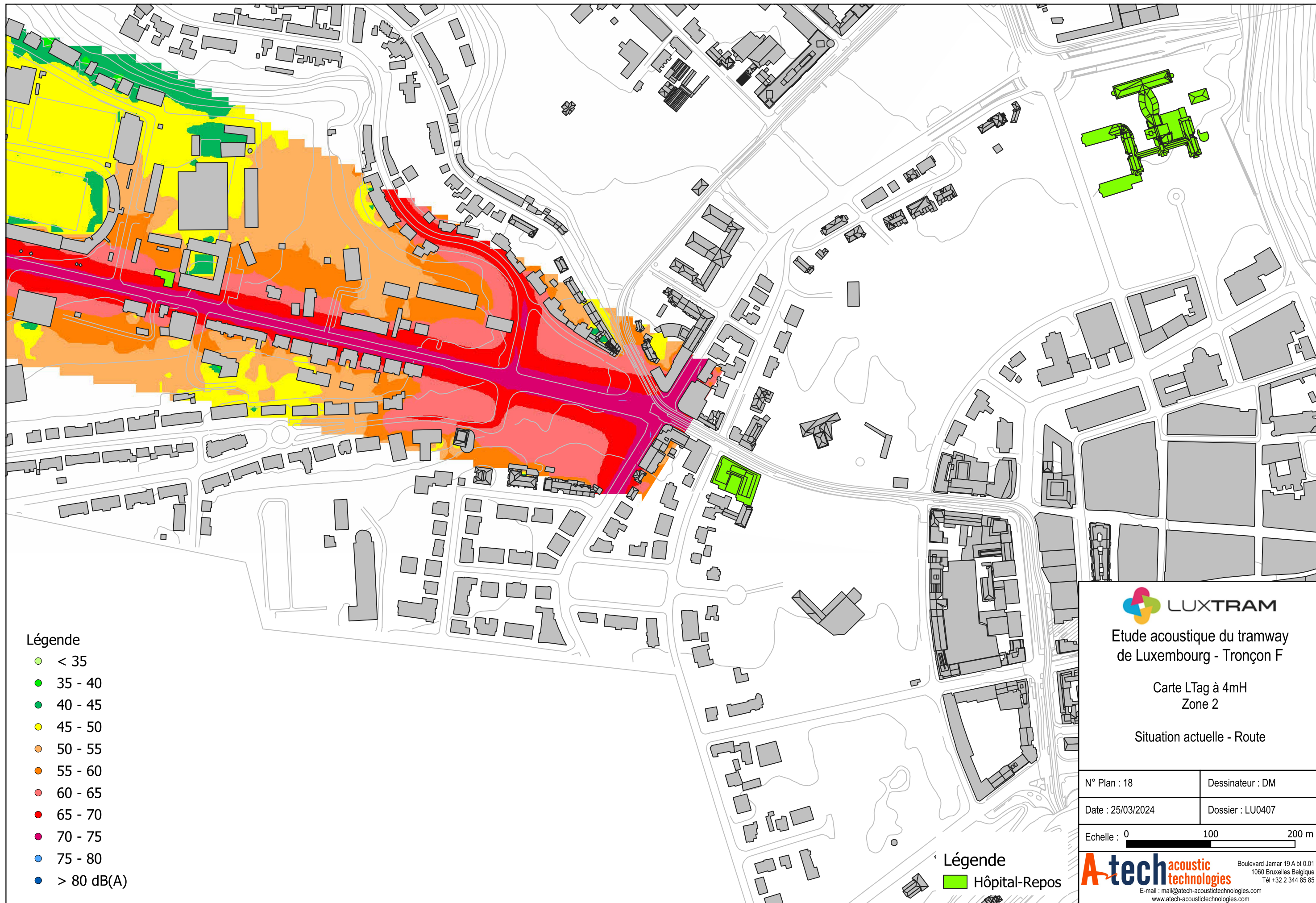


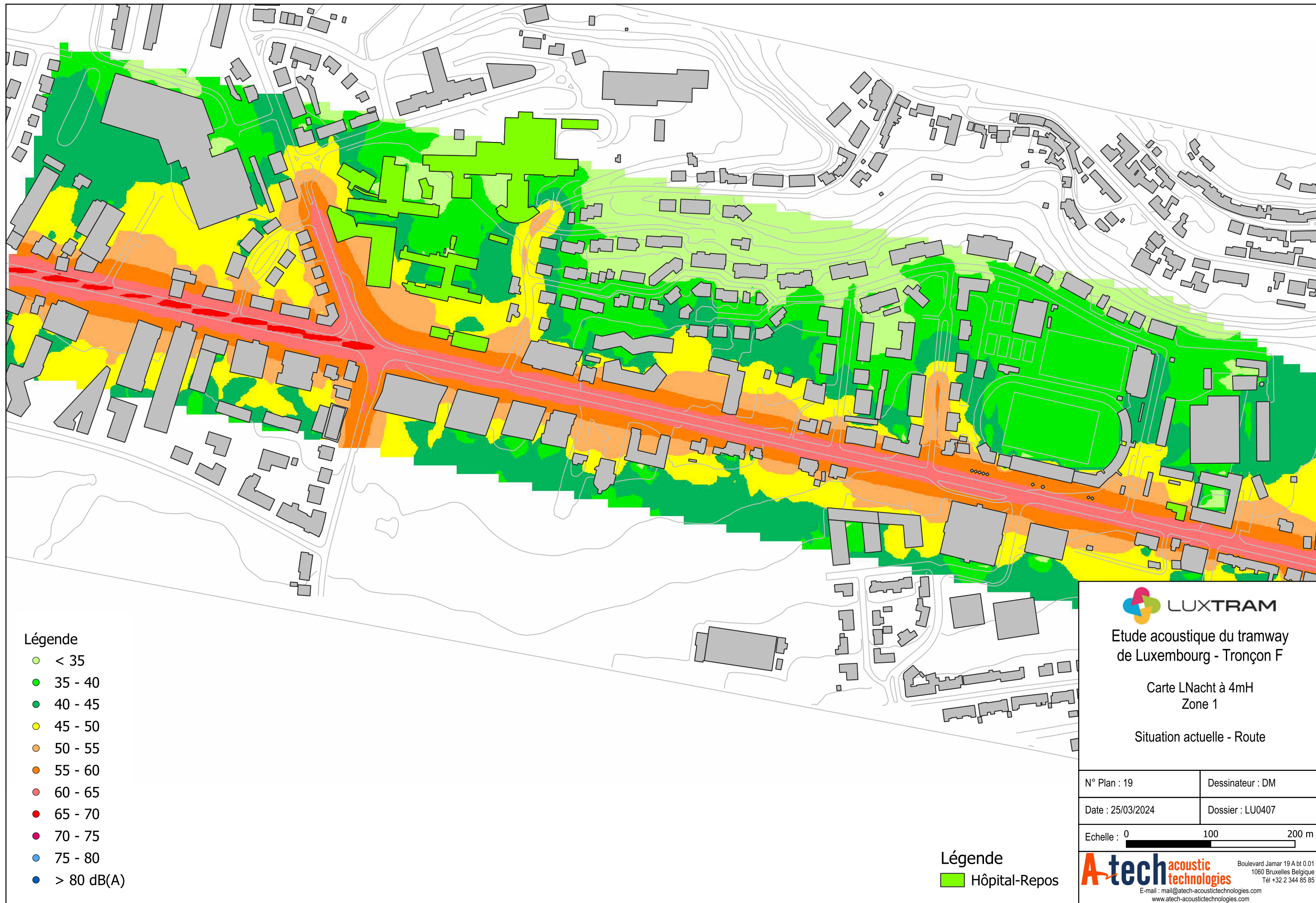


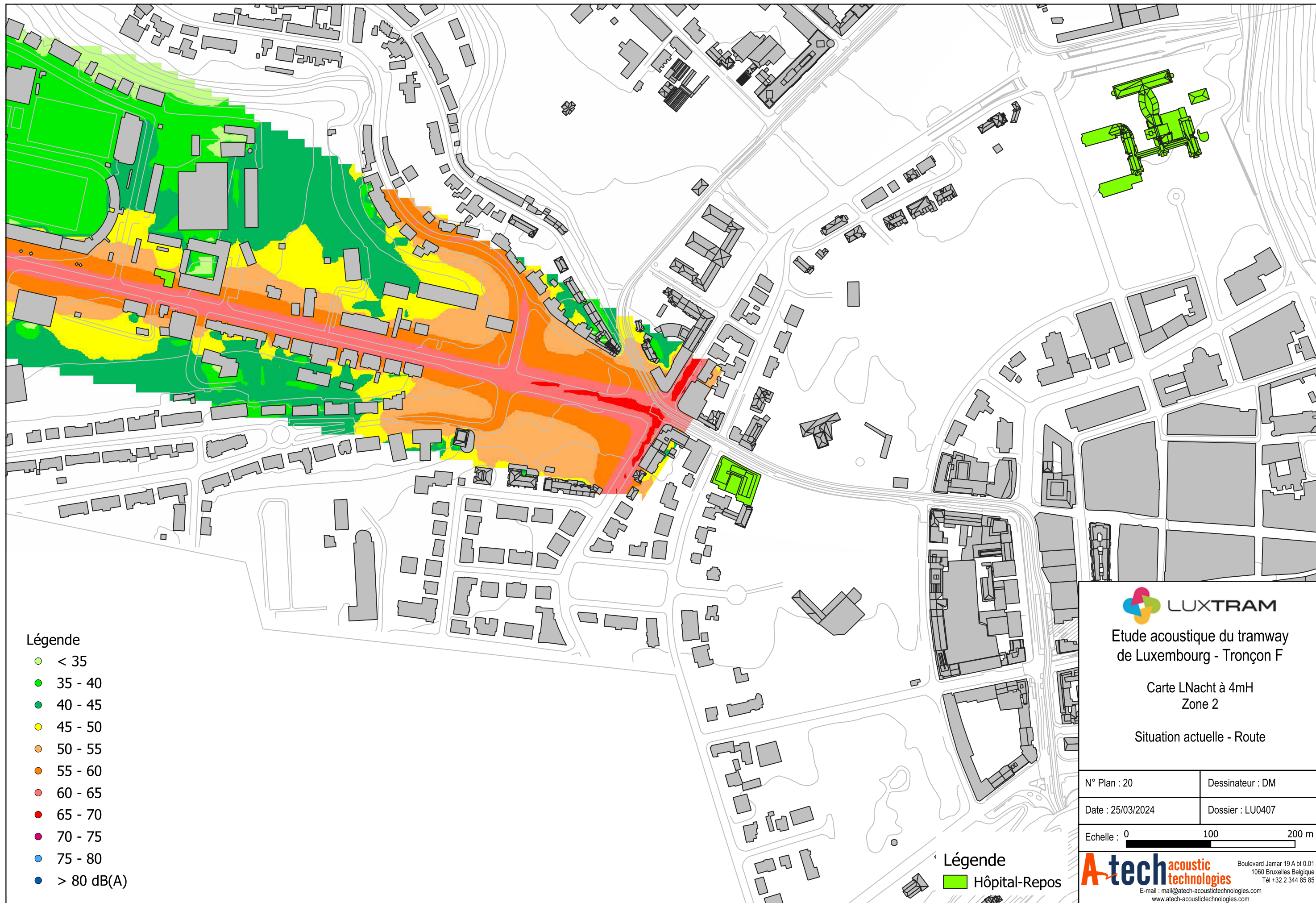


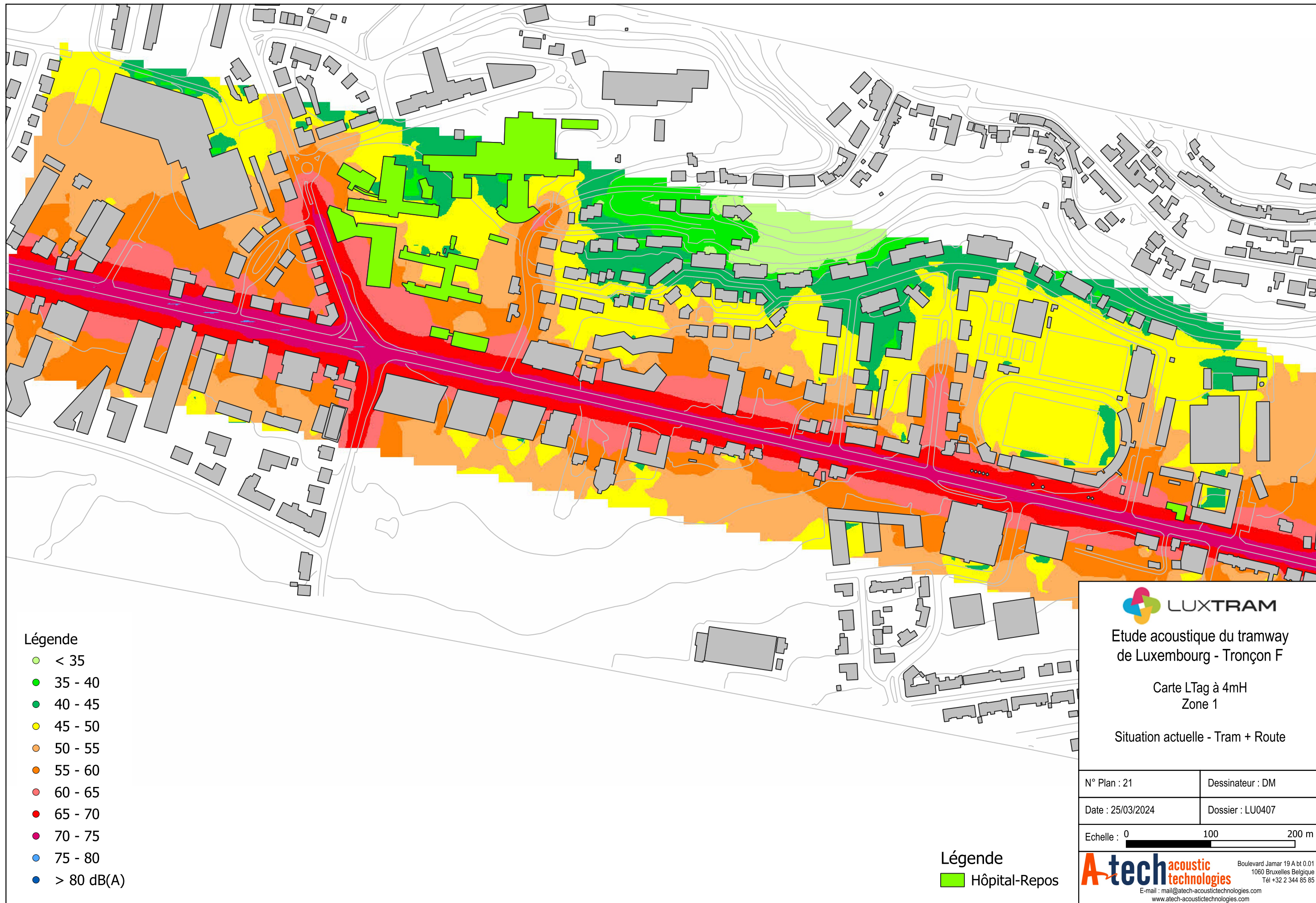


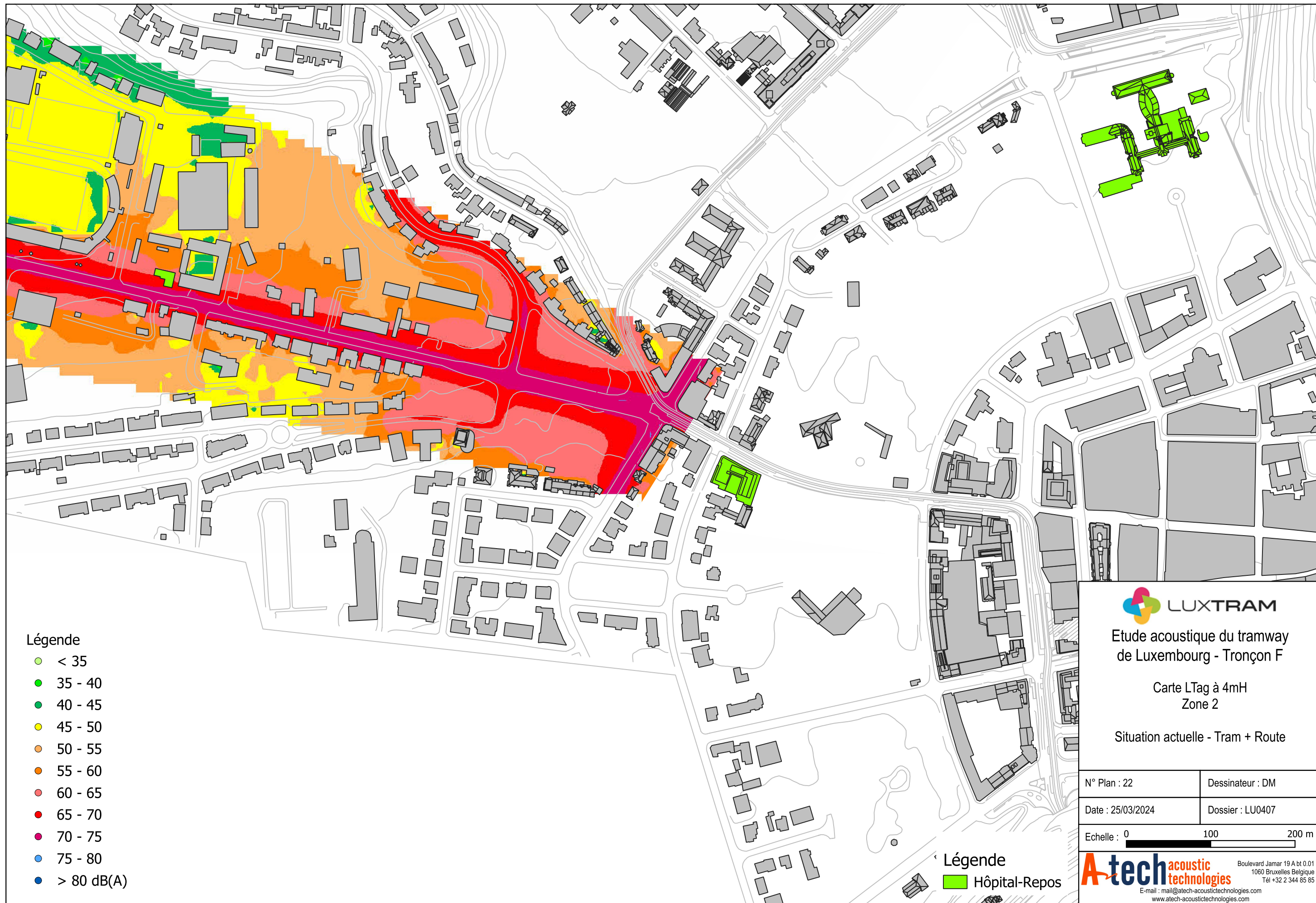


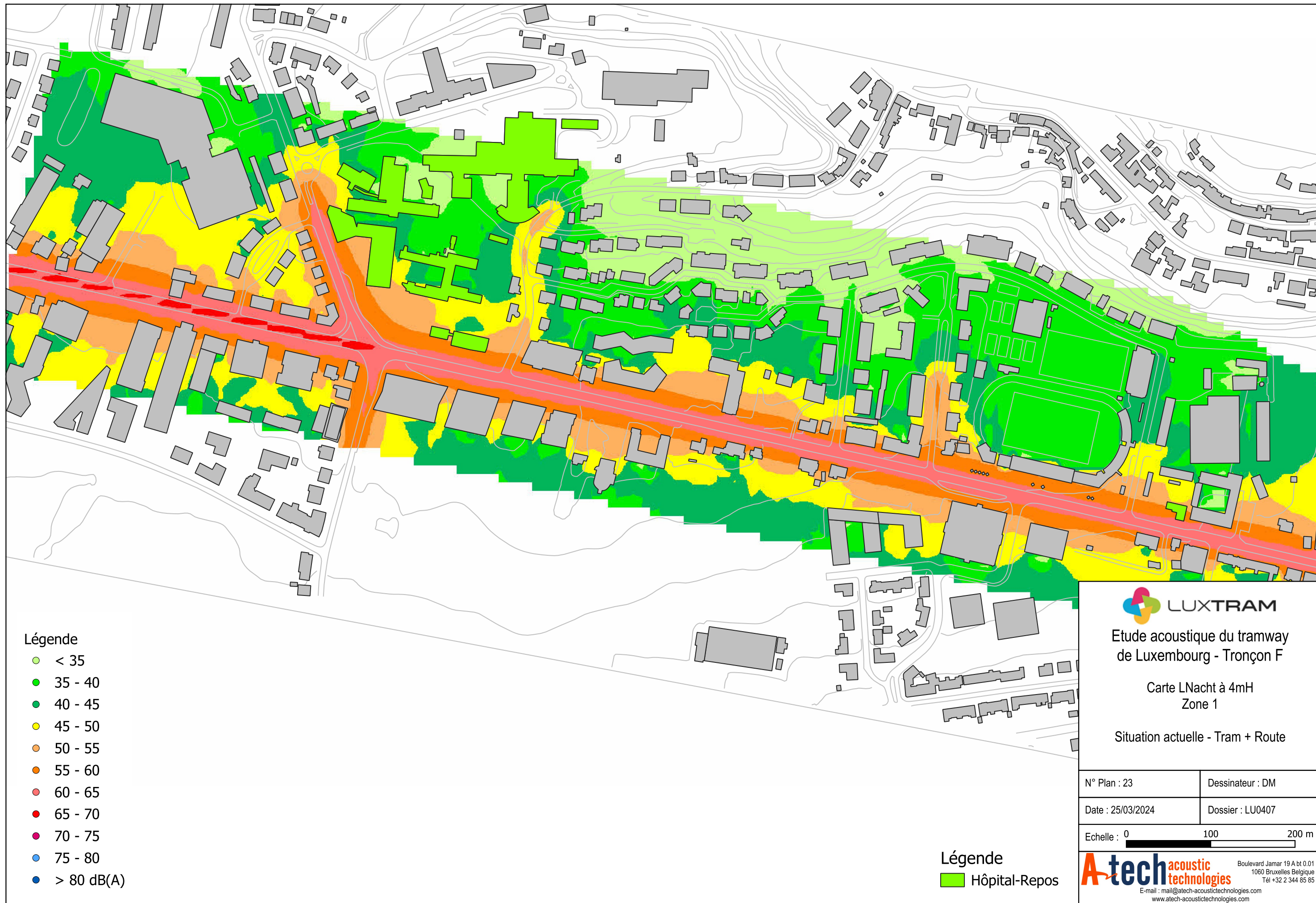


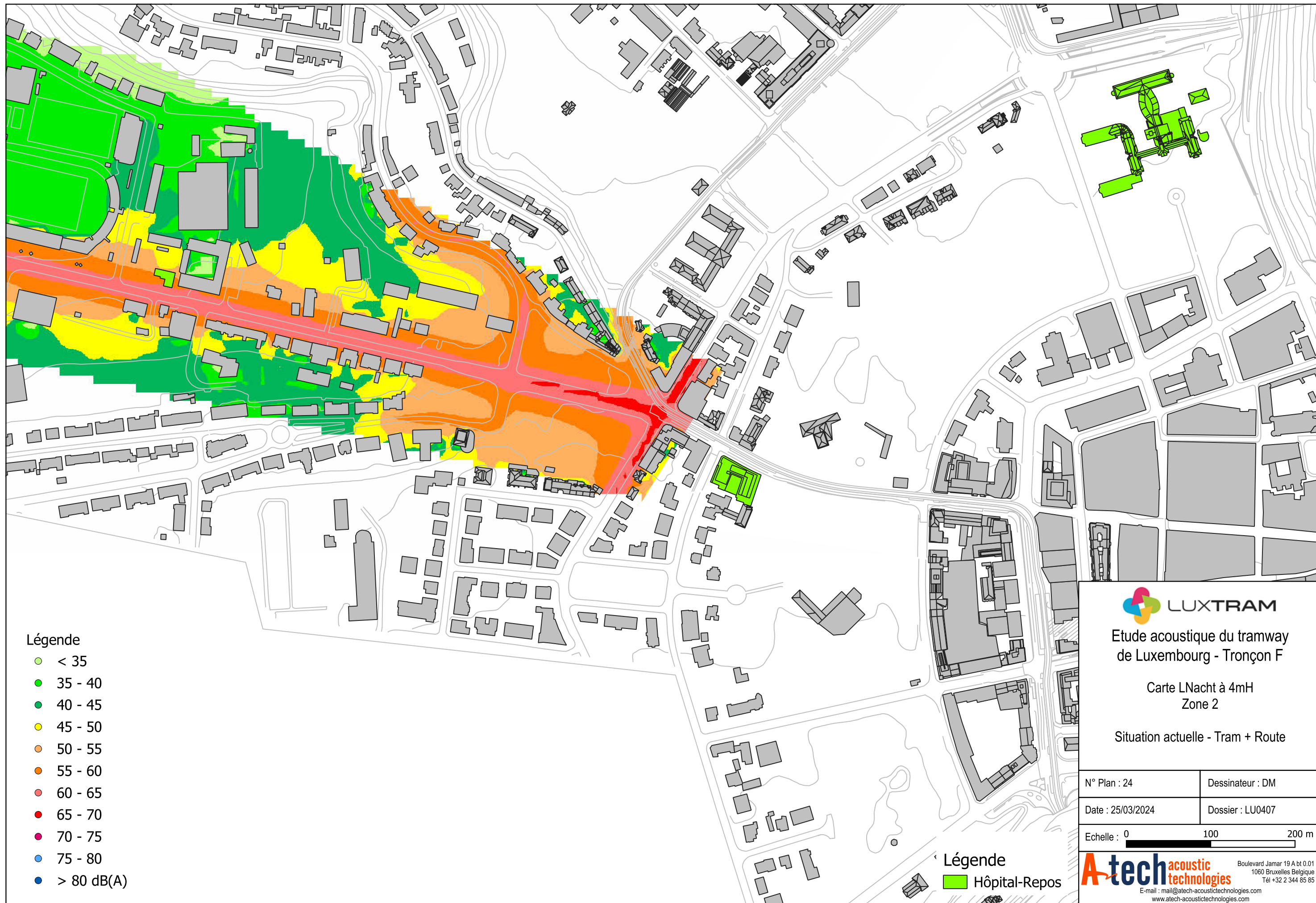




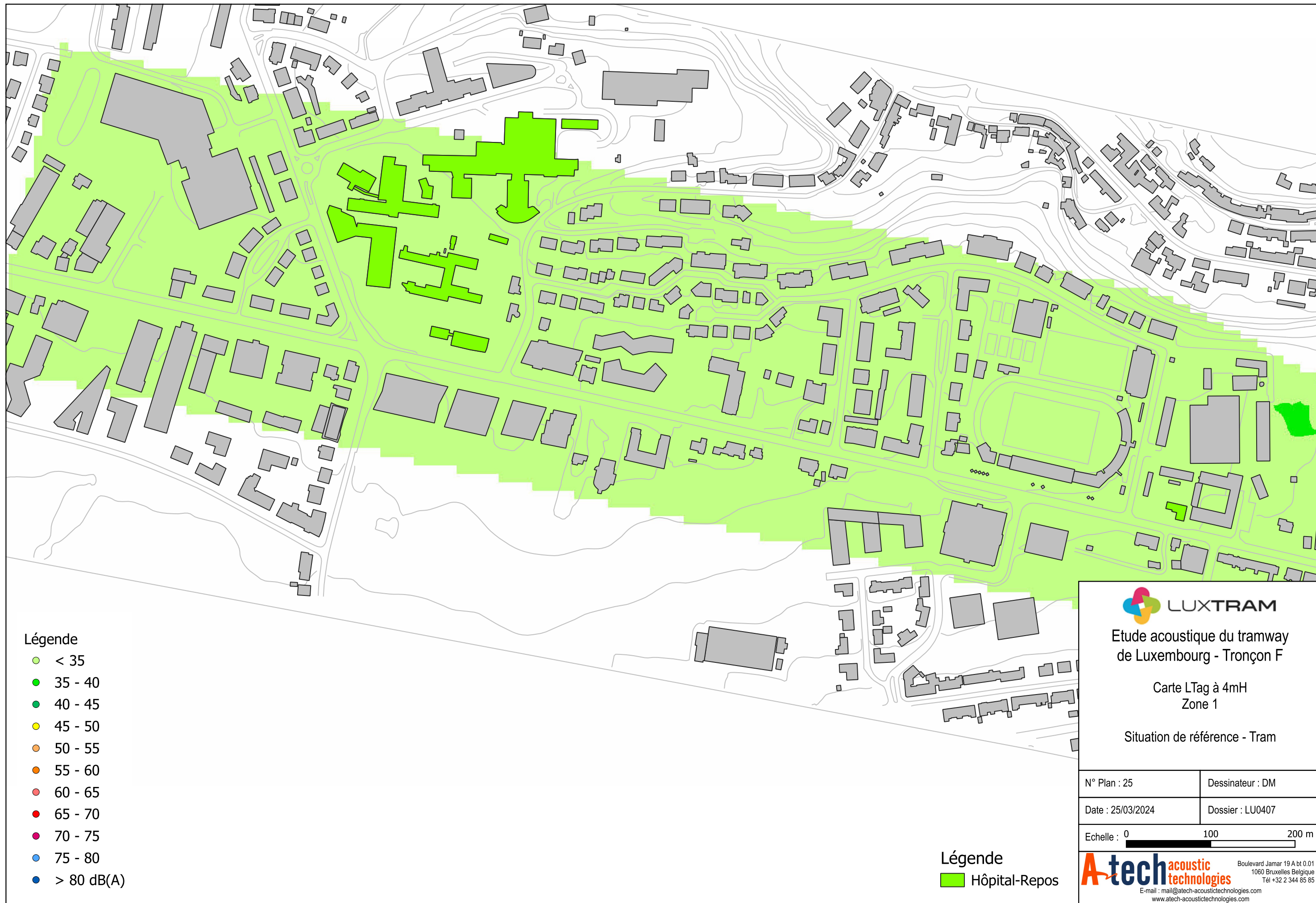


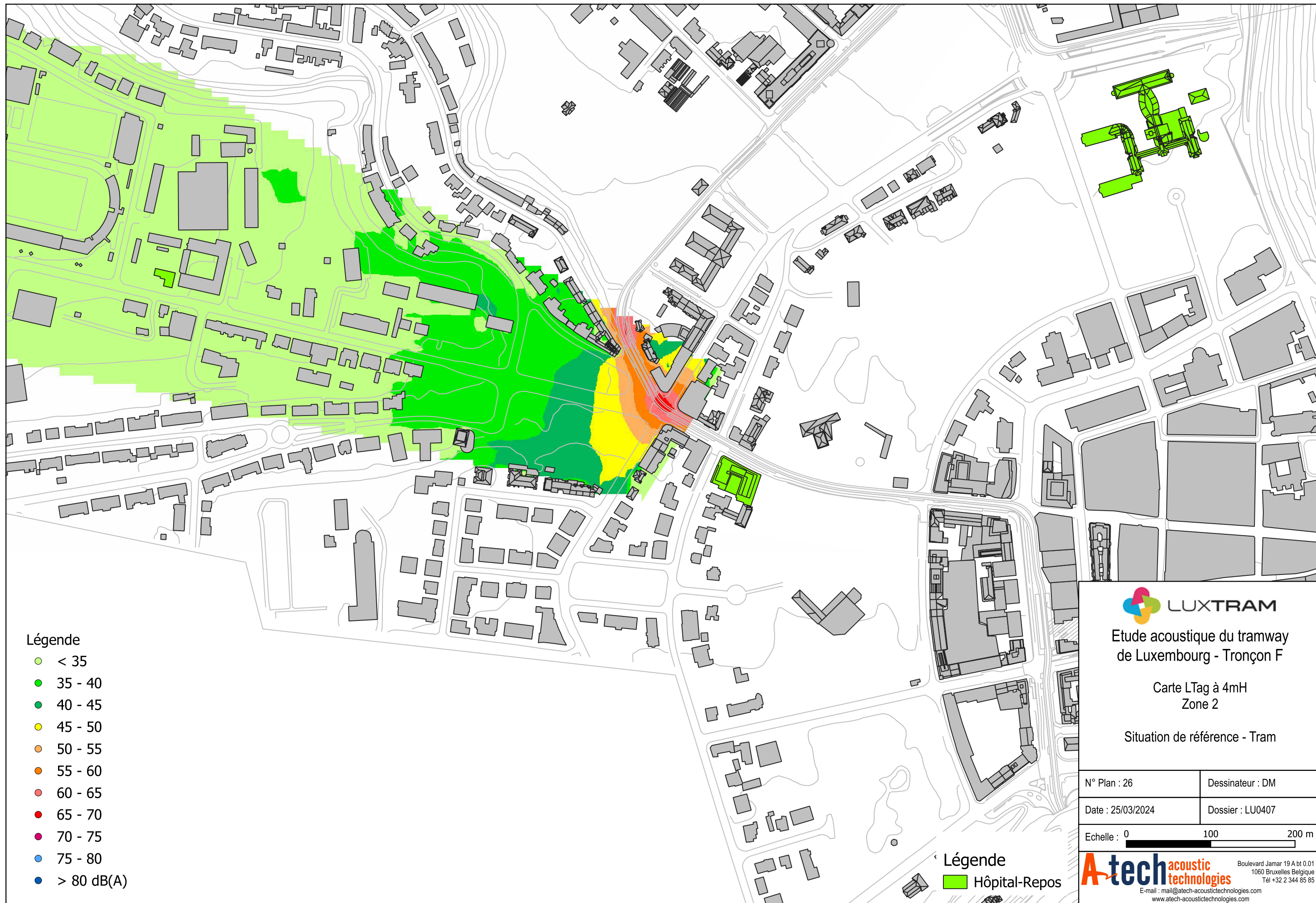


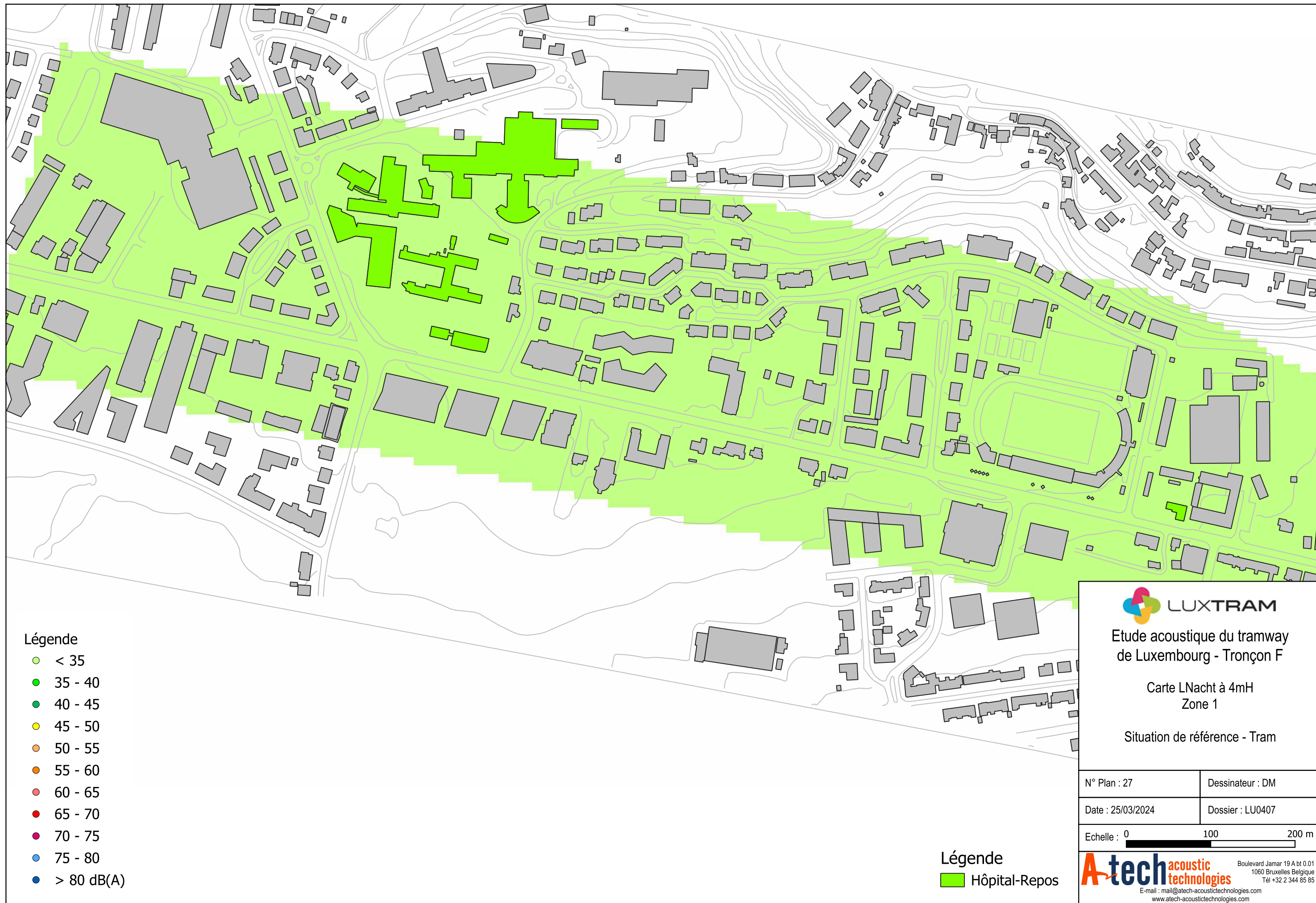




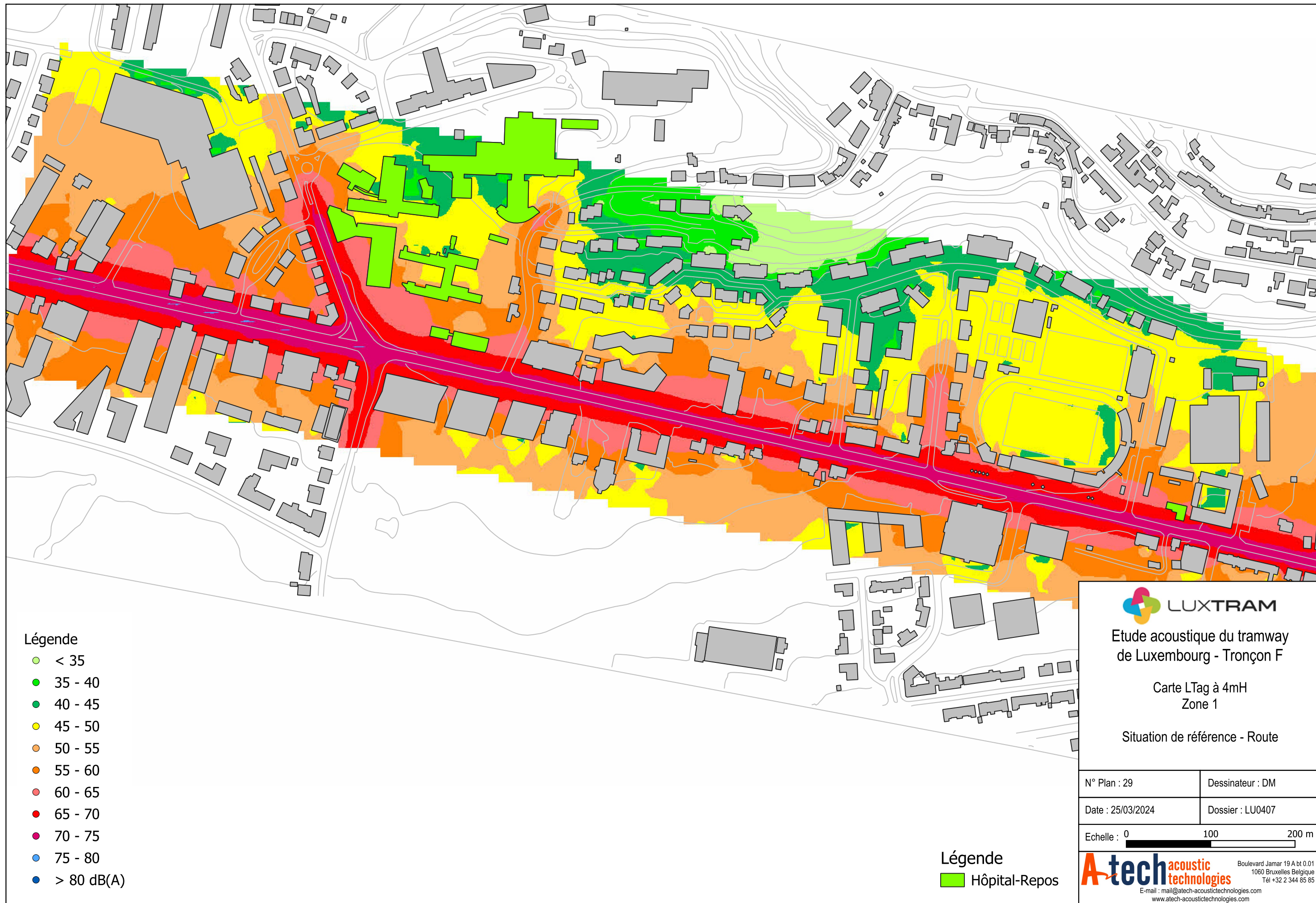
7.8 Cartes du bruit en situation de référence

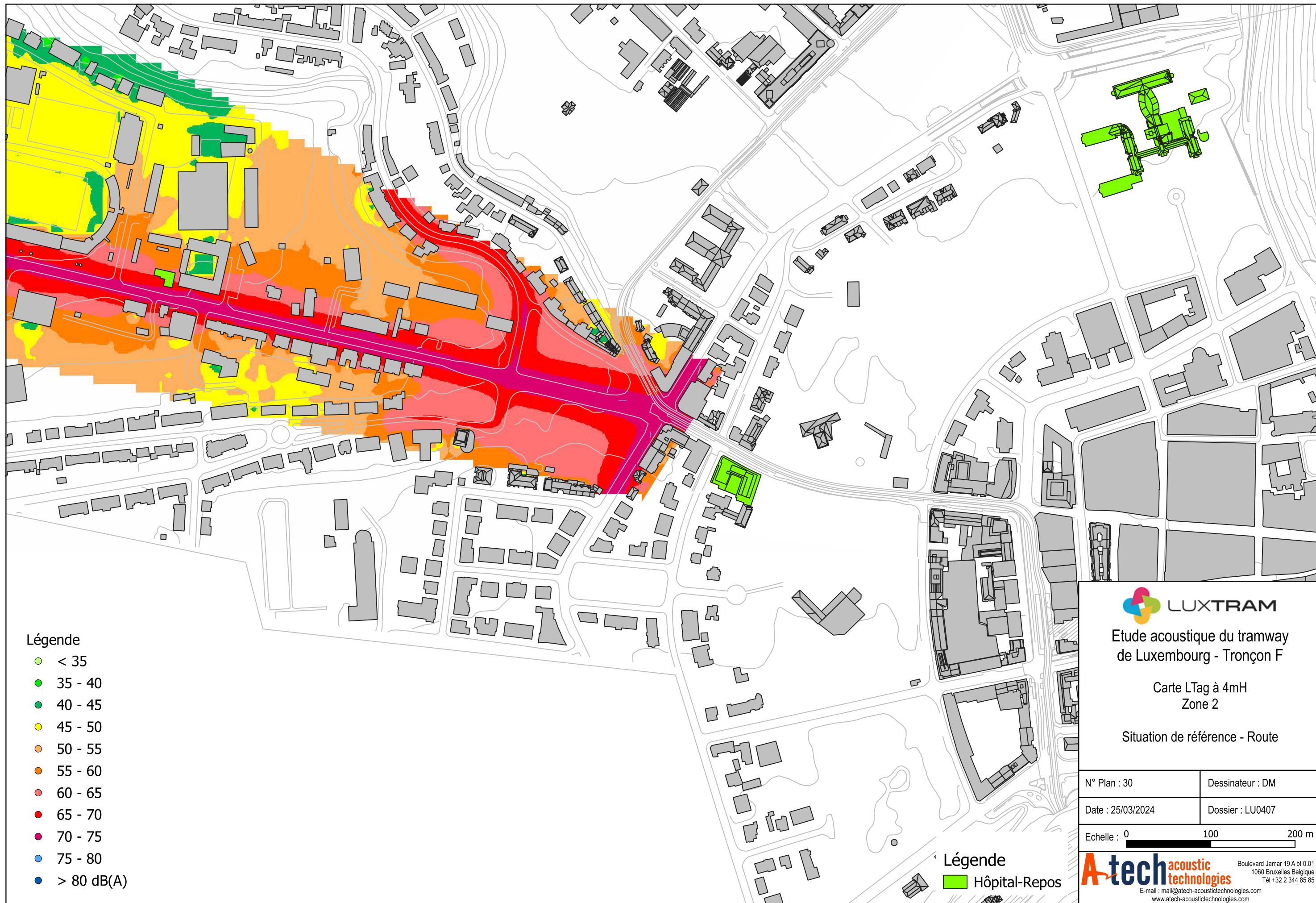




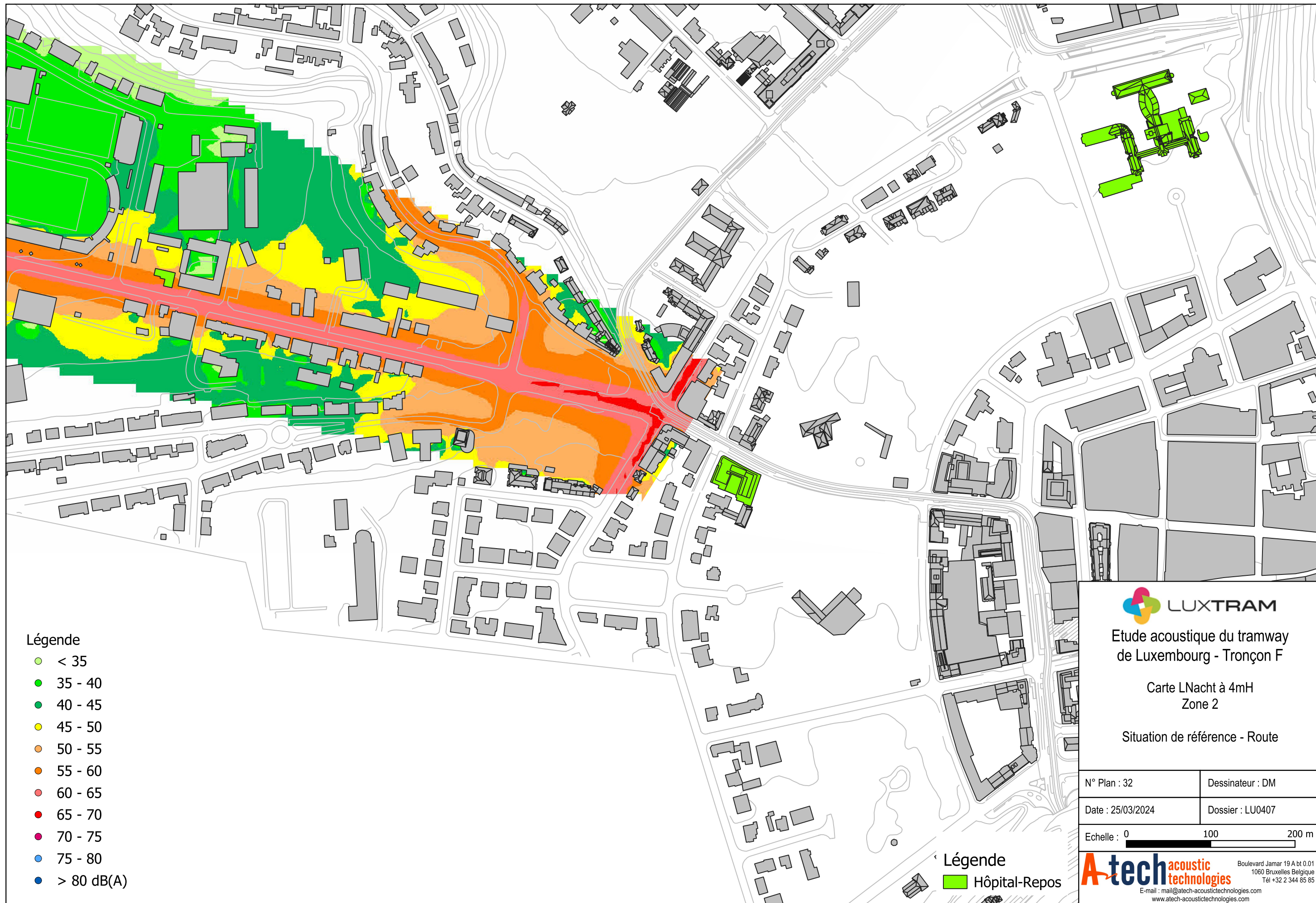


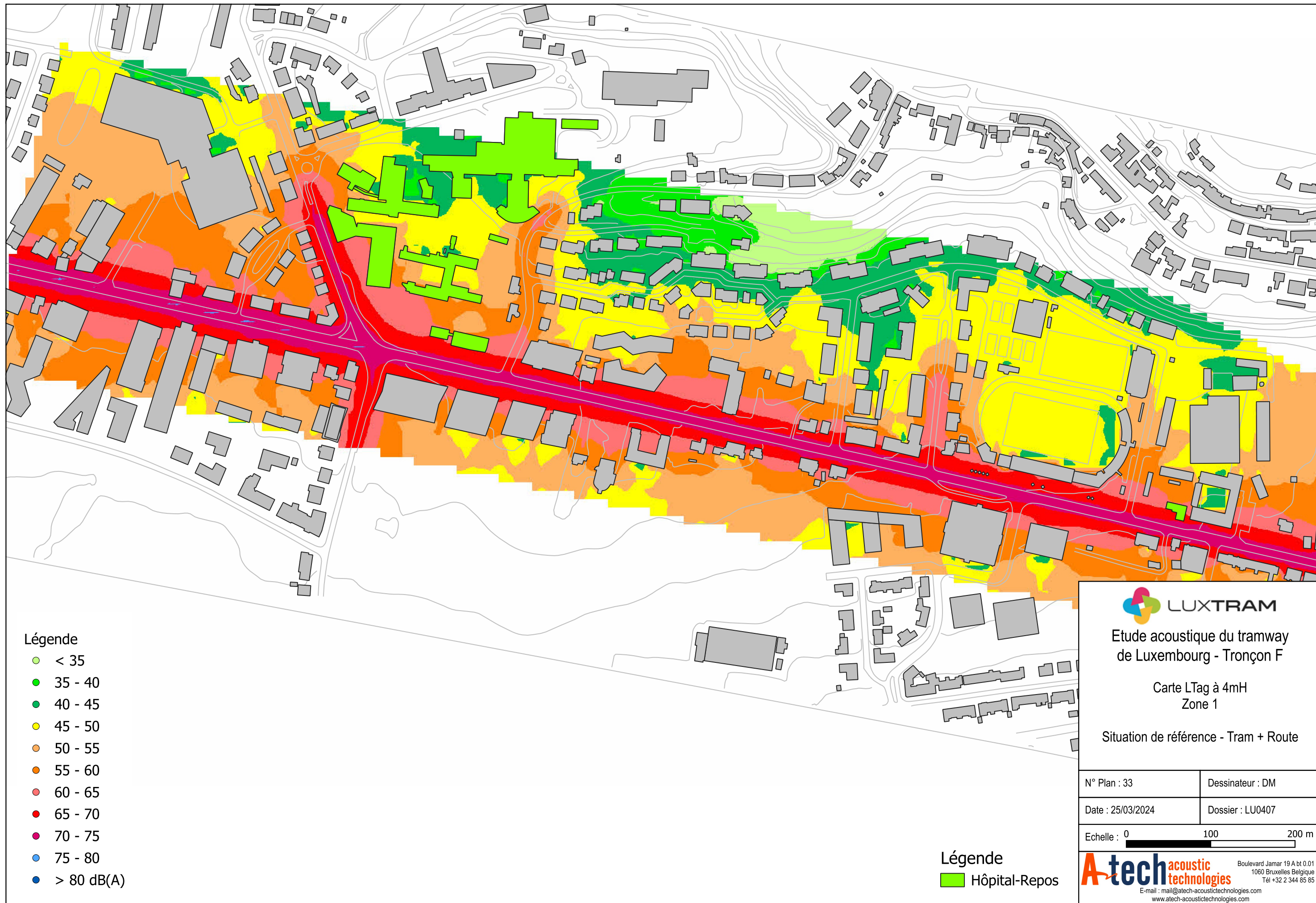


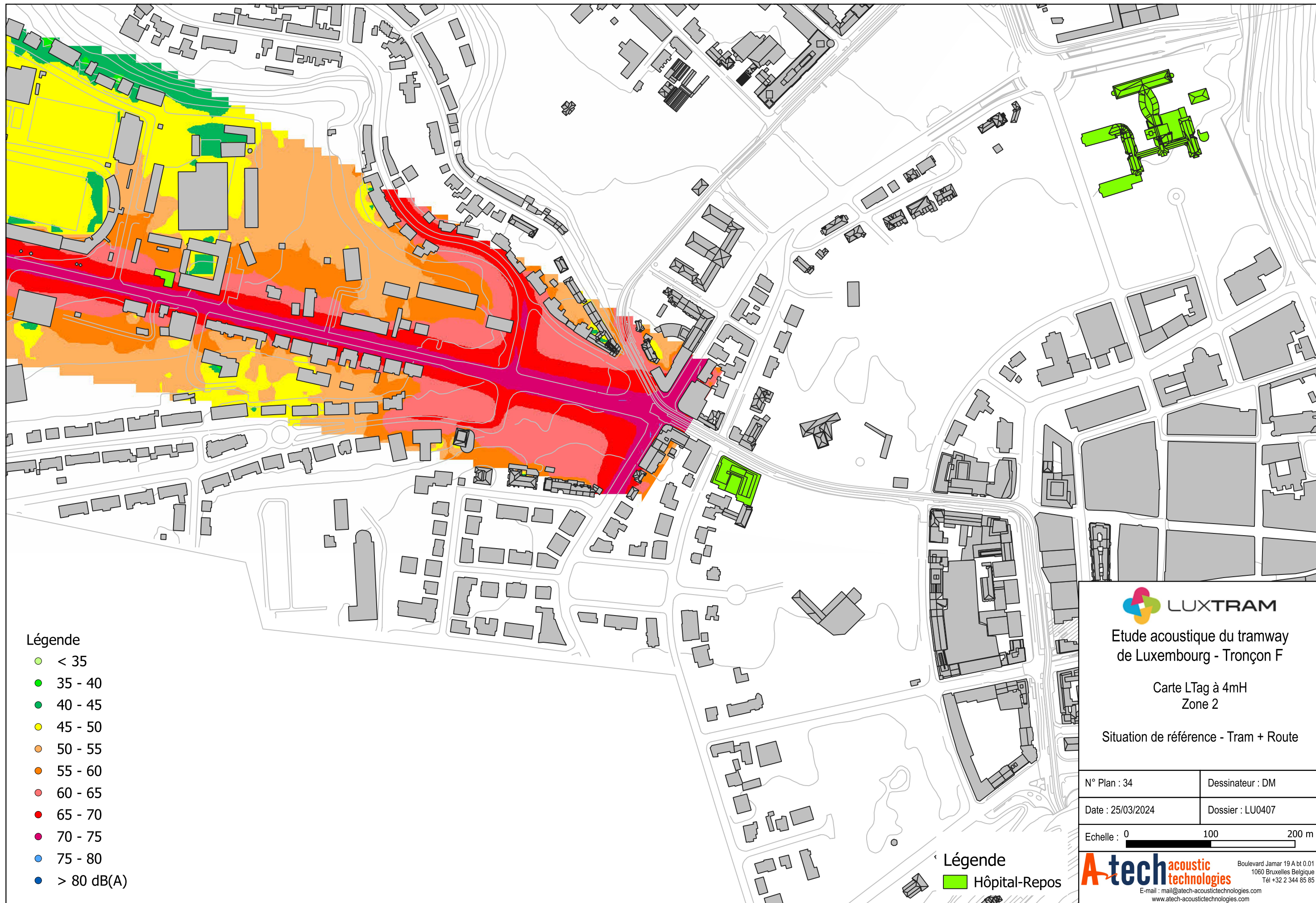


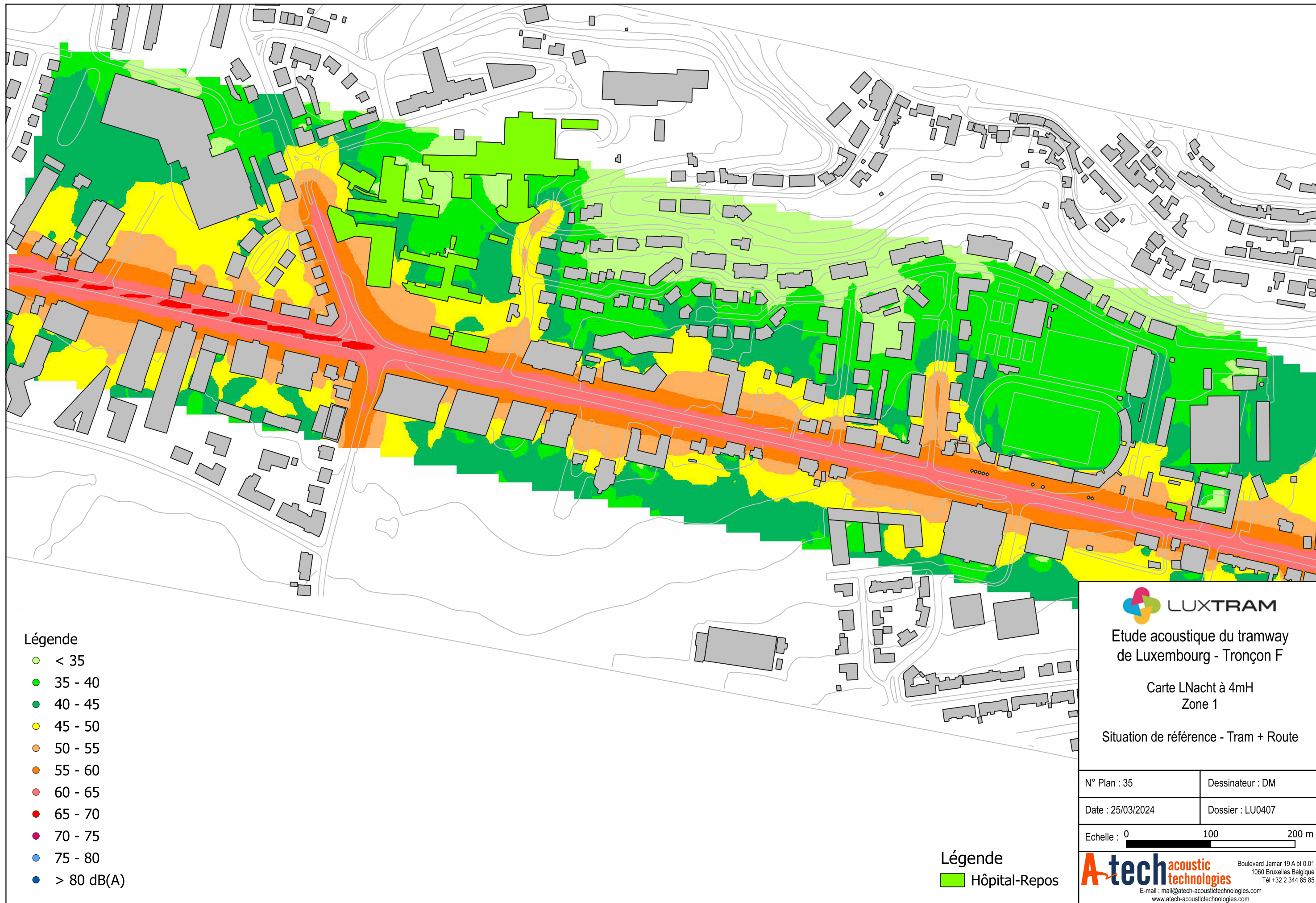


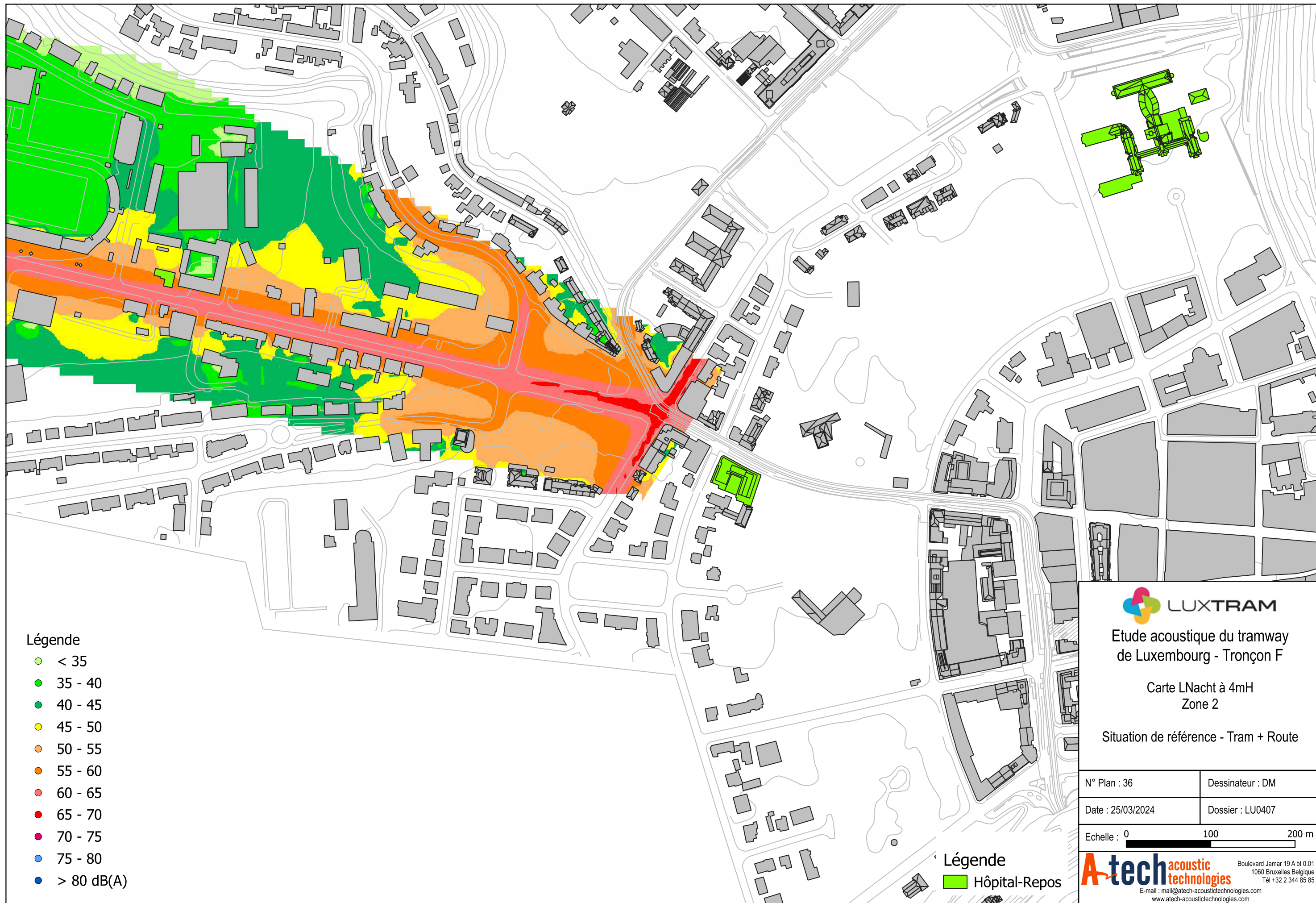




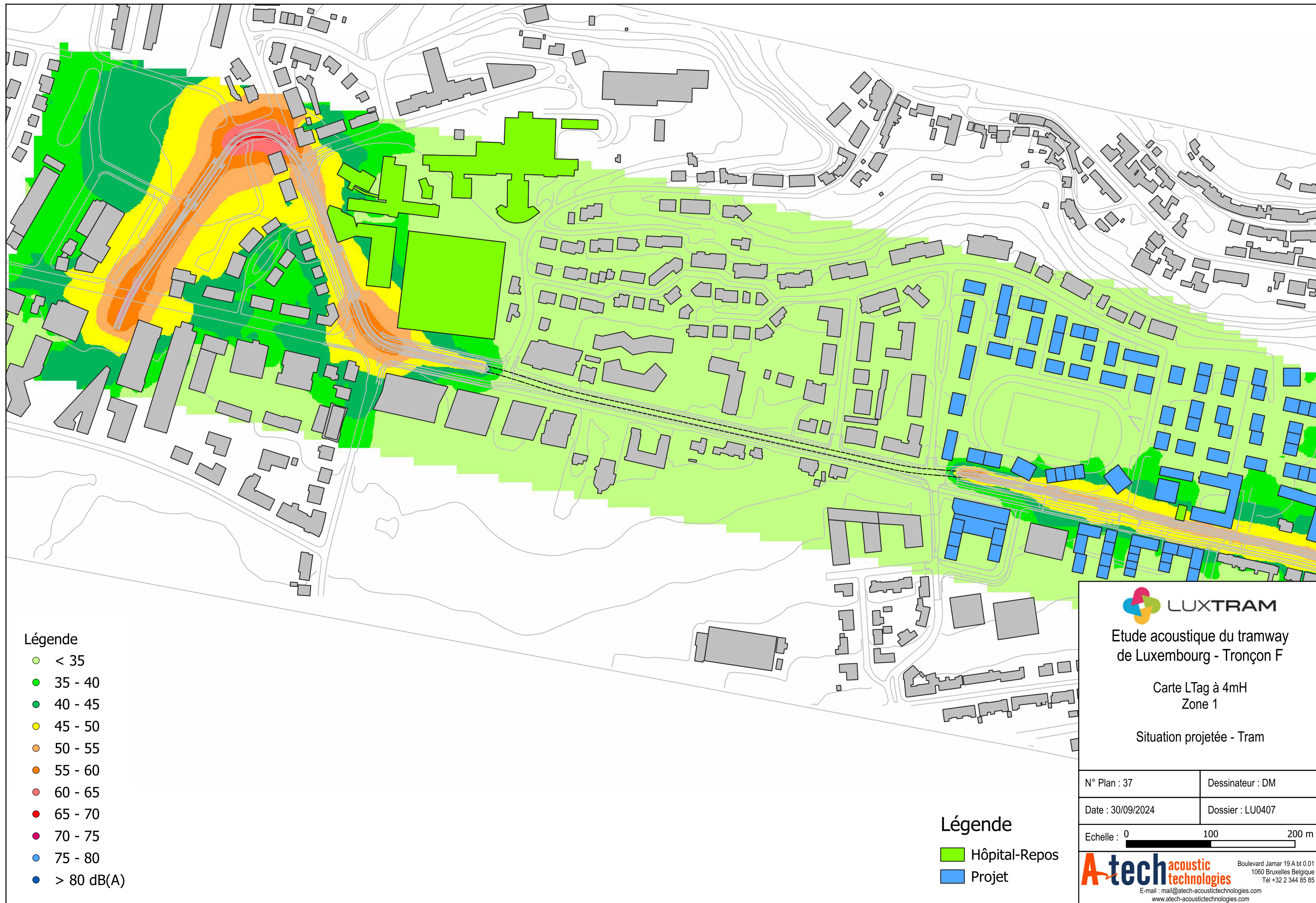




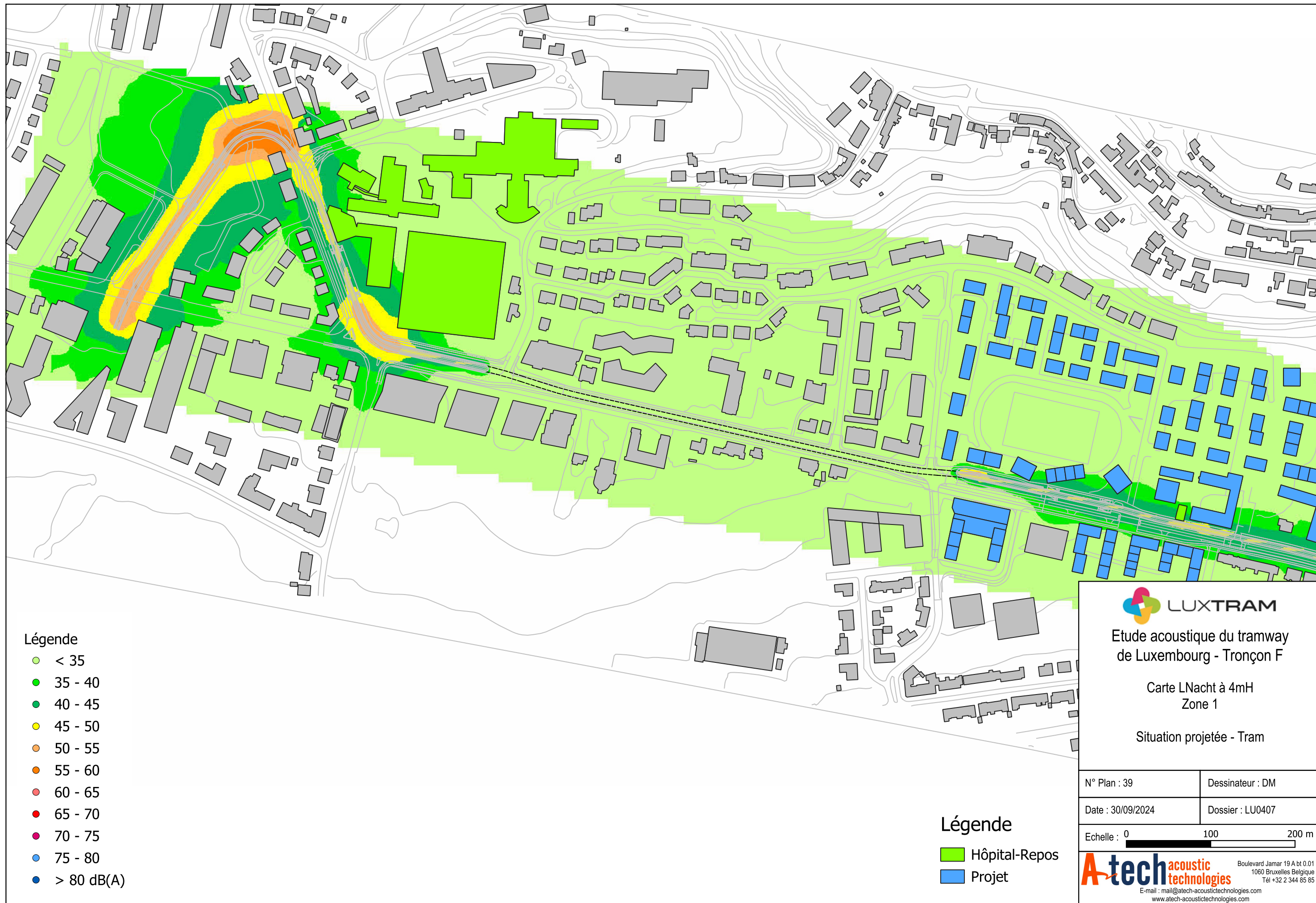




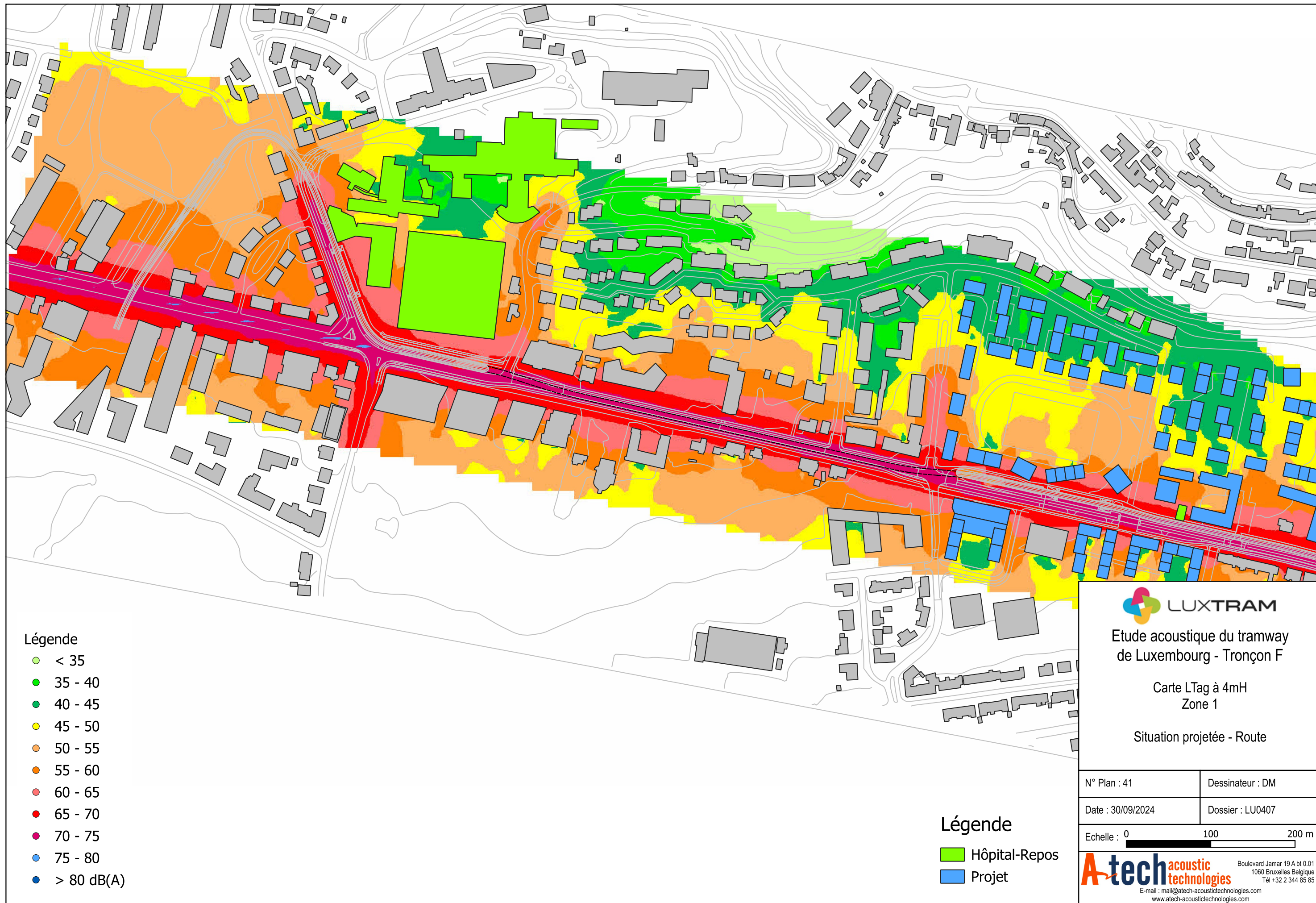
7.9 Cartes du bruit en situation projetée

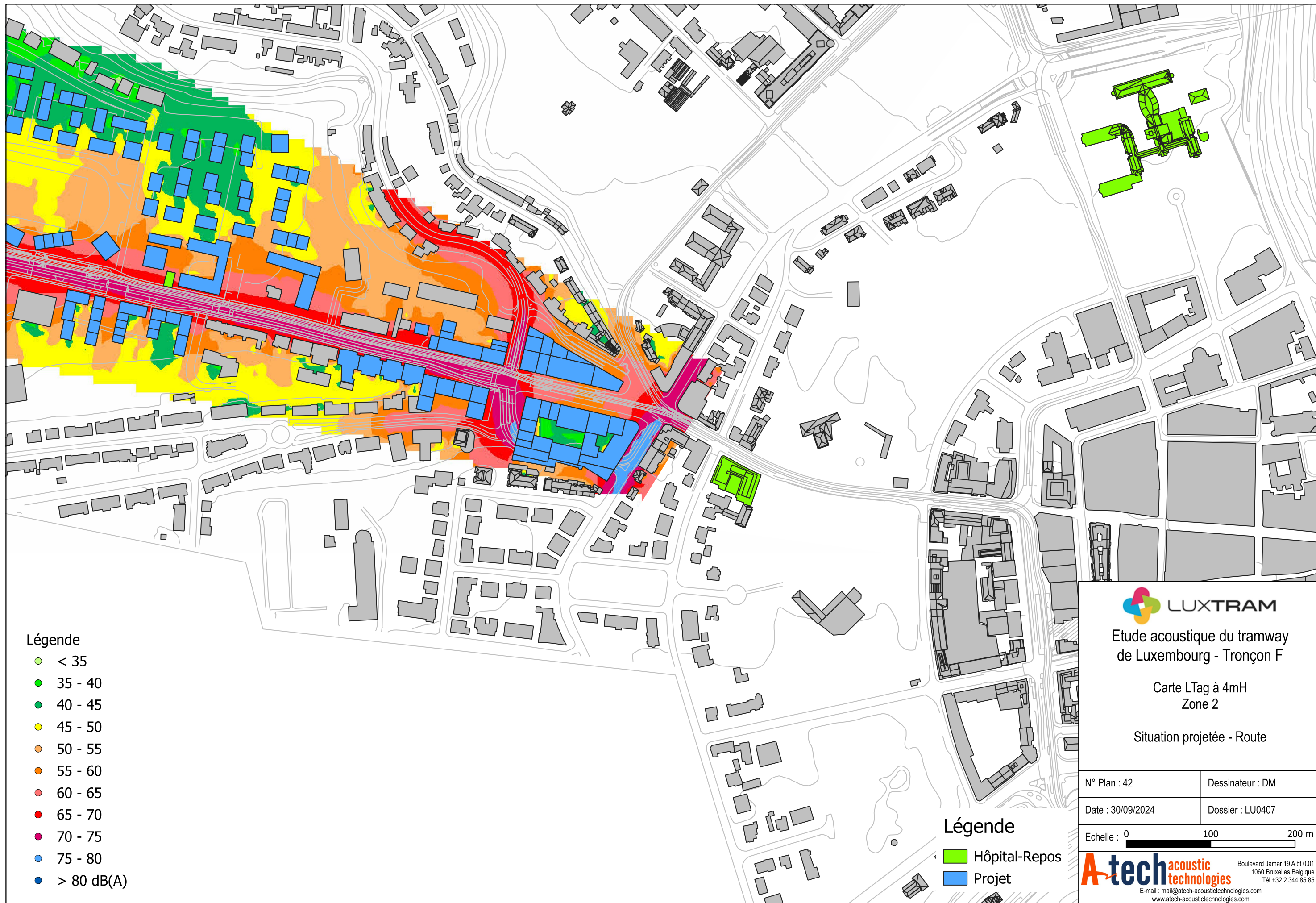












Etude acoustique du tramway
de Luxembourg - Tronçon F

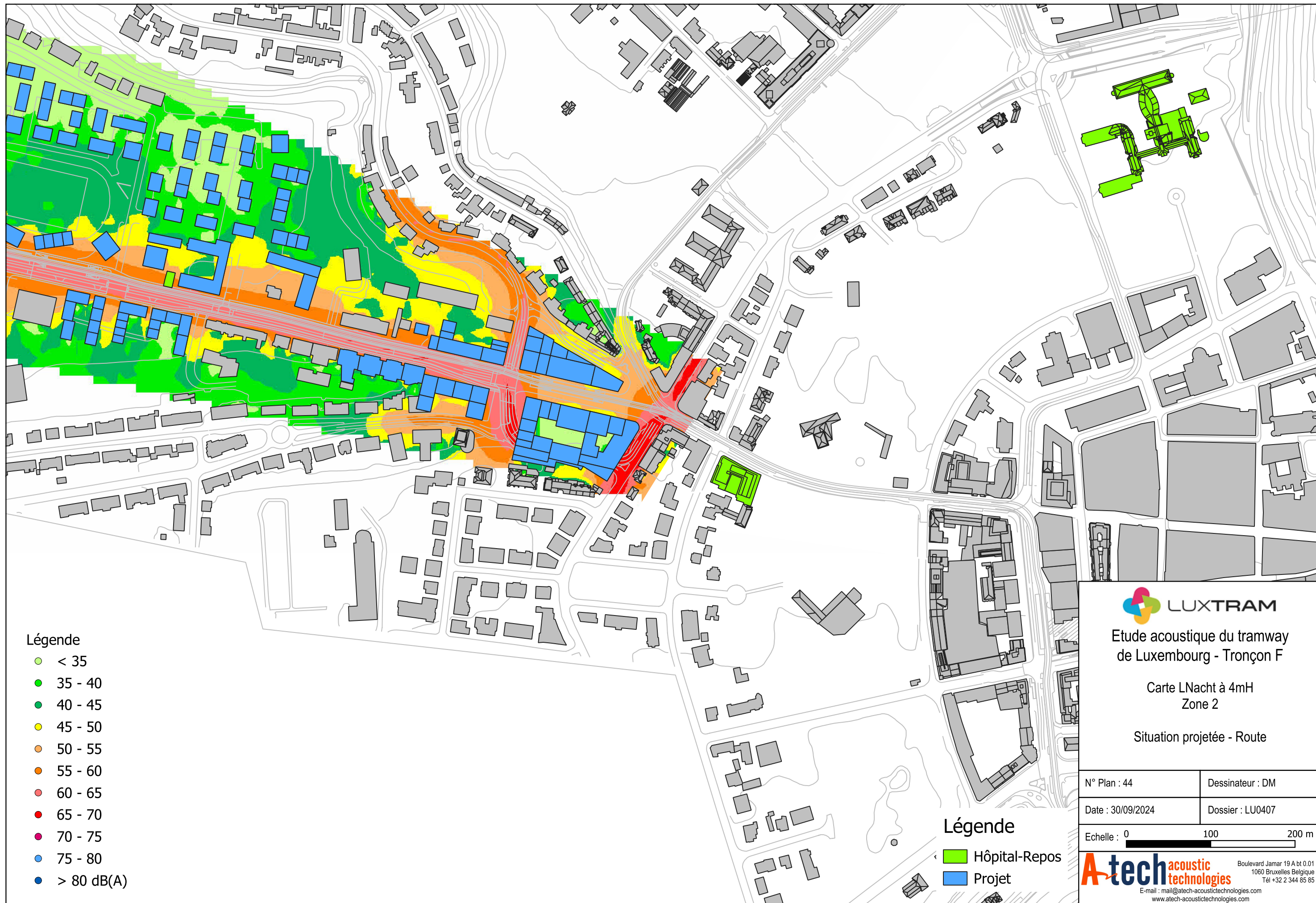
Carte LTag à 4mH
Zone 2

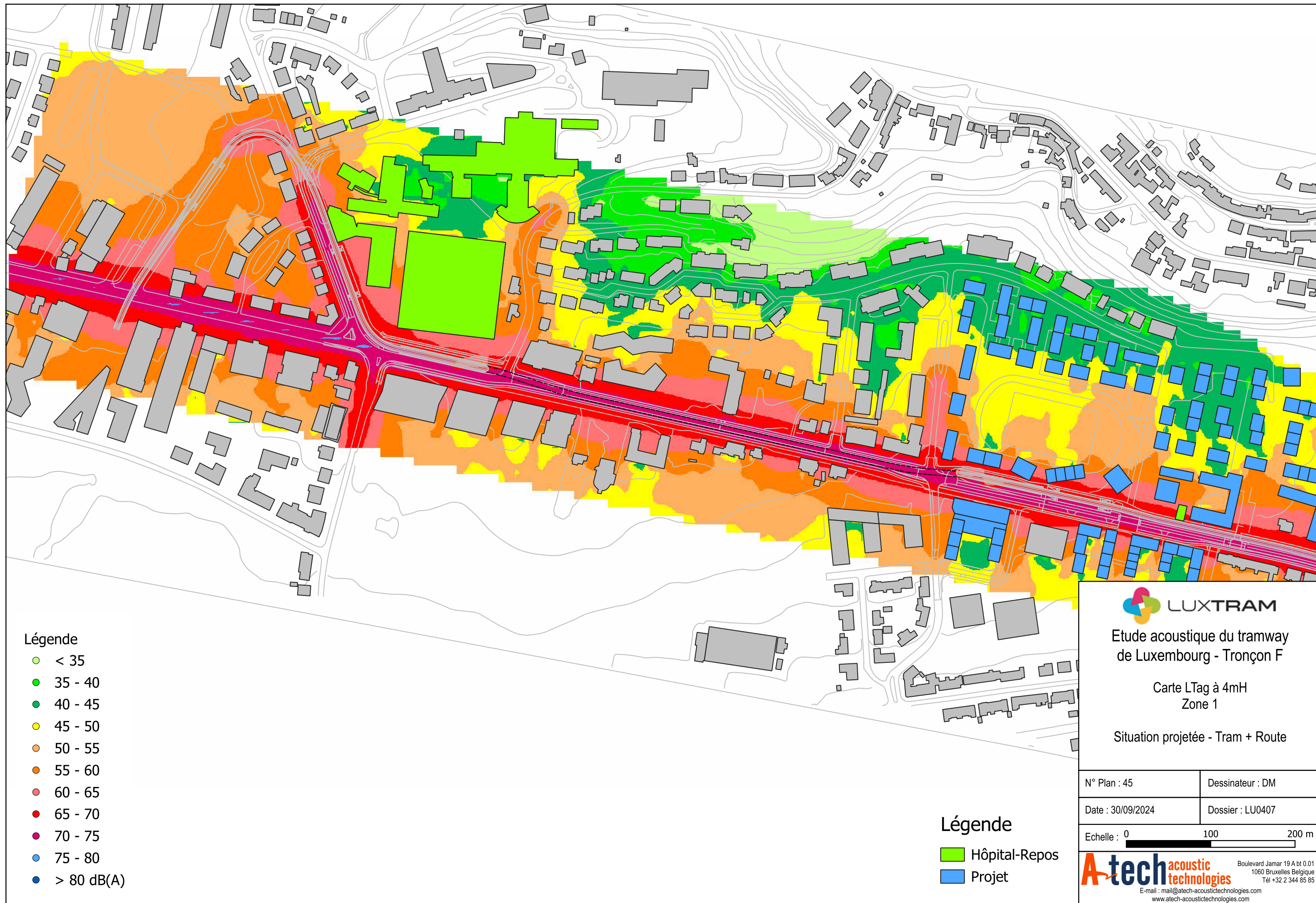
Situation projetée - Route

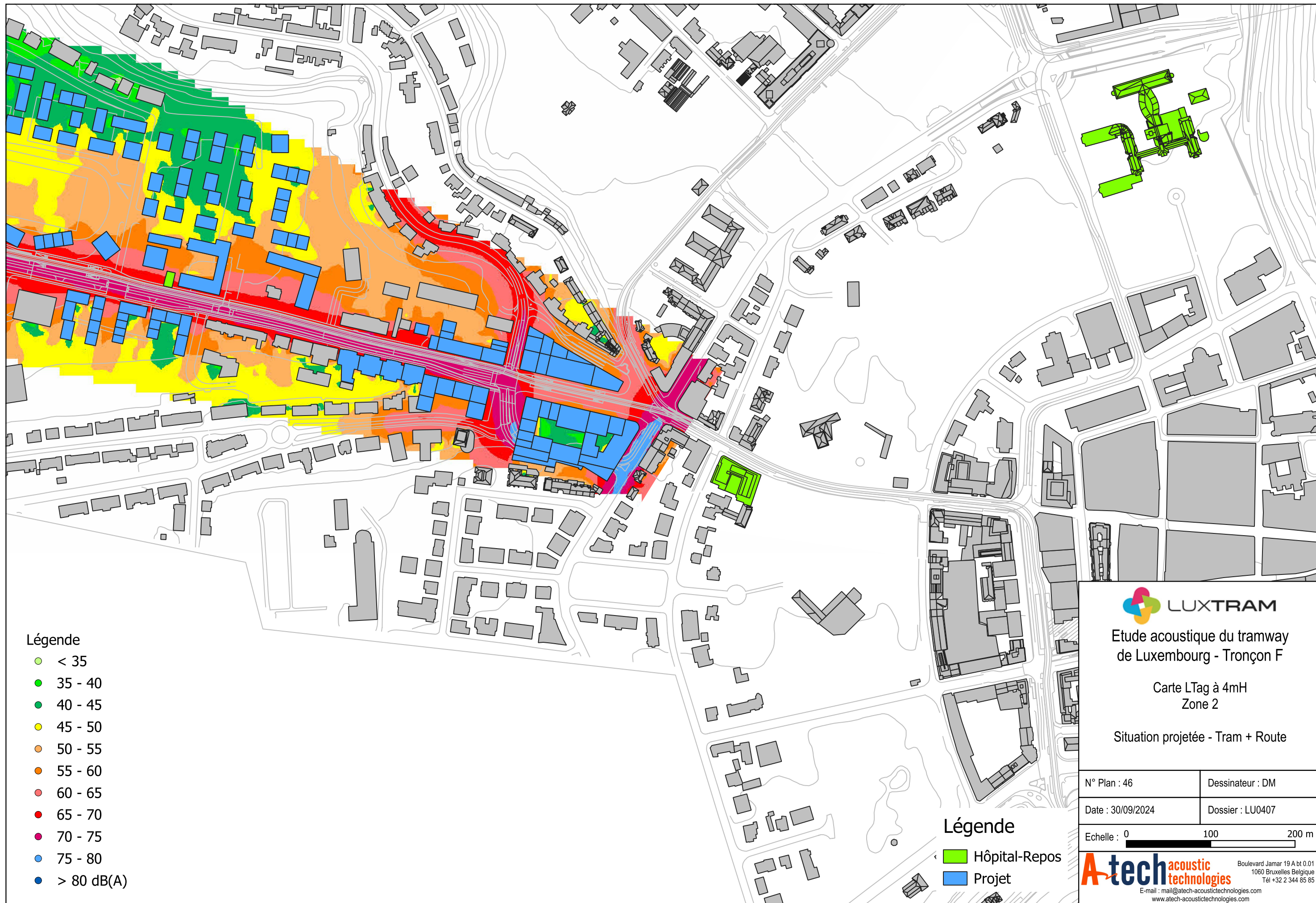
N° Plan : 42	Dessinateur : DM
Date : 30/09/2024	Dossier : LU0407
Echelle : 0 100 200 m	

Atech acoustic technologies
Boulevard Jamar 19 A bt 0.01
1060 Bruxelles Belgique
Tél +32 2 344 85 85
E-mail : mail@atech-acoustictechnologies.com
www.atech-acoustictechnologies.com













7.10 Phase exploitation - Niveaux maxima calculés en façade de chaque bâtiment

7.10.1 Niveaux spécifiques induits uniquement par les trams

			Niveaux spécifiques induits uniquement par les trams [dB(A) réf.20μPa]						
Critère		N°	Actuelle		Référence		N°	Projetée	
			Ligne T1					Ligne T1 + projet	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht		Tag	Nacht
64	54	1	15	7	16	9	1	42	36
64	54	2	19	11	20	13	2	62	56
64	54	3	18	10	19	12	3	50	43
64	54	4	19	11	20	13	4	48	42
64	54	5	18	10	19	12	5	46	40
64	54	6	17	9	18	11	6	45	39
64	54	7	19	12	20	13	7	39	33
64	54	8	20	12	21	14	8	41	35
64	54	9	18	11	19	12	9	45	39
64	54	10	18	11	19	12	10	44	38
64	54	11	19	11	20	13	11	44	38
64	54	12	18	11	19	12	12	44	38
64	54	13	17	9	18	11	13	41	35
64	54	14	19	11	20	13	14	51	45
64	54	15	19	11	20	13	15	51	45
64	54	16	21	14	22	15	16	32	26
64	54	17	22	14	23	16	17	30	24
64	54	18	19	11	20	13	18	28	22
64	54	19	23	15	24	17	19	24	17
64	54	20	23	16	24	17	20	28	22
64	54	21	24	17	25	18	21	25	18
64	54	22	21	13	22	15	22	29	22
64	54	23	23	15	24	17	23	27	20
64	54	24	22	14	23	16	24	24	17
64	54	25	23	16	24	17	25	26	20
64	54	26	24	17	26	19	26	26	20
64	54	27	22	14	23	16	27	25	19
64	54	28	27	19	28	21	28	28	21
64	54	29	25	17	26	19	29a	34	28
64	54						29b	37	30
64	54						29c	36	29
64	54						29d	46	40
64	54						29e	47	41
64	54						29f	46	40
64	54						29g	45	39
64	54						29h	44	38
64	54						29i	45	39
64	54						29j	34	28
64	54	30	28	20	29	22	30	38	32
64	54	31	29	22	30	23	31a	42	36
64	54						31b	42	36
64	54						31c	44	37
64	54						31d	45	39
64	54						31e	45	39
64	54						31f	45	39
64	54	32	26	19	27	20	32	50	44
64	54	33	30	22	31	24	33	46	40
64	54	34	31	24	33	26	34	45	39
64	54	35	33	26	34	27	35	46	40
64	54	36	32	25	33	26	36	47	41

			Niveaux spécifiques induits uniquement par les trams [dB(A) réf.20μPa]						
Critère		N°	Actuelle		Référence		N°	Projetée	
			Ligne T1					Ligne T1 + projet	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht		Tag	Nacht
64	54	37	34	26	35	28	37	47	41
64	54	38	36	28	37	30	38	47	41
64	54	39	33	25	34	27	39	45	39
64	54	40	34	27	35	28	40	46	40
64	54						40a	50	44
64	54						40b	50	44
64	54						40c	50	44
64	54						40d	46	39
64	54						40e	46	40
64	54						40f	46	40
64	54						40g	47	40
64	54						40h	49	43
64	54						40i	49	43
64	54						40j	50	44
64	54						40k	53	46
64	54						40l	48	42
64	54						40m	48	42
64	54						40n	48	42
64	54						40o	49	43
64	54						40p	51	44
64	54						40q	53	47
64	54						40r	56	49
64	54	41	41	33	42	35	41	41	34
64	54	42	40	33	41	34	42	41	34
64	54	43	34	27	35	28	43	23	16
64	54	44	38	30	39	32	44	34	28
64	54	45	41	33	42	35	45	33	26
64	54	47	43	36	45	38	47	32	25
64	54	48	40	33	41	34	48	39	32
64	54	49	42	35	44	37	49	46	39
64	54	50	49	42	50	43	50	50	43
64	54	51	58	50	59	52	51	61	54
64	54	52	57	49	58	51	52	61	54

7.10.2 Niveaux spécifiques induits uniquement par la route

			Niveaux spécifiques induits uniquement par la route [dB(A) réf.20μPa]						
Critère		N°	Actuelle		Référence		N°	Projetée	
			Route					Route	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht		Tag	Nacht
64	54	1	67	58	67	58	1	67	58
64	54	2	55	46	55	46	2	56	47
64	54	3	61	52	61	52	3	63	54
64	54	4	60	51	60	51	4	61	52
64	54	5	57	48	57	48	5	58	49
64	54	6	61	52	61	52	6	61	52
64	54	7	69	60	69	60	7	69	60
64	54	8	69	60	69	60	8	69	60
64	54	9	66	57	66	57	9	67	58
64	54	10	66	57	66	57	10	66	57
64	54	11	66	57	66	57	11	66	57
64	54	12	66	57	66	57	12	66	57
64	54	13	64	55	64	55	13	64	55
64	54	14	67	58	67	58	14	66	57
64	54	15	66	57	66	57	15	65	56
64	54	16	66	57	66	57	16	66	57
64	54	17	66	57	66	57	17	66	57
64	54	18	67	58	67	58	18	67	58
64	54	19	65	56	65	56	19	66	57
64	54	20	66	57	66	57	20	66	57
64	54	21	67	58	67	58	21	67	58
64	54	22	65	56	65	56	22	64	55
64	54	23	68	59	68	59	23	67	58
64	54	24	66	57	66	57	24	67	58
64	54	25	68	59	68	59	25	67	58
64	54	26	68	59	68	59	26	67	58
64	54	27	68	59	68	59	27	68	59
64	54	28	67	58	67	58	28	66	57
64	54	29	64	55	64	55	29a	65	56
64	54						29b	65	56
64	54						29c	65	56
64	54						29d	66	57
64	54						29e	65	56
64	54						29f	64	55
64	54						29g	64	55
64	54						29h	63	54
64	54						29i	64	55
64	54						29j	67	58
64	54	30	65	56	65	56	30	65	56
64	54	31	69	60	69	60	31a	67	58
64	54						31b	67	58
64	54						31c	67	58
64	54						31d	68	59
64	54						31e	68	59
64	54						31f	68	59
64	54	32	68	60	68	60	32	68	59
64	54	33	70	61	70	61	33	70	61
64	54	34	68	59	68	59	34	68	59
64	54	35	68	59	68	59	35	65	56
64	54	36	69	60	69	60	36	70	61

			Niveaux spécifiques induits uniquement par la route [dB(A) réf.20μPa]						
Critère		N°	Actuelle		Référence		N°	Projetée	
			Route					Route	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht		Tag	Nacht
64	54	37	69	60	69	60	37	70	61
64	54	38	70	61	70	61	38	70	61
64	54	39	65	56	65	56	39	66	57
64	54	40	66	57	66	57	40	67	58
64	54						40a	69	60
64	54						40b	69	60
64	54						40c	69	60
64	54						40d	68	59
64	54						40e	68	60
64	54						40f	69	60
64	54						40g	69	60
64	54						40h	68	59
64	54						40i	64	55
64	54						40j	63	54
64	54						40k	62	54
64	54						40l	70	61
64	54						40m	63	55
64	54						40n	62	53
64	54						40o	61	52
64	54						40p	62	53
64	54						40q	63	54
64	54						40r	75	67
64	54	41	61	52	61	52	41	58	49
64	54	42	66	57	66	57	42	67	58
64	54	43	61	52	61	52	43	61	52
64	54	44	58	49	58	49	44	62	53
64	54	45	59	51	59	51	45	60	51
64	54	47	64	56	64	56	47	66	58
64	54	48	62	53	62	53	48	61	52
64	54	49	64	55	64	55	49	57	48
64	54	50	71	62	71	62	50	75	66
64	54	51	71	62	71	62	51	73	65
64	54	52	71	62	71	62	52	71	62

7.10.3 Niveaux spécifiques induits par les trams + route

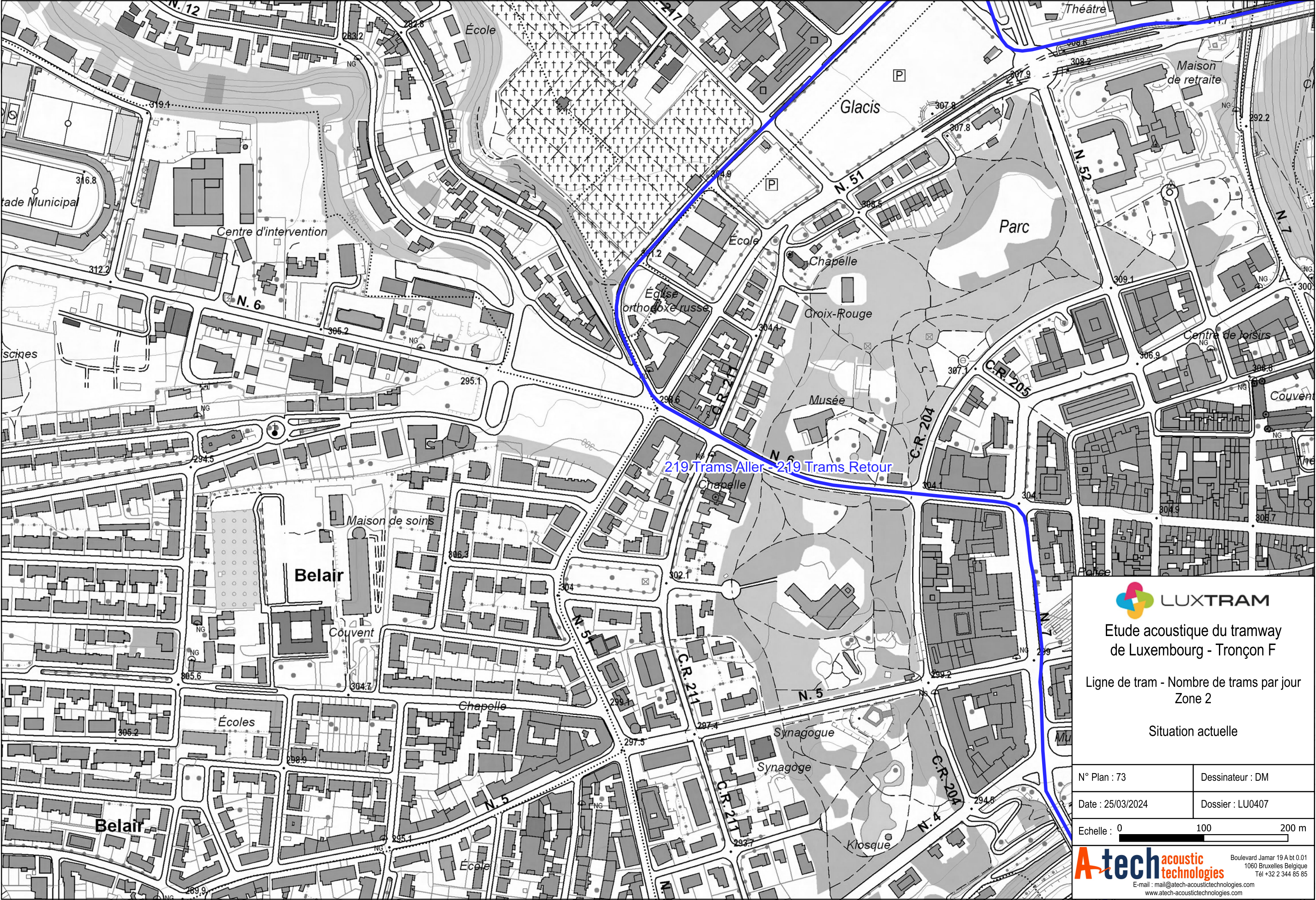
			Niveaux globaux (route + tram) [dB(A) réf.20μPa]						
Critère		N°	Actuelle		Référence		N°	Projetée	
			Route + Tram (Ligne T1)					Route + Tram (Ligne T1 + projet)	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht		Tag	Nacht
64	54	1	67	58	67	58	1	67	58
64	54	2	55	46	55	46	2	63	56
64	54	3	61	52	61	52	3	63	54
64	54	4	60	51	60	51	4	61	52
64	54	5	57	48	57	48	5	58	49
64	54	6	61	52	61	52	6	61	52
64	54	7	69	60	69	60	7	69	60
64	54	8	69	60	69	60	8	69	60
64	54	9	66	57	66	57	9	67	58
64	54	10	66	57	66	57	10	66	57
64	54	11	66	57	66	57	11	66	57
64	54	12	66	57	66	57	12	66	57
64	54	13	64	55	64	55	13	64	55
64	54	14	67	58	67	58	14	66	57
64	54	15	66	57	66	57	15	65	56
64	54	16	66	57	66	57	16	66	57
64	54	17	66	57	66	57	17	66	57
64	54	18	67	58	67	58	18	67	58
64	54	19	65	56	65	56	19	66	57
64	54	20	66	57	66	57	20	66	57
64	54	21	67	58	67	58	21	67	58
64	54	22	65	56	65	56	22	64	55
64	54	23	68	59	68	59	23	67	58
64	54	24	66	57	66	57	24	67	58
64	54	25	68	59	68	59	25	67	58
64	54	26	68	59	68	59	26	67	58
64	54	27	68	59	68	59	27	68	59
64	54	28	67	58	67	58	28	66	57
64	54	29	64	55	64	55	29a	65	56
64	54						29b	65	56
64	54						29c	65	56
64	54						29d	66	57
64	54						29e	65	56
64	54						29f	65	56
64	54						29g	64	55
64	54						29h	63	54
64	54						29i	64	55
64	54						29j	67	58
64	54	30	65	56	65	56	30	65	56
64	54	31	69	60	69	60	31a	67	58
64	54						31b	67	58
64	54						31c	67	58
64	54						31d	68	59
64	54						31e	68	59
64	54						31f	68	59
64	54	32	68	60	68	60	32	68	60
64	54	33	70	61	70	61	33	70	61
64	54	34	68	59	68	59	34	68	59
64	54	35	68	59	68	59	35	65	57
64	54	36	69	60	69	60	36	70	61

			Niveaux globaux (route + tram) [dB(A) réf.20μPa]						
Critère		N°	Actuelle		Référence		N°	Projetée	
			Route + Tram (Ligne T1)					Route + Tram (Ligne T1 + projet)	
Tag	Nacht		Tag	Nacht	Tag	Nacht		Tag	Nacht
64	54	37	69	60	69	60	37	70	61
64	54	38	70	61	70	61	38	70	61
64	54	39	65	56	65	56	39	66	57
64	54	40	66	57	66	57	40	67	58
64	54						40a	69	60
64	54						40b	69	60
64	54						40c	69	60
64	54						40d	68	59
64	54						40e	69	60
64	54						40f	69	60
64	54						40g	69	60
64	54						40h	68	59
64	54						40i	64	56
64	54						40j	63	55
64	54						40k	63	54
64	54						40l	70	61
64	54						40m	64	55
64	54						40n	62	54
64	54						40o	61	52
64	54						40p	62	53
64	54						40q	63	55
64	54						40r	75	67
64	54	41	61	52	61	52	41	58	49
64	54	42	66	57	66	57	42	67	58
64	54	43	61	52	61	52	43	61	52
64	54	44	58	49	58	49	44	62	53
64	54	45	60	51	60	51	45	60	51
64	54	47	65	56	65	56	47	66	58
64	54	48	62	53	62	54	48	61	52
64	54	49	64	55	64	55	49	58	49
64	54	50	71	62	71	63	50	75	66
64	54	51	71	62	71	63	51	74	65
64	54	52	71	63	71	63	52	72	63

7.11 Trafic tram

Ligne de tram existante - Fréquences par sens				
Jour	Horaires	Luxexpo - Gare Centrale	Horaires	Gare Centrale - Luxexpo
Du lundi au vendredi	04h30 - 04h45	15 minutes	04h58 - 05h13	15 minutes
	14h53 - 05h40	8 minutes	05h25 - 06h12	8 minutes
	05h45 - 06h05	5 minutes	06h17 - 06h37	5 minutes
	06h09 - 09h50	4 minutes	06h41 - 10h22	4 minutes
	09h55 - 20h30	5 minutes	10h27 - 20h32	5 minutes
	20h38 - 22h00	8 minutes	20h40 - 22h32	8 minutes
	22h15 - 00h05	15 minutes	22h43 - 00h40	15 minutes

Ligne de tram projetée - Fréquences par sens		
Jour	Horaires	Etoile - PE CHL
Du lundi au vendredi (ou samedi et jours fériés lors d'évènements particuliers)	04h00 - 05h00	15 minutes
	05h00 - 06h00	8 minutes
	06h00 - 19h00	4 minutes
	19h00 - 20h00	5 minutes
	20h00 - 21h00	8 minutes
	21h00 - 23h00	10 minutes
	23h00 - 01h00	15 minutes
Samedi	04h00 - 08h00	15 minutes
	08h00 - 09h00	10 minutes
	09h00 - 10h00	8 minutes
	10h00 - 11h00	6 minutes
	11h00 - 20h00	5 minutes
	20h00 - 23h00	10 minutes
	23h00 - 01h00	15 minutes
Dimanche et jours fériés	05h00 - 09h00	15 minutes
	09h00 - 20h00	10 minutes
	20h00 - 01h00	15 minutes



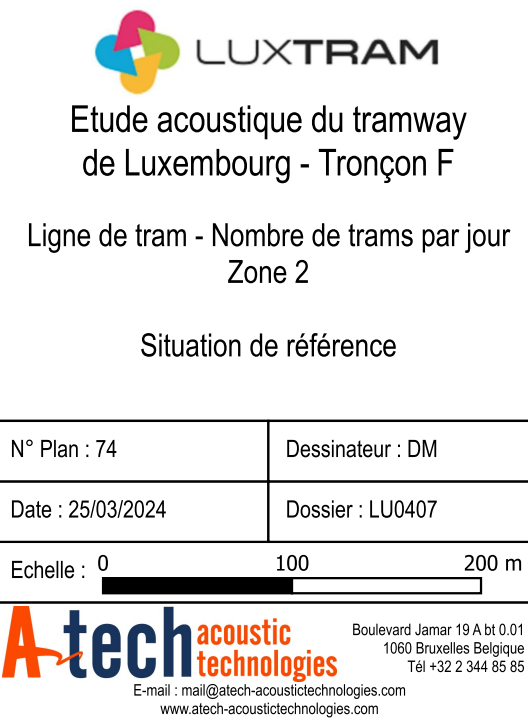
Etude acoustique du tramway
de Luxembourg - Tronçon F

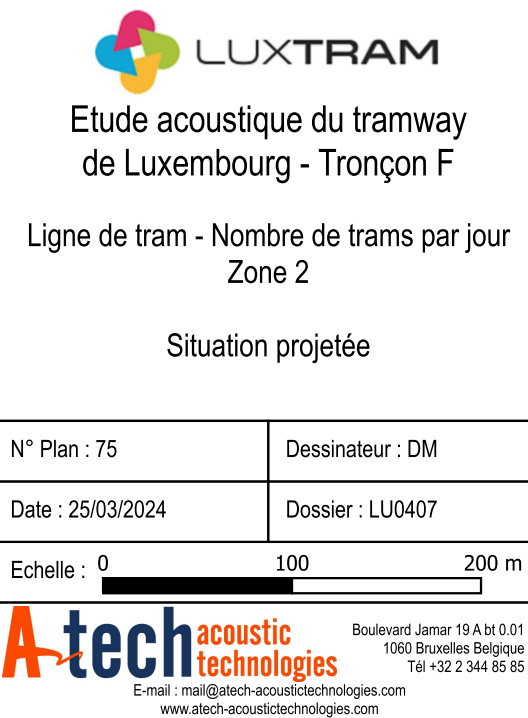
Ligne de tram - Nombre de trams par jour
Zone 2

Situation actuelle

N° Plan : 73	Dessinateur : DM
Date : 25/03/2024	Dossier : LU0407
Echelle : 0 100 200 m	

Boulevard Jamar 19 A bt 0.01
1060 Bruxelles Belgique
Tél +32 2 344 85 85
E-mail : mail@atech-acoustictechnologies.com
www.atech-acoustictechnologies.com





7.12 *Trafic routier*



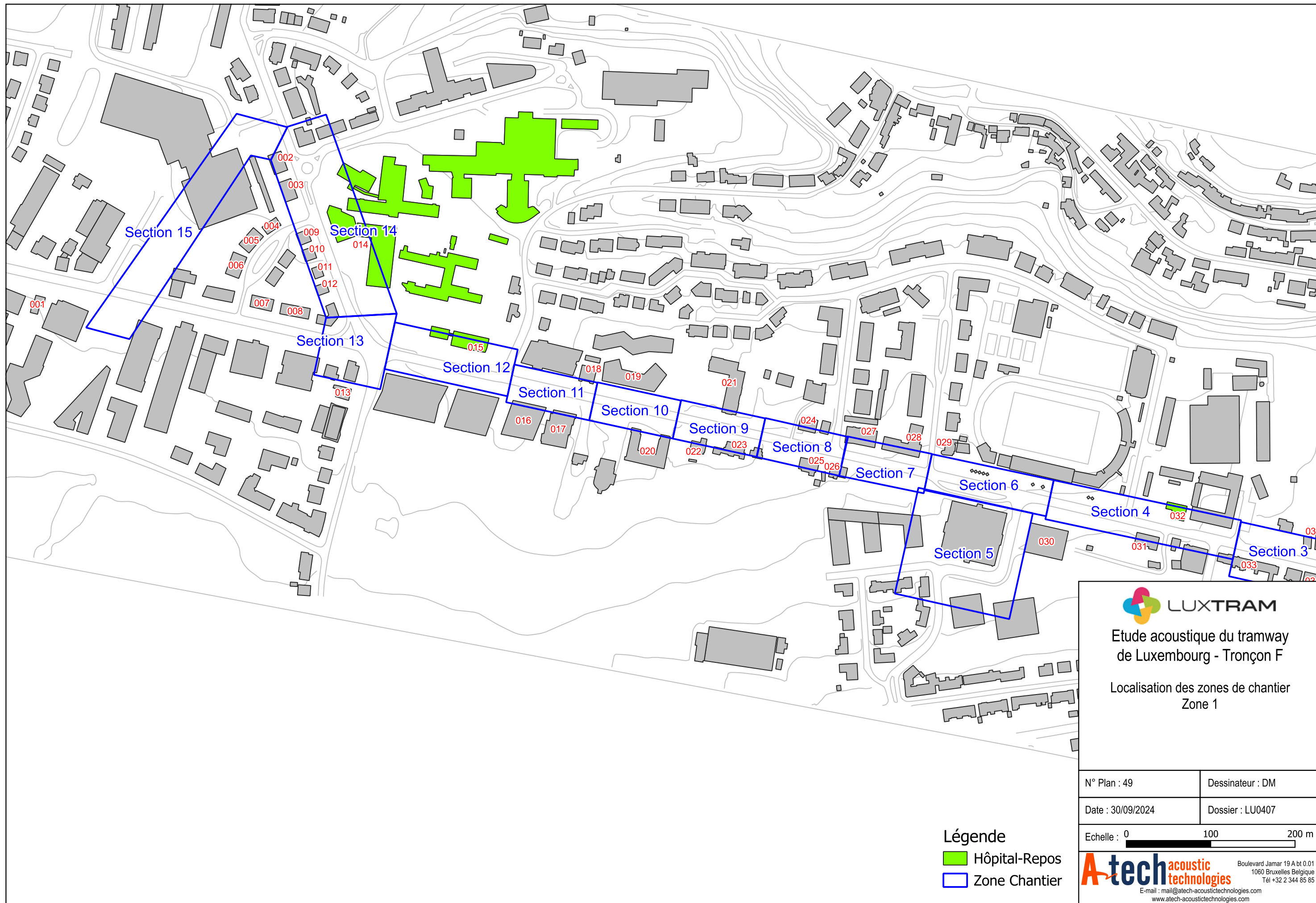
Légende

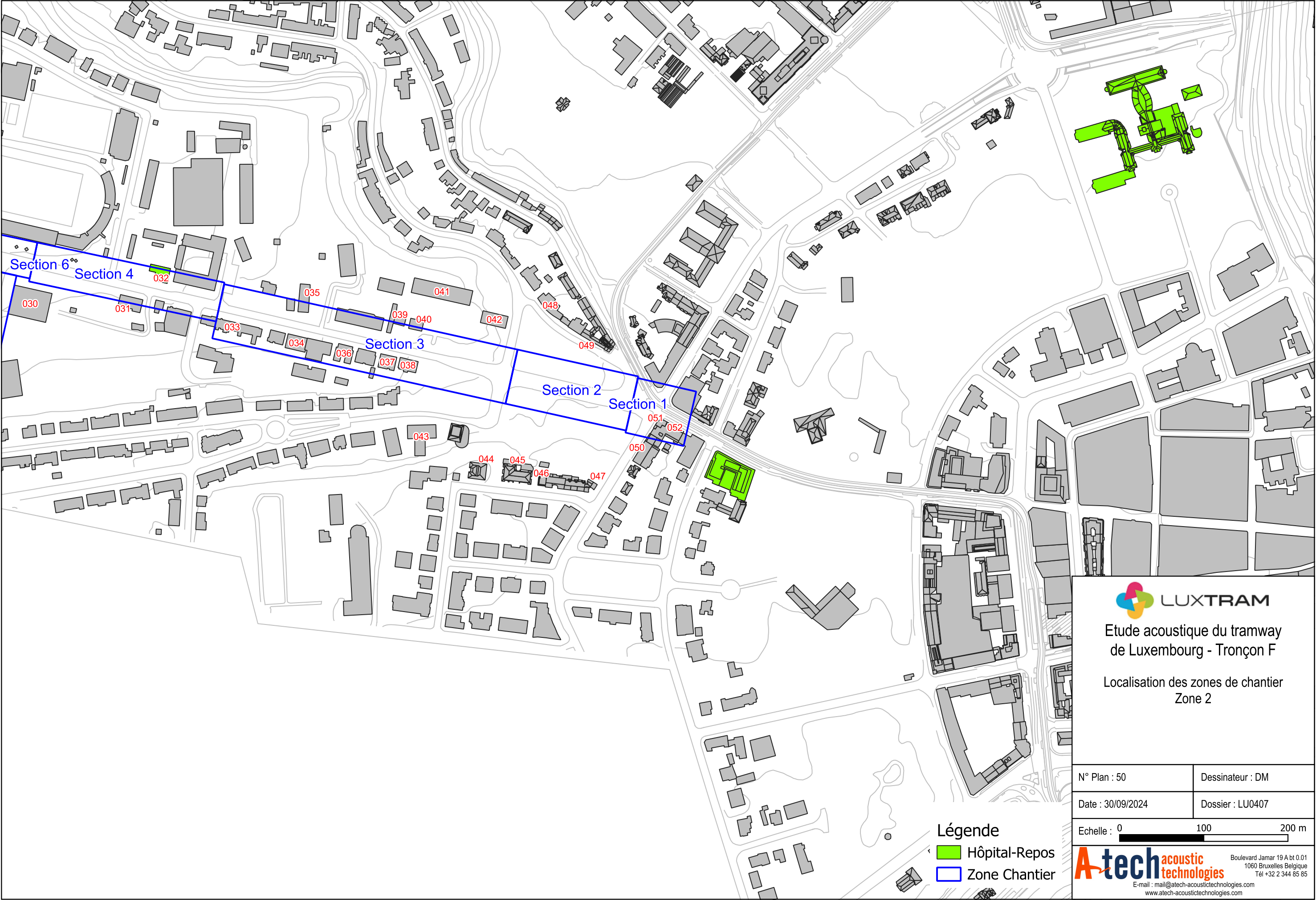
Belastung-VSys [Fzg] (P,AP)

Belastung-VSys [Fzg] (L,AP)

Anzahl Servicefahrten (AP)

7.13 Localisation des zones de chantier





Etude acoustique du tramway
de Luxembourg - Tronçon F

Localisation des zones de chantier
Zone 2

N° Plan : 50	Dessinateur : DM
Date : 30/09/2024	Dossier : LU0407
Echelle : 0 100 200 m	

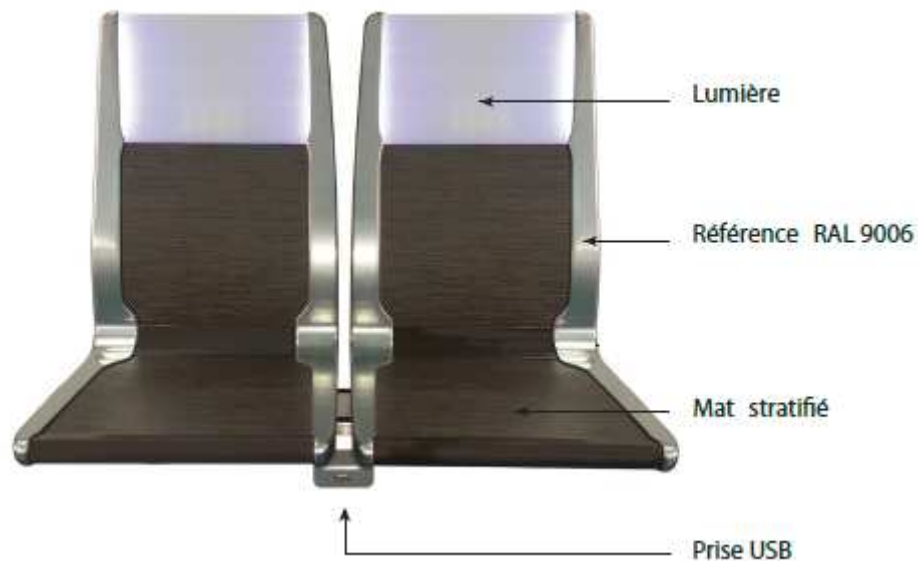
Légende

- Hôpital-Repas
- Zone Chantier

Boulevard Jamar 19 A bt 0.01
1060 Bruxelles Belgique
Tél +32 2 344 85 85
E-mail : mail@atech-acoustictechnologies.com
www.atech-acoustictechnologies.com

7.14 Caractéristiques du matériel roulant : URBOS

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel



Le plan Q.00.206.52.002 inclus au document Compléments à l'Annexe 1 du Mémoire 1 montre les dimensions générales de ce siège.

4.3. CONFORT ACOUSTIQUE

Les suivants paragraphes montrent les valeurs acoustiques proposés, lesquels ont été actualisés en accord avec les récents tests réalisés aux tramways de Sydney et Kaohsiung.

4.3.1. Bruit extérieur

4.3.1.1. Performance sonore prévue

Le tableau suivant présente les niveaux sonores extérieurs maximum prévus pour les véhicules offerts, conformément à la spécification technique CCT_CHP3_Exigences fonctionnelles et de performance. Ces valeurs seront évaluées en suivant les directives fournies par la norme ISO3095:2013 et les conditions d'essai énoncées ci-après.

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

Vitesse	Exploitation de l'équipement ¹	Valeur Limite (dBA)	Indicateur
Stationnement	HVAC ON	62 dBA	LpAeq,T
	HVAC OFF	61 dBA	LpAeq,T
40 km/h	Conditions normales	75 dBA	LpAeq,Tp
60 km/h	Conditions normales	80 dBA	LpAeq,Tp

Tableau 1. Valeurs limites de bruit extérieur

Le niveau de bruit indiqué dans le Tableau 1, avec bruit extérieur en arrêt et système HVAC éteint, est de 61 dBA, valeur supérieure à celle exigée. Cette prévision du niveau de bruit se base sur l'expérience de CAF concernant les tramways URBOS précédents. Par ailleurs, il convient de noter que l'équipement ACR disposera de sa propre réfrigération ; il sera donc encore plus difficile de respecter la valeur exigée. Dans tous les cas, le niveau de 61 dBA proposé sera atteint puisque la valeur se base sur la performance de véhicules réels.

4.3.2. Bruit intérieur

4.3.2.1. Performance sonore prévue

Le tableau suivant présente les niveaux sonores intérieurs maximum prévus pour le véhicule offert, conformément à la spécification technique CCT_CHP3_Exigences fonctionnelles et de performance. Ces valeurs seront évaluées en suivant les directives de la norme ISO3381:2005 et les conditions d'essai énoncées ci-après.

Vitesse	Section du véhicule	Valeur limite	Indicateur
Stationnement	Cabine	65 dBA GV et 62.5 dBA PV	LpAeq,T
	Compartiment	63 dBA	LpAeq,T
40 km/h	Cabine	64 dBA	LpAeq,T
	Compartiment	70 dBA	LpAeq,T
60 km/h	Cabine	68 dBA	LpAeq,T
	Compartiment	75 dBA	LpAeq,T

Tableau 2. Valeurs limites de bruit intérieur

GV= grande vitesse de ventilation

PV= petite vitesse de ventilation

Le niveau de bruit indiqué dans le Tableau 2, avec bruit intérieur en cabine en stationnement, est de 62.5 dBA et 65 dBA, valeurs supérieures à celles exigées. Cette

¹ Conditions normales de fonctionnement : l'équipement en fonctionnement travaille en continu et le régime de travail est de type intermédiaire (s'il existe plus d'un régime).

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

prévision du niveau de bruit se base sur l'expérience de CAF concernant les tramways URBOS précédents.

7.11. ARTICULATIONS

La phrase *réaction au feu des matériaux non métalliques conforme à la norme EN 45545* inclus dans la section 7.11 doit être remplacée par la phrase suivante :

Réaction au feu des matériaux non métalliques conforme à la norme NF F 16101

Etant donné que des soufflets en silicone seraient nécessaires, mais que leur durée de vie est d'environ 50% comparée à celle des soufflets standard des Urbos, dans le but d'avoir une offre techniquement et économiquement plus compétitive, en plus d'un coût de cycle de vie optimisé pour LUXTRAM, des soufflets en tissu typiquement ferroviaire sont offerts.

8. CABINE DE CONDUITE

8.9. PUPITRE DU CONDUCTEUR

Etant donné que le standard de pupitre de conduction de l'URBOS a évolué vers un design plus modulaire et léger, en le dotant en plus d'un aspect plus moderne et attirant, l'image du pupitre qui avait été inclus dans l'offre initiale du 10 février 2015 doit être remplacée par celle montrée ci-dessous. Il faut remarquer que les images du nouveau pupitre sont incluses comme référence, car le pupitre du tramway pour LUXTRAM doit être adapté aux éléments/équipements spécifiques au projet. Cependant, les éléments y intégrés seront les mêmes que détaillés dans l'offre initiale, en accord avec les exigences du CCT Chapitres 1 et 3. Ils auront des performances équivalentes aux pupitres URBOS en circulation dans plusieurs villes européennes.



Figure 7. Nouveau pupitre de conduction URBOS

22/04/2015

L'utilisation ou la divulgation de l'information contenue dans cette proposition est restreinte aux personnes impliquées dans le projet.
8/12



Annexe 1

Certificat ISO 14001:2004

CERTIFICAT D'APPROBATION

Nous certifions que le système de Management Environnemental de la société:

CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES, S.A.
Jose Miguel Iturrioz, 26
20200 Beasain, Gipuzkoa
Espagne

a été approuvé par la société Lloyd's Register Quality Assurance
selon les normes de Management Environnemental suivantes:

UNE EN ISO 14001:2004

Le système de Management Environnemental concerne:

**Conception et fabrication de véhicules et composants
ferroviaires.**

Ce certificat n'est valable que s'il est accompagné de l'annexe portant le même numéro, et sur laquelle figure la liste des sites correspondant à l'approbation.

Certificat
d'approbation No: SGI 1936449

Première approbation: 23 Mars 2001

Certificat en cours: 01 Avril 2013

Expiration du certificat: 31 Mars 2016



Emis par: LRE, S.A.
Pour le compte de Lloyd's Register Quality Assurance Limited



001

Le présent document est soumis aux dispositions énoncées au verso
71 Fenchurch Street, London EC3M 4BS United Kingdom. Registration number 1879370

Cette approbation est soumise aux procédures d'audit, de certification et de surveillance de LRQA.
L'utilisation du logo d'accréditation UKAS désigne l'accréditation par rapport aux activités couvertes par le Certificat d'Accréditation Numéro 001

Macro Revision 13

ANNEXE AU CERTIFICAT

CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES, S.A.
Jose Miguel Iturrioz, 26
20200 Beasain, Gipuzkoa
Espagne

Siège Central

Jose Miguel Iturrioz, 26
20200 Beasain, Gipuzkoa
Espagne

Activités

Conception et fabrication de véhicules et
composants ferroviaires.

Sièges

Anakana, 13
20301 Irun, Gipuzkoa
Espagne

Activités

Fabrication de véhicules ferroviaires.

Avda. De Cataluña, 299
50014 Zaragoza
Espagne

Conception et fabrication de véhicules ferroviaires.

Certificat
d'approbation No: SGI 1936449

Première approbation: 23 Mars 2001

Certificat en cours: 01 Avril 2013

Expiration du certificat: 31 Mars 2016

Page 1 sur 1



001

Certificat d'approbation No: SGI 1936449

Le présent document est soumis aux dispositions énoncées au verso

71 Fenchurch Street, London EC3M 4BS United Kingdom. Registration number 1879370

Cette approbation est soumise aux procédures d'audit, de certification et de surveillance de LRQA.

L'utilisation du logo d'accréditation UKAS désigne l'accréditation par rapport aux activités couvertes par le Certificat d'Accréditation Numéro 001

Macro Revision 13



Annexe 4

Dessin acoustique

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

SOMMAIRE

1.	DISPOSITIONS GÉNÉRALES	2
2.	CARACTERISTIQUES DE LA CONCEPTION	2
2.1.	BRUIT EXTÉRIEUR	2
2.2.	BRUIT INTÉRIEUR.....	3

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

1. DISPOSITIONS GÉNÉRALES

L'émission de bruit est une question de grande importance puisque les unités de tramway fonctionnent dans des zones urbaines où les gens peuvent être soumis à des expositions élevées au bruit. De plus, les personnes à l'extérieur du véhicule ne sont pas les seules à percevoir le bruit, puisque les passagers à l'intérieur sont également exposés au bruit généré par le fonctionnement du véhicule.

La réduction des nuisances sonores, à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du véhicule, est l'un des points clés des unités de tramway de CAF.

Afin de fournir un aperçu des solutions de conception utilisées pour son atténuation, ce document comprend description des solutions techniques utilisées dans le véhicule afin d'améliorer ses prestations acoustiques.

Les niveaux sonores à atteindre et leurs conditions d'évaluation sont indiqués dans Mémoire n°1. De plus, un chapitre traitant du bruit de crissement est aussi inclus.

2. CARACTERISTIQUES DE LA CONCEPTION

2.1. BRUIT EXTÉRIEUR

Comme indiqué précédemment, le bruit extérieur doit être traité avec soin dans les unités de tramway. Les tramways sont généralement des véhicules urbains, circulant dans des zones urbaines où les gens à l'intérieur des bâtiments peuvent se voir dérangés en raison des niveaux sonores trop élevés. Par conséquent, le bruit extérieur doit être traité avec prudence en raison de son effet sur la population.

En ce qui concerne le processus de traitement des exigences du bruit extérieur, l'ingénieur de bruit du projet sera le seul responsable de toutes les exigences en matière de bruit et du respect de sa conformité. A cet effet, il devra interagir avec plusieurs autres domaines, ainsi qu'avec le chef de projet afin de définir les solutions appropriées (si nécessaire) et vérifier qu'elles sont compatibles avec la configuration du véhicule.

Enfin, pour avoir un aperçu supplémentaire des caractéristiques de conception qui seront examinées dans les unités proposées, plusieurs aspects de la conception relatifs à la réduction du bruit à l'extérieur de l'unité seront décrits dans les points suivants:

- Réduction des dommages et des vibrations sur la voie, en réduisant la masse non suspendue au moyen d'une roue élastique.
- Les jupes de bogies et les carénages de toit représentent une barrière de bruit importante pour l'équipement installé au-dessus des plafonds (carénages de toit) et sous le châssis de caisse (jupes de bogies).

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

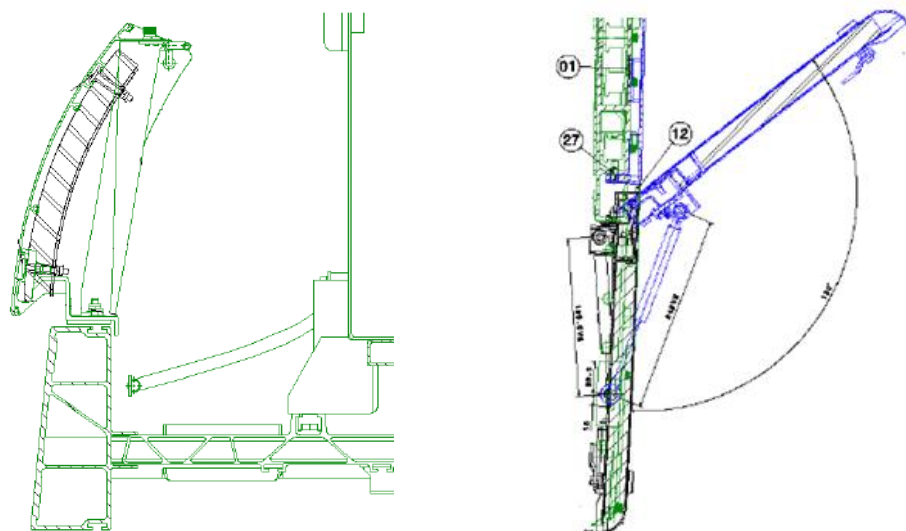


Figure 1. Carénage de toit et jupes de bogie

Les carénages de toit sont recouverts d'un matériel absorbant le bruit sur la face interne. Il s'agit habituellement de panneaux ISOVER, souvent placés en face de l'unité de climatisation et des boîtes de traction.

Les jupes de bogies sont également recouvertes de panneaux ISOVER sur la face interne afin de réduire les émissions de bruit de l'équipement installé sous le châssis de caisse et le bruit de roulement.

Lors de la conception, l'ingénieur de bruit du projet appuiera le processus d'évaluation du bruit de tous les équipements qui pourraient être source de bruit. Plusieurs spécifications de bruit seront définies et fournies aux sous-traitants afin qu'ils respectent les valeurs de bruit spécifiées. Ces spécifications incluront plusieurs références aux normes ISO concernant les méthodes d'analyse et de mesure de l'équipement, et traiteront également de l'identification des problèmes particuliers tels que les sons purs et le bruit impulsif. La performance requise devra être testée afin de prouver sa conformité.

Les caractéristiques de conception mentionnées aideront à réduire les niveaux de bruit et à conduire à la conformité des valeurs proposées.

2.2. BRUIT INTÉRIEUR

La conception des unités prendra en compte le fait que le bruit intérieur joue un rôle important dans le confort des utilisateurs, aussi bien dans les zones de passagers que dans la cabine du conducteur.

Pendant la phase de conception du véhicule, un processus de contrôle du bruit doit être suivi pour atteindre les deux objectifs suivants :

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

- Réduction à la source du bruit produit par l'équipement principal et auxiliaire de l'unité.
- Réduction, dans la mesure du possible, de la transmission du bruit vers les récepteurs (passagers).

Ces actions visent à atteindre l'objectif des valeurs de bruit proposées dans ce document.

Tout d'abord, la configuration préliminaire du véhicule sera analysée par l'ingénieur de bruit du projet. Les limites de bruit à respecter dans le cadre également des particularités de ce projet seront soigneusement étudiées dans cette configuration. En cas de besoin, des modifications seront proposées au stade de la conception pour améliorer le comportement acoustique du véhicule. Toutes les modifications proposées par l'ingénieur de bruit du projet seront basées sur l'expérience acquise au fil des ans et sur les projets similaires précédents qui fourniront de précieuses informations. De plus, chaque solution proposée sera étudiée en conséquence avec le chef de projet pour vérifier sa compatibilité avec la conception du véhicule, et toutes les modifications seront traitées de manière à ce que le niveau de bruit du véhicule soit toujours dans les limites requises.

L'objectif est d'atteindre un haut niveau de fiabilité quant au confort sonore lors de l'étape préalable à la production, en se basant sur l'expérience acquise et le jugement d'ingénieurs spécialisés.

Les tests réels sur l'un des véhicules produits en premier doivent vérifier la conception et la conformité avec les valeurs indiquées dans ce document.

Enfin, pour avoir un aperçu supplémentaire des caractéristiques de conception qui seront examinées dans les unités proposées, plusieurs aspects de la conception relatifs à la réduction du bruit à l'intérieur de l'unité seront décrits dans les points suivants :

- Réduction des sources de bruit à des valeurs minimum grâce à une gestion adéquate des exigences soumises aux sous-traitants.

CAF préparera le cahier des charges pour toutes les sources et tous les composants, à l'exception de celles ou ceux dont le bruit est considéré comme inadapté. La figure suivante reprend un exemple d'une partie de ces spécifications :

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

General requirement:

- [23.2] The elements that generate vibrations will be mounted on elastic elements (design and supply included in the system).
- [23.3] The system will comply with the standards **EN 12663** and **IEC 61373**.
- [23.4] As a general rule, the measurement standards ISO 3095 and ISO 3381 with sound pressure criteria as per IEC 179 and 651 will be applied.
- [23.5] Maximum noise levels to be satisfied by the system, in all conditions, and measured according to ISO 3095 and ISO 3381 at 1 meter from the equipment, in each direction, are 65 dB

Figure 2. Spécifications du bruit de l'équipement

- Optimisation des conduits de la climatisation afin d'éviter une vitesse d'air excessive et un flux turbulent pouvant conduire à une augmentation du bruit, en particulier pour les sorties d'air. La canalisation comprendra en outre un matériel d'absorption du bruit.

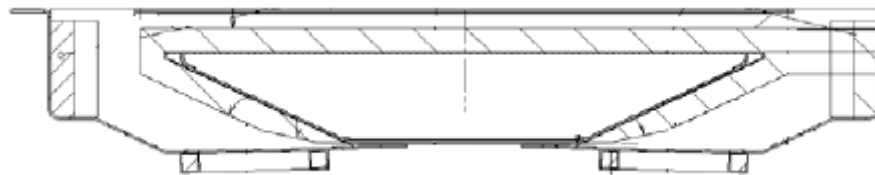


Figure 3. Section transversale des conduits de climatisation

Le matériel absorbant à l'intérieur des conduits est habituellement une fibre en polyester de 25 mm d'épaisseur.

- Analyse du besoin d'utilisation de supports en élastomère sur la suspension du bogie et de la caisse, ainsi que sur les supports d'équipements d'oscillation et de rotation. Les éléments du bogie viseront à améliorer le confort et les supports élastiques de l'équipement seront destinés à réduire les vibrations internes pouvant être générées par cet équipement.
- En plus des jupes de bogie, des couches d'amortissement peuvent être ajoutées aux panneaux de structure dans la zone du bogie de manière à amortir les vibrations de structure provenant du bogie, ces vibrations étant très importantes.
- Comme pour les jupes de bogies et les couches d'amortissement, un matériel absorbant est installé sous le châssis de la caisse. L'objectif est, une fois de plus, de tenter de réduire ou d'absorber une partie du bruit généré par l'équipement de châssis. Un exemple est repris dans la figure suivante :

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

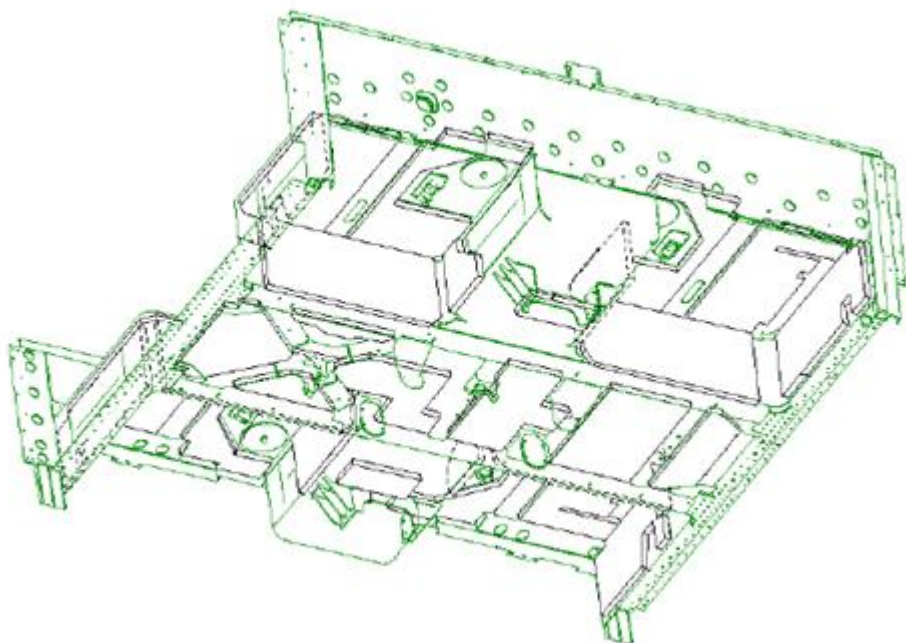


Figure 4. Châssis de la caisse, zone du bogie

Comme le montre la figure précédente, le châssis de la voiture est rempli de panneaux QUASH. De plus, une peinture insonorisée est ajoutée au châssis afin d'ajouter un peu plus d'amortissement structurel à la structure, ce qui aura un impact positif sur les vibrations transmises.

- L'augmentation de l'absorption à l'intérieur du véhicule est très efficace en termes de réduction du bruit à l'intérieur et cela permet d'améliorer le confort acoustique des passagers. Par conséquent, le matériel d'absorption du bruit est installé sur plusieurs parties du véhicule (panneaux latéraux et plafond) :

Fourniture du matériel roulant, incluant sur une certaine partie du tronçon le système d'effacement de la ligne aérienne de contact, dans le cadre de la construction d'une ligne de tramway à Luxembourg entre Cloche d'or et l'aéroport Luxembourg-Findel

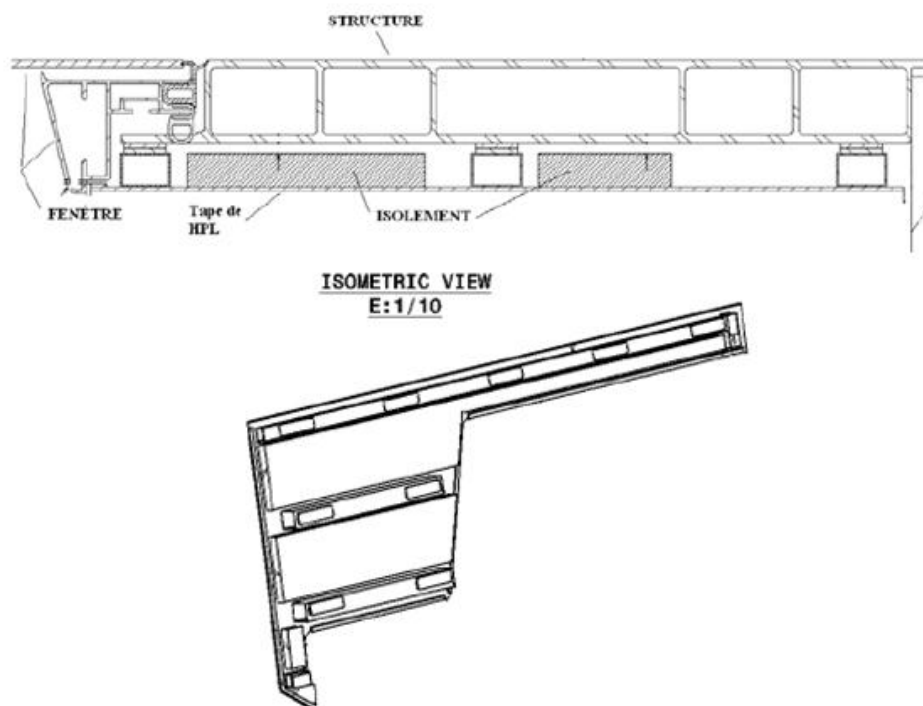


Figure 5. Matériel d'absorption des panneaux latéraux.

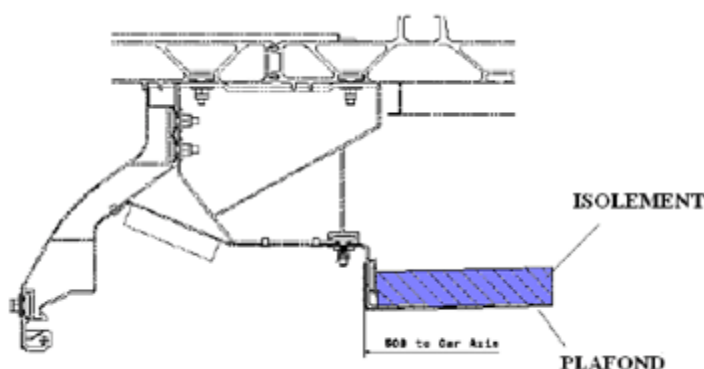


Figure 6. Matériel d'absorption du plafond.

Le matériel d'absorption installé sur les panneaux latéraux est généralement en fibres de polyester d'une épaisseur de 20 mm, alors que les panneaux de plafond sont souvent construits en fibres de polyester d'une épaisseur de 30 mm. De plus, il y a des panneaux perforés au plafond pour augmenter l'effet d'absorption et réduire le temps de réverbération.

Toutes les caractéristiques de conception mentionnées aideront à réduire les niveaux de bruit et respecter les valeurs proposées.

7.15 Lexique

Le niveau de bruit instantané – le niveau de *pression acoustique* (SPL, Sound Pressure Level) :

Tout ébranlement de l'air donne lieu à des oscillations de la pression autour de la pression atmosphérique, oscillations qui se propagent sous la forme d'ondes. Le son correspond à un domaine restreint de ces variations de pression, dont les fréquences sont sensibles à l'oreille, et dont l'amplitude s'appelle la *pression acoustique*. Cette amplitude est exprimée sous forme de niveau de pression acoustique par la formule :

$$SPL(t) = 10 \times \log(p^2(t) / p_0^2)$$

Où :

$p(t)$ est la variation de pression en fonction du temps.

p_0 est la pression de référence, soit 2×10^{-5} Pascal.

Le décibel (dB) :

Le décibel (dB) est l'unité de mesure de la *pression acoustique*. L'échelle utilise comme référence une pression sonore de 2×10^{-5} Pascal : cette valeur correspond au seuil moyen d'audibilité.

Ainsi, un niveau de 0 dB correspond au seuil d'audibilité de l'être humain, alors qu'un niveau de pression de 120 dB correspond au seuil de douleur, pour lequel il y a risque de lésion rapide et irréversible de l'ouïe.

Pour fixer les idées, le tableau suivant donne, pour une échelle comprise entre 0 dB(A) et 120 dB(A), les principaux effets du bruit, ainsi que des situations-types pour lesquelles ces niveaux peuvent être rencontrés.

<i>Principaux effets</i>	<i>SPL</i>	<i>Lieux typiques</i>
Seuil de douleur.	120 dB(A)	Avion à réaction sur la piste de décollage.
Risque de lésion rapide et irréversible de l'oreille.	110 dB(A)	Orchestre de musique Pop.
Grave danger de dommage auditif pour une exposition habituelle de 8h par jour.	100 dB(A)	Marteau piqueur à 1 mètres. Moto sans silencieux en pleine accélération à 7 mètres.
	90 dB(A)	Camion à 7 mètres.
Début du danger de dommage auditif pour une exposition continue de 8H par jour.	80 dB(A)	Carrefour animé. Bruit dans une voiture peu insonorisée.
	70 dB(A)	Façade d'immeuble au bord d'une autoroute. Bruit de conversation animée.
	60 dB(A)	Fenêtres ouvertes à l'intérieur d'une pièce donnant sur une rue animée.
	50 dB(A)	Fenêtre fermée sur rue animée.
Début d'interférence avec le sommeil.	40 dB(A)	Salle de séjour calme.
	30 dB(A)	Chambre à coucher silencieuse. Bruissement de feuilles.
	20 dB(A)	Studio de radio, désert.
A peine audible, silence insupportable.	10 dB(A)	Chambres sourdes.
Seuil d'audibilité.	0 dB(A)	

Table 1: échelle de bruit

L'échelle de pondération « A » (dB(A)) :

Les appareils de mesure utilisés pour relever les niveaux sonores enregistrent les variations de la pression atmosphérique en un endroit particulier.

Or, l'oreille humaine, sujette aux mêmes variations de pression, en interprète le caractère fréquentiel (le spectre fréquentiel : fréquences aiguës, fréquences basses, fréquences intermédiaires) pour fournir la sensation auditive.

La courbe de pondération fréquentielle « A » est utilisée sur les sonomètres afin de refléter de façon chiffrée notre perception auditive particulière des sons et leurs caractéristiques fréquentielles.

Le décibel « A » (dB(A)) regroupe, en une seule valeur, l'ensemble de toutes les fréquences, qu'il pondère suivant la façon dont notre oreille les perçoit.

Le niveau équivalent « $L_{Aeq}(t)$ » :

La plupart des sources de bruit, et particulièrement celles liées aux moyens de transport, sont fluctuantes.

Un bruit fluctuant ne peut pas être décrit de façon aussi simple qu'un bruit continu. On peut le décrire d'une manière statistique, mais en général, on le caractérise par un *niveau de bruit équivalent*, soit le niveau global de la pression acoustique pondérée (A) (exprimé en dB(A)) d'un bruit qui serait permanent et qui donnerait la même énergie acoustique que le bruit considéré sur la période de mesure (t) : c'est le niveau acoustique équivalent $L_{Aeq}(t)$. Il est calculé sur une période de temps (t), variable selon les appareils et les objectifs poursuivis.

Le niveau minimal « $L_{Amin}(t)$ » :

C'est le niveau minimal de pression acoustique (exprimé en dB(A)) observé pendant la période (t) considérée. Il caractérise le niveau qui est toujours dépassé au cours de cette période.

Le niveau maximal « $L_{Amax}(t)$ » :

C'est le niveau maximal de pression acoustique (exprimé en dB(A)) observé pendant la période (t). Il caractérise le niveau qui n'est jamais dépassé pendant la période (t) considérée.

Les indices statistiques « $L_{Ai}(t)$ » :

L'indice statistique ou indice fractile $L_i(t)$ représente le niveau de pression acoustique (exprimé en dB(A)) dépassé pendant i % de la période (t) considérée.

Ainsi, le $L_{A10}(t)$ représente assez bien les niveaux les plus importants rencontrés et les sources de bruit ponctuelles, alors que le $L_{A90}(t)$ donne une bonne estimation du bruit de fond existant et des sources de bruit stables.

Le niveau jour-soir-nuit (day-evening-night level) « L_{den} » :

Le niveau jour-soir-nuit L_{den} en décibels est défini par la formule suivante :

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

L_{day} est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2 :1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de jour (07-19h) d'une année ;

$L_{evening}$ est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2 :1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de soirée (19-23h) d'une année ;

L_{night} est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2 :1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de nuit (23-07h) d'une année.