

CARTOGRAPHIQUE STRATÉGIQUE DU BRUIT POUR L'ANNÉE 2021 AXES DE TRANSPORT FERROVIAIRE (TRAMWAY) AU GRAND-DUCHÉ DU LUXEMBOURG

16 février 2024

Rapport n° LC 23136888.2MOS

Référence client:

**Ministère de l'Environnement, du Climat et
de la Biodiversité**
Administration de l'environnement
1, avenue du Rock'n'Roll
L-4361 Esch-sur-Alzette
Contact: Mme Isabelle Naegelen
tél: (+352) 40 56 56 548
fax: --
Email: isabelle.naegelen@aev.etat.lu

Référence Luxcontrol S.A.:

Service: **ACV / Environnement**
Nombre de pages : 28 + Annexes
Contact: M. Sylvain MONTAGNON
tél: +352 54.77.11 - 313
fax: +352 54.77.11 - 266
Email: montagnon@luxcontrol.com

***Ce document ne doit pas être reproduit, excepté dans son intégralité, sans l'accord du donneur
d'ordre et de l'organisme de contrôle***

Luxcontrol SA

1, Av. des Terres Rouges
BP 349
L-4004 Esch-sur-Alzette
LUXEMBOURG

Tel.: +352-54.77.11-1
Fax: +352-54.79.30
E-Mail: info@luxcontrol.com
Int.: www.luxcontrol.com

BGLL LULL : IBAN LU56 0030 1612 0727 0000
BCEE LULL : IBAN LU95 0019 1100 7069 5000
CELL LULL : IBAN LU69 0141 4155 2870 0000
CCPL LULL : IBAN LU80 1111 0581 9794 2600
BILL LULL : IBAN LU48 0026 1824 1543 2600



SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	4
2.	CADRE JURIDIQUE	5
3.	DONNÉES	6
3.1.	LIGNES DE TRAMWAY CONCERNÉES	6
3.2.	DONNÉES D'ENTRÉE	8
3.3.	TERRAIN, TOPOGRAPHIE ET SOURCES	11
3.3.1.	SOURCES	11
3.3.2.	TERRAIN	11
3.3.3.	TOPOGRAPHIE	12
3.3.4.	MURS ET ÉCRANS	12
3.3.5.	PONTS ET TUNNELS	13
3.4.	BÂTIMENTS, LOGEMENTS ET POPULATION	13
4.	MÉTHODOLOGIE	14
4.1.	CARTE DE BRUIT	15
4.2.	NIVEAU EN FAÇADE	16
4.3.	CONTRÔLE QUALITÉ	16
5.	RÉSULTATS	16
5.1.	CARTES DE BRUIT	17
5.1.1.	SUPERFICIE TOTALE EXPOSÉE À DES VALEURS L_{DEN} SUPÉRIEURES À 55, 65 ET 75 DB	17
5.2.	STATISTIQUES	17
5.2.1.	AGGLOMÉRATION AGGLOLUX	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5.3.	EFFETS SUR LA SANTÉ	17
5.4.	COMPARAISON 2016 – 2021	18



5.4.1.	MÉTHODOLOGIE	18
5.4.2.	TRAFIC	18
5.4.3.	STATISTIQUES	19

6. ANNEXES 20

6.1. NOMBRE DE MOUVEMENTS – ANNÉE 2021 20

6.1.1.	PAR PÉRIODE	20
6.1.2.	PAR TYPE DE TRAIN – LIEN GROUPE CNOSSOS	20
6.1.3.	PAR PÉRIODE ET TYPE DE TRAIN – LIEN GROUPE CNOSSOS	20

6.2. PLANS 21

6.2.1.	LOCALISATION DE L'AGGLOMÉRATION	21
6.2.2.	DONNÉES ET LIGNES DE TRAMWAY	22
6.2.3.	CARTES DE BRUIT L_{DEN} ET L_{NIGHT}	24



1. Introduction

Dans le cadre de la politique communautaire, un niveau élevé de protection de la santé et de l'environnement doit être atteint, et la protection contre le bruit est un des objectifs visés. La directive européenne 2002/49/CE vise à fournir une base pour mettre au point des mesures communautaires destinées à réduire les émissions sonores provenant des principales sources, en particulier les véhicules et les infrastructures routières et ferroviaires, les aéronefs, mais également les infrastructures industrielles. La présente directive s'applique au bruit dans l'environnement auquel sont exposés en particulier les êtres humains dans les espaces bâtis, les parcs publics ou d'autres lieux calmes d'une agglomération, les zones calmes en rase campagne, à proximité des écoles, aux abords des hôpitaux ainsi que d'autres bâtiments et zones sensibles au bruit.

Un premier exercice restreint de cartographie stratégique de lutte contre le bruit a été réalisé en 2006. En 2011, un second exercice plus large a permis d'établir les plans d'action de lutte contre le bruit. Ces plans d'action dressent la stratégie nationale de prévention et d'assainissement des nuisances sonores dans l'environnement. Le troisième exercice de cartographie stratégique a été réalisé en 2016. Les plans d'actions ont été révisés au fil des exercices et à ce jour quatre plans d'action de lutte contre le bruit sont disponibles. Les cartes stratégiques (2016) couvrent les nuisances sonores des points suivants, comme le demande la Directive européenne 2002/49/CE:

- Les grands axes routiers (de plus de 3 millions de passages de véhicules par an),
- Les grands axes ferroviaires (de plus de 30.000 passages de trains par an),
- **Lignes de tramway à l'intérieur des agglomérations,**
- L'aéroport (de plus de 50.000 mouvements par an), et
- L'agglomération de Luxembourg (de plus de 100.000 habitants).

A ce jour, aucune cartographie stratégique des lignes de tramway n'a été établie au Grand-Duché du Luxembourg.

L'Administration de l'environnement du Grand-Duché de Luxembourg a missionné Luxcontrol S.A. afin d'analyser les émissions sonores en provenance des activités des axes de transport ferroviaire du pays. Cette analyse concerne spécifiquement la ligne de tramway du pays qui fait partie du pilote « Strategic Noise Mapping Rail » (SNM). Il s'inscrit dans le contexte 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 but du projet pilote « SNM » est de déterminer l'impact du bruit ferroviaire dans les agglomérations du Grand-Duché de Luxembourg, en préparation du prochain exercice de 2021. La mission de Luxcontrol S.A. est de calculer les cartes stratégiques des lignes de tramway.



2. Cadre juridique

La directive 2002/49/CE précitée a été transposée en droit luxembourgeois par la loi du 2 août 2006 modifiant la loi modifiée du 21 juin 1976 relative à la lutte contre le bruit et par le règlement grand-ducal du 2 août 2006 portant application de la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. Cette loi établit le cadre permettant de déterminer des valeurs limites, d'établir des méthodes d'évaluation du bruit et détermine les modalités à suivre ainsi que les procédures à respecter lors de l'établissement des plans d'action.

L'autorité compétente en matière de la transposition et de la mise en œuvre de la directive 2002/49/CE est le Ministre ayant l'Environnement dans ses attributions. Le Ministre ayant l'Environnement dans ses attributions approuve les cartes stratégiques du bruit et les plans d'action et il détermine les valeurs limites dont le dépassement amène à envisager ou à faire appliquer des mesures de réduction de bruit. L'Administration de l'environnement est chargée, en concertation avec les départements ministériels, les administrations publiques et autres organisations concernées, de l'établissement, de la révision et de la publication des cartes de bruit et des plans d'action. Le règlement grand-ducal du 2 août 2006 institue un comité de pilotage interministériel qui a pour charge de suivre la mise au point de la cartographie stratégique du bruit et des plans d'action ainsi que leurs exécutions, tant sur le plan administratif que technique.

La mise en œuvre de mesures de réduction de bruit retenues par les plans d'action revient aux Ministres compétents en la matière spécifique, chacun en ce qui le concerne, et en particulier au Ministre de la Mobilité et des Travaux publics, au Ministre de l'Intérieur, au Ministre de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire et au Ministre de l'Environnement, du Climat et de la Biodiversité.

Pour le territoire du Grand-Duché de Luxembourg, les valeurs limites sont les suivantes :

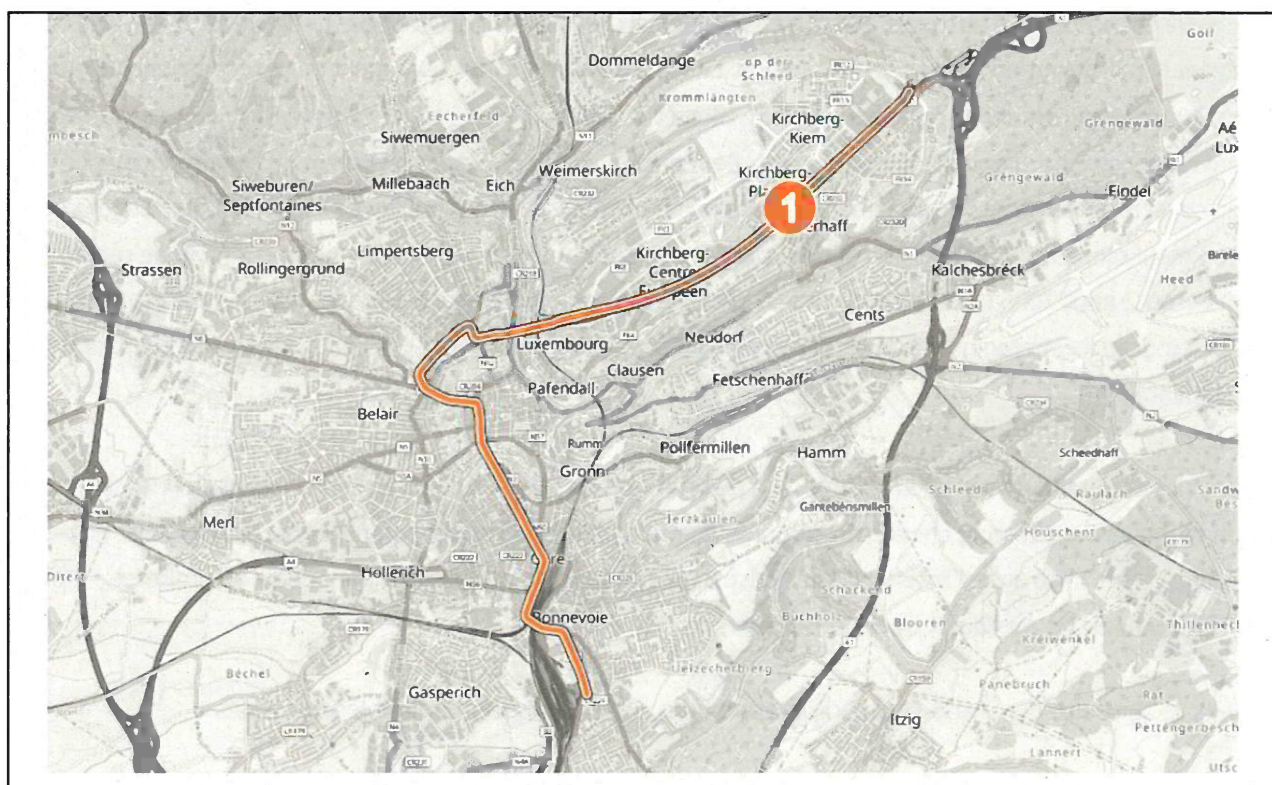
	Valeurs limites	
	L _{NIGHT}	L _{DEN}
à court terme	60 dB(A)	70 dB(A)
à long terme	55 dB(A)	65 dB(A)

Tableau 1 : Valeurs limites issues du site internet [emwelt.lu / portail de l'environnement](https://environnement.public.lu/fr/loft/bruit/valeurs-limites-bruit.html)
(<https://environnement.public.lu/fr/loft/bruit/valeurs-limites-bruit.html>)

3. Données

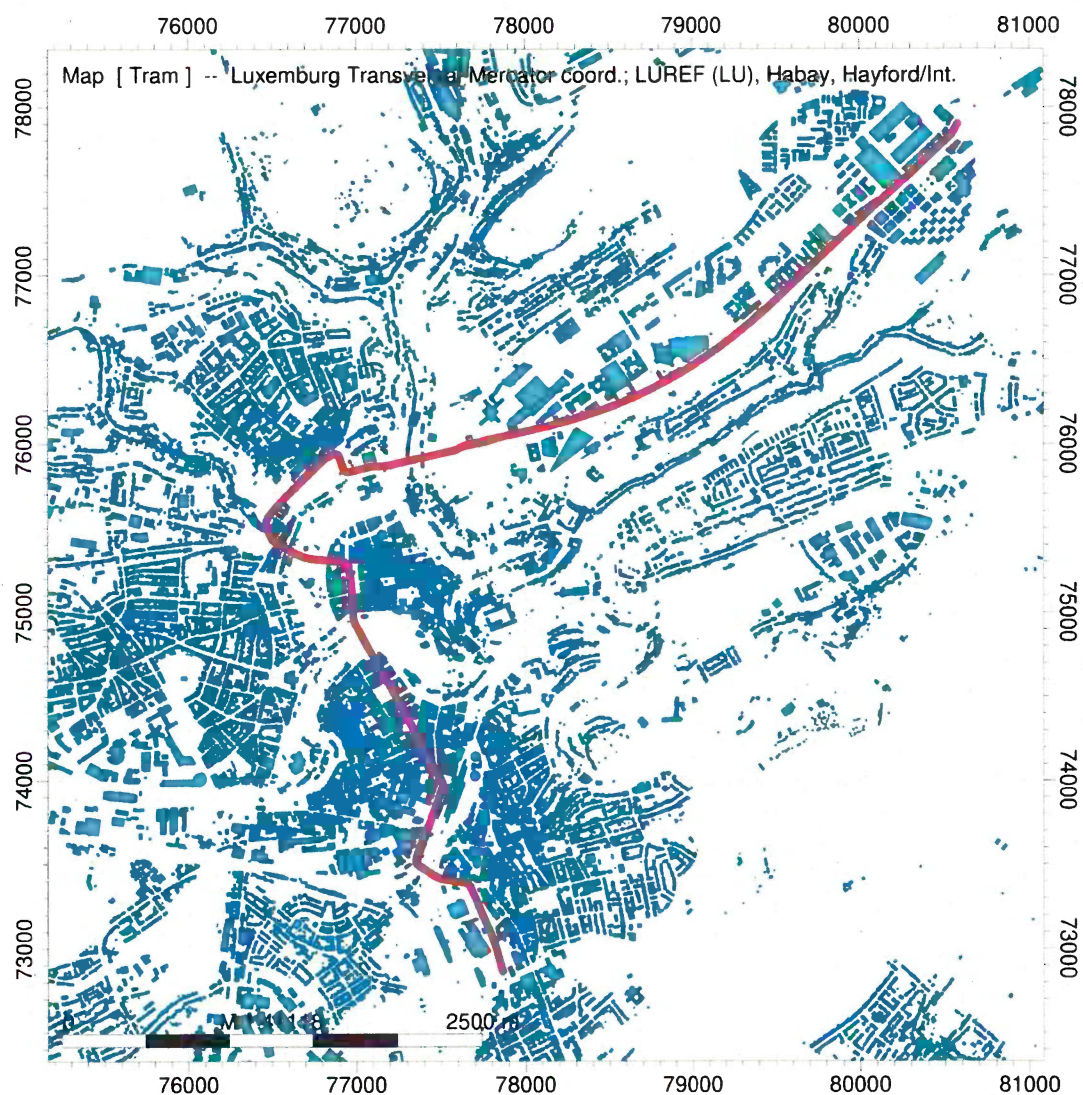
3.1. Lignes de tramway concernées

En 2021, le réseau de tramway luxembourgeois compte 1 ligne d'environ 8.5 km située à Luxembourg Ville (arrêt Kirchberg – LUXEXPO / arrêt Gare Centrale). La carte 1 ci-dessous montre l'étendue du **réseau du tramway existant** (2021) :



Carte 1 : Tracé de la ligne 1 du tramway de Luxembourg.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la phase 4 de la Directive Européenne (retranscrite en droit luxembourgeois) 2002/49/CE, il est demandé de réaliser des cartographies sonores pour l'année 2021 afin d'intégrer l'ensemble des axes ferroviaires et tramway composant le réseau ferroviaire national. Les sources de bruit à prendre en compte sont, en dehors et à l'intérieur de l'agglomération, toutes les voies ferrées dont le trafic annuel est supérieur à 30 000 mouvements de trains et les lignes de tramway en tant que transports publics à l'intérieur de l'agglomération. L'Agglomération de la Ville de Luxembourg et ses environs sont composées de la ville de Luxembourg et des neuf communes limitrophes et compte environ 170 000 habitants (données provenant du Statec 2021). Sur base de ces critères d'évaluation, il en résulte la zone d'étude et le réseau de tramway représentés dans la carte 2 ci-dessous :



Carte 2 : Implantation des voies de tramway concernées par l'application de la directive

La ligne de tramway de Luxembourg (Ligne 1) a été inaugurée en décembre 2017. La cartographie n'était donc pas intégrée aux calculs de propagation précédents (2016).



3.2. Données d'entrée

Les paragraphes suivants présentent les données d'entrée fournies et utilisées pour la réalisation des cartographies du bruit de l'année 2021 et les étapes de traitements réalisées pour ces données. L'ensemble des données concernant le trafic du tramway ont été fournies par la société gérant les activités du tramway et dénommée Luxtram. Les mouvements sur la ligne pour le tronçon du réseau existant ont été extraits des horaires de fonctionnement de la ligne.

Les sources sonores contribuant à l'émission et au rayonnement du bruit des véhicules composants un tramway sont constituées de divers composants du système voie-train, à savoir : les rails, les roues, les ventilateurs, les compresseurs, les moteurs, les équipements électriques. En fonction de la vitesse, les contributions de ces sources changent.

Les sources mentionnées dépendent principalement des caractéristiques spécifiques d'un véhicule. Pour le cas d'un tramway, il est souvent utilisé une classification par type de véhicule entier.

Définition du véhicule et du train

Dans le cadre de la méthode de calcul du bruit appliquée (CNOSSOS), on entend par véhicule toute sous-unité ferroviaire d'un tram (généralement une voiture automotrice) qui peut être déplacée indépendamment et qui peut être détachée du reste du train.

Certaines circonstances spécifiques peuvent se produire pour les sous-unités d'un tram qui font partie d'un ensemble non détachable, par exemple lorsqu'elles partagent un bogie entre elles. Pour les besoins de cette méthode de calcul, toutes ces sous-unités sont regroupées en un seul véhicule.

Dans le cadre de cette méthode de calcul, un train est constitué d'une série de véhicules couplés.

Le tableau IV.1 décrit dans la méthode (voir document Common Noise Assessment Methods in Europe CNOSSOS-EU) définit un langage commun pour décrire les types de véhicules inclus dans la base de données source. Il présente des caractéristiques à utiliser pour classer les véhicules dans leur intégralité. Ces descriptions correspondent aux propriétés du véhicule, qui affectent la puissance acoustique (caractéristique à l'émission du véhicule).

Le nombre de véhicules de chaque type doit être déterminé sur chacune des sections de la voie pour chacune des périodes de temps à appliquer dans le calcul du bruit. Il doit être exprimé en nombre moyen de véhicules par heure, qui est obtenu en divisant le nombre total de véhicules circulant dans une période donnée par la durée en heures de cette période (par exemple : 24 véhicules en 4 heures signifie 6 véhicules par heure). Tous les types de véhicules circulant sur chaque section de voie (définis dans la méthode CNOSSOS) seront utilisés pour les calculs.



Description des sources

Le tableau IV.1 (annexe 1) extrait de la méthode décrite (CNOSSOS) appliquée pour les calculs de propagation, permet de définir dans un premier temps, le type de source à considérer. Pour cela il est impératif de classer le type de véhicule. Sur base de ce descriptif les données nécessaires ont été fournies par l'exploitant principal dans le cadre de la classification des sources et sont résumées comme suit :

- **Types de véhicule existant sur l'ensemble du réseau**
Tramway (CAF modèle URBOS)
- **Nombre d'essieux par véhicule**
- **Type de frein en fonction du type de train**
Frein avec semelles en fonte, frein avec semelles en composite, frein sans semelle comme disques, tambours, magnétique...
- **Mesure d'atténuation au niveau du roulement**
Aucune mesure d'atténuation au niveau des roulements n'a été considérée pour les sources.

Classification des voies et de la structure de la plateforme du tramway

Le tableau IV.2 (annexe 1), extrait de la méthode décrite (CNOSSOS-EU) appliquée pour les calculs de propagation, permet, dans un deuxième temps, de définir et de classer le type de voie et de plateforme pour chaque tronçon étudié. Pour cela il est impératif de classer le type de voie. Sur base de ce descriptif les données nécessaires ont été fournies par l'exploitant principal dans le cadre de la classification des voies et de la structure de la plateforme et sont résumées comme suit :

Les informations nécessaires fournies afin de réaliser les calculs sont donc résumées comme suit :

- **Type de voie**
Rails de tramway
- **Rugosité des rails**
Une description de la maintenance réalisée sur les différents tronçons a été fournie : bonne maintenance et très lisse (E).

Un détail des spécifications du fabricant des véhicules (CAF) concernant les procédures de maintenance de la rugosité des rails a été fourni. De manière générale, ces caractéristiques sont à définir suivant des mesures à réaliser sur chaque tronçon suivant la norme EN 15610 :2009. Les différentes classifications définies et indiquées dans le tableau IV.2 « Classification of the track types » (de E, M, N et B) sont définies dans l'annexe A de la norme ISO EN 3095 :2005 - Applications ferroviaires - Acoustique - Mesurage du bruit émis par les véhicules circulant sur rails. **Luxcontrol SA a proposé de classer ces tronçons en fonction du**



programme de maintenance des rails appliqué par l'exploitant du réseau et une proposition a été faite aux autorités compétentes en termes de classification lors de la réalisation de la simulation.

- **Type de support de rails**

Cette caractéristique représente une indication sur la rigidité acoustique des supports de rail. Les caractéristiques fournies correspondent à la classification Medium (M).

- **Mesures d'atténuation additionnelles**

Aucune (N)

- **Jonction de rail**

Aucune (N)

- **Rayon de courbure**

Voir détails dans tableau IV.2

Evaluation des caractéristiques à l'émission (puissance acoustique) pour chaque tronçon et/ou tracé

Dans le cadre de l'évaluation des caractéristiques à l'émission les informations suivantes ont été fournies :

- **Flux de trafic**

L'émission sonore d'un flux de trafic sur chaque voie ou chaque section de voie a été représentée.

- **Définition des vitesses de chaque tronçon de voie.**

Les vitesses pour chaque tronçon ont été fournies par l'exploitant et introduites dans le modèle final. Les vitesses maximales oscillent entre 30km/h et 50km/h.

- **Conditions particulières de passages de train (vitesse constante et/ou variable),**

- **Nombre de passage par période (jour, soirée, nuit) pour chaque direction**

- **Nombre de mouvements par période**

- **Longueur des trains (en m) pour les trams (45m)**

- **Indication des positions/emplacements des éléments de la plateforme (aiguillages, nombre de voie sur le tronçon, etc...) et des ouvrages d'art,**

Les informations techniques nécessaires dans le cadre de la classification des catégories de train ont été fournies en fonction de la demande spécifique émise par Luxcontrol SA. Par la suite une classification a été réalisée en fonction des critères en lien avec la méthode CNOSSOS (par période).

Le 29 janvier 2021, l'Administration de l'environnement a informé Luxcontrol S.A. que les limites d'agglomérations retenues pour le projet SNM, sont celles définies par le département de l'aménagement du territoire à savoir :

- Grand-duché de Luxembourg,
- AggloLux,



- AggloSud.

Etant donné que la ligne de Tramway est présente uniquement dans l'agglomération de Luxembourg, seule l'agglomération AggloLux sera étudiée dans ce rapport (Tramway).

L'agglomération de Luxembourg (AggloLux)

L'agglomération de Luxembourg contient une grande partie du canton de Luxembourg, intègre une partie du canton de Capellen et une partie du canton d'Esch-sur-Alzette. Le tableau n°2 suivant indique les communes et les cantons concernés par la définition des limites de l'agglomération de Luxembourg (AggloLux).

Communes	Canton
Luxembourg	Luxembourg
Hespérange	Luxembourg
Mamer	Capellen
Strassen	Luxembourg
Bertrange	Luxembourg
Walferdange	Luxembourg
Niederanven	Luxembourg
Steinsel	Luxembourg
Sandweiler	Luxembourg
Leudelange	Esch

Tableau 2 : Communes et cantons concernés par les limites de l'agglomération de Luxembourg

3.3. Terrain, topographie et sources

3.3.1. Sources

La géométrie et les positionnements des sources sonores (voies de tramway) proviennent d'un jeu de données fourni en format ESRI SHAPE 3D par l'Administration de l'environnement. Ces jeux de données ont été vérifiés et contrôlés. Ils ont pu être utilisés pratiquement en l'état. Toutes les voies du tramway à évaluer ont été modélisées pour deux voies et deux sens de circulation.

3.3.2. Terrain

L'Administration de l'environnement a fourni un modèle numérique de terrain pour l'ensemble du territoire luxembourgeois avec un pas de courbes de niveau de 2.5 m pour les données altimétriques. Les fichiers fournis ont



été traités à l'aide d'un filtre gaussien intégrant un écart type de 50 ainsi qu'un rayon de 10m. Les interpolations ont été de 2m et une simplification a été réalisée avec une tolérance n'excédant pas 0.2m.

Cette information provient des traitements réalisés dans les cartographies précédentes (données 2016). Ces données ont ensuite été importées dans le logiciel (IMMI2023 Wölfel) de calcul de propagation. Ces données permettent d'avoir une référence similaire à celles utilisées dans la réalisation des cartographies de 2016.

Tous les ponts sont gérés dans le modèle comme des surfaces en 3 dimensions afin de pouvoir simuler une propagation du son réaliste.

3.3.3. Topographie

La méthode utilisée pour calculer la propagation du bruit dans l'environnement doit intégrer la nature du sol afin de prendre en compte l'influence de l'atténuation liée aux effets de sol et de la météorologie. Le jeu de données fournies par l'Administration de l'environnement comprenait les contours des zones boisées et des différentes zones appliquées pour les calculs de propagation. Ces éléments proviennent de données appliquées dans les calculs de propagation réalisées précédemment (2016). Sur base des informations fournies, les conditions appliquées pour les conditions du sol peuvent être résumées de la manière suivante :

- **G=0,5 (mixte) pour les zones situées à l'intérieur d'agglomération.**

L'atténuation due à l'effet de sol est principalement le résultat de l'interférence entre le son réfléchi et le son propagé directement de la source au récepteur. Elle est physiquement liée à l'absorption acoustique du sol au-dessus duquel l'onde sonore se propage. Dans le cas où la propagation entre la source et le récepteur est affectée par un éventuel obstacle situé dans le plan de propagation, l'effet de sol est calculé séparément côté source et côté récepteur.

3.3.4. Murs et écrans

Les dispositifs de réduction du bruit (murs, écrans, barrières, etc...) existants ont été intégrés également sur base de données numériques fournies par l'Administration de l'environnement. Les types de données nécessaires intégrées au modèle tri-dimensionnelle sont résumés de la manière suivante :

Schallabsorptionskoeffizienten α_r für Gebäude und Lärmschutzobjekte	
Struktur	Empfohlener α_r
Vollständig reflektierend (z.B. Glas oder Stahl)	0,0
Glatte Mauerfläche, reflektierendes Lärmschutzobjekt	0,2
Strukturierte Mauerfläche (z.B. Gebäude mit Balkonen und Erkern)	0,4
Absorbierende Wand oder Lärmschutzobjekt	Herstellerdaten, wenn nicht verfügbar: 0,6.



Des adaptations manuelles ont dû être réalisées sur les éléments principalement au niveau des hauteurs et des implantations. En effet, les éléments murs et barrières ont été scindés en deux groupes respectivement un intégrant des valeurs absolues et l'autre des valeurs relatives.

3.3.5. Ponts et tunnels

La position des ponts et des tunnels a été déterminée à partir des positions des axes, qui étaient disponibles dans les données d'entrée fournies. Les caractéristiques dimensionnelles des ponts ferroviaires ont été implémentées manuellement sur base d'observations visuelles. Les éléments correspondant aux ponts ont été préparées en tant qu'objets 3D à partir des positions des axes recensés.

3.4. Bâtiments, logements et population

L'Administration de l'environnement a transmis à Luxcontrol les données d'entrée (fichier SHAPE) des bâtiments de l'ensemble du territoire Luxembourgeois (233 943 bâtiments au total). Les positions des bâtiments ont été fournies en format SHAPE 3D. Les hauteurs des arrêtes des bâtiments ont été mises à disposition par l'Administration de l'environnement. Pour certains bâtiments (problèmes de hauteur en dessous du terrain par exemple, etc) une hauteur relative par défaut a été numérisée ultérieurement. Le fichier Shape transmis contient de nombreuses informations, dont les plus importantes sont les suivantes :

- Code occupation,
- Hauteur relative des bâtiments,
- Pour les bâtiments de type habitation, mixte, etc → intégration directe du nombre d'habitants par bâtiment,
- Commune.

La définition du type de bâtiments selon les références Code occupation est considérée pour l'évaluation statistique. A partir de ces informations, un travail a été effectué afin de distinguer ces bâtiments selon 5 catégories principales d'affectation des bâtiments (permettant notamment d'identifier les bâtiments sensibles), qui sont les suivantes :

- Résidentiels → pour chacun des bâtiments de cette catégorie, un nombre d'habitants est attribué,
- Non résidentiel → les autres bâtiments (hors les 4 autres catégories principales),
- Ecole (bâtiments sensibles),
- Hôpital (bâtiments sensibles),
- Maternel (bâtiments sensibles) → affectation effectuée manuellement (zone de 1km autour de chaque site industriel).



La valeur de perte de réflexion (LSW) de 1 dB a été estimée et appliquée pour tous les bâtiments.

Les données sur le nombre de bâtiment ainsi que l'affectation des bâtiments (par exemple résidentiel, école, santé, maternelle, etc...) étaient disponibles dans la base de données « bâtiment » et ont été fournies bâtiment par bâtiment.

Les données relatives aux bâtiments ont été contrôlées. Les chiffres de la population et de l'occupation des bâtiments n'ont pas été adaptés (ou de manière très faible donc non-significatif).

4. Méthodologie

Emission :

D'une manière générale, la méthode, le contenu et le format utilisés pour l'établissement des cartes de propagation répondent aux exigences réglementaires issues de la Directive Européenne 2002/49/CE sur la gestion du bruit dans l'environnement s'appliquant notamment aux bruit des grands axes ferroviaires et des tramways.

Les émissions sonores d'un flux de circulation sur chaque voie doivent être représentées par un ensemble de deux lignes source caractérisées par leur puissance acoustique directionnelle par mètre et par plage de fréquence. Elle correspond à la somme des émissions sonores produites par les véhicules individuels qui constituent le flot de circulation et, dans le cas particulier des véhicules à l'arrêt, en tenant compte du temps passé par les véhicules sur le tronçon de ligne de tramway considéré.

La puissance acoustique directionnelle par mètre par plage de fréquence, due à tous les véhicules qui passent par chaque tronçon de voie sur le type de voie (j), est définie par l'équation suivante :

$$L_{W',eq,T,dir,i} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{x=1}^X 10^{L_{W',eq,Dir,x}/10} \right)$$

La méthode de calcul correspond à l'application des méthodes communes d'évaluation du bruit en Europe (« **Common Noise Assessment Methods** in Europe » (CNOSSOS-EU 2012 - 2015) ». Cette méthode doit être utilisée par les états membres de l'Union Européenne pour la cartographie stratégique du bruit environnemental selon la directive européenne 2002/49/EC. Elle amende l'Annexe II de la directive.

Immission :



Les calculs de propagation sont réalisés à l'ordre de réflexion 2, avec une portée maximale des sources de 1000 m. Les conditions météorologiques retenues pour le calcul d'impact sonore sont les conditions favorables à la propagation du son. Il s'agit des conditions atmosphériques pour lesquelles la vitesse de propagation des ondes acoustiques augmente en fonction de l'altitude dans la direction de propagation. Ces conditions résultent généralement à un niveau de bruit supérieur au point d'immission que celui observé dans des conditions homogènes pour une source identique. Dans ces conditions les rayons sonores sont droits.

Par défaut, la zone de calcul s'est limitée à un rayon de 2 km minimum de part et d'autre des voies de Tramway. Cependant, pour certains tronçons, les zones ont été élargies afin de s'assurer du recouvrement de toutes les zones exposées à des niveaux sonores supérieurs à 55 dB(A) en L_{den} et à des niveaux sonores supérieurs de 45 dB(A) en L_{night} .

4.1. Carte de bruit

Les indicateurs suivants sont considérés pour déterminer les nuisances sonores dans l'environnement :

L_{den} en décibels (dB), un indicateur de bruit moyen représentatif pour une journée de 24 heures, évalué sur une année complète et pour lequel la soirée est pénalisée de 5 dB(A) et la période de nuit est pénalisée de 10 dB(A) ; L_{den}

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

L_{night} en décibels (dB), un indicateur de bruit moyen représentatif pour une nuit de 8 heures, évalué sur une année complète et associé aux perturbations du sommeil.

Les indicateurs sont établis en fonction de trois périodes du jour : une période « jour » de 12 heures (7h00 à 19h00), une période « soir » de 4 heures (19h00 à 23h00) et une période « nuit » de 8 heures (23h00 à 7h00).

L_{day} (respectivement $L_{evening}$ et L_{night}) est le niveau sonore moyenné à long terme pondéré A, comme définit dans la norme ISO 1996-2: 2007, déterminé sur toutes les périodes (respectivement tous les soirs et toutes les nuits) sur toute l'année, et obtenu sur base du niveau équivalent $L_{eq,T}$.

Les cartes de propagation sont réalisées par modélisation acoustique en trois dimensions et les niveaux sont évalués à 4 mètres de hauteur. Le pas de calculs des grilles a été défini à 10 x 10 m.



4.2. Niveau en façade

L'évaluation de l'exposition au bruit des populations et établissements sensibles est réalisée selon les préconisations de la Directive Européenne, c'est-à-dire en fonction du niveau sonore maximal calculé en façade de chaque bâtiment habité, école, crèche et hôpital, à 4 m de hauteur par rapport au terrain naturel et 2 m en avant des façades. La méthode de la Directive est d'application et la façade la plus exposée est déterminante. Pour chaque bâtiment, un calcul de différence est réalisé entre le niveau le plus élevé (façade la plus exposée) et le niveau le moins élevé (façade la moins exposée). Si la différence est d'au moins 20 dB pour une période de calcul, la façade du bâtiment est dite « calme » conformément à la directive européenne sur le bruit dans l'environnement. Le logiciel de calculs de propagation réalise automatiquement un traitement et une organisation des résultats.

4.3. Contrôle Qualité

Les données à l'émission ont été fournies par les sociétés nationales à savoir la société LUXTRAM gérante du réseau de tramway du pays (1 ligne). Ces informations ont été soigneusement discutées en collaboration avec les autorités compétentes (Administration de l'environnement) et les sociétés nationales (LUXTRAM). Les données fournies répondaient aux descriptions des données d'entrée nécessaires aux calculs de propagation conformément à la méthode CNOSSOS appliquée pour les calculs ferroviaires.

Une description complète des différentes caractéristiques et des données du flux de trafic est documentée en **annexe** à ce rapport.

Des mesures ponctuelles pourraient être réalisées et/ou récoltées à plusieurs points récepteurs (en limite de propriété par exemple) et/ou dans des zones choisies (zones intermédiaires sur le trajet de propagation) le long de la ligne de tramway de manière à vérifier la fiabilité des données de base relatives aux sources de bruit et la validité des modèles de calcul (comparaison des niveaux issus des mesures avec les résultats du calculs propagation de la modélisation 3D au même point).

Les données concernant les implantations et la géométrie des bâtiments, du sol, de la topographie et des statistiques liées à l'occupation des bâtiments ainsi que leur destination propre ont été fournies par les services étatiques correspondant respectivement à l'Administration du Cadastre et de la Topographie et le STATEC.

5. Résultats



5.1. Cartes de bruit

Les cartes de bruit sont documentées en **annexes**, chapitre 6.2.3. « Cartes de bruit L_{den} et L_{night} ».

5.1.1. Superficie totale exposée à des valeurs L_{den} supérieures à 55, 65 et 75 dB

Le tableau suivant indique les surfaces totales en km^2 pour lesquelles des niveaux L_{den} supérieurs à, respectivement 55 dB(A), 65 dB(A) et 75 dB(A), sont calculés.

TRAMWAY

Evaluation statistique : Répartition sur les niveaux de l'échelle	
Niveau L_{DEN}	Partie / km^2
	AggloLux
>55	0.55882
>65	0.02952
>75	0.00000

Tableau 3 : Surfaces totales en km^2 $L_{den} > 55$ dB(A), 65 dB(A) et 75 dB(A)

5.2. Statistiques

L'analyse statistique des calculs en façade permet, par une analyse croisée des cartes de bruit et des données sociodémographiques, d'estimer le nombre de personnes exposées aux nuisances sonores lié aux axes ferroviaires du pays.

Le nombre de personnes exposé à des niveaux supérieurs à $L_{den} > 55$ dB(A) et à $L_{night} > 45$ dB(A) (résultats présentés par tranche de 5 dB(A)) est indiqué dans le rapport sur la cartographie du bruit ferroviaire 2021.

5.3. Effets sur la santé

Pour rappel une analyse statistique des calculs en façade a permis, par une analyse croisée des cartes de bruit et des données sociodémographiques, d'estimer le nombre de personnes exposées aux nuisances sonores provenant des lignes de tramway du pays.



La méthode d'évaluation des effets nuisibles du bruit de tramway sur la santé est également fournie par les différentes méthodes appliquées. Les calculs des différents effets sont décrits dans la directive (UE) 202/367 de la Commission du 4 mars 2020 modifiant l'annexe III de la Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne l'établissement de méthodes d'évaluation des effets nuisibles du bruit dans l'environnement.

Les effets suivants sont pris en considération dans le cadre de l'évaluation des effets nuisibles :

- Caridopathie ischémique (ou **IHD** ischaemic heart diseases) : voir classification internationale établie par l'Organisation Mondiale de la Santé. **Uniquement pour le bruit routier.**
- La Forte gêne (ou **HA** High annoyance,,)
- Les fortes perturbations du sommeil (**HSD**, high sleep disturbance).

L'exposition de la population est évaluée indépendamment pour chaque source de bruit et chaque effet nuisible. Lorsque les mêmes personnes sont exposées simultanément à différentes sources de bruit, en général, les effets nuisibles ne doivent pas être cumulés. Toutefois, ces effets peuvent être comparés afin d'évaluer l'importance relative de chaque bruit.

Dans le cadre de la ligne de tramway, les résultats pour les agglomérations définies sont documentés sont documentés dans le rapport sur la cartographie du bruit ferroviaire 2021.

5.4. Comparaison 2016 – 2021

5.4.1. Méthodologie

Comme indiqué précédemment, la ligne de tramway de Luxembourg (Ligne 1) a été inaugurée en décembre 2017. La cartographie n'était donc pas intégrée aux calculs de propagation précédents (2016). La méthodologie appliquée entre 2021 est la méthode décrite par CNOSSOS-EU).

La ligne de tramway de Luxembourg (Ligne 1) a été inaugurée en décembre 2017. La cartographie n'était donc pas intégrée aux calculs de propagation précédents (2016).

Des résultats de mesures acoustiques à certains points le long du tracé de la ligne de Tramway pourront être récoltés par Luxcontrol SA afin d'établir des éléments de comparaison réalistes et connus.

5.4.2. Trafic

Globalement le trafic brut de la ligne de tramway reste constant dans le temps.



5.4.3. Statistiques

Comme indiqué précédemment, la ligne de tramway de Luxembourg (Ligne 1) a été inaugurée en décembre 2017. Aucune comparaison liée aux résultats de calculs statistiques d'exposition n'est donc possible.

Esch-sur-Alzette, le 16.02.2024

LUXCONTROL S.A.

Pierre SCHWARTZ
Responsable Secteur
Acoustique et Vibrations

Sylvain MONTAGNON
Responsable technique et commercial
Acoustique et Vibrations



6. Annexes

6.1. Nombre de mouvements – année 2021

6.1.1. Par période

Les données trafic ont été fournies en complément d'un descriptif technique du type de véhicule. Les informations fournies peuvent être résumées de la manière suivante :

- Vitesses maximales par secteur / section
- Horaires de fonctionnement pour chaque heure / période (Jour, soir, nuit)
- Engin de traction
- Nombre d'essieux
- Nombre de train pendant l'année
- Longueur totale des véhicules

6.1.2. Par type de train – lien groupe CNOSSOS

A partir du descriptif technique des véhicules de traction, un classement a été réalisé par type de train. Ces véhicules ont fait l'objet d'une évaluation détaillée afin de permettre une classification sur base de véhicules connus. Les véhicules de traction de la ligne de Tramway du pays est de type CAF modèle URBOS de longueur 45m. Ces véhicules sont déjà présents dans la bibliothèque disponible du concepteur et développeur WÖLFEL (software IMMI2023). A partir des caractéristiques techniques un classement suivant les groupes CNOSSOS décrits dans la méthode a pu être réalisé. La classification retenue est de type BUB11 « Straßenbahn Niederflrfahrzeug (8 axes).

6.1.3. Par période et type de train – lien groupe CNOSSOS

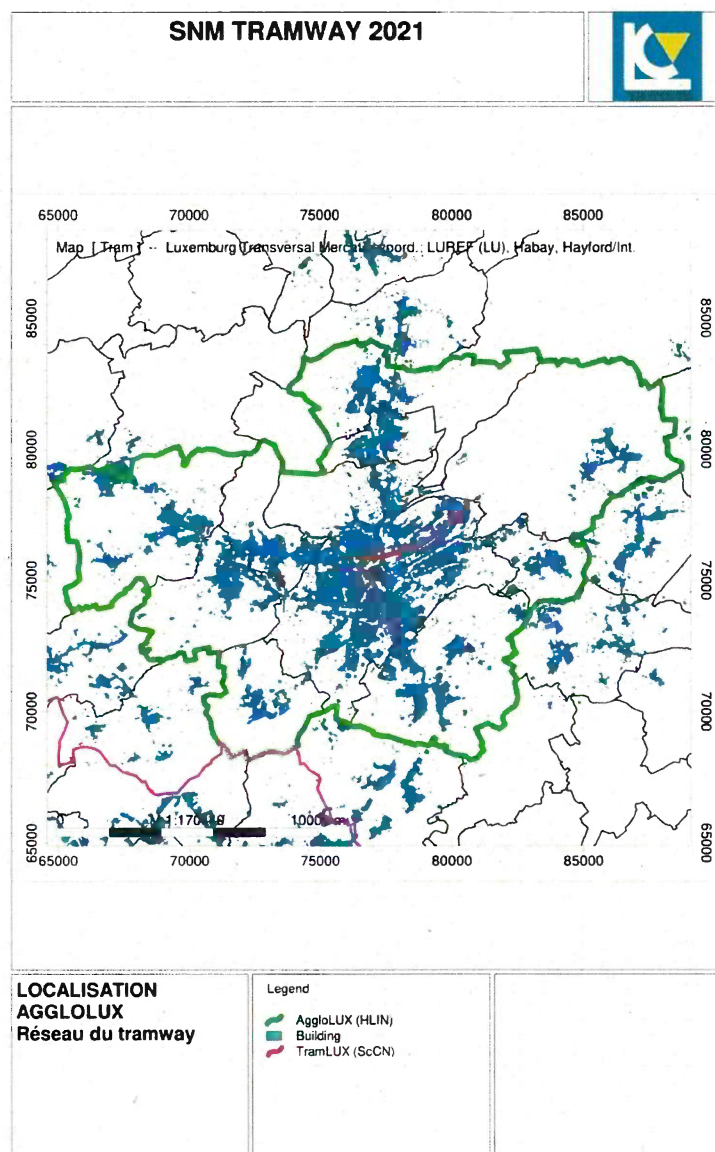
Sur base de cette classification de type de véhicule liée au groupe CNOSSOS, le trafic du tramway a pu être établi et affecté aux tronçons de voie du réseau du pays par période définie (Jour, Soir, Nuit) et par direction. Sur base des horaires de circulation du tramway de Luxembourg, le nombre de mouvement par direction est résumé comme suit :

- Période Jour : 13.750 mouvements par heure et par direction
- Période Soir : 7.250 mouvements par heure et par direction
- Période Nuit : 3.875 mouvements par heure et par direction

6.2. Plans

6.2.1. Localisation de l'agglomération

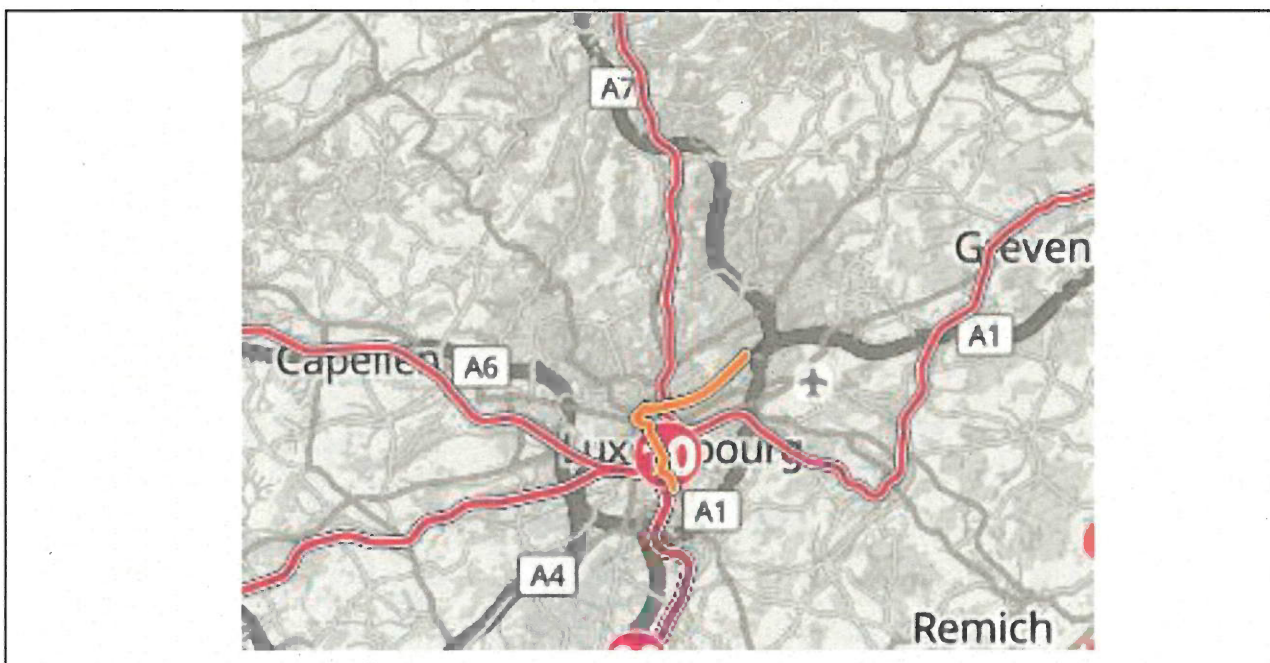
L'agglomération de Luxembourg contient une grande partie du canton de Luxembourg, intègre une partie du canton de Capellen et une partie du canton d'Esch-sur-Alzette. Les contours de l'agglomération de Luxembourg sont précisés sur la carte 3 suivante (zone verte) :



Carte 3 : Localisation de l'agglomération AggloLUX

6.2.2. Données et lignes de tramway

En 2021, la ligne de tramway comptait au total environ 8.5 km de lignes. La ligne concernée par les cartes de bruit va de l'arrêt Kirchberg-Luxexpo à l'arrêt Gare Centrale. La carte 4 ci-dessous montre l'étendue de la ligne de tramway existante en 2021 :

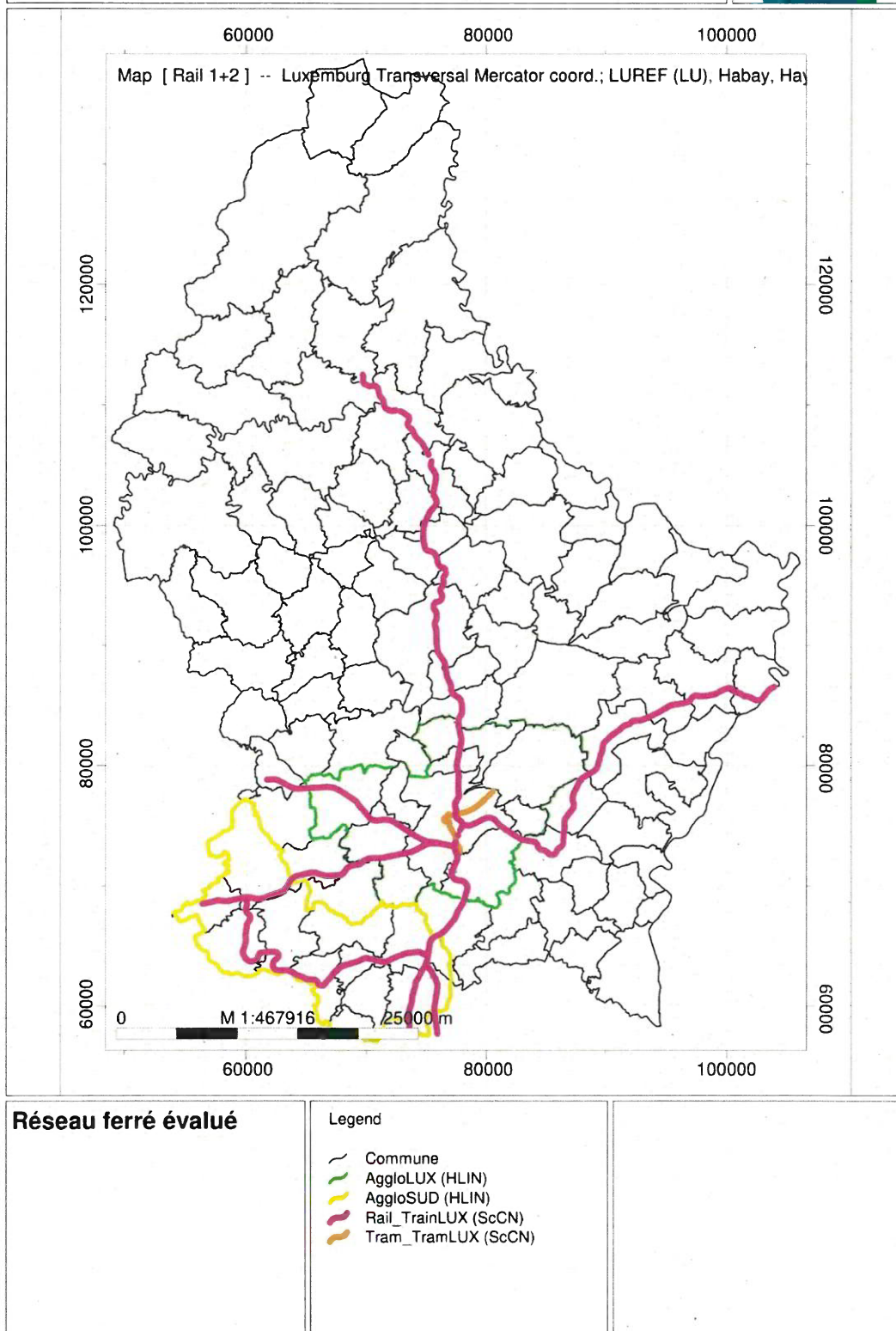


Carte 4 : Réseau de tramway (Ligne 1) de Luxembourg Ville.

Le réseau couvert (Tramway) par l'élaboration des cartes stratégiques est schématisé dans le plan ci-dessous :

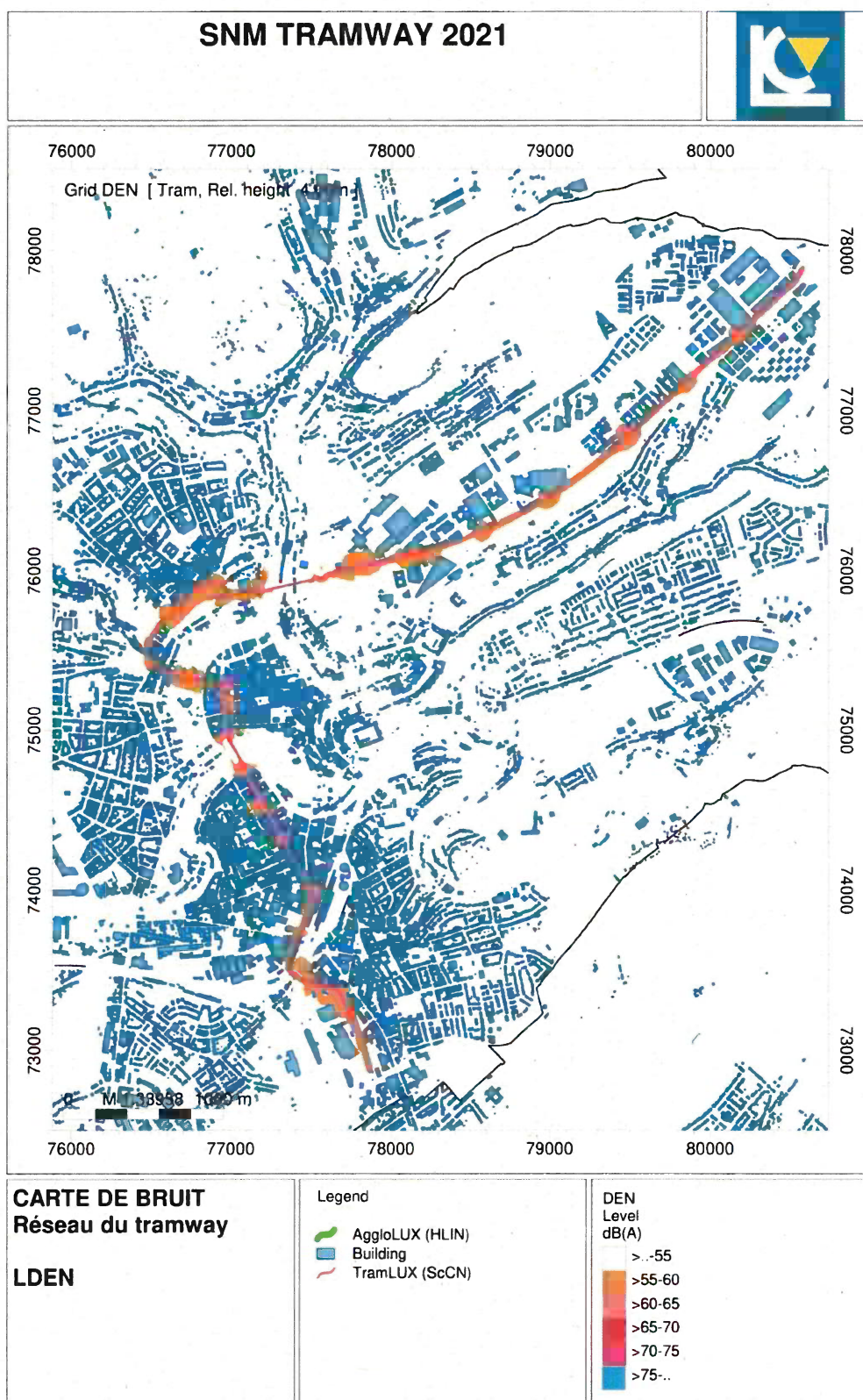


SNM RAIL_TRAM 2021



Carte 5 : Réseau ferré et réseau du tramway évalués

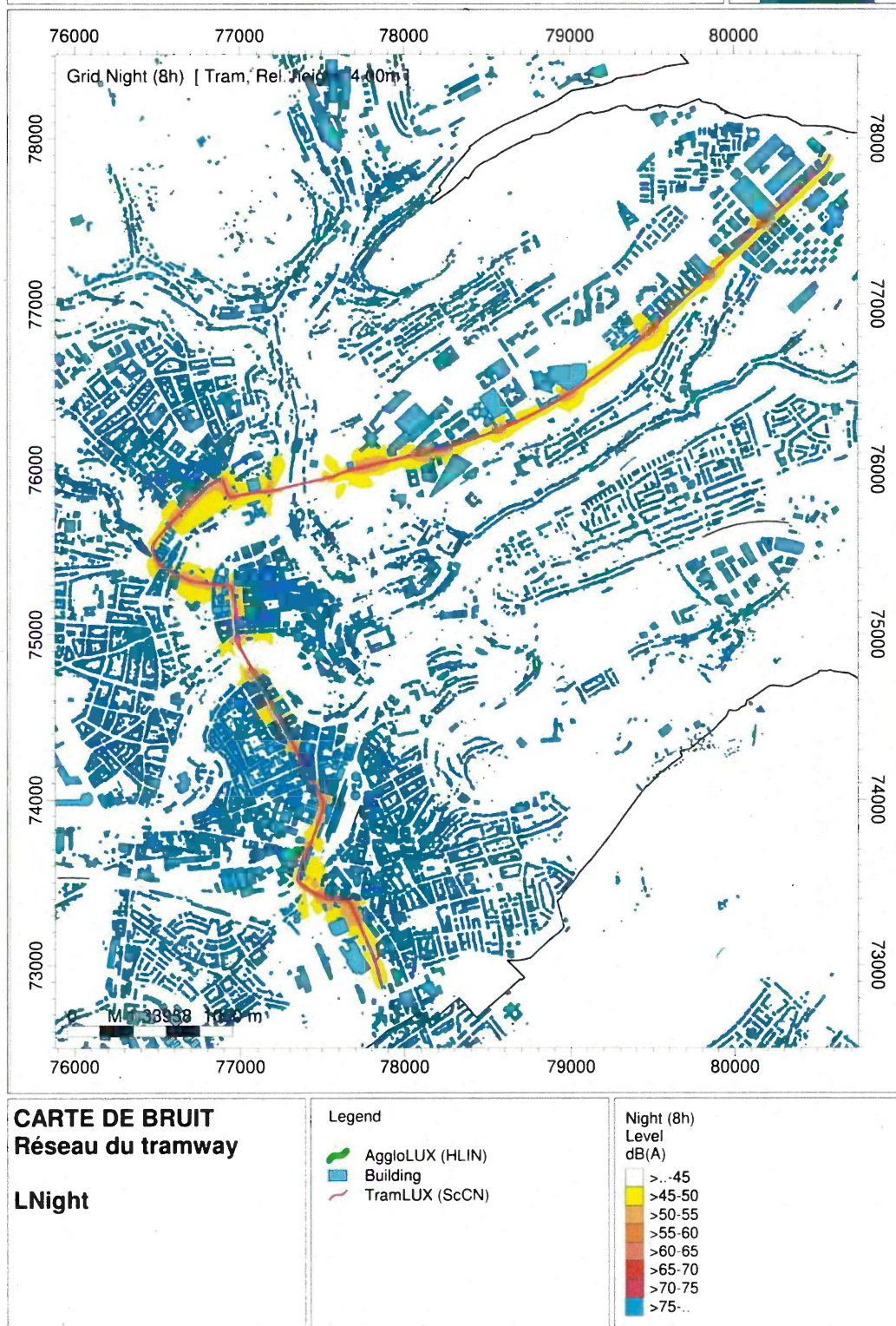
6.2.3. Cartes de bruit L_{den} et L_{night}



Carte 6 : carte de bruit L_{DEN} - tramway (2021)



SNM TRAMWAY 2021



Carte 7 : carte de bruit L_{NIGHT} - tramway (2021)



Afin d'en faciliter la lecture, les cartes ont également été fournies en format numériques SHAPE 3D ainsi qu'en format RASTER (ASCII).