

## ETUDE D'IMPACT SONORE ET VIBRATOIRE

DEMANDE D'AUTORISATION EN PHASE CHANTIER  
STABILISATION / TERRASSEMENT / EXCAVATION

**Projet du nouveau pôle d'échange multimodale  
Ettelbrück**

*05 juin 2023*

### Référence client:

#### **Société Nationale des Chemins de Fer Luxembourgeois**

9, Place de la Gare  
L-1616 Luxembourg

Contact: **M. Florent Puraye**

tél: 4990 - 5721

fax: --

Email: [florent.puraye@cfl.lu](mailto:florent.puraye@cfl.lu)

#### **Administration des bâtiments publics**

10, rue du Saint-Esprit  
L-1475 Luxembourg

Contact : **M. Thierry HIRTZ**

Tél : 46 19 19 473

Fax : --

Email : [thierry.hirtz@bp-etat.lu](mailto:thierry.hirtz@bp-etat.lu)

### Référence Luxcontrol S.A.:

Service:

Rapport N°.: 23134791.1SCP

Nombre de pages : 69 + Annexes

Contact: M. Pierre SCHWARTZ

tél: +352 54.77.11 - 284

fax: +352 54.77.11 - 266

Email: [pierre.schwartz@luxcontrol.com](mailto:pierre.schwartz@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](mailto:info@luxcontrol.com)  
Int.: [www.luxcontrol.com](http://www.luxcontrol.com)

BGLL LULL : IBAN LU56 0030 1612 0727 0000  
BCEELULL : 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



## Etude d'impact sonore et vibratoire

### PROJET DU NOUVEAU POLE D'ECHANGE MULTIMODALE ETTELBRÜCK

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>OBJET.....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>PLAN D'AVANCEMENT.....</b>	<b>7</b>
2.1	Relevé des données.....	7
2.2	Etude d'impact sonore .....	7
2.3	Etude d'impact vibratoire : .....	8
<b>3.</b>	<b>DOCUMENTS SERVANT DE BASE A L'ETUDE .....</b>	<b>9</b>
3.1	Plans et documents (annexe 2) .....	9
3.2	Normes et documents d'application .....	9
3.3	Software.....	10
<b>4.</b>	<b>DESCRIPTION DES LIEUX ET POINTS D'IMMISSION.....</b>	<b>11</b>
4.1	Emplacement des zones de travaux .....	11
4.2	Description de la nature de l'habitat .....	14
4.3	Description des points d'immission acoustiques .....	15
4.4	Points d'immission « vibratoire » VIB.....	22
4.5	Rappel de la réglementation.....	25
<b>5.</b>	<b>DONNEES GENERALES ET HYPOTHESES DE CALCULS.....</b>	<b>27</b>
5.1	Planning de l'entreprise générale et accès chantier .....	27
5.2	Engins de chantier .....	28
5.3	Description des techniques et des procédés .....	28
5.4	Définition des phases de travaux .....	31
5.5	Palissade de chantier « acoustique » .....	32
5.6	Données sonores à l'émission.....	33
5.7	Données vibratoires.....	50
<b>6.</b>	<b>CALCULS PRONOSTIQUES .....</b>	<b>55</b>
6.1	Calcul de l'impact sonore et résultats.....	55
6.2	Calcul de l'impact vibratoire et résultats .....	58
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>60</b>
7.1	Impact vibratoire.....	60
7.2	Etude d'impact sonore .....	65



## ANNEXES

ANNEXE 1 : CARTES DE PROPAGATION SONORE	
ANNEXE 2 : PLANS GENERAUX ET DOCUMENTS DU PROJET	
ANNEXE 3 : DOCUMENTATIONS TECHNIQUES ENGINS DE CHANTIER	
ANNEXE 4 : DONNEES A L'EMISSION ET CALCULS DE PROPAGATION	

## FIGURES

Figure 1. – Vue 3D sur le nouveau bâtiment « voyageurs », la nouvelle auberge de jeunesse et le nouveau bâtiment P&R.....	4
Figure 2. – Plan de situation, implantation des 3 bâtiments.....	5
Figure 3. – Plan de situation « Park & Ride » et emplacement des points d'immission .....	11
Figure 4. – Vue en plan terrassement / fondations « Park & Ride » .....	12
Figure 5. – Plan de situation « bâtiment Auberge de jeunesse » et emplacement des points d'immission.....	12
Figure 6. – Vue en plan terrassement / fondations « bâtiment Auberge de jeunesse ».....	13
Figure 7. – Plan de situation « bâtiment Voyageurs » et emplacement des points d'immission .....	13
Figure 8. – Vue en plan terrassement / fondations « bâtiment Voyageurs ».....	14
Figure 9. – Extrait du PAG de la commune d'Ettelbruck (décembre 2021) .....	15
Figure 10.- Situation du projet « Pôle d'échange Multimodal de la gare d'Ettelbruck » et implantation du PAP « Verband » .....	21
Figure 11.- Implantation des points d'immission - étude vibratoire / « Park & Ride » .....	23
Figure 12. - Implantation des points d'immission - étude vibratoire / « bâtiment Auberge de jeunesse » .....	23
Figure 13.- Implantation des points d'immission - étude vibratoire / « bâtiment Voyageurs ».....	24
Figure 14. – Coupe de travaux – Vue sur le positionnement des voies par rapport aux forages de puits .....	25
Figure 15.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase – variante 1 .....	34
Figure 16.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase – variante 2 – zone Ouest .....	36
Figure 17.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase – variante 2 – zone Est .....	38
Figure 18.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase – variante 2.....	39
Figure 19.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 3 – variante 1 .....	41
Figure 20.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 4 – variante 1 .....	43
Figure 21.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 5 – variante 1 .....	45
Figure 22.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 5 – variante 2 – zone Ouest .....	47
Figure 23.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 5 – variante 2 – zone Est.....	49
Figure 24. - Tabelle 2 - Anhaltswerte A für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen.....	63

## TABLEAUX

Tableau 1. – Description de l'environnement des points récepteurs .....	19
Tableau 2.- présentation des niveaux sonores existants issus du trafic aux points d'immission les plus exposés .....	22
Tableau 3. – Seuils pour vibrations non entretenues (transitoires à impulsions répérées).....	26
Tableau 4. – Planning général des travaux.....	27
Tableau 5.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 1 –variante 1.....	35
Tableau 6.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 1 –variante 2 – zone Ouest .....	37
Tableau 7.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 1 –variante 2 – zone Est .....	38
Tableau 8.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 2 –variante 1.....	40
Tableau 9.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 3 –variante 1.....	42
Tableau 10.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 4 –variante 1.....	44
Tableau 11.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 4 –variante 1.....	46
Tableau 12.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 1 –variante 2 – zone Ouest .....	48
Tableau 13.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 5 –variante 2 – zone Est .....	49
Tableau 14. - Valeurs de la gamme d'émission de vibration et leur fréquence pour les engins utilisés lors des travaux de stabilisation et de terrassement .....	51
Tableau 15. - Valeur du facteur correctif n à considérer en fonction des sources vibratoires.....	52
Tableau 16. - Valeurs typiques .....	53
Tableau 17. - Distances les plus courtes entre source de vibrations et fondations.....	53
Tableau 18. - Calculs des fréquences propres en Hertz en fonction de la hauteur du bâtiment .....	53
Tableau 19 : Niveaux sonores équivalents $L_{eq}$ et niveaux maximaux $L_{eq,max}$ pronostiqués à l'immission en dB(A).....	56
Tableau 20. - Vitesses vibratoires particulières en mm/s (ondes de volume et ondes de surface ou onde de Rayleigh) .....	59
Tableau 21. - Distances les plus courtes entre source de vibrations et fondations.....	60

## 1. OBJET

Des travaux d'infrastructure d'envergure ont été entamés en 2018 au niveau de la gare d'Ettelbruck, qui figure parmi les gares les plus fréquentées du pays. Ce projet est aussi d'une importance capitale pour la connexion de la « Nordstad » au transport public et à l'offre ferroviaire. La gare d'Ettelbruck est un véritable nœud ferroviaire où convergent les voies en direction de Diekirch et celles vers Troisvierges et Gouvy, en province de Luxembourg.

Dans le cadre du projet du nouveau pôle d'échange multimodale d'Ettelbrück, l'Administration des Bâtiments publics et la Société Nationale des Chemins de Fers Luxembourgeois souhaitent construire un nouveau bâtiment « voyageurs » avec complexe administratif, une nouvelle auberge de jeunesse avec structure d'accueil ainsi qu'un nouveau bâtiment P&R. Les figures 1 et 2 suivantes représentent une vue 3D des trois projets prévus, ainsi qu'une vue en plan indiquant l'implantation des bâtiments :



Figure 1. – Vue 3D sur le nouveau bâtiment « voyageurs », la nouvelle auberge de jeunesse et le nouveau bâtiment P&R

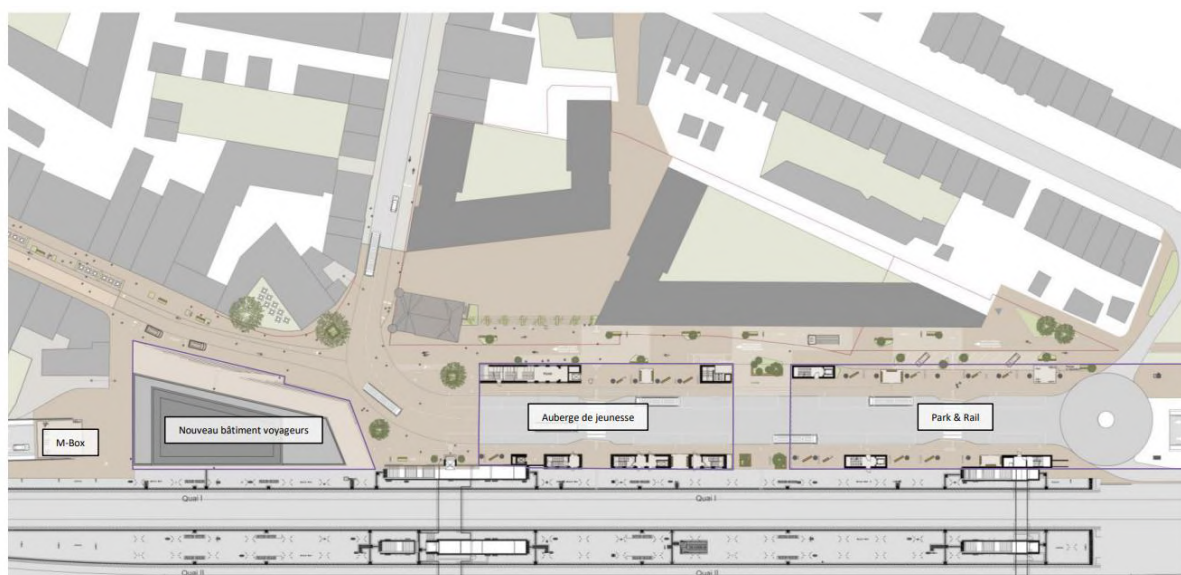


Figure 2. – Plan de situation, implantation des 3 bâtiments

L'étude de demande d'autorisation concerne les travaux de chantier de terrassement, d'excavation et de réalisation de pieux de fondations nécessaires à la construction des trois bâtiments. Les travaux d'excavation / terrassement se feront hors roche tandis que les pieux atteindront la roche compacte. Dans le cadre d'une demande d'autorisation en phase chantier, conformément à la loi modifiée du 10 juin 1999 (Loi relative aux établissements classés), une étude d'impact sonore et vibratoire, par un organisme agréé auprès de l'Administration de l'environnement, est nécessaire.

### Remarques :

Des travaux de mise en souterrain de la N7 entre le carrefour de la Wark et le monument Patton, par l'Administration des Ponts et Chaussées - Division de la Voirie de Diekirch (DVD), seront aussi effectués.

Pour des raisons techniques, des pieux seront réalisés dans le cadre de cette réalisation.

La réalisation des pieux de fondations pour le compte des 3 bâtiments se fera lors de diverses phases de chantier de la tranchée couverte, laquelle sera réalisée dans plusieurs phases de construction de la mise en souterrain de la N7. Après finition des travaux, la N7 passera en dessous des trois nouveaux bâtiments projetés.



**Tous les travaux liés à la tranchée couverte pour le passage de la N7 (chantier de « type linéaire ») ne font pas partie intégrante de la demande d'autorisation et ne seront donc pas considérés dans le cadre de la présente étude d'impact sonore et vibratoire. Cependant, les moyens employés, en termes d'engins de chantier, pour les travaux faisant l'objet de cette demande (terrassment, stabilisation des trois bâtiments) seront relativement similaires aux travaux de réalisation de la tranchée couverte.**

L'évaluation de l'impact sonore doit faire l'objet d'un conseil neutre et indépendant tout en offrant au client un support d'aide à la décision compte tenu du choix à réaliser en matière de protection de l'environnement, si cela s'avère nécessaire. Dans le cadre de cette étude d'impact sonore et vibratoire, le plan d'avancement suivant est proposé.





## 2. PLAN D'AVANCEMENT

---

Dans le cadre de cette étude d'impact sonore et vibratoire, le plan d'avancement suivant a été validé par l'Administration de l'environnement par courriel en date du 05 octobre 2022 :

### 2.1 Relevé des données

---

- Description des données techniques, ainsi que de la fréquence de fonctionnement, de la richesse en impulsions, des conditions de rayonnement ;
- Inventaire des sources mobiles circulant sur le site en différenciant les engins de chantier (pelles hydrauliques, foreuses de puits, ...) ;
- Relevé des emplacements où ces activités se produisent, des fréquences, des conditions de rayonnement ;
- Description des procédés utilisés lors des différentes phases de stabilisation et de terrassement ;
- Description des bâtiments et des ouvrages avoisinants (composition structure, enveloppe, nombre étage, état général, destination, type de fondations, ...).

### 2.2 Etude d'impact sonore

---

Dans le cadre du dossier d'autorisation, une étude d'impact acoustique sera réalisée. Elle permettra de caractériser les nuisances sonores émanant du chantier pour les phases de stabilisation et de terrassement du projet. Les éléments suivants seront repris dans cette étude :

- Détermination des niveaux acoustiques à l'émission pour les sources stationnaires ;
- Détermination des niveaux acoustiques à l'émission pour les sources mobiles ;
- Choix de la propriété la plus proche bâtie ou susceptible d'être couverte par une autorisation de bâtir ;
- Détermination des niveaux acoustiques à la limite de la propriété la plus proche bâtie ou susceptible d'être couverte par une autorisation de bâtir ;
- Etablissement des plans où les sources fixes et mobiles seront indiquées ;
- Etablissement de cartes de propagation sonore à des hauteurs relatives de 4 m et 8 m.



### 2.3 Etude d'impact vibratoire :

---

Dans le cadre du dossier d'autorisation, une étude d'impact vibratoire sera réalisée. Elle permettra de caractériser les nuisances vibratoires émanant du chantier pour les phases de stabilisation et de terrassement du projet. Les éléments suivants seront repris dans cette étude :

- Détermination des niveaux vibratoires à l'émission pour les sources stationnaires.
- Détermination des niveaux vibratoires à l'émission pour les sources mobiles.
- Choix de la propriété la plus proche bâtie ou susceptible d'être couverte par une autorisation de bâtir.
- Evaluation des amplitudes de vitesse vibratoire pronostiquée aux points d'immission (fondations).





### 3. DOCUMENTS SERVANT DE BASE A L'ETUDE

---

#### 3.1 Plans et documents (annexe 2)

---

Les plans suivants ont servi de base à l'étude :

- Plans d'aménagement général de la Commune d'Ettelbruck (12.2021),
- Plan topographique, plan de situation, plan cadastral.
- Plan d'implantation des pieux et coupes de terrassement n°09-366 B-DCE-100 du bureau d'études Schroeder & Associés SA en date du 09.06.2021 (bâtiment « voyageurs »).
- Plan d'implantation des pieux et coupes de terrassement n°16-233 B-DCE-001 du bureau d'études Schroeder & Associés SA en date du 31.05.2021 (auberge de jeunesse).
- Plan d'implantation des pieux et coupes de terrassement n° 09-349 BPR-SOUM-ENS-ST-100-001 du bureau d'études Schroeder & Associés SA en date du 22.03.2021 (Park&Ride).
- Descriptif des travaux prévus (phasage) et informations sur les engins employés,
- Etude géotechnique N° 02342-1 réalisée par la société Grundbaulabor Trier.
- Planning détaillé des travaux du bureau d'études Schroeder & Associés SA.
- Documents photographiques.

#### 3.2 Normes et documents d'application

---

- Règlement Grand-ducal du 13.02.1979 concernant le niveau de bruit dans les alentours immédiats des établissements et des chantiers.
- Guide pour la réalisation d'étude d'impact sonore environnemental pour les établissements et chantier, décembre 2022.
- DIN ISO 9613-2 « Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2 : allgemeines Berechnungsverfahren », Okt. 1999.
- DIN 18005 „Schallschutz im Städtebau“
  - Teil 1 : „Berechnungsverfahren“, Mai 1988;
  - Teil 2 : Lärmkarten“, September 1991.
- DIN 4150 „Erschütterungen im Bauwesen“,
- ISO 4866 2010 ; " Vibrations et chocs mécaniques — Vibrations des structures fixes — Lignes directrices pour le mesurage des vibrations et l'évaluation de leurs effets sur les structures ».



- ISO 4866 AMENDMENT 1 1994-12-01; « Vibrations et chocs mécaniques, Vibrations des bâtiments Lignes directrices pour le mesurage des vibrations et évaluation de leurs effets sur les bâtiments »,
- ISO 4866 AMENDMENT 2 1996-12-15 ; « Vibrations et chocs mécaniques Vibrations des bâtiments – Lignes directrices pour le mesurage des vibrations et évaluation de leurs effets sur les bâtiments ».

### 3.3 Software

---

Les calculs d'immission sonore ont été effectués avec le programme informatique :

**IMMI 2021 – 497 Wölfel Messsysteme – Software D-97204 Höchberg bei Würzburg**

## 4. DESCRIPTION DES LIEUX ET POINTS D'IMMISSION

### 4.1 Emplacement des zones de travaux

Les travaux se dérouleront au niveau de la Gare d'Ettelbruck, en trois zones distinctes correspondant aux trois futurs bâtiments. Les plans de situation suivants (figures 3 à 8) indiquent l'implantation des zones de forages et de terrassement pour les trois bâtiments. Sur ces plans, sont également représentés les positionnements et les nominations des points d'immission définis dans cette étude. Les détails concernant les points d'immission, sont fournis dans le tableau 1, ci-après.

#### Nouveau bâtiment P+R :

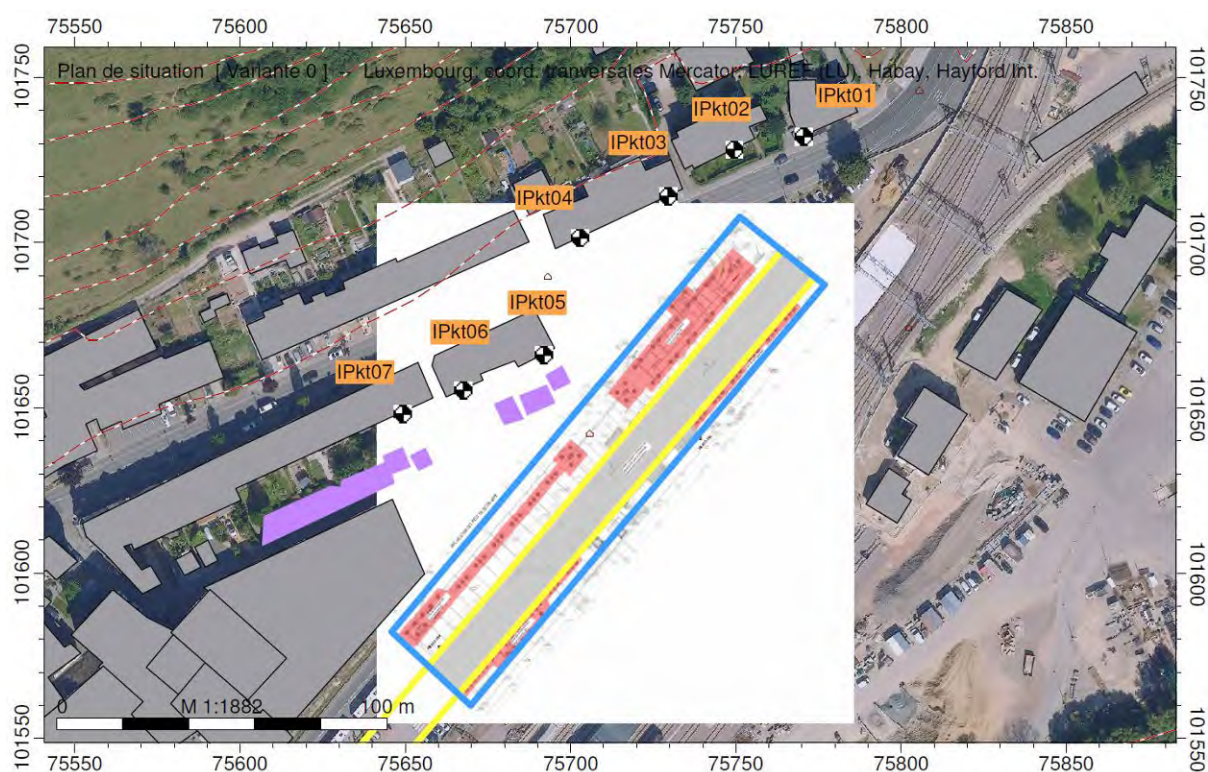


Figure 3. – Plan de situation « Park & Ride » et emplacement des points d'immission

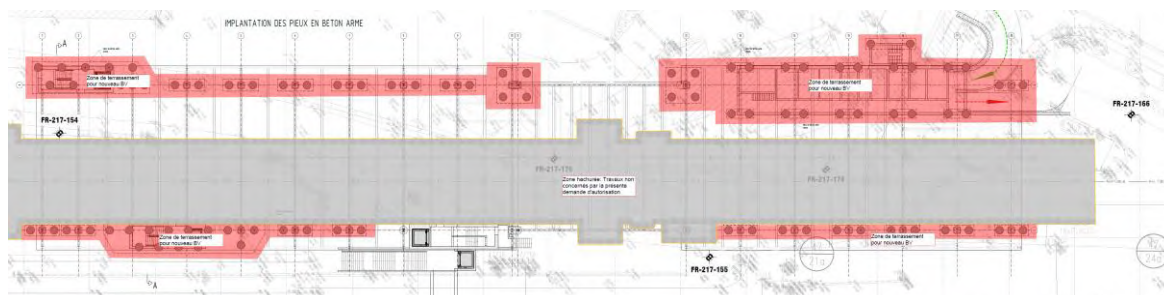


Figure 4. – Vue en plan terrassement / fondations « Park & Ride »

### Nouvelle auberge de jeunesse :

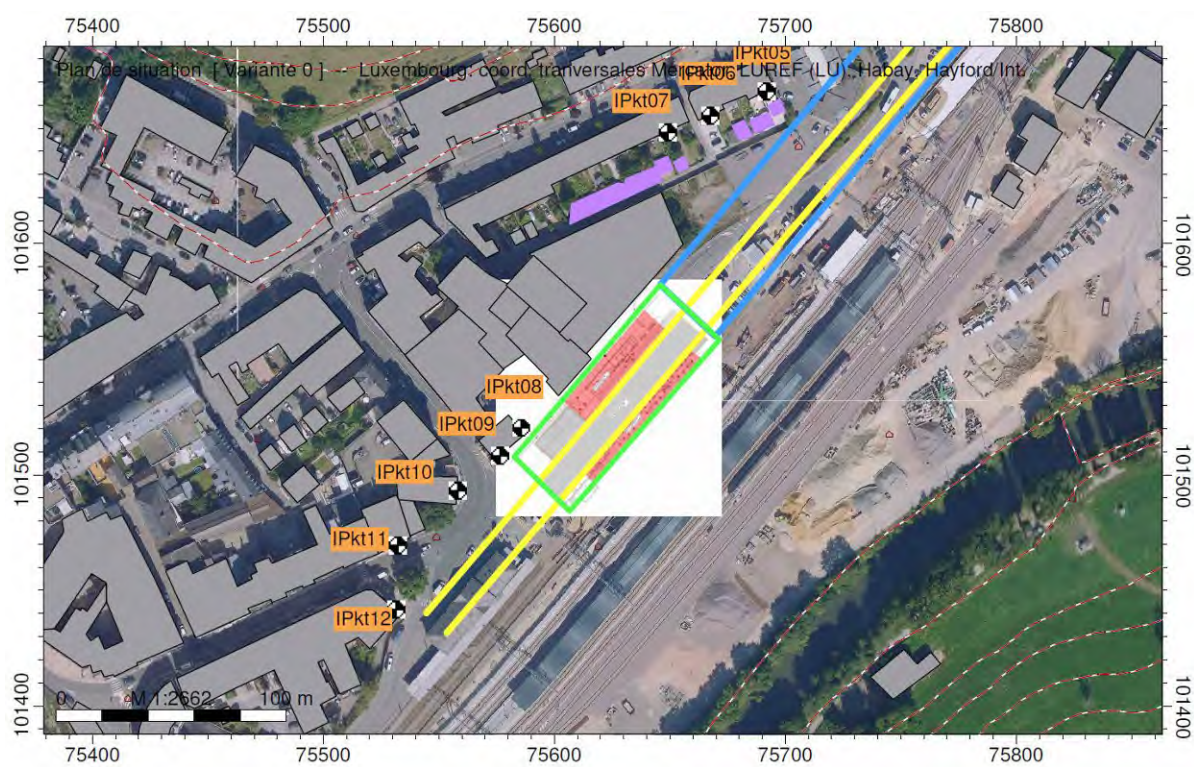


Figure 5. – Plan de situation « bâtiment Auberge de jeunesse » et emplacement des points d'émission



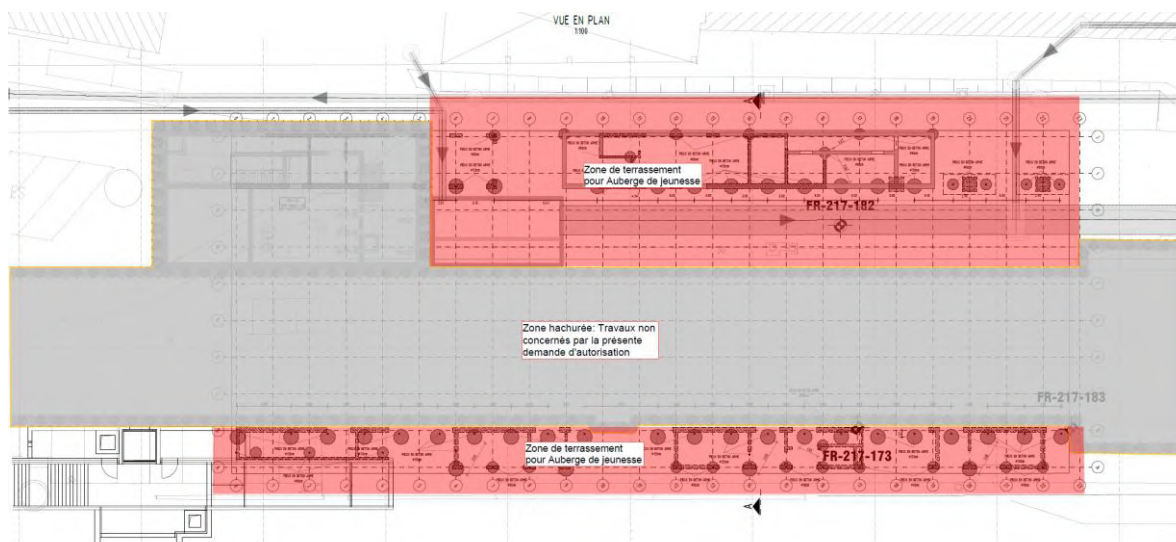


Figure 6. - Vue en plan terrassement / fondations « bâtiment Auberge de jeunesse »

### Nouveau bâtiment « voyageurs »:

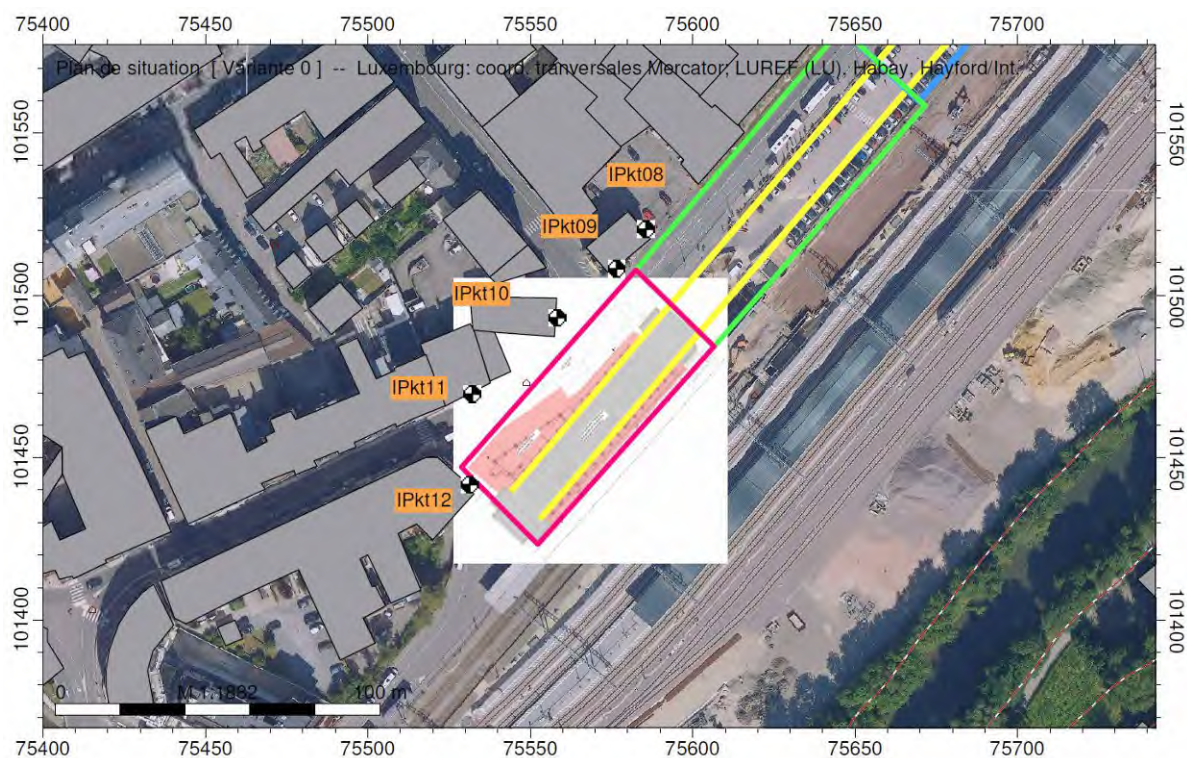


Figure 7. – Plan de situation « bâtiment Voyageurs » et emplacement des points d'immission

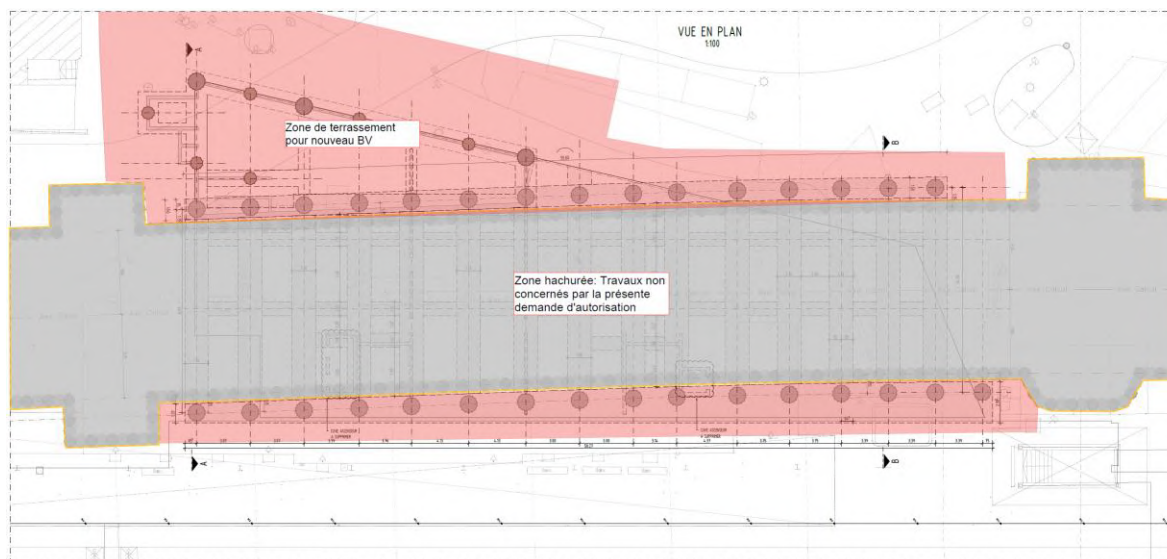


Figure 8. - Vue en plan terrassement / fondations « bâtiment Voyageurs »

## 4.2 Description de la nature de l'habitat

Les établissements en projet seront implantés au niveau de la Place de la Gare L-9044 Ettelbrück et de la Rue Prince Henri L-9047 Ettelbrück. Les parcelles concernées sont référencées par les numéros cadastraux suivants :

Commune	Section	No. Parcelle	Lieudit
Ettelbrück	C d'Ettelbrück	919/5215	Avenue J-F Kennedy
		930/7620	Avenue J-F Kennedy
		930/8488	Avenue J-F Kennedy
		1033/7622	Place de la Gare
		1033/7624	Place de la Gare
		1033/7628	Place de la Gare
		1033/7899	Rue Prince Henri

D'après le Plan d'aménagement Général de la commune d'Ettelbruck (décembre 2021), les travaux se dérouleront dans une « Zone spéciale - chemin de fer » (Zone de « Couloir pour projets routiers »). Des habitations se situent au Nord-Est du projet et les parcelles sont définies en zone d'habitation 1. D'autres habitations et des commerces se situent au Nord et Nord-Ouest du projet. Ces parcelles sont définies en zone mixte urbaine.





Figure 9. – Extrait du PAG de la commune d'Ettelbruck (décembre 2021)




Lors d'une visite effectuée sur le site le 12.09.2022, Luxcontrol S.A. a observé les bâtiments les plus proches du chantier dans lesquels séjournent à quelque titre que ce soit des personnes soit de façon continue, soit à des intervalles réguliers ou rapprochés. Les bâtiments situés dans alentours immédiats du chantier sont des habitations. Dans le cadre de cette étude, des points d'immission pour les études prévisionnelles acoustiques et vibratoires sont proposés.

#### 4.3 Description des points d'immission acoustiques




L'étude prévoit la réalisation des calculs en 12 points d'immission « acoustique » IPkt, entourant la zone des travaux (calculs réalisés en plusieurs hauteurs). Ces points d'immission représentent les façades les plus exposées des bâtiments situés à proximité immédiate du chantier. Ces points d'immission sont présentés dans le tableau ci-dessous et sont indiqués sur les figures aux pages 11 à 13 précédentes.








Point immission Coordonnées LUREF	Type de bâtiment	Localisation	Classement d'après le PAG
<p>IPkt01</p> <p>X : 75770.55 Y : 101732.12</p> <p><math>H_{IPkt01.1} = 4m</math> <math>H_{IPkt02.2} = 7m</math></p>	Maison d'habitation	<p>123, Avenue J-F Kennedy L-9053 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone habitation 1</p> <p>HAB-1</p>
<p>IPkt02</p> <p>X : 75749.48 Y : 101728.20</p> <p><math>H_{IPkt02.1} = 4m</math> <math>H_{IPkt02.2} = 7m</math></p>	Maison d'habitation	<p>119, Avenue J-F Kennedy L-9053 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone habitation 1</p> <p>HAB-1</p>
<p>IPkt03</p> <p>X : 75729.48 Y : 101713.98</p> <p><math>H_{IPkt03.1} = 4m</math> <math>H_{IPkt03.2} = 7m</math></p>	Maison d'habitation	<p>113, Avenue J-F Kennedy L-9053 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone habitation 1</p> <p>HAB-1</p>



<p>IPkt04</p> <p>X : 75702.82 Y : 101701.49</p> <p><math>H_{IPkt04.1} = 4m</math> <math>H_{IPkt04.2} = 7m</math></p>	<p>Maison d'habitation</p>	<p>105, Avenue J-F Kennedy L-9053 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone habitation 1</p> <p>HAB-1</p>
<p>IPkt05</p> <p>X : 75691.86 Y : 101666.01</p> <p><math>H_{IPkt05.1} = 4m</math> <math>H_{IPkt05.2} = 7m</math></p>	<p>Maison d'habitation</p>	<p>100, Avenue J-F Kennedy L-9053 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone habitation 1</p> <p>HAB-1</p>
<p>IPkt06</p> <p>X : 75667.55 Y : 101655.33</p> <p><math>H_{IPkt06.1} = 4m</math> <math>H_{IPkt06.2} = 7m</math></p>	<p>Maison d'habitation</p>	<p>90, Avenue J-F Kennedy L-9053 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone habitation 1</p> <p>HAB-1</p>

<p>IPkt07</p> <p>X : 75649.20 Y : 101648.15</p> <p><math>H_{IPkt07,1} = 4m</math> <math>H_{IPkt07,2} = 7m</math></p>	<p>Maison habitation</p>	<p>88, Avenue J-F Kennedy L-9053 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone habitation 1</p> <p>HAB-1</p>
<p>IPkt08</p> <p>X : 75585.58 Y : 101520.32</p> <p><math>H_{IPkt08,1} = 4 m</math> <math>H_{IPkt08,2} = 7 m</math></p>	<p>Immeuble mixte</p>	<p>2, Rue de la Gare L-9044 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone mixte urbain</p> <p>Mix-u</p>
<p>IPkt09</p> <p>X : 75576.47 Y : 101508.14</p> <p><math>H_{IPkt09,1} = 4m</math> <math>H_{IPkt09,2} = 7m</math></p>	<p>Immeuble mixte</p>	<p>2, Rue de la Gare L-9044 Ettelbruck</p> <p>H=10 m – R+2</p> 	<p>Zone mixte urbain</p> <p>Mix-u</p>




<p>IPkt10</p> <p>X : 75558.24 Y : 101493.09</p> <p><math>H_{IPkt10.1} = 4m</math></p>	<p>Immeuble mixte</p>	<p>1, Rue de la Gare L-9044 Ettelbruck</p> <p>H=7 m – R+1</p> 	<p>Zone mixte urbain</p> <p>Mix-u</p>
<p>IPkt11</p> <p>X : 75532.10 Y : 101469.57</p> <p><math>H_{IPkt11.1} = 4m</math> <math>H_{IPkt11.2} = 7m</math> <math>H_{IPkt11.3} = 10m</math></p>	<p>Immeuble mixte</p>	<p>47, Rue Prince Henri L-9047 Ettelbruck</p> <p>H=13 m – R+3</p> 	<p>Zone mixte urbain</p> <p>Mix-u</p>
<p>IPkt12</p> <p>X : 75531.34 Y : 101441.69</p> <p><math>H_{IPkt12.1} = 4m</math> <math>H_{IPkt12.2} = 7m</math></p>	<p>Immeuble mixte</p>	<p>42, Rue Prince Henri L-9047 Ettelbruck</p> <p>H = 10m, 2 étages</p> 	<p>Zone mixte urbain</p> <p>Mix-u</p>

Tableau 1. – Description de l'environnement des points récepteurs

Vue sur l'usine « Verband » (bâtiments existants situés au Nord du projet) :



Photographie 1 .- Vue sur l'usine « Verband »

**Remarque concernant le projet PAP « Verband » :**

La zone actuellement occupée par les anciens entrepôts de « Verband » fait l'objet d'un projet de PAP appelé « Verband ». Sur base des informations fournies par la commune d'Ettelbruck, le projet d'aménagement dans le cadre du PAP « Verband » (zone adjacente au projet P+R) ne prévoit pas la réalisation de bâtiments accueillant des habitations au niveau de la zone attenante au P+R et de la future Gare. D'après les informations reçues, ce projet est à l'arrêt pour des raisons d'autorisation. Dans le cadre de l'étude d'impact sonore, aucun point d'immission ne sera considéré dans l'éventualité de la présence future de bâtiments mixtes au Nord de la zone de travaux. Si la situation évolue, une mise à jour de l'étude d'impact sera alors possible.



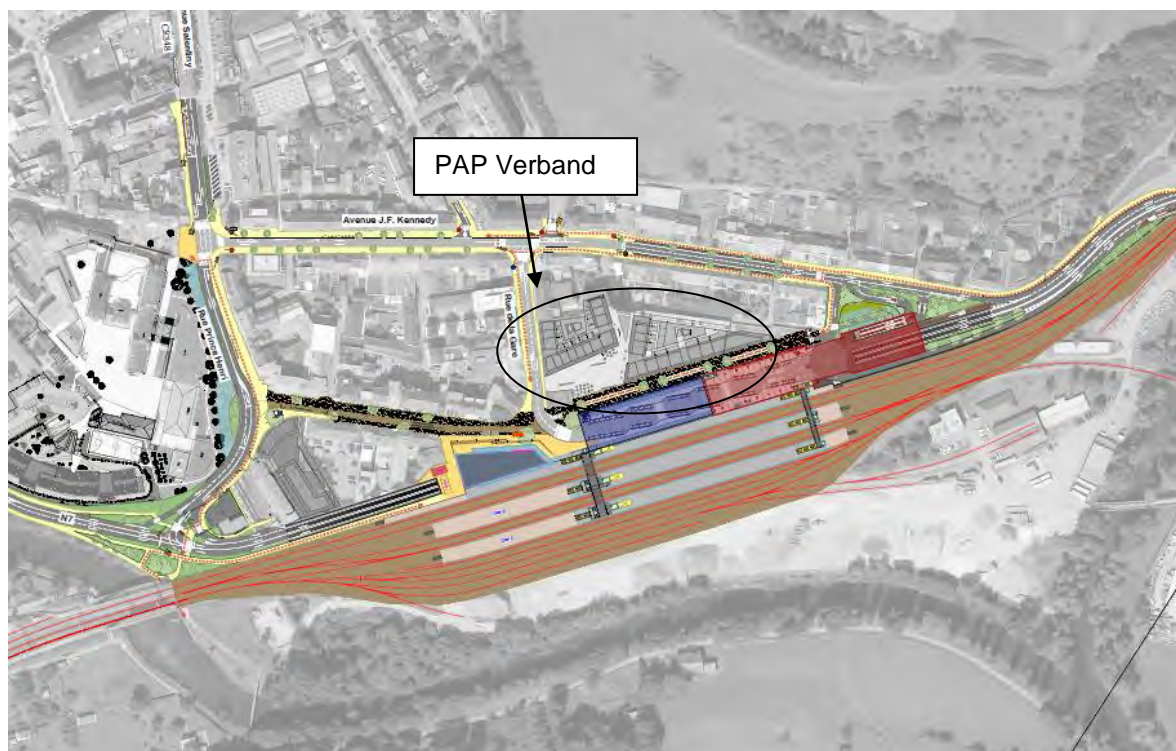


Figure 10.- Situation du projet « Pôle d'échange Multimodal de la gare d'Ettelbruck » et implantation du PAP « Verband »

### Evaluation du bruit de fond :

Les niveaux de bruit de fond existants aux différents points d'immission définis dans cette étude sont générés principalement par l'axe ferroviaire, la gare ferroviaire ainsi que les axes routiers importants de la ville d'Ettelbruck, notamment l'Avenue J-F Kennedy. Afin d'apporter des éléments de comparaison, il convient d'établir une évaluation du niveau de bruit de fond existant au niveau des bâtiments considérés dans les calculs de propagation (points d'immission). Un état des lieux du niveau de bruit de fond existant à chaque point d'immission défini dans cette étude est présenté ci-après (**tableau 2**). Ces niveaux sont extraits des cartographies sonores stratégiques des axes routiers principaux et de l'axe ferroviaire ayant une influence sur les points d'immission les plus exposés. Un état des lieux de la situation acoustique est extrait des cartes stratégiques des infrastructures de transport publiées par le Ministère ayant l'Environnement dans ses attributions (« [www.emwelt.geoportail.lu](http://www.emwelt.geoportail.lu)). L'indicateur "L<sub>DEN</sub>" permet de déterminer le niveau de bruit global pendant une journée (jour, soir et nuit) utilisé pour qualifier la gêne liée à l'exposition au bruit. Il est calculé à partir des indicateurs "L<sub>day</sub>", "L<sub>evening</sub>", "L<sub>night</sub>", niveaux sonores moyennés sur les périodes 6h-18h, 18h-22h et 22h-6h. Une pénalité de +5 dB(A) est appliquée à la période du soir et de +10 dB(A) à celle de la nuit, pour tenir compte de l'aspect sensible de ces périodes.



L'indicateur "L<sub>NIGHT</sub>" permet de déterminer le niveau de bruit global pendant la période nuit (22h-6h). Ces indicateurs permettent d'avoir un avis général de la situation acoustique actuelle de la zone considérée :

Tableau 2		Niveaux sonores en dB(A) – L <sub>DEN</sub> <sup>(1)</sup>					
Indice	Type de trafic	Points d'immission					
		IPkt1	IPkt2	IPkt3	IPkt4	IPkt5	IPkt6
L <sub>DEN</sub>	Routier	65-75	65-70	65-70	70-75	55-65	55-65
	Ferroviaire	--	--	--	--	--	--
Indice	Type de trafic	Points d'immission					
		IPkt7	IPkt8	IPkt9	IPkt10	IPkt11	IPkt12
L <sub>DEN</sub>	Routier	55-65	55-65	65-70	65-70	70-75	65-70
	Ferroviaire	--	<55	<55	55-60	<55	55

Tableau 2.- présentation des niveaux sonores existants issus du trafic aux points d'immission les plus exposés

<sup>(1)</sup> Les valeurs proviennent des cartes stratégiques du bruit des infrastructures de transport (axes routiers et ferroviaires) publiées par l'Administration de l'environnement dans le « Portail de l'Environnement, [www.emwelt.lu](http://www.emwelt.lu) ».

Les cartes stratégiques de bruit sont fournies en **annexe 2**.

A titre indicatif, un poste de comptage du trafic routier (données Ponts & Chaussées) est positionné sur la route nationale N7, sur le prolongement de l'axe routier de l'Avenue J-F Kennedy, non loin du projet à l'Est. Ce poste de comptage est le numéro 716. Le trafic journalier moyen TJM est de 12078 véhicules pendant l'année 2021. D'après le guide pour la réalisation d'étude d'impact sonore environnemental pour les établissements et chantier (décembre 2022), le trafic routier est qualifié de « fort ».

#### 4.4 Points d'immission « vibratoire » VIB

Les points d'immission « vibratoires » VIB, seront placés aux fondations des bâtiments entourant la zone des travaux.





Figure 11.- Implantation des points d'immission - étude vibratoire / « Park & Ride »

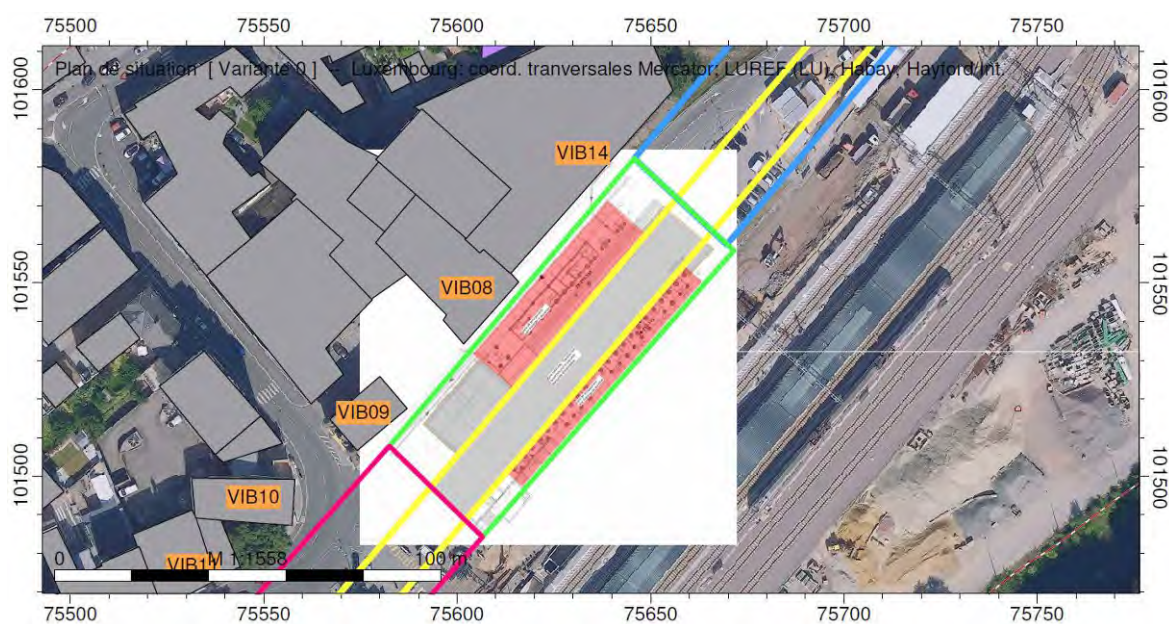


Figure 12. - Implantation des points d'immission - étude vibratoire / « bâtiment Auberge de jeunesse »

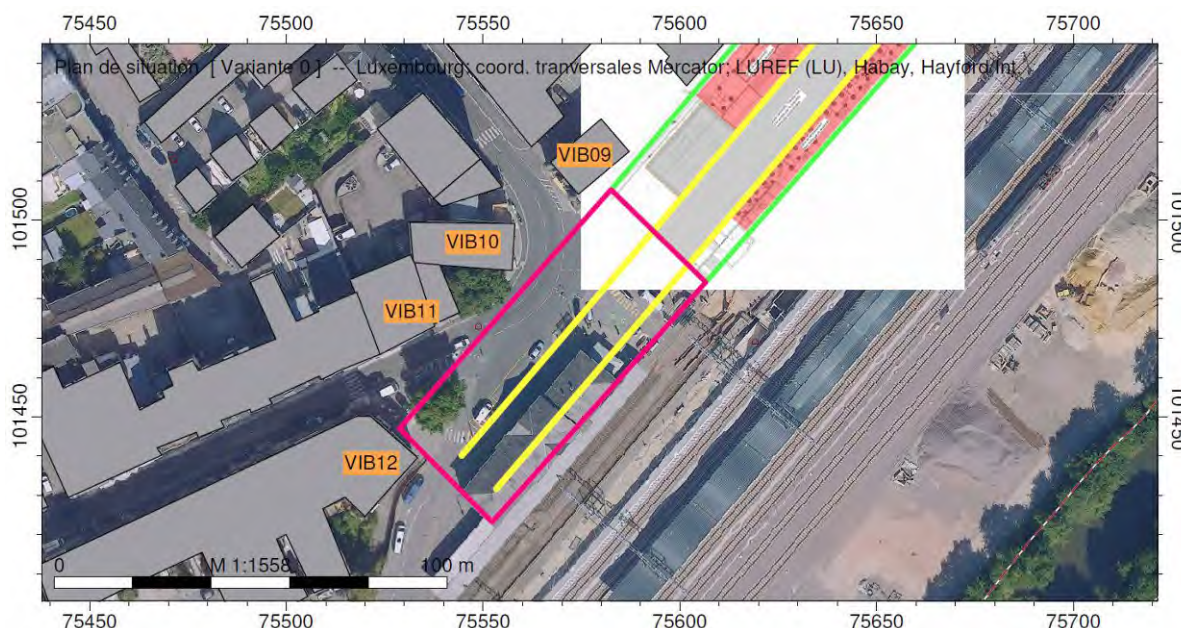


Figure 13.- Implantation des points d'immission - étude vibratoire / « bâtiment Voyageurs »

Le bâtiment correspondant au point VIB13 est un abri de jardin qui n'est pas un local occupé par des personnes de manière prolongée. Les calculs d'impact vibratoire aux points d'immission VIB8 et VIB14 seront donnés à titre indicatif. Ces bâtiments ne sont pas occupés par des personnes de manière prolongée. Pour les points d'immission VIB13, VIB8 et VIB14, la valeur seuil de vitesse vibratoire retenue correspondra à l'intégrité structurelle.

Dans le cadre de cette étude, une analyse de l'impact vibratoire au niveau des voies ferrées sera réalisée. Le but de cette analyse est de s'assurer que les niveaux vibratoires issus du chantier respectent bien les seuils limites permettant l'intégrité et la stabilité des voies (passage de train lors des travaux).



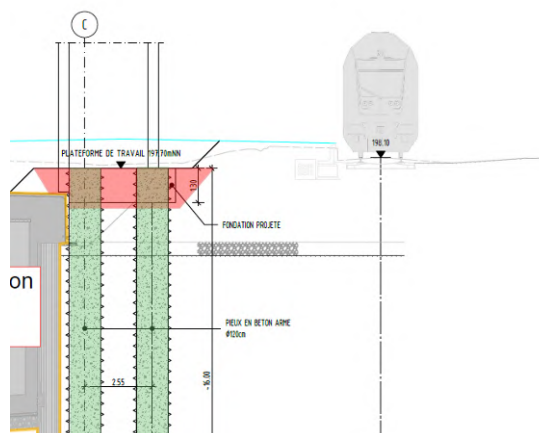


Figure 14. – Coupe de travaux – Vue sur le positionnement des voies par rapport aux forages de puits

## 4.5 Rappel de la réglementation

### Bruit :

Sauf indication contraire, le règlement Grand-ducal du 13 février 1979 concernant le niveau de bruit dans les alentours immédiats des établissements et des chantiers sera d'application. Les propositions d'amélioration qualitatives et quantitatives seront faites sur base de la zone et de la durée du chantier.

D'après l'Art. 3. du Règlement grand-ducal du 13 février 1979, **la nature du milieu d'habitat peut être classée en zone V, « centre ville (entreprises, commerces, bureaux, divertissements), circulation dense ».** La valeur indiquée est de **65 dB(A) $L_{eq,T}$**  en période jour.

### Vibrations :

L'Administration de l'environnement recommande que les vitesses de vibrations ne dépassent pas, pour le confort des personnes, la valeur de **1 mm/s 0 - crête**, valeur indiquée à respecter pour chacune des trois directions x, y, z aux fondations des habitations, des bureaux et autres établissements dans lesquels séjournent des personnes de manière permanente, prolongée ou à intervalle régulier.

Afin de vérifier l'intégrité structurelle des bâtiments, les calculs d'impact vibratoire seront comparés aux niveaux indiqués dans la norme DIN 4150-3, Tabelle 1 / Zeile 2. Cette norme indique un niveau de vitesse



vibratoire de **15 mm/s** à respecter au droit des fondations d'un bâtiment qualifié de « robuste » en béton armé ou en maçonnerie, pour des vibrations dont les fréquences dominantes générées par les engins de chantier sont supérieures à **50Hz**.

Pour les voies ferrées, la Société nationale des chemins de fer luxembourgeois (CFL) préconise le respect des seuils fixés par la SNCF (MOA Directives de Sécurité Ferroviaire SNCF n°IG94589) pour des vibrations non entretenues qui sont présentés dans le tableau 4, ci-après.

		Seuils* de vitesses particulières (en mm/sec) par plages de fréquences (en Hz)				
		f < 5	5 ≤ f < 10	10 ≤ f < 30	30 ≤ f < 100	f > 100
Ouvrages, bâtiments et équipements	État jugé résistant (1)	Utilisation d'engins interdite**	8	12	15	20
	État jugé sensible (2)***		6	9	12	15
	État jugé très sensible (3)****		4	6	9	12
Plateforme et poteau caténaire			8	15	20	30

\* les seuils sont donnés à titre indicatif pour mener les essais préalables, selon des plages de fréquences (f) caractéristiques correspondant à une largeur de spectre réduite à 25% de la fréquence dominante (amplitude maximale du spectre). Les seuils définitifs sont fixés à l'issue de l'étude vibratoire.

\*\* sauf si études spécifiques

\*\*\* en présence d'appareillages électromécaniques, seuils à respecter par défaut d'indications des constructeurs

\*\*\*\* en présence d'appareillages électronique et informatique, seuils à respecter par défaut d'indications des constructeurs

(1) structure ne présentant pas d'avarie particulière

(2) structure à pathologie déclarée

(3) structure sous surveillance particulière

Tableau 3. – Seuils pour vibrations non entretenues (transitoires à impulsions répérées)



## 5. DONNEES GENERALES ET HYPOTHESES DE CALCULS

### 5.1 Planning de l'entreprise générale et accès chantier

Les durées prévisibles des travaux pour les trois bâtiments (bâtiment voyageur, auberge de jeunesse/structure d'accueil, park & rail P&R) peuvent être résumées comme suit :

Durée des travaux pour réalisation des pieux			
Bâtiment voyageur avec complexe administratif :	début oct. 2023	fin déc. 2023	2 mois
Auberge/structure d'accueil :	septembre 2024	novembre 2024	2 mois
P&R :	mi-avril 2025	fin juin 2025	2,5 mois
Total :	6,5 mois		
Durée des travaux d'excavation/terrassement			
Bâtiment voyageur avec complexe administratif :	décembre 2027	février 2028	3 mois
Auberge/structure d'accueil :	avril 2025	juin 2025	3 mois
P&R :	octobre 2025	décembre 2025	3 mois
Total :	9 mois		
Durée des travaux de construction (gros œuvre fermé)			
Bâtiment voyageur avec complexe administratif :	novembre 2027	juin 2029	19 mois
Auberge/structure d'accueil :	avril 2025	ffévrier 2026	21 mois
P&R :	octobre 2025	mai 2027	20 mois
Total :	60 mois		

Tableau 4. – Planning général des travaux

La durée totale du chantier pour les 3 bâtiments sera d'environ : env. 75,5 mois (début oct. 2023 à début 2030 pour l'ensemble des phases). La mise en exploitation des 3 bâtiments est actuellement prévue pour :

- Bâtiment voyageur avec complexe administratif : mars 2030
- Auberge de jeunesse/structure d'accueil : mai 2028
- Park & Ride : fin 2027

Les horaires de travail seront les jours ouvrables du lundi au samedi de 7h00 à 19h00 (en fonction de l'organisation de l'entreprise). Les samedis seront occasionnellement travaillés suivant les nécessités du planning. Il n'y a pas de travaux de nuit prévus.

Les accès aux chantiers de l'auberge de jeunesse et du nouveau bâtiment voyageur se feront par la rue Prince Henri et la rue de la Gare. Les accès aux chantiers du nouveau bâtiment P+R se feront vers le boulevard J.F. Kennedy.



## 5.2 Engins de chantier

---

Pour la réalisation des travaux de stabilisation, de terrassement et d'excavation les engins suivants seront susceptibles d'être utilisés :

- 2 pelles de terrassement + godet (puissance à définir en fonction des résultats de l'étude) ;
- 1 pelle de chargement + godet ou 1 chargeur sur pneus ;
- 2 foreuses de puits + tarière sans percussion (type de foreuse à définir en fonction des résultats de l'étude) ;
- Mouvement(s) de camions-toupie lors des phases de bétonnage ;
- Mouvements de camions 3 à 4 essieux pour l'enlèvement des matières ;

Dans le cadre de cette étude, le nombre d'engins présents simultanément sur le chantier sera établi par phase de travaux, selon une suite logique et chronologique de l'avancement du chantier. Ces engins sont standards en termes de fonctionnement et de puissance mécanique. Ils sont observés sur la plupart des chantiers de terrassement et d'excavation classiques, actuellement en cours au Grand-Duché de Luxembourg. Les procédures de travail ainsi que le type et le nombre approximatif d'engins ne peuvent actuellement être définis plus précisément. Des valeurs typiques de puissances acoustiques seront donc utilisées pour déterminer l'impact sonore et vibratoire du chantier. Les personnes travaillant sur le chantier gareront leur véhicule personnel directement dans la rue (voie publique) (sans incidence sur les résultats).

Le chantier sera réalisé moyennant des engins de chantiers qui respecteront le règlement grand-ducal modifié du 21 décembre 2001 relatif aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments.

## 5.3 Description des techniques et des procédés

---

Pour chacun de ces trois bâtiments, les travaux de chantier comprendront les phases suivantes :

- les travaux préparatoires du terrain (installation de chantier, etc.),
- les travaux de forage des pieux hors roche et dans la roche,
- les travaux de remplissage des pieux,
- les travaux de terrassement hors roche pour la création du fond de fouille nécessaire à la construction des bâtiments.



Dans le cadre des travaux faisant l'objet de cette demande, il sera nécessaire de réaliser un total d'environ 140 pieux, d'un diamètre unitaire variant entre 0,88 m et 1,20 m et dont la profondeur sera d'environ 15 m. Ces pieux serviront de fondations pour les trois bâtiments. Ces travaux de stabilisation se feront en deux phases : Une phase de forage des pieux réalisés moyennant des foreuses de puits équipées de tarière (sans percussion) et une phase de remplissage des pieux moyennant l'emploi de camions toupie et d'une pompe à béton. Des camions circuleront pour enlever les matières excavées (fréquence maximale 1 camion par heure lors des phases de forages). Les travaux de pose des pieux occuperont environ 4 personnes. La pose des pieux pour les trois bâtiments seront exécutés en parallèle à la réalisation de l'ouvrage souterrain pour la N7 (travaux non compris dans le cadre de l'étude d'impact).

Le rendement prévu d'une unité de forage (foreuse de puits) est de 40 mètres linéaires par jour, soit environ 2,5 pieux par jour. Les responsables du chantier ont estimé le planning de chantier en considérant l'emploi de deux foreuses de puits travaillant simultanément. Un chargeur sur pneus sera présent sur site pour permettre l'évacuation des matériaux excavés par les foreuses.

#### **Description des travaux par zone (phases de forages de pieux) :**

##### **PHASE SOUS L'EMPRISE DU BÂTIMENT VOYAGEURS (DÉBUT OCT. 2023)**

- Environ 30 pieux pour le nouveau bâtiment « voyageurs »,
- Profondeur de chaque pieux d'environ 15 m,
- Rendement d'un engin de forage est de 40 m/pieu par jour,
- Engins de chantier : 2 foreuses type Bauer BG-20 (ou eq.) + 1 chargeur sur pneus Liebherr L 514 (ou eq.),
- Volume à enlever: 380 m<sup>3</sup> de terres et 570 m<sup>3</sup> de roche,
- Durée estimée : 2 mois,
- Ces travaux seront réalisés entre début oct. 2023 et fin déc. 2023.

##### **PHASE SOUS L'EMPRISE DU BÂTIMENT AUBERGES DE JEUNESSES (SEPTEMBRE 2024)**

- Environ 65 pieux à réaliser,
- Profondeur de chaque pieux d'environ 15 m,
- Rendement d'un engin de forage est de 40 m/pieu par jour,
- Engins de chantier : 2 foreuses type Bauer BG-20 (ou eq.) + 1 chargeur sur pneus Liebherr L 514 (ou eq.),
- Volume à enlever: 420 m<sup>3</sup> de terres et 500 m<sup>3</sup> de roche,
- Durée estimée : 5 semaines,





- Ces travaux seront réalisés entre septembre 2024 et novembre 2024.

#### **PHASE SOUS L'EMPRISE DU BÂTIMENT P+R (Mi-AVR. 2025)**

- Environ 60 pieux à réaliser,
- Profondeur de chaque pieux d'environ 15 m,
- Rendement d'un engin de forage est de 40 m/pieu par jour,
- Engins de chantier : 2 foreuses type Bauer BG-20 (ou eq.) + 1 chargeur sur pneus Liebherr L 514 (ou eq.),
- Volume à enlever: 800 m<sup>3</sup> de terres et 580 m<sup>3</sup> de roche,
- Durée estimée : 2,5 mois,
- Ces travaux seront réalisés entre mi-avril 2025 et fin juin. 2025.

#### **Description des travaux de terrassement :**

D'après les informations fournies, il est estimé environ 10.800 m<sup>3</sup> de classe 2 à 5 et environ 1.650 m<sup>3</sup> de classe 6-7 (excavation matière issue des forages de puits), à terrasser et seront à priori mises en décharge.

Les terrassements pour les trois bâtiments se feront en majorité hors roche et seront exécutés par des pelles hydrauliques avec des équipements adéquats pour les différentes classes. Le chargement se fera par des pelles hydrauliques sur des camions-benne (capacité de 20 tonnes). Les responsables du chantier ont estimé le planning de chantier en considérant l'emploi de deux pelles hydrauliques de type LIEBHERR 934 C (ou eq) travaillant simultanément. Les travaux de chantier (terrassement) occuperont environ 6 personnes. Le rendement prévu est le remplissage de 5 camions-benne par heure, pendant 8 heures par jour.

Les travaux de terrassement commenceront au niveau bâtiment de l'auberge de jeunesse et se dérouleront entre mars 2025 et mai 2025 (44 jours ouvrables).

Les travaux de terrassement réalisés au niveau du bâtiment P+R, se dérouleront entre octobre 2025 et décembre 2025 (21 jours ouvrables).

Les travaux de terrassement réalisés au niveau du bâtiment « Voyageurs », se dérouleront entre décembre 2027 et février 2028 (50 jours ouvrables).

En fonction des premiers calculs d'impact sonore et vibratoire, des mesures d'ordre conceptuel et organisationnel, seront définies par Luxcontrol S.A. de façon à respecter les niveaux limites en vigueur.



### **Remarques :**

- Pour chaque phase, la liste des engins de chantier travaillant simultanément sera établie. Les phases bruyantes seront définies pour évaluer les situations les plus défavorables en termes de bruit. Elles respecteront une suite logique et chronologique de déroulement de chantier.
- Dans le cadre des calculs de bruit de chantier, les valeurs limites autorisées selon les directives 2000/14/CE [21] et 2005/88/EG [22] (dite "directive Outdoor", transposée au Luxembourg par le règlement grand-ducal modifié du 21 décembre 2001 [23]) ou les niveaux de puissance acoustique issus d'études peuvent être utilisés pour caractériser les émissions sonores des engins et véhicules de chantier. Indépendamment de ces données (c'est-à-dire, en cas d'utilisation de la "directive Outdoor" ainsi que de valeurs de mesure et empiriques), il faut aussi veiller à ce que les niveaux de puissance acoustique considérés dépendent en partie fortement du processus de travail et du matériel travaillé (terre, roche) et qu'ils doivent être adaptés, le cas échéant, aux conditions locales / aux activités prévues (des informations plus précises à ce sujet figurent par exemple, dans [21], annexe III, partie A (générale) et partie B (spécifique aux machines)). Si des mesures spécifiques doivent être mises en œuvre pour limiter l'impact sonore, les données relatives au bruit des engins de chantier concernés doivent être indiquées avec précision.
- Dans le cas où l'entreprise chargée des travaux rencontrerait la présence d'eau souterraine lors des travaux d'excavation de la fouille, un pompage constant des eaux souterraines sera alors peut-être nécessaire. Afin de réduire les nuisances sonores, la pompe utilisée devra avoir un système de déclenchement automatique avec un procédé de « capteur flotteur » qui permet d'évaluer le niveau de l'eau en temps réel. La pompe, placée en fond de fouille, ne fonctionnera qu'en immersion (déclenchement automatique par le capteur flotteur). Dans ce cas précis, les nuisances sonores provenant de cette installation technique peuvent être considérées comme négligeables, même en période nuit (22h-7h). Dans la mesure du possible, cette installation devra être reliée au réseau électrique urbain (tableau électrique de chantier) ou à un groupe électrogène de faible puissance acoustique (avec mise en œuvre d'un capotage important pour réduire les nuisances sonores, notamment en cas de fonctionnement en période nuit).

#### **5.4 Définition des phases de travaux**

En fonction des différentes procédures de travaux, Luxcontrol S.A. a établi un phasage chronologique du déroulement des travaux pour déterminer les phases les plus bruyantes. Elles ont été définies pour évaluer



les situations les plus défavorables en termes de nuisances sonores. Dans le cadre de cette étude, **5 phases « bruyantes » principales** correspondant à l'enchaînement chronologique, ont été définies de la manière suivante :

**Phase 1 :** Forage de pieux / zone bâtiment Voyageurs (10.23 – 12.23)

**Phase 2 :** Forage de pieux / zone bâtiment Auberge de jeunesse (09.24 – 11.24)

**Phase 3 :** Forage de pieux / zone bâtiment Park & Ride (04.25 – 06.25)  
Terrassement / zone bâtiment Auberge de jeunesse (04.25 – 06.25)

**Phase 4 :** Terrassement / zone bâtiment Park & Ride (10.25 – 12.25)

**Phase 5 :** Terrassement / bâtiment Voyageurs (12.27 – 02.28)

## 5.5 Palissade de chantier « acoustique »

Pour définir les meilleures techniques disponibles en matière d'environnement, Luxcontrol SA recommande de mettre en œuvre une palissade en périphérie du chantier afin de réduire au maximum les nuisances sonores. La maîtrise d'œuvre a mentionné le fait, qu'il était difficile de mettre en œuvre des palissades « fixes » pendant toute la durée des travaux et qu'il faudrait permettre à l'entreprise de garder une certaine flexibilité quant aux positionnement des palissades (modification des accès de camions, zones de livraisons, etc...). De ce fait, Luxcontrol SA propose de mettre en œuvre des « bâches acoustiques » sur des barrières « héras » (voir photographie ci-dessous) :



Ce type de palissade a une **hauteur relative de 2,0 m** (voir emplacement considéré dans le phasage travaux par des tracés marrons sur les figures aux pages suivantes) et une valeur d'isolation globale est de  $R'_w = 25\text{dB}$ .



## 5.6 Données sonores à l'émission

Le bureau d'étude a fourni à Luxcontrol SA un descriptif des méthodes employées pour les travaux de forages de puits et de terrassement, en indiquant notamment le nombre d'engins ainsi que leur référence, de sorte à respecter un planning établi pour chacune des 3 zones de travaux. En considérant les conditions de travaux établies par le bureau d'étude, les résultats des calculs de propagation, pour certaines phases de travaux, indiquent des dépassements de la valeur qu'il est recommandé de ne pas dépasser de 65 dB(A)  $L_{eq}$  à différents points d'immission.

Dans le cadre de ce projet, pour certaines phases de travaux, deux variantes de calculs sont proposées pour chacune des phases de travaux :

**Variante 1 :** conditions de travaux établies par le bureau d'étude selon exigence du planning

**Variante 2 :** détermination des conditions de travail (puissance acoustique effective pour l'heure la plus bruyante attribuée à une tâche donnée en fonction de la phase de travaux) visant à atteindre le niveau de bruit recommandé de 65 dB(A)  $L_{eq}$

Les tableaux ci-après présentent les valeurs typiques utilisées pour le calcul de l'impact sonore pour chaque phase définie et pour chaque variante (les puissances sonores apparentes déduites à partir des fréquences d'utilisation).

**Les valeurs et références indiquées en vert dans les tableaux correspondent aux conditions limites permettant de respecter le niveau recommandé de 65 dB(A)  $L_{eq}$ , notamment la puissance acoustique effective par type d'engins de chantier et par période. Pour ces tâches, plusieurs engins sont proposés et analysés.**

L'analyse de Luxcontrol S.A. pour chaque phase de travaux et variante, considèrera deux périodes de référence.

**Période 1 :** Heure la plus bruyante

**Période 2 :** Ensemble de la période de référence en journée (7 à 22 heures, soit 15 heures) → la durée effective de travaux par jour considérée est de 8 heures par jour (8/15h → 53% du temps effectif).



## Phase 1 : Forage de pieux / zone bâtiment Voyageurs (10.23 – 12.23)

**Variante 1** : conditions de travaux établies par le bureau d'étude selon exigence du planning

Les calculs considèrent l'emploi de deux foreuses de type Bauer BG20 (ou eq.), dont la puissance acoustique unitaire est de 111 dBL<sub>WA</sub>, avec une durée effective de travail de 30 min / h et l'emploi d'un chargeur sur pneus de type Liebherr L 514 (ou eq.) dont la puissance acoustique unitaire est de 101 dBL<sub>WA</sub>, avec une durée effective de travail de 30 min / h. Le bétonnage des puits sera réalisé en dehors des périodes de forage.

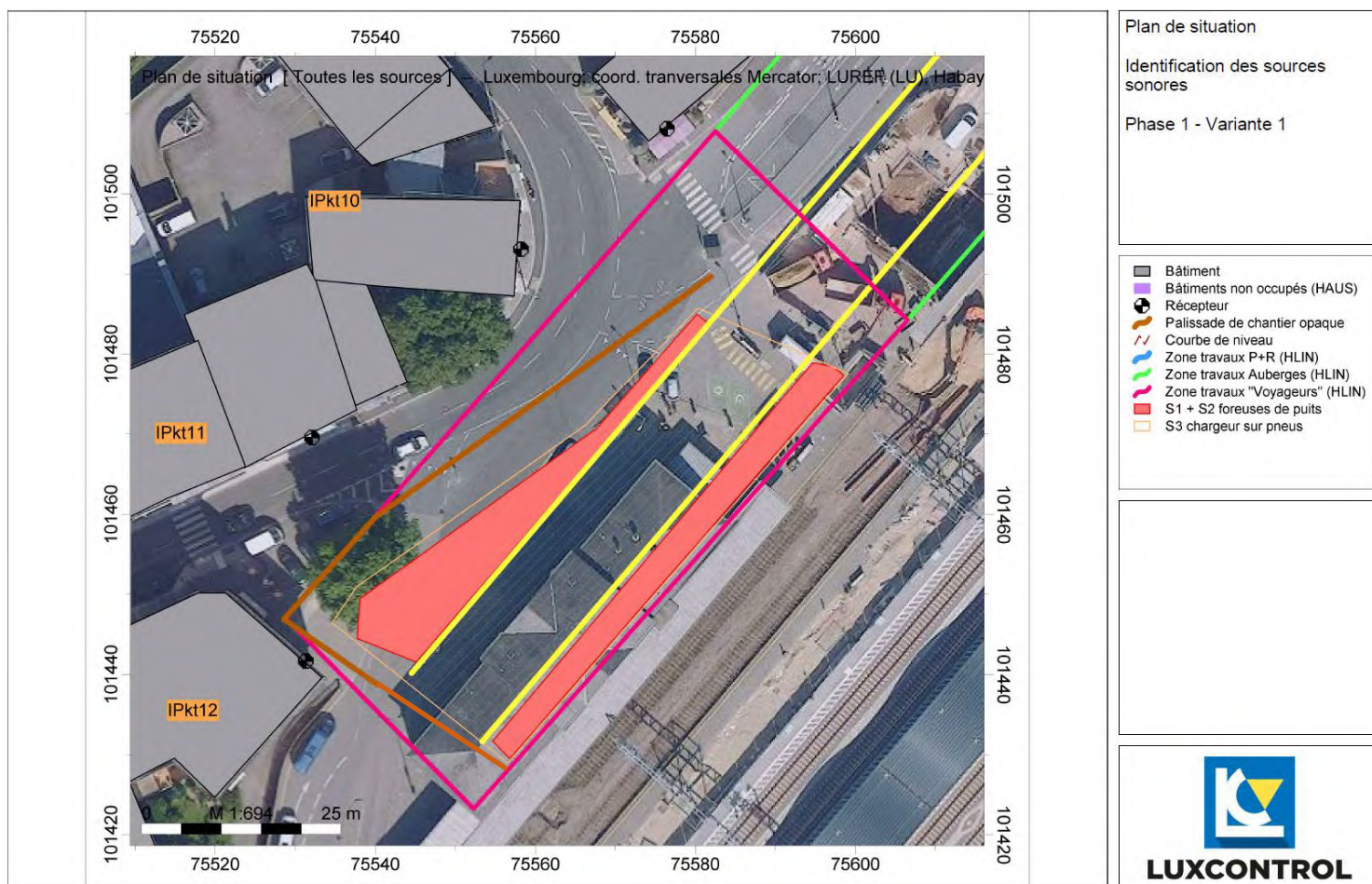


Figure 15.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 1 – variante 1





Phase 1: Forage de pieux / zone bâtiment Voyageurs – Variante 1							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : forage	--	1 foreuse de type Bauer BG20H (ou eq.) + tarière*	111*	30 min /h	108.0	240 min / jour	105.2
S2 : forage	--	1 foreuse de type Bauer BG20H (ou eq.) + tarière*	111*	30 min / h	108.0	240 min / jour	105.2
S3 :chargement	--	1 chargeur sur pneus de type Liebherr L 514 (ou eq.)	101	30 min /h	98.0	240 min / jour	95.2

Tableau 5.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 1 –variante 1

\* à titre d'information, une évaluation supplémentaire a été effectuée en considérant l'emploi d'une foreuse de puits de type Bauer BG24H (ou eq) ( $L_{WA} = 113$  dB(A)), travaillant durant 30 minutes par heure. Les résultats de cette variante sont présentés en remarque page 57.

**Nota :** Il est considéré qu'une foreuse de puits ayant une activité effective de 30 minutes par heure correspond à une activité dite « usuelle » sur base des observations faites sur chantier dans le cadre de monitoring de chantier, par exemple. Cette durée effective de travail vaut également pour un chargeur sur pneus utilisé en appui aux foreuses pour débarrasser la matière (50% du temps). Sur cette base, le temps d'émission d'un engin de chantier sur une **journée de travail de 8h** est de 240 minutes par jour. Le niveau de puissance acoustique effectif pour une journée est donc inférieur que la puissance acoustique apparente ou effective pour le critère de l'heure la plus bruyante.

**Variante 2 :** détermination des conditions de travail (puissance acoustique effective pour l'heure la plus bruyante attribuée à une tâche donnée en fonction de la phase de travaux) visant à atteindre le niveau de bruit recommandé de 65 dB(A) $L_{eq}$

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au point le plus impacté **IPkt12** à condition que les travaux de forages ne soient réalisés que par une seule foreuse de puits. Ainsi, une distinction est faite entre la phase de forage de la zone Ouest et de la zone Est.

#### Travaux de forage de la zone Ouest :

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au point le plus impacté IPkt12 à condition que la puissance acoustique effective attribuée à la foreuse de puits soit inférieure à 99.3

dB(A)Lw". Afin de respecter cette prescription, il convient d'utiliser du matériel de forage dont la puissance acoustique émise ne dépasse pas 105-106 dBL<sub>WA</sub> (de type Bauer BG11h / BG15H (nouvelle génération) ou encore Soilmec STM20 / STM30), pendant **15 minutes par heure**. En complément de la puissance acoustique émise par la foreuse, le respect de la valeur recommandée aux différents points d'immission est conditionné par l'absence d'engin supplémentaire. Pour ceci, l'entreprise chargée des travaux devra s'organiser pour que le bétonnage des puits et les activités du chargeur sur pneus soient réalisés en dehors des périodes de forage afin de limiter les nuisances sonores dans les alentours immédiats du chantier.

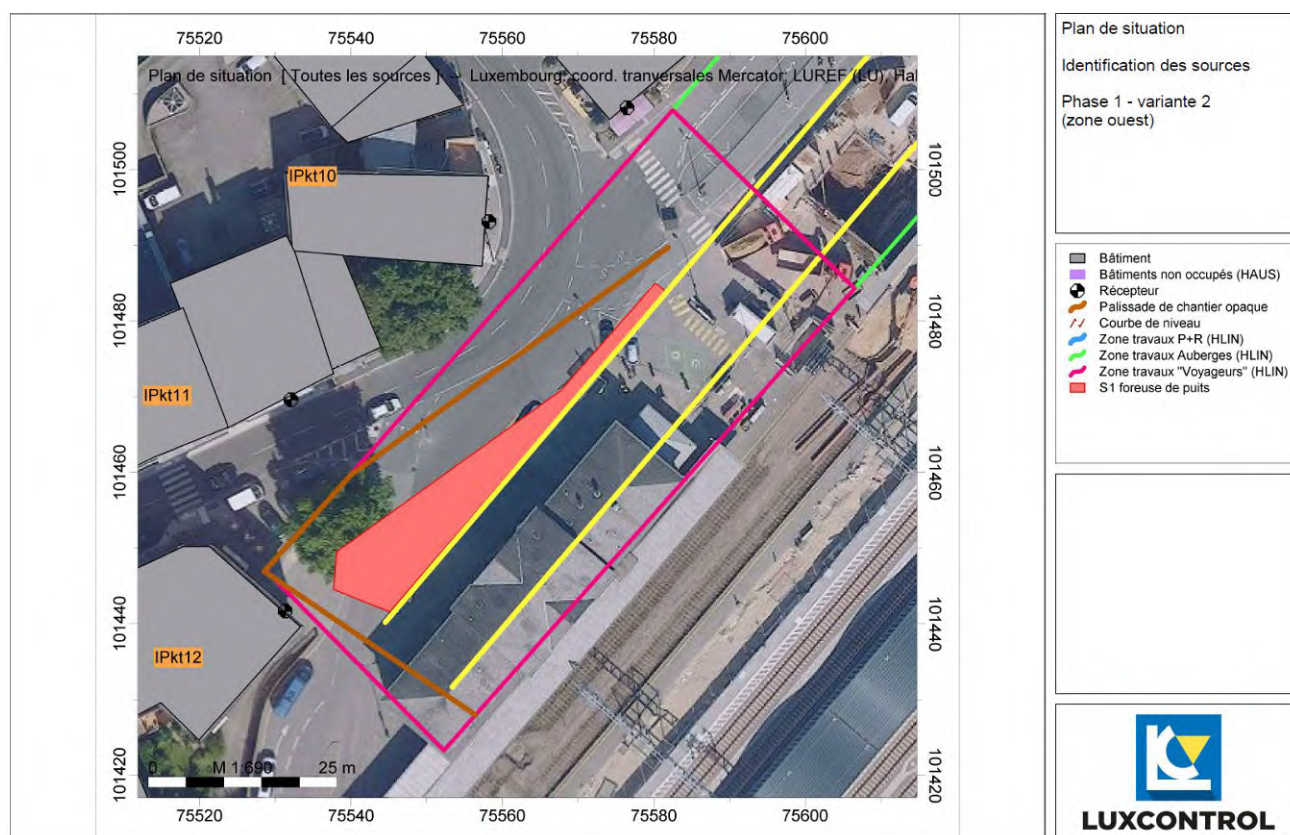


Figure 16.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 1 – variante 2 – zone Ouest



Phase 1: Forage de pieux / zone bâtiment Voyageurs – Variante 2 – zone Ouest							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : forage	V1	1 foreuse de type Bauer BG11H ou 15H (ou équ.) (nouvelle génération avec capotage) + tarière	105	16 min / h	99.3	240 min / jour (30 min/h sur base de 8h)	99.3
	V2	1 foreuse de type Bauer BG20H (ou équ.) + tarière	111	4 min / h		60 min / jour (7-8 min / h)	
	V3	1 foreuse de type Bauer BG24H (ou équ.) + tarière	113	2,5 min / h		37,5 min / jour	

Tableau 6.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 1 – variante 2 – zone Ouest

### Travaux de forage de la zone Est :

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au point le plus impacté IPkt12 à condition que la puissance acoustique effective attribuée à la foreuse de puits soit inférieure à 106.0 dB(A) $L_w$ . Une foreuse dont la puissance acoustique est 105-106 dBL $_{WA}$  (de type Bauer BG11H / BG15H (nouvelle génération) ou encore Soilmec STM20 / STM30), peut travailler sans limite de temps. Si deux foreuses de ce type travaillent simultanément, le temps effectif de travail sera de 38 min/h par unité. Une foreuse dont la puissance acoustique est 111 dB(A) $L_w$  (de type Bauer BG20H (ancienne génération) sera limitée à un temps effectif de travail de 19 min/h. Une foreuse dont la puissance acoustique est 113 dB(A) $L_w$  (de type Bauer BG24H) sera limitée à un temps effectif de travail de 12 min/h. En complément de la puissance acoustique émise par la foreuse, le respect de la valeur recommandée est conditionné par l'absence de cumul des sources de bruit au niveau des points d'immission. Pour ceci, l'entreprise chargée des travaux devra s'organiser pour que le bétonnage des puits et les activités du chargeur sur pneus soient réalisés en dehors des périodes de forage afin de limiter les nuisances sonores dans les alentours immédiats du chantier.

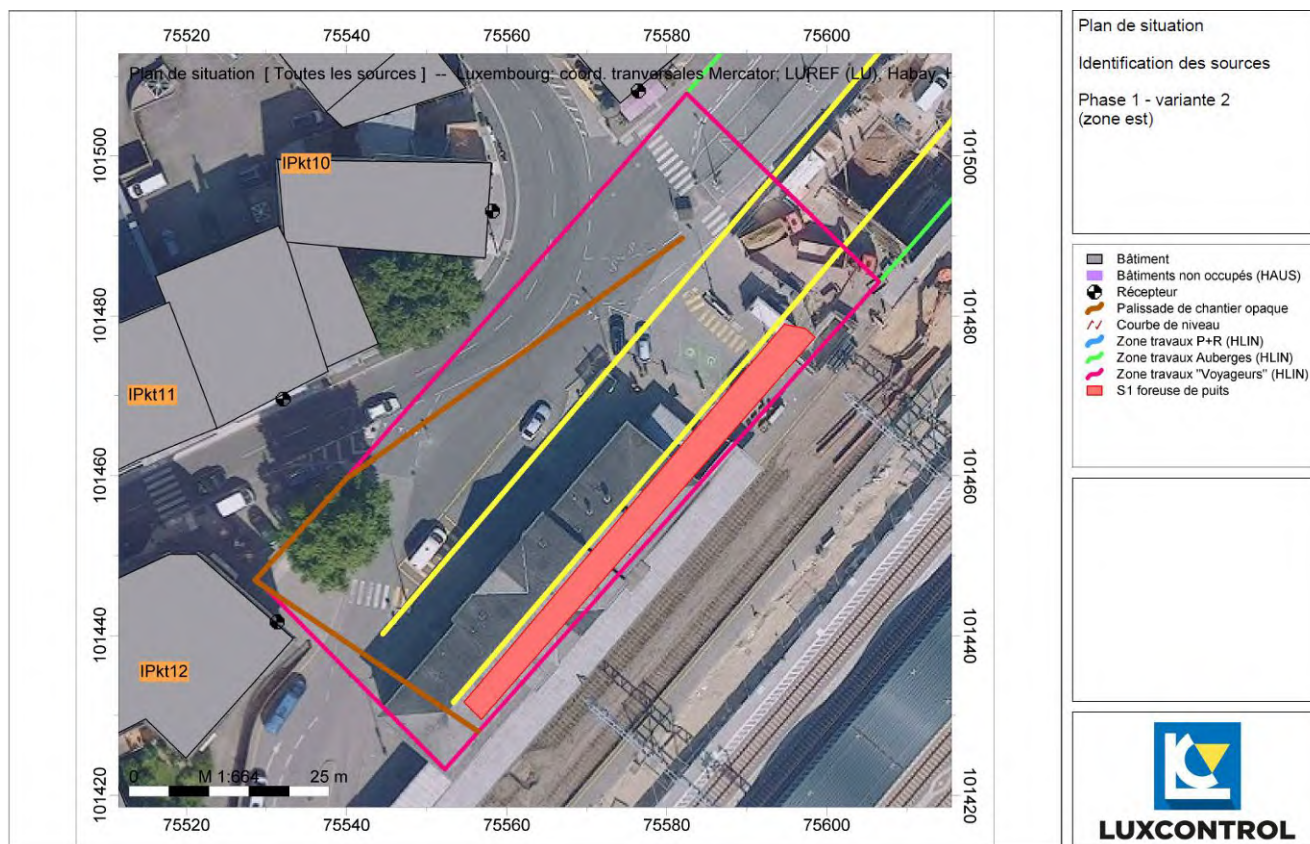


Figure 17.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase – variante 2 – zone Est

Phase 1: Forage de pieux / zone bâtiment Voyageurs – Variante 2 – zone Est							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée de 8h ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : forage	V1	1 foreuse de type Bauer BG11H ou 15H (ou équ.) (nouvelle génération avec capotage) + tarière	105	60 min / h	106.0	480 min* / jour	102.2
	V2	2 foreuses de type Bauer BG11H ou 15H (ou équ.) (nouvelle génération avec capotage) + tarière	108	38 min / h unité		480 min* / jour / unité	105.2
	V3	1 foreuse de type Bauer BG20H (ou équ.) + tarière	111	19 min / h		285 min / jour (35 min / h) sur base de 8h	106.0
	V4	1 foreuse de type Bauer BG24H (ou équ.) + tarière	113	12 min / h		180 min / jour (22.5 min / h)	

Tableau 7.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 1 – variante 2 – zone Est

\*Valeur maximale de temps d'émission effectif sur une journée de travail de 8h – pour rappel une activité usuelle pour une foreuse est de 30 min/h.



## **Phase 2 : Forage de pieux / zone bâtiment Auberge de jeunesse (09.24 – 11.24)**

**Variante 1 uniquement** : conditions de travaux établies par le bureau d'étude selon exigence du planning

Les calculs considèrent l'emploi de deux foreuses de type Bauer BG20 (ou eq.), dont la puissance acoustique unitaire est de 111 dBL<sub>WA</sub>, et l'emploi d'un chargeur sur pneus de type Liebherr L 514 (ou eq.) dont la puissance acoustique unitaire est de 101 dBL<sub>WA</sub>. Le bétonnage des puits sera réalisé en dehors des périodes de forage.

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A)<sub>L<sub>eq</sub></sub> est obtenu au point le plus impacté IPkt08 à condition que la puissance acoustique effective attribuée aux deux foreuses de puits soit inférieure à 107.0 dB(A)<sub>L<sub>w</sub></sub>, par unité. En considérant deux foreuses dont la puissance acoustique est 111 dBL<sub>WA</sub> (de type Bauer BG20H (ou eq.), celles-ci seront limitées à un temps effectif de travail de 24 min/h et par unité. En considérant deux foreuses dont la puissance acoustique est 113 dBL<sub>WA</sub> (de type Bauer BG24H (ou eq.), celles-ci seront limitées à un temps effectif de travail de 15 min/h et par unité.

En considérant deux foreuses dont la puissance acoustique est 105-106 dBL<sub>WA</sub> (de type Bauer BG11h / BG15H (nouvelle génération) ou encore Soilmec STM20 / STM30), celles-ci pourront travailler sans limite de temps. Pour cette phase 2, les activités du chargeur sur pneus pourront être réalisées simultanément aux travaux de forage.

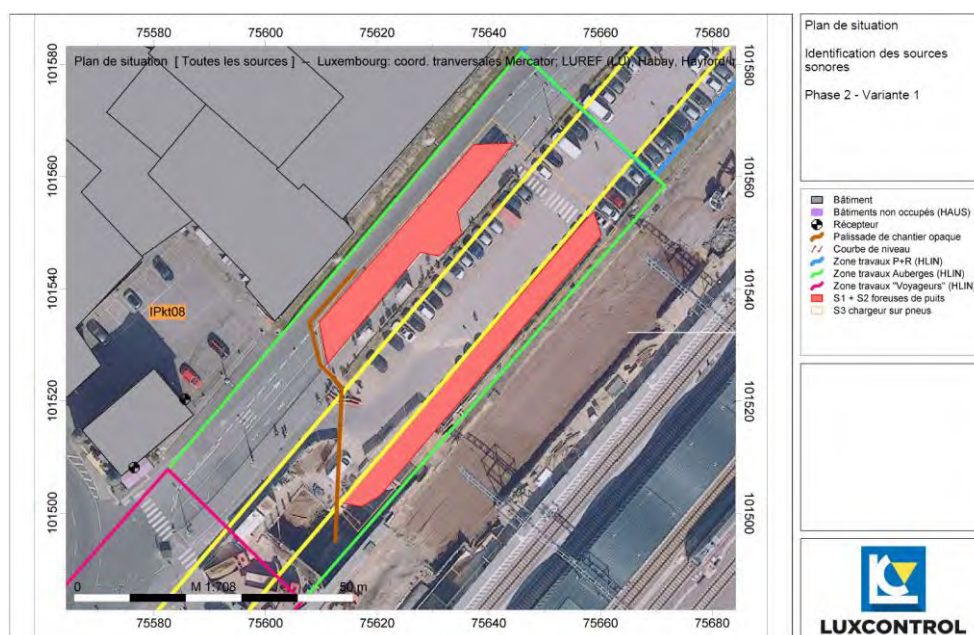


Figure 18.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 2 – variante 1



Phase 2: Forage de pieux / zone bâtiment Auberge de jeunesse - Variante 1							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée de 8h ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : forage	V1	1 foreuse de type Bauer BG11H ou 15H (ou équ.) (nouvelle génération avec capotage) + tarière	105	60 min /h	107.0	480 min / jour	107.0
	V2	1 foreuse de type Bauer BG20H (ou équ.) + tarière	111	24 min /h		360 min / jour (45 min / h)	
	V3	1 foreuse de type Bauer BG24H (ou équ.) + tarière	113	15 min / h		225 min / jour (28 min / h)	
S2 : forage	V1	1 foreuse de type Bauer BG11H ou 15H (ou équ.) (nouvelle génération avec capotage) + tarière	105	60 min /h	107.0	480 min / jour	107.0
	V2	1 foreuse de type Bauer BG20H (ou équ.) + tarière	111	24 min /h		360 min / jour (45 min / h)	
	V3	1 foreuse de type Bauer BG24H (ou équ.) + tarière	113	15 min / h		225 min / jour (28 min / h)	
S3 :chargement	--	1 chargeur sur pneus de type Liebherr L 514 (ou eq.)	101	30 min /h	98.0	240 min / jour	95.2

Tableau 8.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 2 –variante 1

### **Phase 3 : Forage de pieux / zone bâtiment Park & Ride (04.25 – 06.25) et terrassement / zone bâtiment Auberge de jeunesse (04.25 – 06.25)**

**Variante 1 uniquement** : conditions de travaux établies par le bureau d'étude selon exigence du planning

Les calculs considèrent l'emploi de deux foreuses de type Bauer BG20 (ou eq.), dont la puissance acoustique unitaire est de 111 dBL<sub>WA</sub>, et l'emploi d'un chargeur sur pneus de type Liebherr L 514 (ou eq.) dont la puissance acoustique unitaire est de 101 dBL<sub>WA</sub>. Le bétonnage des puits sera réalisé en dehors des périodes de forage. En parallèle au travaux de forages, des travaux de terrassement seront effectués, à l'aide de deux pelles hydraulique de type Liebherr 934C Litronic (ou eq.) dont la puissance acoustique unitaire est de 104 dBL<sub>WA</sub>, au niveau de la zone du futur bâtiment de l'Auberge de jeunesse.

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A)<sub>Leq</sub> est obtenu aux points les plus impactés IPkt05, IPkt08 et IPkt09, à condition que la puissance acoustique effective attribuée aux deux foreuses de puits soit inférieure à 107.0 dB(A)L<sub>w</sub>", par unité. En considérant deux foreuses dont la puissance acoustique est 111 dB<sub>L<sub>WA</sub></sub> (de type Bauer BG20H (ou eq.), celles-ci seront limitées à un temps effectif de travail de 24 min/h et par unité. En considérant deux foreuses dont la puissance acoustique est 113 dB<sub>L<sub>WA</sub></sub> (de type Bauer BG24H (ou eq.), celles-ci seront limitées à un temps effectif de travail de 15 min/h et par unité.

En considérant deux foreuses dont la puissance acoustique est 105-106 dB<sub>L<sub>WA</sub></sub> (de type Bauer BG11h / BG15H (nouvelle génération) ou encore Soilmecc STM20 / STM30), celles-ci pourront travailler sans limite de temps. Pour cette phase 3, les activités du chargeur sur pneus pourront être réalisées simultanément aux travaux de forage.

Concernant les travaux de terrassement, la puissance acoustique effective attribuée aux deux pelles hydrauliques est 102.7 dB(A)L<sub>w</sub>", par unité, ce qui correspond à une activité de 45 min / heure par pelle hydraulique de type Liebherr 934C Litronic (ou eq.). Les calculs tiennent compte d'une fréquence de rotation maximale de 8 mouvements de camions benne par heure pour évacuer les déblais.

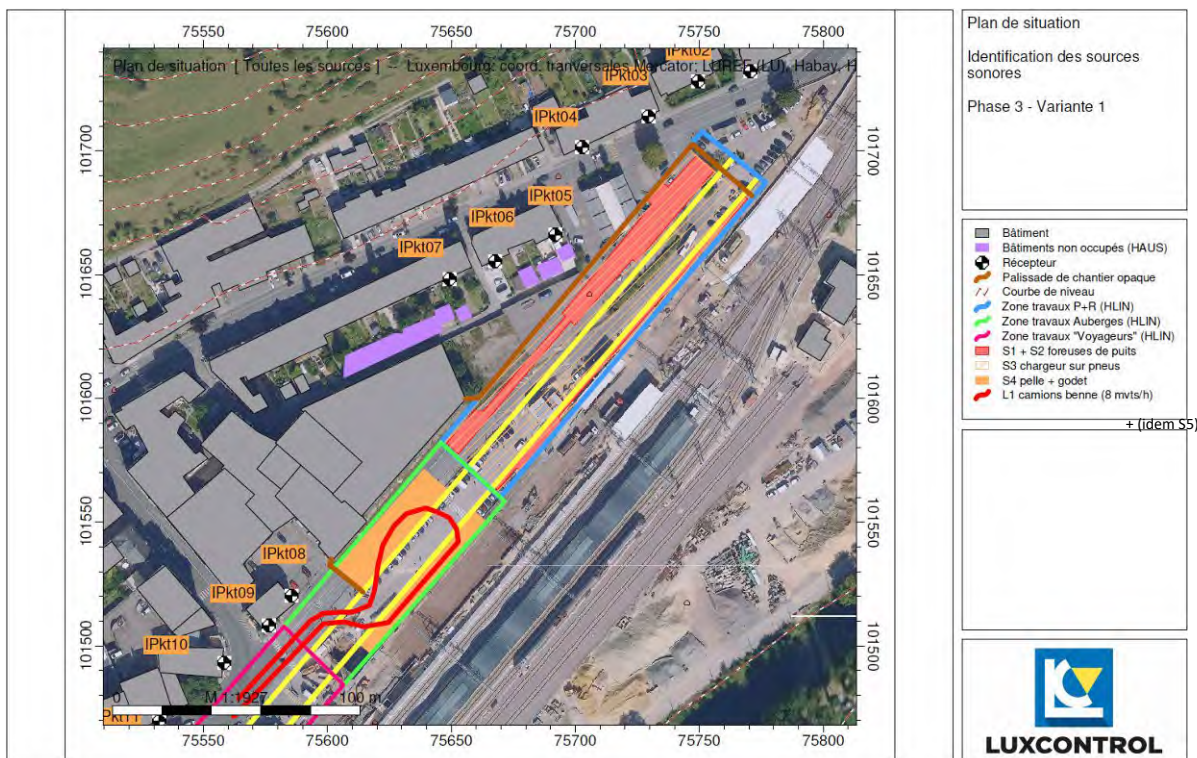


Figure 19.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 3 – variante 1



Phase 3: Forage de pieux / zone bâtiment Park & Ride – Variante 1							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée de 8h ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : forage	V1	1 foreuse de type Bauer BG11H ou 15H (ou équ.) (nouvelle génération avec capotage) + tarière	105	60 min / h	<b>107.0</b>	480 min / jour	<b>107.0</b>
	V2	1 foreuse de type Bauer BG20H (ou équ.) + tarière	111	24 min / h		360 min / jour (45 min / h)	
	V3	1 foreuse de type Bauer BG24H (ou équ.) + tarière	113	15 min / h		225 min / jour (28 min / h)	
S2 : forage	V1	1 foreuse de type Bauer BG11H ou 15H (ou équ.) (nouvelle génération avec capotage) + tarière	105	60 min / h	<b>107.0</b>	480 min / jour	<b>107.0</b>
	V2	1 foreuse de type Bauer BG20H (ou équ.) + tarière	111	24 min / h		360 min / jour (45 min / h)	
	V3	1 foreuse de type Bauer BG24H (ou équ.) + tarière	113	15 min / h		225 min / jour (28 min / h)	
S3 :chargement	--	1 chargeur sur pneus de type Liebherr L 514 (ou eq.)	101	30 min / h	98.0	240 min / jour	95.2
Phase 3: Terrassement / zone bâtiment Auberge de jeunesse – Variante 1							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée de 8h ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S4 : terrassement	--	1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104	45 min / h	<b>102.7</b>	360 min / jour	<b>100.0</b>
S5 : terrassement	--	1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104	45 min / h	<b>102.7</b>	360 min / jour	<b>100.0</b>
L1 :chargement	--	Rotation de camions-benne (8 mvts / h)	104	8 x 1 min / h	<b>95.2</b>	8x 8 min / jour	<b>92.5</b>

Tableau 9.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 3 –variante 1



#### **Phase 4 : Terrassement / zone bâtiment Park & Ride (10.25 – 12.25) – Variante 1**

**Variante 1 uniquement** : conditions de travaux établies par le bureau d'étude selon exigence du planning

Les calculs considèrent l'emploi de deux pelles hydraulique de type Liebherr 934C Litronic (ou eq.) dont la puissance acoustique unitaire est de 104 dBL<sub>WA</sub>, au niveau de la zone du futur bâtiment Park & Ride.

La puissance acoustique effective attribuée aux deux pelles hydrauliques est 102.7 dB(A)Lw'', par unité, ce qui correspond à une activité de 45 min / heure par pelle hydraulique de type Liebherr 934C Litronic (ou eq.) (Temps d'émission effectif dit « usuel » sur base des observations faites sur chantier dans le cadre de monitoring). Les calculs tiennent compte d'une fréquence de rotation maximale de 8 mouvements de camions benne par heure pour évacuer les déblais.

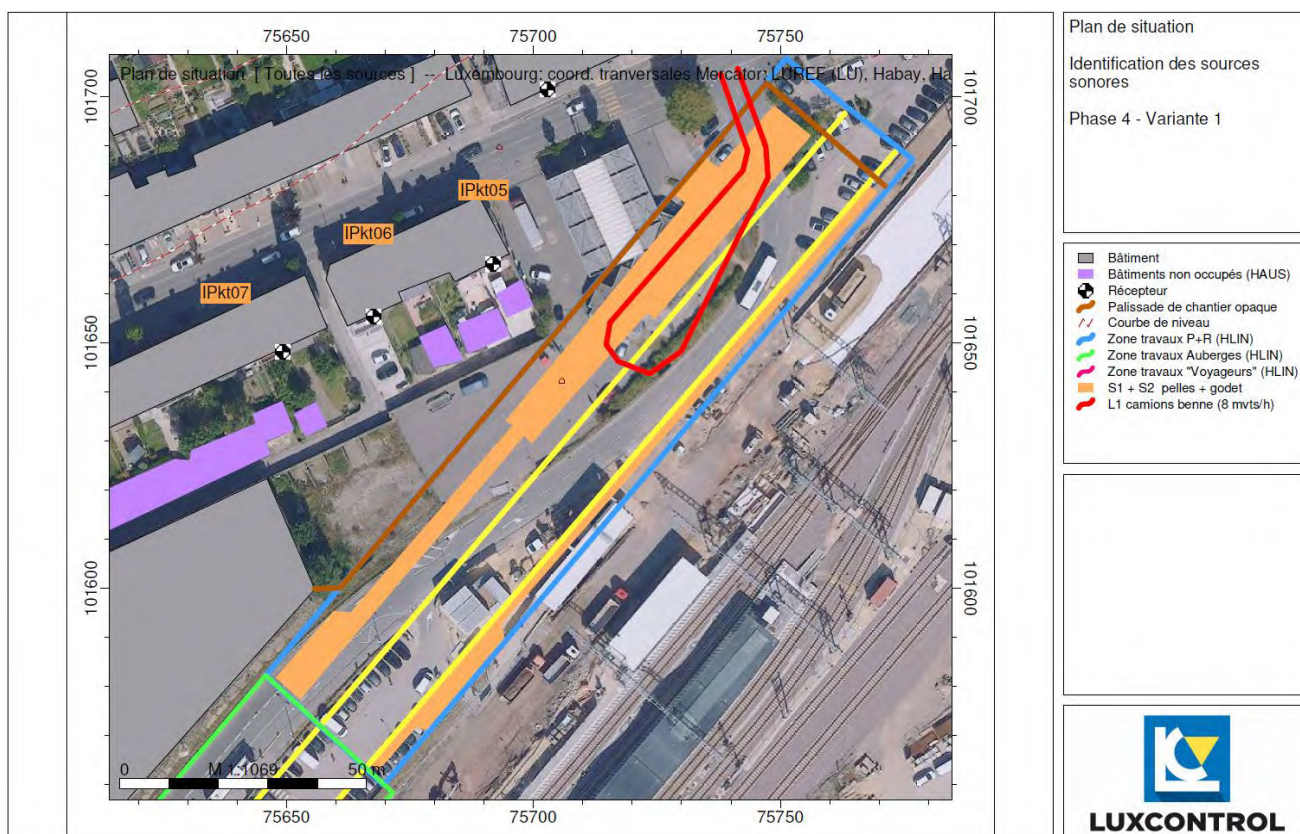


Figure 20.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 4 – variante 1



Phase 4 : Terrassement / zone bâtiment Park & Ride – Variante 1							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée de 8h ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : terrassement	--	1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104	45 min / h	<b>102.7</b>	360 min / jour	<b>100.0</b>
S2 : terrassement	--	1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104	45 min / h	<b>102.7</b>	360 min / jour	<b>100.0</b>
L1 :chargement	--	Rotation de camions-benne (8 mvts / h)	104	8 x 1 min / h	<b>95.2</b>	8x 8 min / jour	<b>92.5</b>

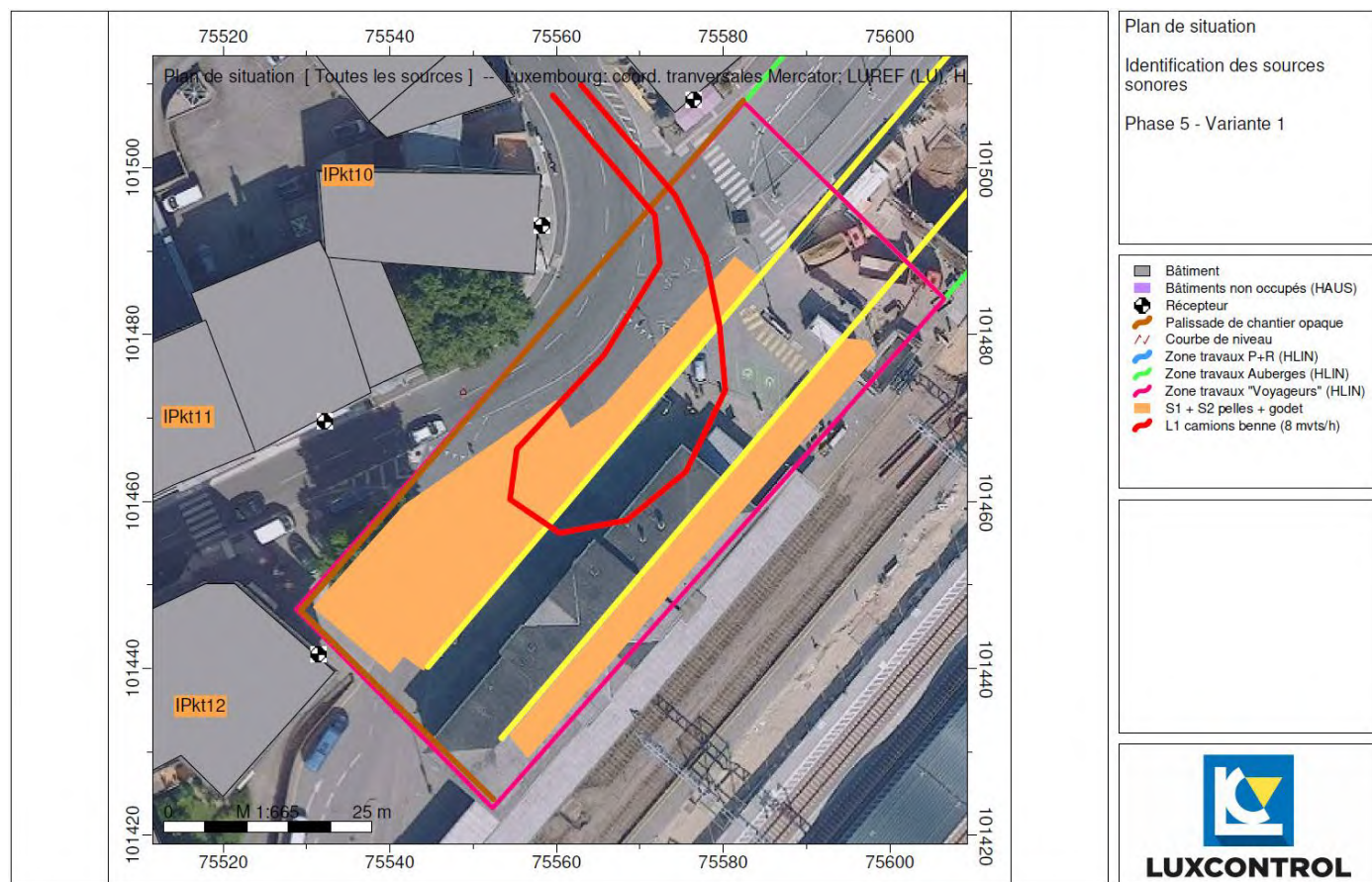
Tableau 10.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 4 –variante 1

## **Phase 5 : Terrassement / bâtiment Voyageurs (12.27 – 02.27)**

**Variante 1** : conditions de travaux établies par le bureau d'étude selon exigence du planning

Les calculs considèrent l'emploi de deux pelles hydraulique de type Liebherr 934C Litronic (ou eq.) dont la puissance acoustique unitaire est de 104 dB $L_{WA}$ , au niveau de la zone du futur bâtiment Voyageurs.

La puissance acoustique effective attribuée aux deux pelles hydrauliques est 102.7 dB(A) $L_w$ , par unité, ce qui correspond à une activité de 45 min / heure par pelle hydraulique de type Liebherr 934C Litronic (ou eq.) (Temps d'émission effectif dit « usuel » sur base des observations faites sur chantier dans le cadre de monitoring). Les calculs tiennent compte d'une fréquence de rotation maximale de 8 mouvements de camions benne par heure pour évacuer les déblais.





Phase 5 : Terrassement / zone bâtiment Park & Ride – Variante 1							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée de 8h ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : terrassement	--	1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104	45 min / h	<b>102.7</b>	360 min / jour	<b>100.0</b>
S2 : terrassement	--	1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104	45 min / h	<b>102.7</b>	360 min / jour	<b>100.0</b>
L1 :chargement	--	Rotation de camions-benne (8 mvts / h)	104	8 x 1 min / h	<b>95.2</b>	8x 8 min / jour	<b>92.5</b>

Tableau 11.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 5 –variante 1

**Nota :** Il est considéré qu'une pelle de terrassement ayant une activité effective de 45 minutes par heure correspond à une activité dite « usuelle » sur base des observations faites sur chantier dans le cadre de monitoring de chantier, par exemple. Le temps de passage d'un camion-benne sur chantier en mouvement est évalué à 1 minute par camion (8 rotations par heure maximum). Le moteur du camion doit être à l'arrêt lors des phases de chargement.

**Variante 2 :** détermination des conditions de travail (puissance acoustique effective pour l'heure la plus bruyante attribuée à une tâche donnée en fonction de la phase de travaux) visant à atteindre le niveau de bruit recommandé de 65 dB(A) $L_{eq}$

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au point le plus impacté **IPkt12** à condition que les travaux de terrassement ne soient réalisés que par une seule pelle de terrassement. Ainsi, une distinction est faite entre la phase de forage de la zone Ouest et de la zone Est.



## Travaux de terrassement de la zone Ouest :

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A)<sub>Leq</sub> est obtenu au point le plus impacté IPkt12 à condition que la puissance acoustique effective attribuée à la pelle hydraulique (zone Ouest) soit inférieure à 98.5 dB(A)L<sub>w</sub>". Afin de respecter cette prescription, par exemple, il convient d'utiliser une pelle hydraulique dont la puissance acoustique émise ne dépasse pas 102 dB<sub>LWA</sub> (de type Liebherr R924 ou éq.), pendant **27 minutes par heure**. Pour cette variante de calculs, le temps de passage d'un camion-benne sur chantier en mouvement est évalué à 1 minute par camion (8 rotations par heure maximum). Les camions ont peu d'influence sur les résultats, cependant il est recommandé que le moteur des camions soit à l'arrêt lors des phases de chargement.

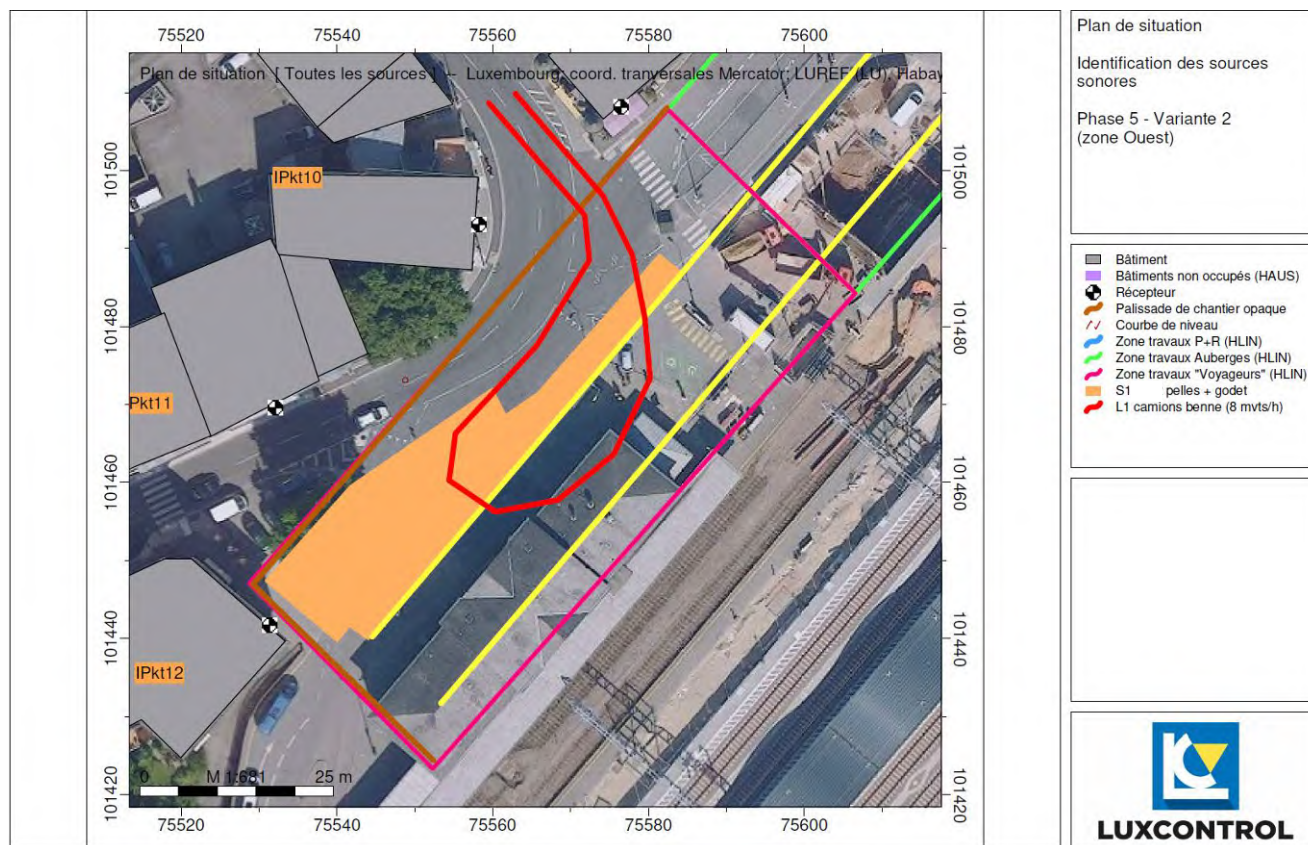


Figure 22.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 5 – variante 2 – zone Ouest



Phase 5 : Terrassement / zone bâtiment Park & Ride - Variante 2 – zone Ouest							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils plusieurs propositions	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée de 8h/15h ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : terrassement	V1	1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104	17 min / h	98.5	255 min / jour (19.5 min/h)	98.5
	V2	1 pelle hydraulique de type Liebherr 924 C Stage V ou eq. + godet	102	34 min / h		480 min / jour (60 min / h)	
	V3	1 pelle hydraulique de type Liebherr 920 C ou eq. + godet	99	55 min / h		480 min (60 min / h)	
	V4	2 pelles hydrauliques de type Liebherr 920 C ou eq. + godet	99 + 3	27.5 min / h / unité		412.5 min / jour / unité (51 min / h)	
L1 :chargement	--	Rotation de camions-benne (8 mvts / h)	104	8 x 1 min / h	95.2	8 x 8 min / jour	92.5

Tableau 12.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 5 –variante 2 – zone Ouest

### Travaux de forage de la zone Est :

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au point le plus impacté IPkt12 à condition que la puissance acoustique effective attribuée à la pelle hydraulique (zone Est) soit inférieure à 105.5 dB(A) $L_w$ ". Afin de respecter cette prescription, il est possible d'utiliser deux pelles hydrauliques dont la puissance acoustique est de 104 dBL $_{WA}$  (de type Liebherr R934 C Litronic ou éq.), travaillant simultanément pendant **42 minutes par heure**. Pour cette variante de calculs, le temps de passage d'un camion-benne sur chantier en mouvement est évalué à 1 minute par camion (8 rotations par heure maximum). Les camions ont peu d'influence sur les résultats, cependant il est recommandé que le moteur des camions soit à l'arrêt lors des phases de chargement.

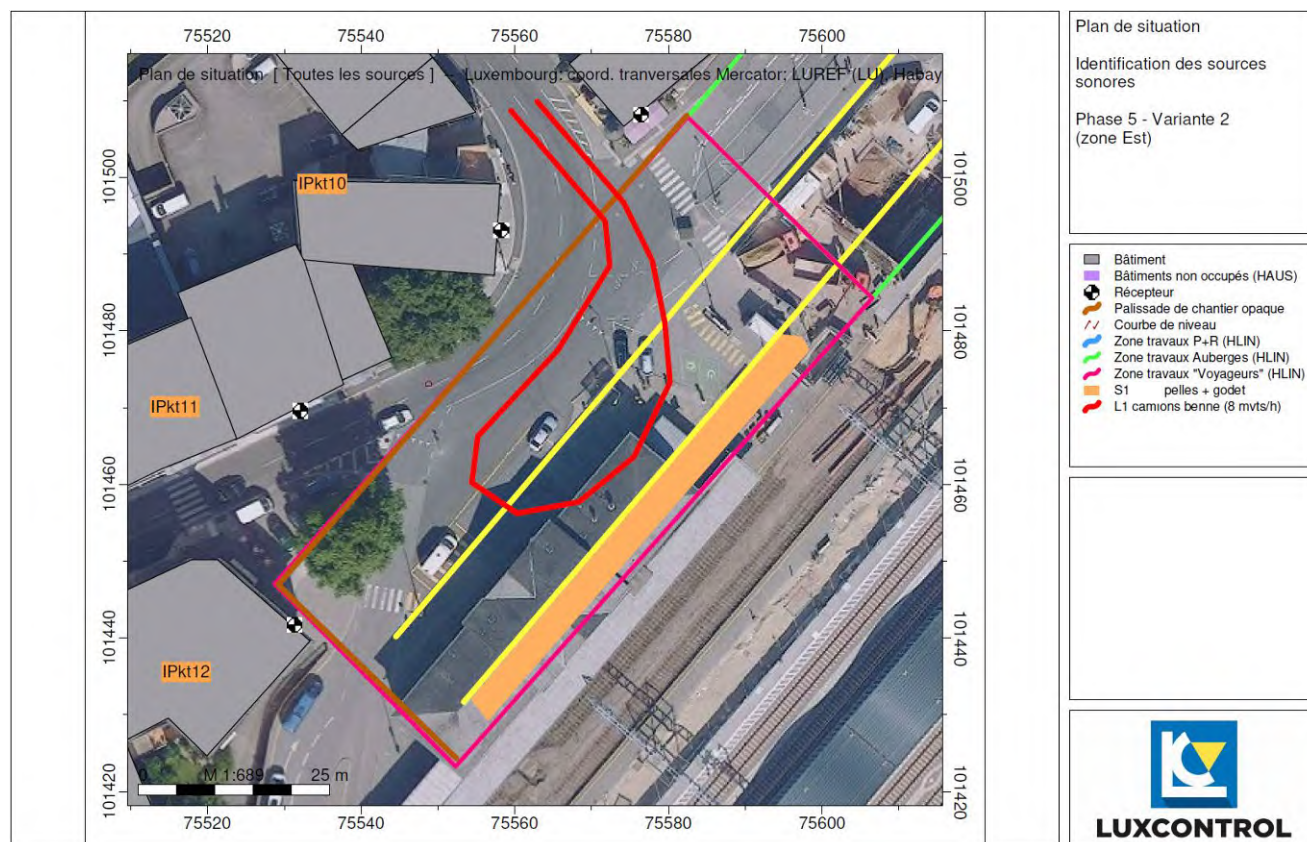


Figure 23.- Plan de situation avec identification des sources sonores – Phase 5 – variante 2 – zone Est

Phase 5 : Terrassement / zone bâtiment Park & Ride Variante 2 – zone Est							
Source	Variantes proposées	Engins / Outils plusieurs propositions	Puissance acoustique $L_{WA}$ en dB(A) (unitaire)	Pour l'heure la plus bruyante ( $L_{eq,1h}$ )		Sur l'ensemble de la journée de 8h/15h ( $L_{eq,15h}$ )	
				Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,1h}$ en dB(A)	Temps d'émission en minutes	Puissance acoustique apparente $L'_{WA,15h}$ en dB(A)
S1 : terrassement	V1	1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104	60 min / h	105.5	480 min / jour (60 min / h)	105.5
	V2	2 pelles hydrauliques de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. + godet	104 + 3	42 min / h (par unité)		480 min / jour (60 min / h)	
L1 : chargement	--	Rotation de camions-benne (8 mvts / h)	104	8 x 1 min / h	95.2	8 x 8 min / jour	92.5

Tableau 13.- données à l'émission (puissances sonores apparentes et fréquences d'utilisation) – Phase 5 – variante 2 – zone Est



### Remarques

- Le temps de passage d'un camion sur chantier avant coupure du moteur, est considéré à 60 secondes en mouvement. **Le moteur du camion doit être à l'arrêt lors des phases de chargement ;**
- Afin d'affiner nos calculs de propagation, cette étude se base sur les niveaux de puissance acoustique de chaque engin par bandes d'octave. Les caractéristiques acoustiques détaillées proviennent d'une base de données interne à Luxcontrol SA. Ces spectres par bandes d'octave sont issus du fonctionnement d'engins considérés comme standard d'un point de vue puissance mécanique, pour ce type de chantier ;

### **5.7 Données vibratoires**

---

De manière formelle, le phénomène de transmission des vibrations peut être découpé en trois étapes :

- **Emission** : la source des vibrations est produite par les procédés de forages qui résultent d'un transfert d'énergie lors du contact entre l'outil de travail et le sol, les vibrations sont classées en deux catégories relativement à la gêne qu'elles peuvent engendrées ; les ondes continues et les ondes intermittentes.
- **Propagation** : les ondes de vibrations se propagent dans le sol, donnant lieu à une atténuation globale de l'amplitude, c'est-à-dire une diminution de l'amplitude vibratoire avec la distance (mais aussi possiblement à des amplifications locales de type phénomènes d'interférence, d'appropriation spatiale, ...). Pour ce projet, il sera considéré que le milieu de propagation des vibrations est homogène sur l'ensemble du chantier et correspond aux données établies dans l'étude géotechnique.
- **Réception** : les ondes atteignent les bâtiments et interagissent avec le comportement dynamique du bâtiment. Le bâtiment procure une atténuation des vibrations, liée à sa masse et sa rigidité. Dans le cadre de l'étude d'impact vibratoire, les niveaux de vitesse vibratoire particulière sont pronostiqués aux fondations des bâtiments et il est recommandé que les valeurs définies précédemment (paragraphe 4.5) soient respectées.





### Données à l'émission :

La méthode de calculs proposée par la Norme DIN4150, pour déterminer l'impact vibratoire issu des chantiers est la méthode des vitesses relatives. Cette méthode s'appuie sur des mesures vibratoires réalisées in-situ. En effet, des mesures vibratoires ont été réalisées sur chantier ces dernières années et ont permis de déterminer l'amplitude maximale, les fréquences caractéristiques de différents procédés de forages dans un environnement connu (caractéristique du sol, distance entre la source vibratoire et capteur de mesure, ...).

Pour le calcul de l'impact vibratoire, les engins de chantier sont considérés individuellement; il n'y a pas de sommation des impacts des différentes sources de vibrations. Pour cette raison, les calculs ont été réalisés avec l'engin générant les vibrations d'amplitudes les plus fortes. Le calcul sera fait pour les cas critiques, à savoir les forages de puits (tarière, sans percussion). Le tableau 14 suivant indique les valeurs de la gamme d'émission de vibration et leur fréquence dominante pour les engins utilisés lors des travaux :

Tableau 14		Valeurs de la gamme d'émission de vibration et leur fréquence pour les engins utilisés lors des travaux de stabilisation			
Engins et équipements	Distance de référence en m	Vitesse Vibratoire en mm/s		Fréquence en Hz	
		Roche faiblement cohésive	Roche compacte	Roche faiblement cohésive	Roche compacte
Foreuse de puits tarière (diamètre 60-80cm)	4m	0.3 - 0.7	1.5 - 2.0	>30	60 - 120

Tableau 14. - Valeurs de la gamme d'émission de vibration et leur fréquence pour les engins utilisés lors des travaux de stabilisation et de terrassement

Les valeurs retenues sont présentées sur les fiches de calculs en **annexe 4**.

### Remarques :

- Les valeurs indiquées ci-dessus sont basées sur des utilisations « usuelles » des machines. Les conditions de travail excessives (grippages, frictions) et autres sont à proscrire car elles engendreraient des vitesses vibratoires supérieures à celles indiquées ci-dessus. Ces cas peuvent notamment être évités par une maintenance régulière des engins de chantier.

Selon la norme DIN 4150, les sources vibratoires sont à classer en fonction de la géométrie du point d'entrée des vibrations (source ponctuelle ou linéique), de la nature des vibrations (source stationnaire ou



impulsive) et du type d'onde considéré (onde surface ou onde de volume), afin de définir le facteur correctif  $n$ .

Le tableau 15 suivant indique les valeurs du facteur correctif  $n$  à considérer en fonction des sources vibratoires :

Valeurs du facteur correctif $n$ à considérer en fonction des sources vibratoires				
Type de source	Onde de surface (O)		Onde de volume (R)	
	Harmonique (HS)	Impulsif (I)	Harmonique (HS)	Impulsif (I)
Ponctuelle (PQ)	0.5	1	1	1.5
Linéique (LQ)	0	0.5	0.5	1

Tableau 15. - Valeur du facteur correctif  $n$  à considérer en fonction des sources vibratoires

- L'interaction entre l'outil rotatif de type tarière (sans percussion) et la roche, lors des travaux de forages de puits, est considérée comme une source vibratoire ponctuelle (PQ) générant des vibrations de type harmonique stationnaire (HS).

### **Chemin de propagation :**

L'atténuation de l'énergie vibratoire dans le sol se fait par une perte de l'énergie en chaleur (amortissement matériel ; frottement des granules au niveau particulaire). D'une manière générale, plus on s'éloigne de la source, plus la surface de ce front d'onde augmente et plus l'énergie se dilue par rapport à cette surface grandissante et moins il y a de l'énergie pour mettre en mouvement les particules du sol (atténuation géométrique). Pour ce projet, il sera considéré que le milieu de propagation des vibrations est homogène sur l'ensemble du chantier et correspond données établies dans l'étude géotechnique.

Des valeurs typiques seront utilisées pour le calcul pronostique. Ces valeurs typiques proviennent de l'ouvrage « Traitement du signal pour géologue et géophysiciens » par J.L. Mari, F. Coppens, F. Glangeaud 1997 Editions TECHNIP Publications de l'institut français du pétrole et de l'ouvrage « Géophysique de gisement et de génie civil » par J.L. Mari, G. Arens, D. Chapellier, P. Gaudiani 1998 Editions TECHNIP Publications de l'institut français du pétrole.



	<b>Rfc</b>	<b>Rc</b>
Amortissement typique	0.125	0.006
Vitesse de propagation	300 - 1500	1500 - 4500

Tableau 16. - Valeurs typiques

Rfc : Roche friable de classe 3 à 6.

Rc : Roche compacte de classe 7.

Les distances les plus courtes entre les différentes sources de vibrations (impact entre outil de forage et la roche) et les fondations des bâtiments ou structures mitoyennes sont résumées dans le tableau 17 suivant :

	<b>Distance source / fondations en (m)</b>
	Forages de puits + tarière
VIB1	40.4 m
VIB2	29.0 m
VIB3	26.0 m
VIB4	33.4 m
VIB5	21.3 m
VIB6	31.2 m
VIB7	42.6 m
VIB8	6.4 m
VIB9	23.3 m
VIB10	19.7 m
VIB11	20.5 m
VIB12	7.3 m
VIB13	12.5 m
VIB14	13.5 m

Tableau 17. - Distances les plus courtes entre source de vibrations et fondations

### Réception aux fondations :

Les bâtiments entourant la zone d'excavation sont des constructions relativement récentes, et composés de nombreux niveaux hors-sols, avec un niveau de sous-sol. Un calcul de fréquences propres a été réalisé de 1 à 6 étages ayant une hauteur moyenne de 3.3m. Les fréquences propres des bâtiments sont déterminées d'après la norme ISO 4866 AMD1 et la norme DIN 4150.

<b>Bâtiment</b>	<b>H en m</b>	<b>DIN 4150</b>	<b>ISO 4866-1</b>		
		<b>f horizontal</b>	<b>f translation</b>	<b>f orthogonal</b>	<b>f torsion</b>
Maison habitation 1 étage	3,3	10,0	13,9	17,6	21,8
Maison habitation 2 étages	6,6	5,0	7,0	8,8	10,9
Maison habitation 3 étages	9,9	3,3	4,6	5,9	7,3
Maison habitation 4 étages	13,2	2,5	3,5	4,4	5,5
Résidence 5 étages	16,5	2,0	2,8	3,5	4,4
Résidence 6 étages	19,8	1,7	2,3	2,9	3,6

Tableau 18. - Calculs des fréquences propres en Hertz en fonction de la hauteur du bâtiment



Des phénomènes d'amplifications modales dues à des résonnances de plancher et de paroi sont très peu probables pour ce chantier. En effet, les fréquences propres des bâtiments entourant le chantier sont situés entre 3.0 et 11.0 Hz. Les équipements de chantier utilisés génèrent généralement des vibrations à des fréquences supérieures à 50Hz, voire bien au-delà ; cela réduit considérablement le risque que les bâtiments avoisinants du chantier entrent en résonnance.

Le bâtiment procure une atténuation des vibrations, liée à sa masse et sa rigidité. Dans le cadre de l'étude d'impact vibratoire, les niveaux de vitesse vibratoire particulière sont pronostiqués aux fondations des bâtiments et il est recommandé que les valeurs définies précédemment (paragraphe 4.5) soient respectées.





## 6. CALCULS PRONOSTIQUES

### 6.1 Calcul de l'impact sonore et résultats

Pour l'évaluation des nuisances sonores au niveau du voisinage, deux situations sont examinées :

- Nuisance équivalente : Dans cette situation, on considère le niveau sonore équivalent à la période de travail pendant l'heure la plus bruyante. Ce niveau sonore équivalent sera appelé  $L_{Aeq,1h}$ .
- Niveau maximum : Dans cette situation, on ne considère pas le chantier dans sa globalité, ni une durée, mais l'instant le plus bruyant. Ce niveau sonore maximal équivalent sera appelé  $L_{eq,max}$ . Ce niveau  $L_{eq,max}$  est atteint quand les engins de chantier sont concentrés au plus proche de chaque point d'immission.

A partir des valeurs à l'émission, les niveaux sonores à la réception sont calculés grâce aux lois physiques de propagation du son définies par la norme ISO 9613. Pour le calcul de propagation, une correction météorologique est de rigueur. Pour tenir compte de la situation où le vent souffle vers les points d'immission, on pose une correction météorologique de  $C_{met} = 0$ . Afin de considérer des paramètres de calcul défavorables, nous avons considéré le sol comme étant réfléchissant ( $G=0.0$ ). Les tableaux de calculs y sont documentés en **annexe 4**, ainsi que les explications des abréviations utilisées dans ces tableaux.

Le **tableau n°14** suivant indique, pour chaque phase, les niveaux sonores équivalents  $L_{eq,1h}$  en dB(A) et les niveaux maximaux pronostiqués  $L_{eq,max}$  en dB(A) à l'immission.



Point d'immission	Phase 1 v1		Phase 1 v2.1		Phase 1 v2.2		Phase 2		Phase 3		Phase 4		Phase 5 v1		Phase 5 v2.1		Phase 5 v2.2	
	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>	L <sub>eq,1h</sub>	L <sub>eq,max</sub>
IPkt01.1, h=4m	50.9	54	38.5	41	46.1	49	55.0	58	58.1	66	52.8	59	44.2	47	38.3	41	43.8	47
IPkt01.2, h=7m	50.6	54	38.0	41	45.9	49	54.0	57	60.6	69	55.0	61	46.6	50	40.7	44	46.1	49
IPkt02.1, h=4m	51.1	54	38.4	41	46.7	50	55.3	58	59.2	67	55.0	61	44.1	47	38.4	41	43.4	46
IPkt02.2, h=7m	50.9	54	38.1	41	46.6	50	54.5	57	61.6	70	57.0	63	45.8	49	38.9	42	46.3	49
IPkt03.1, h=4m	50.9	54	36.1	39	47.4	50	55.1	58	60.4	68	56.9	63	44.0	47	37.6	41	43.9	47
IPkt03.2, h=7m	50.8	54	36.2	39	47.3	50	55.3	58	63.3	71	58.8	65	45.6	49	37.7	41	46.8	50
IPkt04.1, h=4m	42.7	46	25.6	29	39.7	43	45.6	49	58.9	67	53.7	60	36.4	39	27.0	30	38.2	41
IPkt04.2, h=7m	43.8	47	26.3	29	41.0	44	46.7	50	60.5	69	55.3	61	38.7	42	28.4	31	40.7	44
IPkt05.1, h=4m	51.7	55	34.0	37	48.9	52	57.4	61	61.7	70	55.0	61	45.0	48	36.2	39	46.5	50
IPkt05.2, h=7m	51.6	55	35.0	38	48.6	52	58.0	62	65.1	73	58.9	65	46.4	49	37.2	40	48.1	51
IPkt06.1, h=4m	45.9	49	28.1	31	43.1	46	55.1	58	59.7	68	52.9	59	40.0	43	30.0	33	42.0	45
IPkt06.2, h=7m	48.3	51	28.0	31	45.8	49	56.2	59	61.7	70	55.2	61	42.6	46	30.9	34	45.0	48
IPkt07.1, h=4m	41.9	45	27.0	30	38.4	41	48.7	52	58.1	64	51.3	56	36.2	39	27.9	31	37.4	40
IPkt07.2, h=7m	44.6	48	27.1	30	41.8	45	53.4	56	59.4	65	52.6	58	38.8	42	28.0	31	40.8	44
IPkt08.1, h=4m	52.7	58	34.2	39	49.9	55	63.2	71	62.8	71	46.7	50	48.5	53	41.2	46	49.6	55
IPkt08.2, h=7m	53.4	58	36.9	42	50.3	55	65.2	73	64.4	72	49.7	53	48.5	53	41.4	46	49.6	55
IPkt09.1, h=4m	65.6	74	51.3	59	61.9	70	60.1	68	62.6	71	46.5	49	63.7	70	60.3	66	64.0	70
IPkt09.2, h=7m	67.6	76	53.9	62	63.8	72	61.1	69	63.1	71	49.1	52	65.3	71	61.4	67	65.0	71
IPkt10.1, h=4m	64.6	73	51.6	60	60.2	68	56.7	65	59.9	65	43.2	46	63.8	70	61.4	67	63.6	70
IPkt11.1, h=4m	67.8	76	57.5	65	60.2	68	52.3	57	55.1	60	33.8	37	62.1	68	56.9	63	60.0	66
IPkt11.2, h=7m	71.9	80	61.3	69	64.7	73	53.0	58	55.7	61	38.3	41	66.4	72	61.1	67	64.5	71
IPkt11.3, h=10m	72.9	81	62.8	71	64.7	73	54.1	59	56.0	61	39.2	42	67.5	74	62.6	69	64.6	71
IPkt12.1, h=4m	73.7	82	63.6	72	63.8	72	53.0	58	55.5	61	45.6	49	69.2	75	64.4	70	64.6	71
IPkt12.2, h=7m	74.8	83	65.0	73	65.3	73	53.5	59	55.3	60	44.4	47	70.1	76	65.3	71	65.1	71

Tableau 19 : Niveaux sonores équivalents L<sub>eq</sub> et niveaux maximaux L<sub>eq,max</sub> pronostiqués à l'immission en dB(A)

**Nota :**

Le niveau sonore équivalent sur l'ensemble d'une journée  $L_{Aeq,15h}$  (non référencé dans les tableaux par souci de clarté du rapport), selon la phase de travaux et la variante considérées est :

- soit égal au niveau sonore équivalent à la période de travail pendant l'heure la plus bruyante ( $L_{Aeq,1h} = L_{Aeq,15h}$ )  
→ cas des phases **1 V2.1** (tableau 6), **1 V2.2** (tableau 7), **2** (tableau 8), **3** (tableau 9), **5 V2.1** (tableau 12), **5 V2.2** (tableau 13)
- soit inférieur de l'ordre de 2.7 dB(A) au niveau sonore équivalent à la période de travail pendant l'heure la plus bruyante ( $L_{Aeq,1h} - 2.7 \text{ dB(A)} = L_{Aeq,15h}$ )  
→ cas de la phase 1 (V1), phase 4, phase 5 (V1)

Des cartes de bruit sont documentées en **annexe 1**. Elles représentent la propagation du bruit pour le niveau équivalent ( $L_{eq,1h}$ ) pour chaque phase de travaux et ceci pour différentes hauteurs :

- Cartes 1-2 :	phase 1 - v1	hauteur h = 4 et 8 m ;
- Cartes 3-4 :	phase 1 - v2.1	hauteur h = 4 et 8 m ;
- Cartes 5-6 :	phase 1 - v2.2	hauteur h = 4 et 8 m ;
- Cartes 7-8 :	phase 2	hauteur h = 4 et 8 m ;
- Cartes 9-10 :	phase 3	hauteur h = 4 et 8 m ;
- Cartes 11-12 :	phase 4	hauteur h = 4 et 8 m ;
- Cartes 13-14 :	phase 5 - v1	hauteur h = 4 et 8 m ;
- Cartes 15-16 :	phase 5 - v2.1	hauteur h = 4 et 8 m ;
- Cartes 17-18 :	phase 5 - v2.2	hauteur h = 4 et 8 m.

**Remarque :**

Concernant la phase 1 – variante 1, une évaluation supplémentaire a été effectuée, à titre d'information, en considérant l'emploi d'une foreuse de puits de type Bauer BG24H (ou eq) ( $L_{WA} = 113 \text{ dB(A)}$ ), travaillant durant 30 minutes par heure. Dans ces conditions, les résultats des calculs de propagation indiquent une augmentation des niveaux sonores, aux points d'immission, de l'ordre de 2 dB(A) par rapport à ceux présentés dans le tableau 19 – page 56.



## 6.2 Calcul de l'impact vibratoire et résultats

A partir des valeurs de vitesse vibratoire des engins de chantier, les vibrations aux fondations des bâtiments avoisinant sont calculées conformément à la norme DIN 4150. Les calculs sont présentés sous forme de fiche de calcul (voir **annexe 3**). Ci-dessous figure la formule de la norme DIN4150 utilisée pour calculer la vitesse vibratoire en fonction de la distance par rapport à la source des vibrations :

$$v = v_0 \times \left( \frac{R}{R_1} \right)^{-n} \cdot \exp(-\alpha (R - R_1))$$

Avec :  $v$  en m/s

$v_0$  la vitesse vibratoire de référence des vibrations à la distance  $R_0$ , en mm/s.

$R$  la distance entre la source de vibrations et le bâtiment étudié.

$n$  terme correctif dépendant de la nature des vibrations

$\alpha$  terme correctif dépendant de la fréquence et vitesse de propagation.

$$\alpha = \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) \qquad \lambda = \left( \frac{c}{f} \right)$$

$d$  amortissement structurel du matériau sans unité.

$c$  vitesse de propagation de l'onde en m/s.

$f$  fréquence de l'onde vibratoire en Hz.

$\lambda$  longueur d'onde en m.

Les niveaux vibratoires aux fondations sont obtenus en appliquant un facteur correctif de  $k$  au calcul précédent. Ce facteur est lié à la transmission des vibrations du sol aux structures telles que les fondations des bâtiments. Cette valeur est dépendante de la fréquence et du type de sol sur lequel reposent les fondations. Le positionnement des fondations des bâtiments mitoyens, n'est pour la plupart, pas connu avec précision. Dans le cadre de ce projet, afin de considérer une estimation défavorable de calculs, il sera considéré une valeur corrective de  $k$  fixée à 0,9 ce qui correspond à une valeur conservative, pour tous les points d'immission.

$$F_{\text{fondation}} = k \times v_{ip}$$





Les tableaux suivants récapitulent les valeurs de vitesse vibratoire et d'accélération pronostiquées aux points d'immission par la méthode de la norme DIN 4150. Les calculs sont réalisés en prenant la distance la plus courte entre le point d'immission et la source de vibrations. Des hypothèses sur l'amortissement du sol, les niveaux vibratoires à la source, la fréquence dominante et la vitesse de propagation sont déterminées pour arriver aux résultats présentés ci-après. Ces hypothèses sont indiquées dans les fiches de calculs jointes en **annexe 4**. Le calcul a été mené dans un cas défavorable afin d'estimer les niveaux les plus importants qu'il pourrait y avoir aux fondations des bâtiments immédiats.

Les tableaux suivants indiquent les niveaux de vitesse vibratoires et les niveaux d'accélération pronostiqués au droit des fondations des bâtiments les plus proches du chantier. Le tableau 20 indique les niveaux vibratoires des ondes de volumes (cisaillement et compression ; propagation volumique en 3D). Le tableau 21 indique les niveaux vibratoires des ondes de surface (Rayleigh ; propagation plane / surfacique en 2D).

<b>Tableau 20</b>	<b>VITESSE VIBRATOIRE PARTICULAIRES</b>			
<b>Type d'onde</b>	<b>ONDES DE VOLUME</b>		<b>ONDES DE SURFACE (ONDES DE RAYLEIGH)</b>	
Points d'immission	Vitesse vibratoire V max (mm/s)	Accélération vibratoire A (m/s <sup>2</sup> )	Vitesse vibratoire V max (mm/s)	Accélération vibratoire A (m/s <sup>2</sup> )
VIB1	0.17	0.09	0.54	0.20
VIB2	0.24	0.12	0.65	0.24
VIB3	0.27	0.14	0.69	0.26
VIB4	0.21	0.10	0.60	0.23
VIB5	0.33	0.17	0.76	0.29
VIB6	0.22	0.11	0.62	0.24
VIB7	0.16	0.08	0.53	0.20
VIB8 (non occupé)	1.12	0.56	1.42*	0.54
VIB9	0.30	0.15	0.73	0.28
VIB10	0.36	0.18	0.80	0.30
VIB11	0.34	0.17	0.78	0.29
VIB12	0.98	0.49	1.33*	0.50
VIB13 (non occupé)	0.57	0.29	1.01	0.38
VIB14 (non occupé)	0.53	0.27	0.97	0.37

Tableau 20. - Vitesses vibratoires particulières en mm/s (ondes de volume et ondes de surface ou onde de Rayleigh)

\*n.a. non applicable : la courte distance entre source et fondations ne permet pas l'apparition des ondes de surface



## 7. CONCLUSION

Cette étude d'impact sonore et vibratoire, établie dans le cadre d'une demande d'autorisation des phases de stabilisation et de terrassement du projet de construction d'un nouveau bâtiment « voyageurs » avec complexe administratif, d'une nouvelle auberge de jeunesse avec structure d'accueil et d'un nouveau bâtiment P&R (gare d'Ettelbruck), a pour but de quantifier les nuisances sonores et vibratoires auprès des bâtiments en limite de chantier.

### 7.1 Impact vibratoire

A partir des résultats de l'impact vibratoire ci-avant, un calcul a été réalisé dans le but d'évaluer les distances limites d'utilisation d'engin afin de respecter les limites vibratoires usuellement recommandées par l'Administration de l'environnement :

- Vitesse vibratoire (mm/s) : Seuil vibratoire recommandé pour le confort des personnes présentes dans des habitations/bureaux et autres établissements dans lesquels séjournent des personnes de manière permanente, prolongée ou intervalle régulier : **1 mm/s**,
- Vitesse vibratoire (mm/s) : Seuil vibratoire recommandé pour l'intégrité structurelle des bâtiments mitoyens (DIN4150-3 Tabelle 1 Zeile 2,  $f=50\text{Hz}$ ) : **15 mm/s**.

En tenant compte des différentes valeurs de références et des techniques prévues pour la réalisation des travaux de stabilisation, les distances minimales d'utilisation d'engin sont présentées dans le tableau 21 suivant :

		Tableau 21 : Distance source / fondations limite en (m)	
		Confort des personnes	Intégrité des structures
Limites vibratoires recommandées	Type de roche	1,0 mm/s	15,0 mm/s
Forages de puits à la tarière sans percussion	Substratum	7.20 m	0.50 m

Tableau 21. - Distances les plus courtes entre source de vibrations et fondations



### **Forages de puits : utilisation de la tarière sans percussion**

Au niveau des bâtiments occupés, les calculs de propagation indiquent des niveaux vibratoires particuliers inférieurs à la valeur généralement indiquée par l'Administration de l'environnement pour le confort des personnes de 1,00 mm/s dans le cadre d'étude d'impact vibratoire à tous les points d'immission ;

Le niveau vibratoire particulier atteint la valeur de 0.98 mm/s (ondes de volume) au point VIB12 qui correspond aux fondations de l'immeuble d'habitations situé au n°42, Rue Prince Henri L-9047 Ettelbruck. Ce niveau est atteint uniquement pour un seul forage de puits. Les autres forages se situent plus loin et donc des niveaux inférieurs seront attendus.

Les valeurs de référence utilisées pour le calcul de propagation sont issues d'une base de données interne à Lucontrol S.A. (nombreuses mesures de vibrations réalisées dans le cadre de surveillance de chantier au Grand-Duché du Luxembourg). La valeur de référence retenue est la valeur maximale, ce qui peut correspondre à des événements souvent ponctuels et isolés dans le temps (c'est le cas par exemple lorsque la tarière entre en contact avec la roche lorsqu'elle atteint le fond de trou après avoir évacué la matière). En régime permanent d'utilisation d'une foreuse (hors « choc » ou événements particuliers ponctuels liés aux travaux de forages), les niveaux vibratoires sont moins importants. A titre d'information, les vibrations générées par une foreuse dans la roche se situent dans des gammes de fréquences dites « élevées » pour ce type de travaux (au-delà de 30 Hz). Les « hautes » fréquences (dans le domaine du bâtiment) sont porteuses de moins d'énergie. Les risques de dégradations structurelles des bâtiments mitoyens, liés aux travaux nuisances vibratoires issues des travaux de forages (vitesses vibratoires particulières), sont faibles.

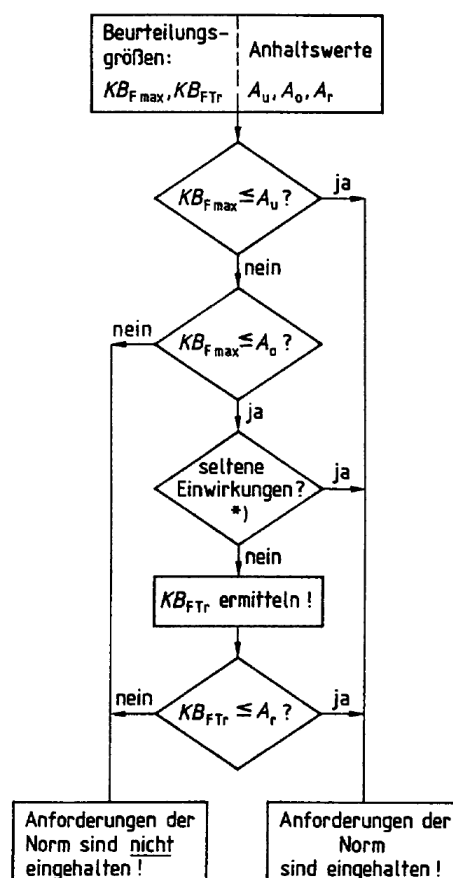
Dans le cadre de cette étude, une évaluation supplémentaire de l'impact vibratoire par rapport aux dispositions de la norme allemande DIN 4150-2 « Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2 : Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden – Ausgabe 1999-06 » a été réalisée. La partie 2 de la norme DIN 4150-2, contient des informations pour l'évaluation des vibrations, dans la gamme de fréquences allant de 1Hz à 80Hz, sur la perception humaine des vibrations à l'intérieur des bâtiments. Des critères à respecter sont définis (voir ci-après) en fonction des différents types de lieux d'occupation (degrés de gêne plus élevé dans une zone d'habitation que dans une zone commerciale ou industrielle). En cas de dépassement des niveaux limites, Luxcontrol S.A. présente



des mesures à mettre en œuvre afin de pouvoir garantir le respect des dispositions de la norme précitée.

Pour information, l'Administration de l'environnement a missionné les organismes agréés Luxcontrol SA et la société anciennement Betavi Sàrl dans les domaines de compétences E3 (études d'impact dans le domaine des vibrations) et B2 (regroupant les domaines B21 Contrôles des émissions et B22 Contrôles des vibrations dans les alentours immédiats) afin d'élaborer conjointement un cahier des charges reprenant les informations et données requises pour la réalisation d'études dans le domaine des vibrations mécaniques. L'objectif de la mission est d'établir une méthodologie que devra appliquer les organismes agréés au Grand-Duché de Luxembourg dans le cadre d'études prévisionnelles (en général jointes dans les demandes d'autorisation d'exploitation Commodo / Incommodo des chantiers) dans le domaine des vibrations. **Cette évaluation supplémentaire, fournie à titre indicatif, est donc une version simplifiée de l'analyse selon cette norme.**

D'une manière générale, la procédure d'évaluation est décrite et résumée par le grafcet suivant :







L'approche simplifiée proposée dans la norme a été utilisée afin de définir les différents niveaux des indices **KB** définis de la façon suivante (**DIN 4150 -2 : 1999-06**) :

Amplitude oscillatoire d'appréciation :

$$KB = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{v_{\max}}{\sqrt{1 + (f_0/f)^2}}$$

Formule (6)

Amplitude oscillatoire pondérée maximale :

$$KB_{F\max}^* = KB \cdot c_F$$

Formule (7)

Ces indices sont nécessaires pour effectuer le calcul du critère  $KB_{F\max}^*$  :

- $f$  : fréquence caractéristique du procédé (motif vibratoire résultant de la transmission vibratoire sol / fondations) en Hz → foreuse de puits à la tarière :  $f = 60-80$  Hz
- $f_0 = 5,6$  Hz (fréquence de coupure d'un filtre passe haut)
- $v_{\max}$  : vitesse particulaire, valeur crête de l'onde de volume (cisaillement – compression) / surface (Rayleigh) (selon les 3 directions  $x, y, z$ ) après interaction vibratoire sol / fondations, → foreuse de puits à la tarière (distance source/fondations : 7.3 m) :  $v_{\max} = 0,98$  mm/s,
- $c_F = 0,8$  (valeur provenant du Tabelle 3 - *Erfahrungswerte für die Konstante  $c_F$  für verschiedene Arten von Erschütterungseinwirkungen* – Zeile 3 a) „Stochastische Schwingungen und periodische Vorgänge mit Schwebungen a) mit Resonanzbeteiligung“).

Sur base des hypothèses définies ci-dessus, les résultats obtenus des calculs sont les suivants :

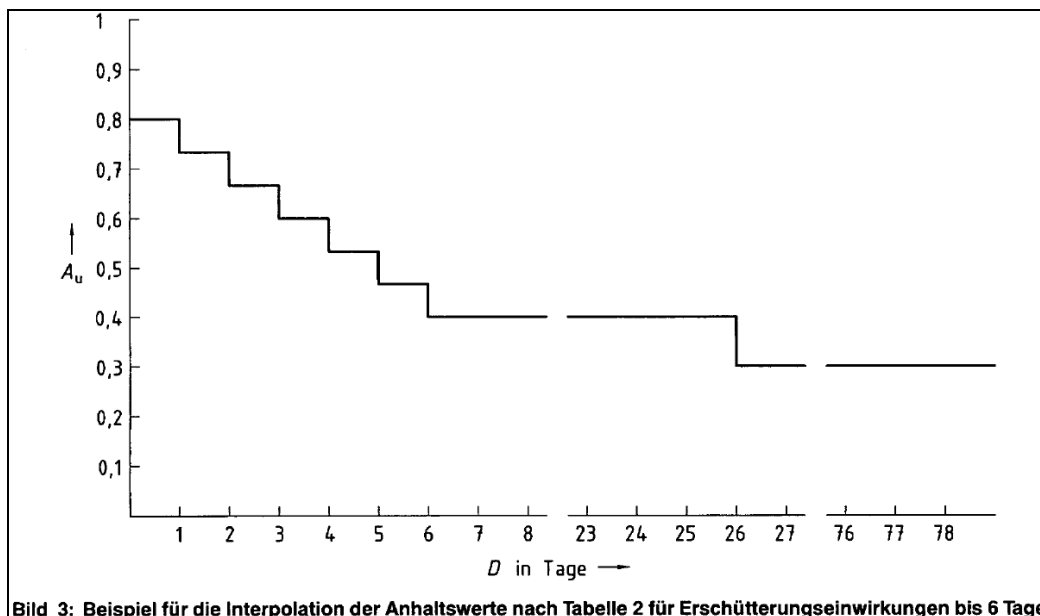
$$KB_{F\max}^* = 0.63$$

Les différentes valeurs des critères à respecter conformément à la procédure décrite ci-dessus sont à comparer aux valeurs ( $A_u$ ,  $A_o$  et  $A_r$ ) suivantes :

**Tabelle 2: Anhaltswerte  $A$  für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen**

Dauer	$D \leq 1$ Tag			6 Tage $< D \leq 26$ Tage			26 Tage $< D \leq 78$ Tage		
Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anhaltswerte	$A_u$	$A_o^{*)}$	$A_r$	$A_u$	$A_o^{*)}$	$A_r$	$A_u$	$A_o^{*)}$	$A_r$
Stufe I	0,8	5	0,4	0,4	5	0,3	0,3	5	0,2
Stufe II	1,2	5	0,8	0,8	5	0,6	0,6	5	0,4
Stufe III	1,6	5	1,2	1,2	5	1,0	0,8	5	0,6
*) Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt $A_o = 6$ .									

Figure 24. - Tabelle 2 - Anhaltswerte  $A$  für Erschütterungseinwirkungen durch Baumaßnahmen außer Sprengungen



Dans le cadre de ce projet, il a été défini de considérer de respecter les conditions de la ligne Stufe II du tableau précédent (figure n°7).

$KB^*_{Fmax} = 0.63 < A_o = 5$  (la valeur  $A_o$  ne doit jamais être dépassée)

$KB^*_{Fmax} = 0.63 < A_u = 0.8$  (au-delà de 6 jours)

➔ **Aucune mesure correctionnelle n'est à prendre par l'entreprise des travaux**

Toutefois il est important de rappeler que la méthodologie employée correspond aux meilleures techniques disponibles en matière d'environnement et de sécurité.

Dans le cadre de la définition des meilleures techniques disponibles dans l'environnement, Luxcontrol SA recommande de mettre en œuvre le plan d'action suivant :

- Faire un état des lieux des bâtiments les plus proches du projet,
- Prévenir, informer et sensibiliser les occupants des bâtiments VIB12, que les nuisances vibratoires qu'ils vont percevoir peuvent être à l'origine d'une possible gêne (relativement de courte durée) lors des forages situés dans un rayon de 10m.



**Les travaux de stabilisation génèreront des niveaux vibratoires qui ne seront pas susceptibles de créer des désordres structurels au niveau des bâtiments occupés et non occupés situés aux alentours du chantier.**

## **7.2 Etude d'impact sonore**

Pour ce projet, le niveau sonore recommandé selon le Règlement grand-ducal du 13 février 1979 est de **65,0 dB(A) $L_{eq}$**  pour l'ensemble des points d'immission. Tous les calculs de propagation ont été réalisés en considérant la mise en œuvre, au préalable, d'une palissade de chantier opaque (« acoustique ») selon les emplacements définis sur les plans précédents.

**Phase 1 :** Forage de pieux / zone bâtiment Voyageurs (10.23 – 12.23)

Dans un premier temps, les calculs de propagation ont été réalisés en considérant les hypothèses de travail définies pour ces travaux (**variante 1**), à savoir l'emploi de deux foreuses de type Bauer BG20 (ou eq.) et l'emploi d'un chargeur sur pneus de type Liebherr L 514 (ou eq.). Dans ces conditions, le niveau sonore équivalent atteint des valeurs supérieures à 65 dB(A)  $L_{eq,1h}$ , aux points d'immission IPkt9, 10, 11 et 12 ; La valeur la plus importante est pronostiquée à **75 dB(A)  $L_{eq,1h}$** , au point IPkt12.2 (h=7m).

Deux autres calculs de propagation ont été réalisés selon des conditions de travail (**variantes 2.1 et 2.2**) visant à atteindre le niveau de bruit recommandé de 65 dB(A) $L_{eq}$ . Ce niveau est obtenu au point le plus impacté IPkt12 à condition que les travaux de forages ne soient réalisés que par une seule foreuse de puits et selon les conditions de travail définies ci-après. De plus, une distinction est faite entre la phase de forage de la zone Ouest et de la zone Est.

### **Variante 2.1 – forages zone Ouest**

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au point le plus impacté IPkt12 à condition que la puissance acoustique effective attribuée à la foreuse de puits soit inférieure à 99.3 dB(A) $L_w$ ". Cette valeur correspond à l'emploi d'une foreuse de type Bauer BG11h / BG15H (nouvelle génération) ou encore Soilmec STM20 / STM30, travaillant durant **15 min / heure**. En considérant l'emploi d'une foreuse de type Bauer BG20H (ou eq.), son activité serait limitée à **4 min / heure (ou 60 min / jour sur base du critère  $L_{eq,15h}$ )**. En considérant l'emploi d'une foreuse de type Bauer BG24H (ou eq.), son activité serait limitée à **2,5 min / heure (ou**



**37,5 min / jour sur base du critère  $L_{eq,15h}$** ). Ces conditions de travail ne semblent pas en adéquation avec la réalité du terrain, d'un point de vue cadence de travail et de respect du planning établi, mais également d'un point de vue de la sécurité.

D'après les informations fournies, les travaux de forage de pieux de fondations au niveau du bâtiment « Voyageurs » seront effectués en 2 mois, en considérant l'emploi de deux foreuses de puits travaillant simultanément.

D'après l'article 8, du RGD du 13.02.1979, il est défendu de dépasser de façon permanente ou à intervalles réguliers de plus de 10 dB(A) les niveaux de bruit recommandés aux articles 3, 4 et 5.

### **Variante 2.2 – forages zone Est**

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu aux points les plus impactés IPkt12.2, IPkt11.2 et IPkt11.3 à condition que la puissance acoustique effective attribuée à la foreuse de puits soit inférieure à 107.0 dB(A) $L_w$ ". Cette valeur correspond à l'emploi d'une foreuse de type Bauer BG20H (ou eq.), avec une activité effective de **19 min / heure (ou 285 min / jour sur base du critère  $L_{eq,15h}$ )** ou à l'emploi d'une foreuse de type Bauer BG24H (ou eq.), avec une activité effective de **12 min / heure (ou 180 min / jour sur base du critère  $L_{eq,15h}$ )**. En considérant l'emploi d'une foreuse moins bruyante de type Bauer BG11h / BG15H (nouvelle génération) ou encore Soilmec STM20 / STM30, aucune restriction de temps n'est indiquée.

**Phase 2 :** Forage de pieux / zone bâtiment Auberge de jeunesse (07.24 – 09.24)

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au point le plus impacté IPkt8.2 (h=7m) à condition que la puissance acoustique effective attribuée aux deux foreuses de puits (travaillant simultanément) soit inférieure à 107.0 dB(A) $L_w$ ". Cette valeur correspond à l'emploi de deux foreuses de type Bauer BG20H (ou eq.), avec une activité effective de **24 min / heure (par unité) (ou 360 min / jour sur base du critère  $L_{eq,15h}$ )** ou à l'emploi d'une foreuse de type Bauer BG24H (ou eq.), avec une activité effective de **15 min / heure (ou 225 min / jour sur base du critère  $L_{eq,15h}$ )**. En considérant l'emploi d'une foreuse moins bruyante de type Bauer BG11h / BG15H (nouvelle génération) ou encore Soilmec STM20 / STM30, aucune restriction de temps n'est indiquée. Pour cette phase 2, les activités du chargeur sur pneus pourront être réalisées simultanément aux travaux de forage.





**Pour rappel :** Il est considéré qu'une foreuse de puits ayant une activité effective de 30 minutes par heure correspond à une activité dite « usuelle » sur base des observations faites sur chantier dans le cadre de monitoring de chantier, par exemple.

**Phase 3 :** Forage de pieux / zone bâtiment Park & Ride (04.25 – 06.25)  
Terrassement / zone bâtiment Auberge de jeunesse (03.25 – 05.25)

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de  $65 \text{ dB(A)}_{L_{eq}}$  est obtenu aux points les plus impactés IPkt5.2 ( $h=7\text{m}$ ) et IPkt8.2 ( $h=7\text{m}$ ) à condition que la puissance acoustique effective attribuée aux deux foreuses de puits (travaillant simultanément) soit inférieure à  $107.0 \text{ dB(A)}_{L_w}$ . Cette valeur correspond à l'emploi de deux foreuses de type Bauer BG20H (ou eq.), avec une activité effective de **24 min / heure (par unité) (ou 360 min / jour sur base du critère  $L_{eq,15h}$ )** ou à l'emploi d'une foreuse de type Bauer BG24H (ou eq.), avec une activité effective de **15 min / heure (ou 225 min / jour sur base du critère  $L_{eq,15h}$ )**. En considérant l'emploi d'une foreuse moins bruyante de type Bauer BG11h / BG15H (nouvelle génération) ou encore Soilmec STM20 / STM30, aucune restriction de temps n'est indiquée. Pour cette phase 3, les activités du chargeur sur pneus pourront être réalisées simultanément aux travaux de forage.

D'après le planning des travaux, en parallèle des travaux de forages, des travaux de terrassement seront effectués dans la zone du bâtiment de l'Auberge de jeunesse. Les calculs de propagation tiennent compte de l'emploi de deux pelles hydrauliques équipées d'un godet à griffe de type Liebherr 934 C Litronic (ou eq.), ayant une puissance acoustique unitaire de  $104 \text{ dB(A)}$  et travaillant durant 45 minutes par heure, selon les hypothèses établis par le bureau d'étude. Lors de cette phase, il a aussi été considéré 8 chargements de camions durant l'heure la plus bruyante. Le moteur des camions sera à l'arrêt lors des phases de chargement.

**Pour rappel :** Il est considéré qu'une pelle hydraulique ayant une activité effective de 45 minutes par heure correspond à une activité dite « usuelle » sur base des observations faites sur chantier dans le cadre de monitoring de chantier, par exemple.

**Phase 4 :** Terrassement / zone bâtiment Park & Ride (10.25 – 12.25)

Lors de cette phase de travaux, le niveau sonore équivalent pendant l'heure la plus bruyante, est pronostiqué à la valeur de  $59 \text{ dB(A)}_{L_{eq,1h}}$ , au niveau des point d'immission les plus impactés, à savoir IPkt3.2 ( $h=7\text{m}$ ) et IPkt5.2 ( $h=7\text{m}$ ). Comme pour la phase 3, les calculs de propagation tiennent



compte de l'emploi de deux pelles hydrauliques équipées d'un godet à griffe de type Liebherr 934 C Litronic (ou eq.), ayant une puissance acoustique unitaire de 104 dB(A) et travaillant durant 45 minutes par heure, selon les hypothèses établis par le bureau d'étude. Lors de cette phase, il a aussi été considéré 8 chargements de camions durant l'heure la plus bruyant. Le moteur des camions sera à l'arrêt lors des phases de chargement.

#### **Phase 5 :** Terrassement / bâtiment Voyageurs (12.27 – 02.27)

Dans un premier temps, les calculs de propagation ont été réalisés en considérant les hypothèses de travail définies pour ces travaux (**variante 1**), à savoir l'emploi de deux pelles hydrauliques de type Liebherr 934 C Litronic (ou eq.). Dans ces conditions, le niveau sonore équivalent atteint des valeurs supérieures à 65 dB(A)  $L_{eq,1h}$  aux points d'immission IPkt9, 11 et 12 ; La valeur la plus importante est pronostiquée à **70 dB(A)  $L_{eq,1h}$** , au point IPkt12.2 (h=7m). Lors de cette phase, il a aussi été considéré 8 chargements de camions durant l'heure la plus bruyant. Le moteur des camions sera à l'arrêt lors des phases de chargement.

Deux autres calculs de propagation ont été réalisés selon des conditions de travail (**variantes 2.1 et 2.2**) visant à atteindre le niveau de bruit recommandé de 65 dB(A) $L_{eq}$ . Ce niveau est obtenu au point le plus impacté IPkt12 à condition que les travaux de terrassement ne soient réalisés que par une seule pelle hydraulique et selon les conditions de travail définies ci-après. De plus, une distinction est faite entre la phase de forage de la zone Ouest et de la zone Est.

#### **Variante 2.1 – terrassement zone Ouest**

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au point le plus impacté IPkt12 à condition que la puissance acoustique effective attribuée à la pelle hydraulique soit inférieure à 98.5 dB(A) $L_w$ ". Cette valeur correspond aux conditions suivantes :

- 1 pelle hydraulique de type Liebherr 934 C Litronic ou eq. → **17 min / h**
- 1 pelle hydraulique de type Liebherr 924 C Stage V ou eq. → **27 min / h**
- 1 pelle hydraulique de type Liebherr 920 C ou eq. → **55 min / h**
- 2 pelles hydrauliques de type Liebherr 920 C ou eq. → **28 min / h / unité**

Lors de cette phase, il a aussi été considéré 8 chargements de camions durant l'heure la plus bruyant. Le moteur des camions sera à l'arrêt lors des phases de chargement.



D'après les informations fournies, les travaux de terrassement au niveau du bâtiment « Voyageurs » seront effectués en **50 jours ouvrables**, en considérant l'emploi de deux pelles hydrauliques de type Liebherr 934 C Litronic (ou eq.).

D'après l'article 8, du RGD du 13.02.1979, il est défendu de dépasser de façon permanente ou à intervalles réguliers de plus de 10 dB(A) les niveaux de bruit recommandés aux articles 3, 4 et 5.

### **Variante 2.2 – terrassement zone Est**

Le niveau de bruit recommandé pour ce projet de 65 dB(A) $L_{eq}$  est obtenu au points le plus impacté IPkt12.2, à condition que la puissance acoustique effective attribuée aux travaux de terrassement soit inférieure à 105.5 dB(A) $L_w$ ". Cette valeur correspond à l'emploi simultané de 2 pelles hydrauliques de type Liebherr 934 C Litronic ou eq, travaillant durant 42 minutes / heure (par unité). Lors de cette phase, il a aussi été considéré 8 chargements de camions durant l'heure la plus bruyant. Le moteur des camions sera à l'arrêt lors des phases de chargement.

### **Remarques générales :**

Les niveaux sonores sont obtenus à condition de respecter :

- le positionnement des sources,
- le nombre d'engins en fonctionnement simultané,
- la puissance acoustique unitaire,
- le temps d'utilisation des engins,
- la mise en œuvre de palissade de chantier opaque, selon les dimensions définies dans cette étude et selon les règles de l'art.

**Le maitre d'ouvrage s'engage, dans une lettre de prise de position, à faire respecter à l'entreprise chargée des travaux, l'ensemble des prescriptions définies dans cette étude. Elle sera jointe au dossier de demande d'autorisation.**

Esch-sur-Alzette, le 05.06.2023

**LC LUXCONTROL S.A.**

**Pierre SCHWARTZ**  
*Responsable secteur ACV*

**Alexis ROUILLARD**  
*Ingénieur ACV*