



RAPPORT FINAL

Selon la directive européenne : 2002 / 49 / CE

CARTOGRAPHIE STRATEGIQUE ACOUSTIQUE

des

AXES FERROVIAIRES

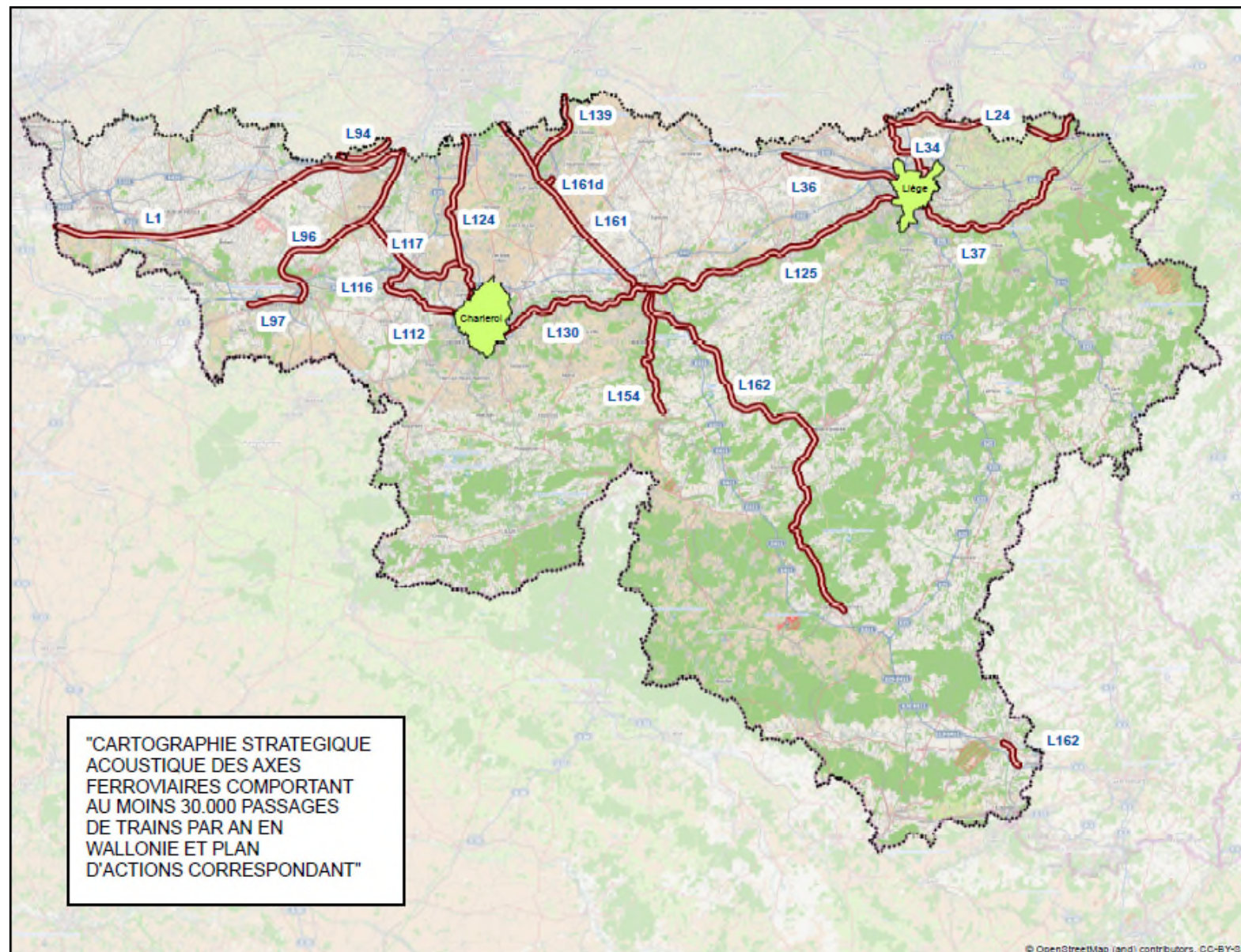
comportant

AU MOINS 30 000 PASSAGES DE TRAINS

PAR AN EN WALLONIE

et

PLAN D' ACTIONS CORRESPONDANT



"CARTOGRAPHIE STRATEGIQUE
ACOUSTIQUE DES AXES
FERROVIAIRES COMPORTANT
AU MOINS 30.000 PASSAGES
DE TRAINS PAR AN EN
WALLONIE ET PLAN
D' ACTIONS CORRESPONDANT"

© OpenStreetMap (and) contributors, CC-BY-SA

0 OBJET ET FINALITE DE LA MISSION

Conscients que le bruit :

- peut présenter / représente une pollution
 - qui, de par un niveau et une durée d'exposition élevés,
 - présente des effets avérés sur la santé :
- ⇒ soit en termes d'une gêne persistante,
 ⇒ soit au travers de la perturbation du sommeil,
 ⇒ soit les deux,

la Commission Européenne et les Etats membres ont décidé, au travers de la directive européenne 2002/49/CE :

- ⊙ de dresser
- ⊙ les cartes de bruit stratégiques
- ⊙ de tous les axes ferroviaires de l'Union supportant au moins 30 000 passages de trains par an.

Ces cartes de bruit :

- ✓ constituent donc un état des lieux,
- ✓ une « photo » de l'exposition au bruit le long des voies ferrées,
- ✓ qui est ainsi **le reflet** :
 - du bruit
 - lié à la cadence des trains.

Au sens de l'art.3 § q) de la directive européenne 2002/49/CE, la «cartographie du bruit» se définit comme :

- ⊙ la représentation de données décrivant une situation sonore existante ou prévue en fonction d'un indicateur de bruit,
- ⊙ indiquant les dépassements de valeurs limites pertinentes en vigueur, le nombre de personnes touchées dans une zone donnée ou le nombre d'habitations exposées à certaines valeurs d'un indicateur de bruit dans une zone donnée,

et elle doit servir de socle :

- ⊙ à l'établissement d'un plan d'actions, d'un plan de gestion de l'infrastructure et du matériel ferroviaires,
- ⊙ et au suivi de ce plan, au travers notamment de la mise à jour périodique (tous les 5 ans) de l'avancée des cartes.

Dans ce cadre, il importe donc :

- ✓ que les cartes de bruit soient précises et qu'elles reflètent au mieux la réalité du terrain,
- ✓ autant qu'elles soient établies à partir d'un support / d'un outil robuste et efficace :
 - qui permette de définir un plan d'actions fiable,
 - et qui facilite la mise à jour et l'exploitation des cartes,
 - pour une gestion harmonieuse et intégrée des voies de chemin de fer.

Recommandations de l'Union quant aux courbes "dose-réponse" de perception de la gêne par rapport au bruit des transports

[indicateur : Lden]

« Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance »

European Commission – 20 february 2002

Table 1. % A and % HA at various noise exposure levels (Lden) for aircraft, road traffic, and rail traffic

Lden	Aircraft		Road traffic		Rail traffic	
	%A	%HA	%A	%HA	%A	%HA
45	11	1	6	1	3	0
50	19	5	11	4	5	1
55	28	10	18	6	10	2
60	38	17	26	10	15	5
65	48	26	35	16	23	9
70	60	37	47	25	34	14
75	73	49	61	37	47	23

[% HA] = % de personnes fortement gênées

(page laissée volontairement vierge)

TABLE DES MATIÈRES

0 OBJET ET FINALITE DE LA MISSION 3

1 CONTEXTE 6

1.1 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE 6

1.2 OBJET DU MARCHÉ 7

1.2.1. CONTENU 7

1.2.2. ZONE A CARTOGRAPHIER – LIGNES CONCERNEES 7

2 METHODOLOGIE 9

2.1 MÉTHODE GÉNÉRALE 9

2.2 LES TROIS ÉTAPES DE L'ÉTUDE 9

3 TRANCHE FERME : 591,90 KM² ENTIÈREMENT RECONSTITUÉS EN 3D 10

3.1 LES MODÈLES 3D 10

3.2 LA CONSOLIDATION GÉOMÉTRIQUE 11

3.3 RÉSULTATS : ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 2 (ANNEXE) 14

4 TRANCHE CONDITIONNELLE -1 : 100 MESURES DE CONTRÔLE SUR SITE 15

4.1 BUT POURSUIVI 15

4.2 L'INCORPORATION DES DONNEES INFRABEL 15

4.3 LES MESURES DE BRUIT (100 DE 24 HEURES CHACUNE) 16

4.3.1 SUR LA NECESSITE DES MESURES 16

4.3.2 SUR LA METHODE ET LE NOMBRE DES MESURES DE BRUIT 17

4.4 RÉSULTATS : ATLAS-RÉSULTATS – VOLUMES 3 & 4 (ANNEXE) 18

4.4.1 ATLAS DE LOCALISATION DES 100 POINTS DE MESURE DE BRUIT – (VOLUME 3) 18

4.4.2 RESULTATS : DES 100 MESURES DE BRUIT – (VOLUME 4) 19

4.4.3 RESULTAT DU CALAGE DES MODELES DE CALCUL 22

5 TRANCHE CONDITIONNELLE -2 : CALCUL ET ÉDITION DES CARTES DE BRUIT ET DÉNOMBREMENTS Y ASSOCIÉS 25

5.1 BUT POURSUIVI 25

5.2 MÉTHODE DE CALCUL 25

5.2.1 CORRECTION DE PUISSANCE ACOUSTIQUE 26

5.2.2 DONNÉES DE TRAFIC FERROVIAIRE 26

5.2.3 PARAMÈTRES DE CALCUL 27

5.3 RÉSULTATS 28

5.3.1 LES CARTES DE BRUIT STRATÉGIQUES : LDEN ET L_{NIGHT} 28

5.3.2 LES DÉNOMBREMENTS DE POPULATION, D'IMMEUBLES ET DE SUPERFICIES 29

6 PLAN D' ACTIONS 32

6.1 DÉFINITION ET BUT POURSUIVI 32

6.1.1 DÉFINITION 32

6.1.2 BUT POURSUIVI 33

6.2 PRISE EN COMPTE DE L'EXISTANT 33

6.2.1 L'HÉRITAGE DU PASSÉ 33

6.2.2 LA DEUXIÈME PARTICULARITÉ 33

6.3 SEUIL D'EXPOSITION AU BRUIT – POLITIQUE DE SANTÉ PUBLIQUE 34

6.3.1 LA PROBLÉMATIQUE DE « SANTÉ PUBLIQUE » ET LE « SEUIL D'EXPOSITION AU BRUIT » 34

6.3.2 LE « PRÉCÉDENT » LIÉ AUX AÉROPORTS WALLONS 34

6.3.3 LA « VALEUR-SEUIL » PROPOSÉE POUR LE BRUIT DES TRAINS 35

6.4 L'ÉTAT DE L'EXISTANT – SITUATION DE RÉFÉRENCE 36

6.4.1 LES CARTES DE DÉPASSEMENT 36

6.4.2 LES HABITATIONS DÉJÀ AU-DELÀ DU SEUIL 36

6.5 LA POLITIQUE D'URBANISME ET D'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE 37

6.6 LES SCÉNARI D'AMÉLIORATION À TERME 37

6.6.1 SCNÉRIO 1 : L'INFRASTRUCTURE (COURT TERME) 39

6.6.2 SCNÉRIO 2 : LE MATÉRIEL ROULANT « PASSAGER » (COURT ET MOYEN TERMES) 41

6.6.3 SCNÉRIO 3 : LE MATÉRIEL ROULANT « FRET » (TRAINS MARCHANDISES) (MOYEN ET LONG TERMES) 43

6.7 LES ACTIONS IMMÉDIATES URGENTES 43

7 ANNEXES 44

7.1 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 2 : MISE À JOUR ET CONSOLIDATION GÉOMÉTRIQUE DU BÂTI 44

7.2 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 3 : LOCALISATION DES MESURES DE BRUIT SUR SITE 44

7.3 RAPPORT ANNEXE – VOLUME 4 : RÉSULTATS DES MESURES DE BRUIT SUR SITE 44

7.4 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 5 : CARTES DE BRUIT STRATÉGIQUES – LDEN 44

7.5 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 6 : CARTES DE BRUIT STRATÉGIQUES – L_{NIGHT} 44

7.6 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 7 : CARTES DE DÉPASSEMENT DU SEUIL LDEN ≥ 67 dBA 44

7.7 NOTIONS D'ACOUSTIQUE 44

1 CONTEXTE

1.1 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le 13 mai 2004, le Gouvernement wallon :

- a transcrit en droit belge,
- par arrêté,
- la directive européenne 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement.

Cette directive comporte deux phases :

- ⊙ la première phase vise à dresser les cartes de bruit stratégiques pour toutes les agglomérations de l'Union qui abritent plus de 250 000 habitants, pour tous les tronçons de routes et autoroutes qui supportent plus de 6 000 000 véhicules par an, ainsi que pour les tronçons de chemin de fer qui supportent plus de 60 000 passages de trains par an,
- ⊙ la deuxième phase de la directive vise à établir dans un second temps les cartes de bruit stratégiques pour toutes les agglomérations de l'Union qui abritent plus de 100 000 habitants, pour tous les tronçons de routes et autoroutes qui supportent entre 3 et 6 000 000 véhicules par an, ainsi que pour les tronçons de chemin de fer qui supportent entre 30 et 60 000 passages de trains par an.

La directive européenne demande également :

- ⇒ que, sur base des cartes de bruit établies,
- ⇒ des plans d'actions
- ⇒ soient définis et qu'ils soient (ré-)évalués tous les 5 ans sur base de la mise à jour des cartes de bruit établies en phase 1 et en phase 2.

Ainsi, le 13 septembre 2007, le Gouvernement wallon :

- a pris un arrêté
- qui délimite
- d'une part, les agglomérations (de plus de 100 000 habitants) – Liège et Charleroi pour la Wallonie – dont la cartographie du bruit a été réalisée par I.C.A. courant 2012-2013,
- ainsi que d'autre part, les infrastructures (tronçons de routes et autoroutes, et tronçons de lignes de chemin de fer) – dont la cartographie du bruit était l'objet de la phase 1 de la directive.

Cet arrêté de 2007 a été modifié le 12 mars 2009 :

- pour inclure la deuxième phase de la directive,
- soit les 1 552 km de tronçons de routes et autoroutes qui supportaient (à l'époque) entre 3 et 6 millions de véhicules par an,
- ainsi que les 517,2 km de voies ferrées qui supportaient (alors) entre 30 000 et 60 000 passages de trains par an.

1.2 OBJET DU MARCHÉ

1.2.1. Contenu

La présente étude :

- s'inscrit dans la seconde phase de la directive, ainsi que dans la mise à jour de la première phase de la directive,
- et elle vise ainsi à dresser les cartes de bruit stratégiques :
 - pour tous les tronçons de chemin de fer
 - supportant au moins 30 000 passages de trains par an en Wallonie.

1.2.2. Zone à cartographier – Lignes concernées

La zone à cartographier couvre donc :

- ⊙ la mise à jour des :
 - 130,99 km de voies ferrées
 - de priorité 1 de la directive – selon la répartition des tronçons telle que reprise au tableau 1 ci-contre (extrait de l'arrêté du Gouvernement wallon du 13/09/2007),
- ⊙ ainsi que la cartographie acoustique des :
 - 517,30 km de voies ferrées
 - de priorité 2 de la directive – selon la répartition des tronçons telle que reprise au tableau 2 ci-contre (extrait de l'arrêté du Gouvernement wallon du 12/03/2009).
- ⊙ desquels il convient de retirer :
 - 22,10 km de voies ferrées déjà cartographiés en agglomération de Charleroi,
 - 34,20 km de voies ferrées déjà cartographiés en agglomération de Liège,

soit un total de pas moins de :

- ⇒ **591,90 km** de chemin de fer
– comme l'illustre graphiquement la planche ci-après –

Tableau 1

GRANDS AXES FERROVIAIRES visés à l'article 3								
Tronçons en priorité 1 (> 60 000 trains/an) - en coordonnées Lambert.								
Région wallonne			Nombre de trains	Km	De X	A Y	De X	A Y
L124	Frontière régionale	Braine-l'Alleud	63.300	6,00	150690	157780	150420	151960
L124	Luttre	Charleroi	69.000	15,87	149650	133510	154990	121500
L161	Frontière régionale	Gembloux	60.500	26,80	157970	160170	173680	139040
L96	Frontière régionale	Braine-le-Comte	65.500	13,95	139020	155130	132940	142880
L112	La Louvière-sud	Y Sint-Vast	66.000	4,03	135830	129190	139480	127730
L130	Charleroi	Sortie de Namur	90.000	37,93	154990	121500	186200	128600
L40-L125	Bressoux	Seraing	84.000	12,70	240540	150350	232090	144710
L34	Liège-Palais	Liers	78.000	10,71	235910	149610	234350	154860
L36	Liège entrée	Liège sortie	73.000	3,00	234140	147940	235820	145800

Soit un total de 130,99 km.

Vu pour être annexé à l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 septembre 2007 délimitant les agglomérations et infrastructures devant faire l'objet de cartographies acoustiques.

Tableau 2

GRANDS AXES FERROVIAIRES De 30 000 à 60 000 trains/an :							
Ligne	de	à	km	Coordonnées Lambert 1972			
				DE X	DE Y	A X	A Y
L1	frontière régionale	frontière nationale	71,0	139020	155130	72760	140720
L112	LA LOUV-CTRE	Y Saint-Vaast	16,0	136660	129730	135830	129190
L112	La Louvière-sud	MARCH-AU-PT	139480	127730	151620	122720	
L116	Y. BOIS-HAINE	LA LOUV-CTRE	6,0	139550	133700	136660	129730
L117	Y. ECAUSSINNE	LUTTRE	25,0	132440	142300	150500	133100
L124/124 A	Braine-l'Alleud	Luttre	20,6	150420	151960	149650	133510
L125	LIEGE-GUILL	Entrée de NAMUR	57,6	235120	146220	186200	128600
L130A	Charleroi-sud	LA SAMBRE	1,3	153340	121840	152510	120910
L139	frontière régionale	OTTIGNIES	18,3	169870	165180	164310	150380
L154	NAMUR	DINANT	26,0	185800	128740	188660	105360
L161	Gembloux	NAMUR	15,5	173680	139040	185030	128820
L161D	Y. LOUV-LA-N	LOUVAIN-LA-N	2,8	165130	149370	167440	149680
L162	NAMUR	LIBRAMONT	90,0	186190	128480	223200	67440
L162	ARLON	Y. AUTELBAS	5,6	253700	42070	256540	37790
L24	Glons	MONTZEN-FR	40,2	232380	160760	266500	161640
L34	frontière régionale	Liers	9,8	231340	161370	234350	154860
L34	Liège-Palais	Liège		235910	149610	234460	147260
L36	Waremmes	Liège entrée	25,2	211930	154280	234140	147940
L37	Liège	WELKENRAEDT	36,5	234460	147260	263640	151090
L94	frontière régionale	Enghien	10,5	136100	156800	127100	154120
L96	Braine-le-Comte	MONS	29,8	132940	142880	119090	126520
L97	MONS	ST-GHISLAIN	9,7	119230	126600	109740	125900

Soit un total de 517,3 km.

**WALLONIE
BELGIQUE**

CARTO FER

CSC N° 02.01.03-12B51
TRANCHE FERME



CARTE DE BRUIT STRATEGIQUE
DIR. 2002 / 49 / CE



Légende

- Frontière régionale
- Ligne Ferroviaire à étudier
- Agglomérations déjà cartographiées

Echelle : 1:700.000

0 3.750 7.500 15.000 22.500 30.000 Mètres

BE.0185 31-MARS-2014

REF : BE0185_FER_TF_VUE_ENSEMBLE

"CARTOGRAPHIE STRATEGIQUE
ACOUSTIQUE DES AXES
FERROVIAIRES COMPORTANT
AU MOINS 30.000 PASSAGES
DE TRAINS PAR AN EN
WALLONIE ET PLAN
D'ACTIONS CORRESPONDANT"

2 METHODOLOGIE

2.1 MÉTHODE GÉNÉRALE

Les cartes de bruit à grande échelle (ici : pas moins de 591,9 km² – 59.190 ha) :

- ✓ s'établissent par calculs
 - pour disposer des niveaux sonores partout, sur chaque façade de chaque bâtiment, dans chaque jardin, dans chaque rue, chaque parc, ...
- ✓ à partir d'un modèle géométrique **3D complet** de toute la zone à étudier (dans toute son entièreté)
 - pour prendre en compte les effets de réflexion du bruit, notamment sur les façades,
 - pour prendre en compte les effets d'obstacles à la propagation du bruit, notamment à l'arrière des bâtiments, à l'intérieur des îlots, en contrebas des talus, ...
 - ⇒ si bien que le relief est modélisé en 3D dans le modèle informatique, que chaque bâtiment y est aussi représenté en 3D, ainsi que chaque annexe de bâtiment, chaque mur d'enceinte, chaque hangar, chaque pont, chaque rue, ...,
- ✓ calculs dont les résultats et les paramètres **sont validés et contrôlés** au moyen des quelques 100 mesures de bruit réalisées sur le terrain et réparties sur l'ensemble des 591,90 km de voies à cartographier.

2.2 LES TROIS ÉTAPES DE L'ÉTUDE

Le marché était scindé en 3 tranches successives, soit :

- ⊙ LA TRANCHE FERME : qui visait :
 - à construire tous les modèles 3D le long des quelques 591,90 km de voies ferrées et sur une largeur de 500 mètres de part et d'autre de celles-ci, soit un total de 591,90 km² minutieusement reconstitués en 3D via :
 - ① la collecte, le traitement et la validation géométriquement de toutes les données topographiques (chaque bâtiment, chaque annexe, chaque hangar, tout le relief, les rues, les talus, les écrans, ...), dans un couloir de 500 mètres de part et d'autre des voies ferrées,
 - ① et via la mise à jour des données fournies (dont certaines dataient des années 90), sur base des ortho-photo plans les plus récents, pour pouvoir incorporer tous les nouveaux bâtiments et toutes les nouvelles constructions dans les modèles 3D.
- ⊙ LA TRANCHE CONDITIONNELLE 1 : dont le but était :
 - ① de réaliser – sur site – pas moins de 100 mesures de bruit de validation des modèles 3D,
 - ① et de pouvoir en déduire les coefficients d'adaptation nécessaires au calcul des cartes de bruit – pour s'assurer que celles-ci 'collent' à la réalité du terrain / validation des modèles de calcul.
- ⊙ ET LA TRANCHE CONDITIONNELLE 2 : dont le but était :
 - ① de calculer et de produire les cartes de bruit stratégiques – tant pour l'indicateur de bruit Lden que pour l'indicateur Lnight (conformément aux termes de la directive),
 - ① de procéder au dénombrement des populations et de bâtiments y afférents,
 - ① et d'établir le plan d'actions des mesures potentiellement à mettre en œuvre à moyen et long terme pour réduire les nuisances sonores le long des voies ferrées en Wallonie.

3 TRANCHE FERME : 591,90 KM² ENTIÈREMENT RECONSTITUÉS EN 3D

3.1 LES MODÈLES 3D

Le bruit :

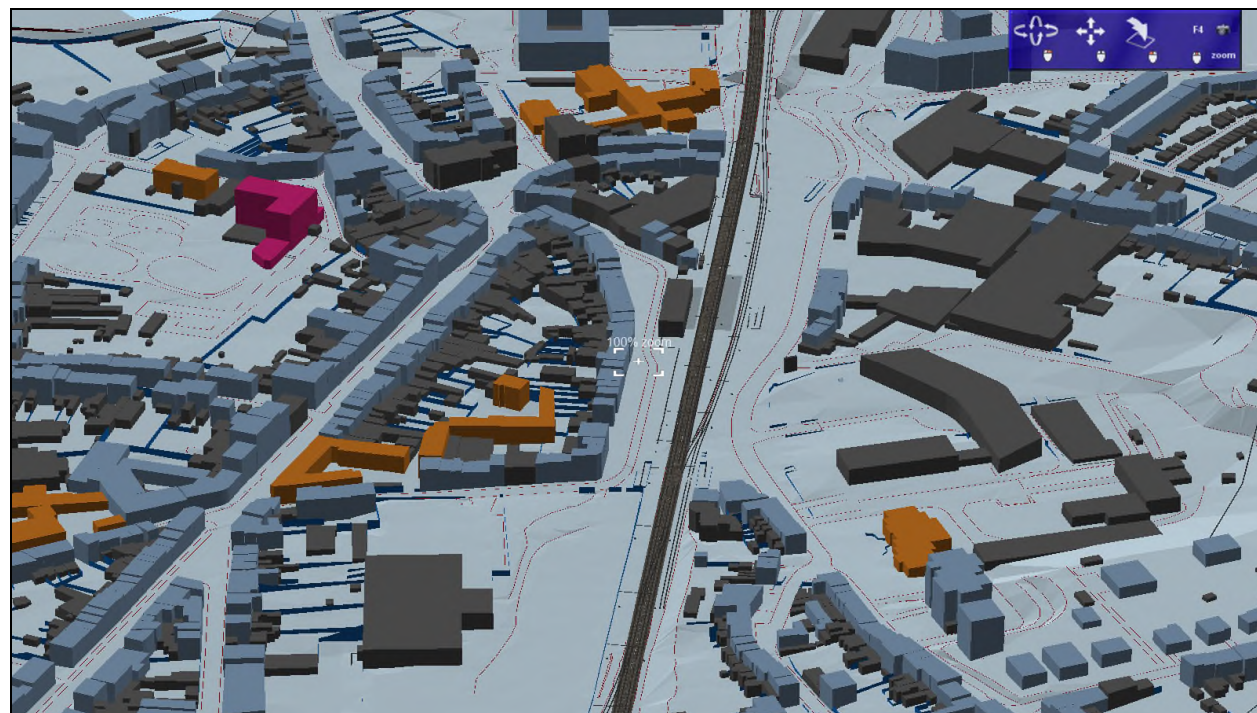
- se propage dans toutes les directions (y compris vers les hauteurs),
- s'atténue avec la distance / l'éloignement par rapport à la source de bruit,
- se réfléchit sur les façades, sur les murs, sur le sol, ...
- et est atténué par les obstacles et les écrans, tels que par exemples une rangée d'immeubles mitoyens, un talus, ...

Chacun des 591,90 km² à cartographie – chaque bâtiment, chaque annexe, chaque mur, chaque route, ... – :

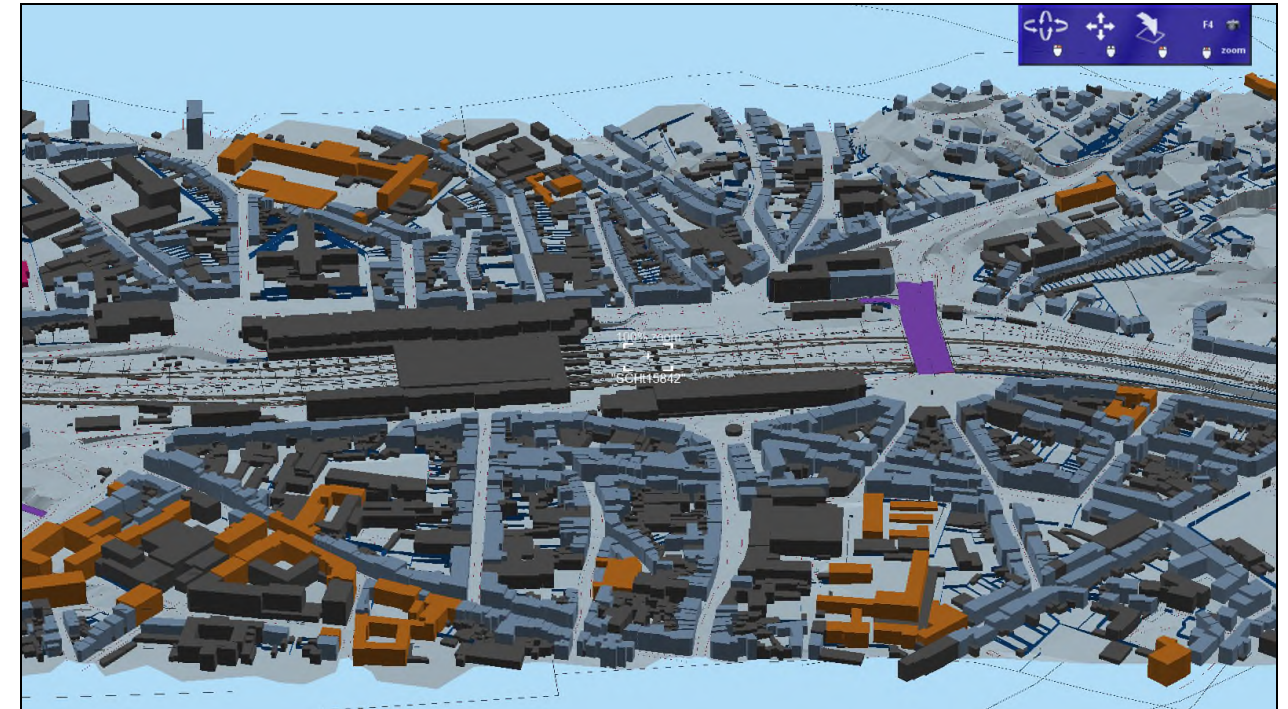
- ✓ a été reconstituée en 3D sur l'ordinateur,
- ✓ à partir des données géométriques du PICC fournies (en coordonnées Lambert 72) par la Région wallonne,
- ✓ et retravaillées conformément au § 2.3.2 ci-après pour bien prendre en compte tous les effets de propagation et d'atténuation du bruit.

Les figures qui suivent illustrent la qualité et l'ampleur des modèles qui ont été reconstitués à l'échelle des 591,90 km de voies de chemin de fer et sur une largeur de 500 mètres de part et d'autre des voies.

Le centre de TUBIZE

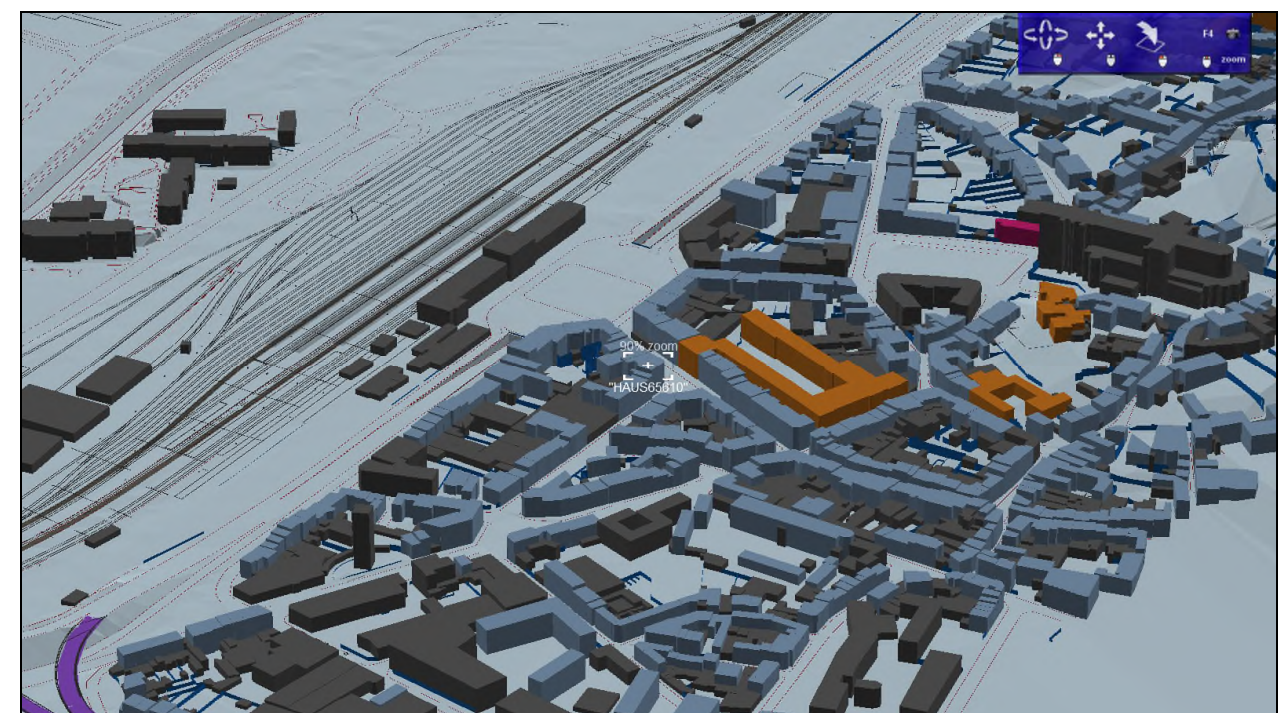


La gare de NAMUR : le bâtiment du SPW, les maisons, le centre commercial, le pont, le relief,...



Les codes couleur sont : gris foncé (bâtiments non-résidentiels) – bleu (bâtiments résidentiels) – orange (les écoles) – fuschia (les hôpitaux, cliniques)

La gare et le centre de MONS



3.2 LA CONSOLIDATION GÉOMÉTRIQUE

Les données géométriques brutes, fournies par le PICC de la Région wallonne, ont dû être adaptées aux spécificités du logiciel de calcul acoustique, et notamment pour ce qui concerne :

Problématique	Caractéristique PICC	Consolidation apportée
1. La hauteur des bâtiments	Les données fournies sont relatives à « la hauteur des corniches » si bien que la hauteur réelle du bâtiment est souvent sous-estimée (et donc aussi son effet de réflexion du bruit et son effet d'écran). C'est particulièrement vrai pour les gros édifices publics (tels que les églises) ou les lotissements de maisons 4 façades dont les chambres sont dans les combles.	Tous les bâtiments de la toute la zone (sur pas moins de 591 km ²) ont été passés en revue, un à un, pour les ajuster à leur hauteur réelle.
2. Les annexes de bâtiments	Nombreuses – ces annexes sont modélisées dans les données brutes par une courbe ouverte (et non pas par un contour fermé), si bien le logiciel de calcul n'arrive pas à reconstituer la bonne géométrie (et donc aussi son effet de réflexion du bruit et son effet d'écran).	Chacune des annexes des bâtiments a été retouchée manuellement pour en faire un contour fermé.
3. La cour intérieure des bâtiments	Modélisée dans les données brutes par une courbe fermée, elle est interprétée comme étant un bâtiment par le logiciel de calcul.	Tous les bâtiments de la toute la zone (sur pas moins de 591 km ²) ont été passés en revue pour correction.
4. Les murs d'enceinte et les murets	Typiquement, les murs de soutènement, les murs de trémie, les murs de cimetière et les murs de fond de jardin (facteur très important le long des voies ferrées), assez hauts, influencent la propagation du bruit (réflexion et effet d'écran), d'autant plus qu'ils sont proches des lignes de chemin de fer. A contrario, les petits murets ont peu/pas d'influence. Or, tous ces éléments sont classés dans la même « couche » dans les données brutes.	Le tri a dû être opéré manuellement pour ne retenir que les éléments significatifs.
5. Les ponts et les viaducs	Ces éléments sont représentés par des lignes dans les données brutes. Au sens du logiciel acoustique, les parapets sont alors interprétés comme des murs pleins, si bien que le bruit ne peut plus se propager sous les ponts et viaducs. C'était particulièrement problématique pour chaque pont qui enjambe une voie ferrée – et il y en a....	Chaque pont et chaque viaduc a été modifié, manuellement, avec un objet spécial du logiciel acoustique.
6. Le relief	Le maillage des points de niveau est parfois trop large, si bien que les routes ou les habitations se retrouvent, dans les données brutes, partiellement recouvertes par le terrain/le relief.	Le terrain a été adapté manuellement pour toutes les zones problématiques.
7. Les nouveaux lotissements / bâtiments	Ces nouveaux immeubles n'existaient pas encore dans les données brutes du PICC.	Tous les nouveaux lotissements et tous les nouveaux bâtiments ont été incorporés manuellement, un à un.

Les figures ci-après montrent quelques exemples des consolidations manuelles qui ont dû être opérées pour chaque immeuble ou bâtiment, mur, relief de terrain, mise à jour de données des 591 km² à reconstituer en full 3D.

TRAVAIL DE CONSOLIDATION GÉOMÉTRIQUE

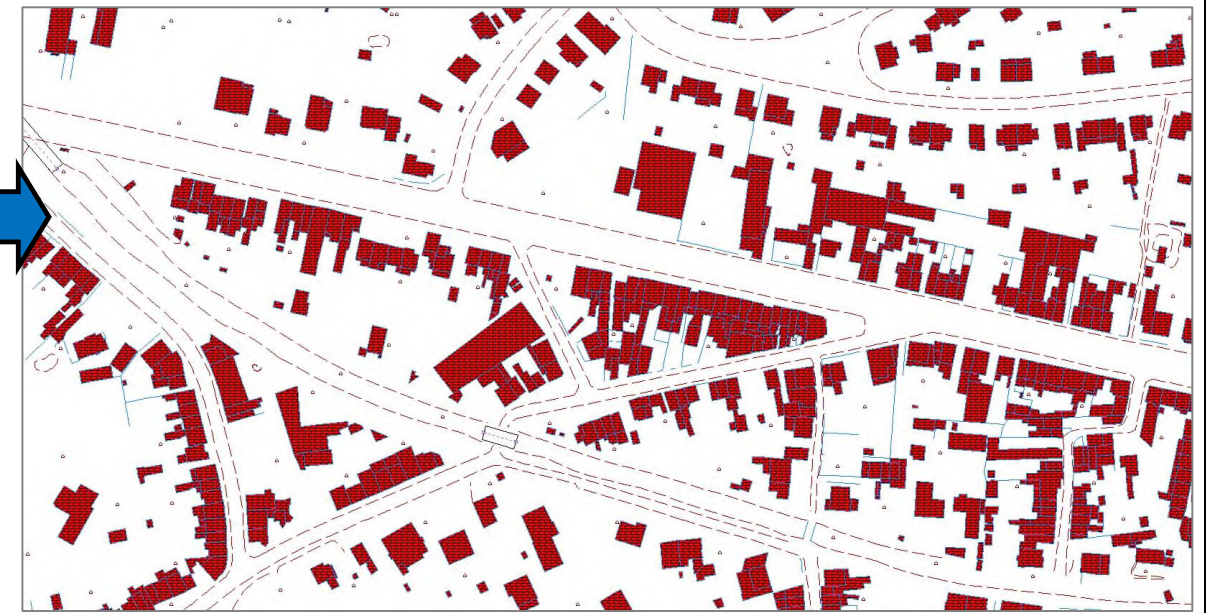
1. Les annexes de bâtiments

AVANT



Nombreuses –
les annexes de bâtiment sont modélisées dans les données brutes par une courbe ouverte
(et non pas par un contour fermé), si bien le logiciel de calcul n'arrive pas à
reconstituer la bonne géométrie
(et donc aussi son effet de réflexion du bruit et son effet d'écran).

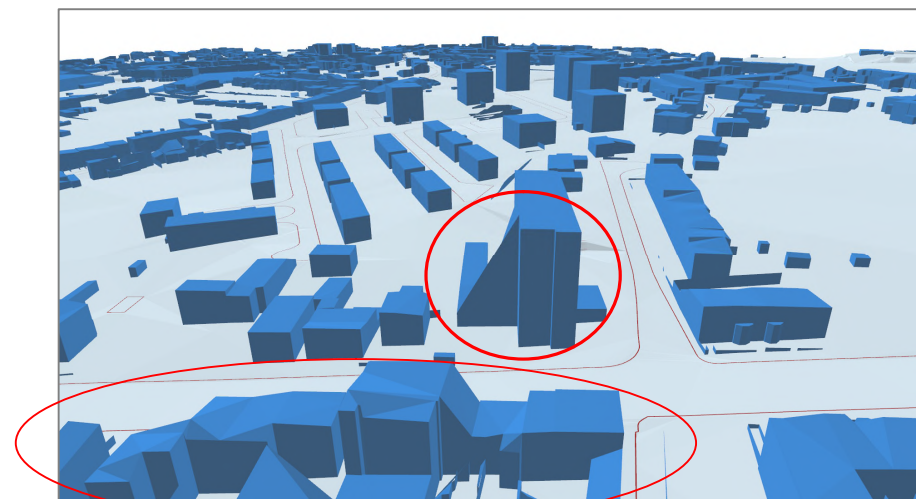
APRÈS



Chaque annexe de bâtiment
a été retouchée manuellement pour en faire un contour fermé,
de sorte que le modèle géométrique et que les calculs qui en sont issus
soient corrects.

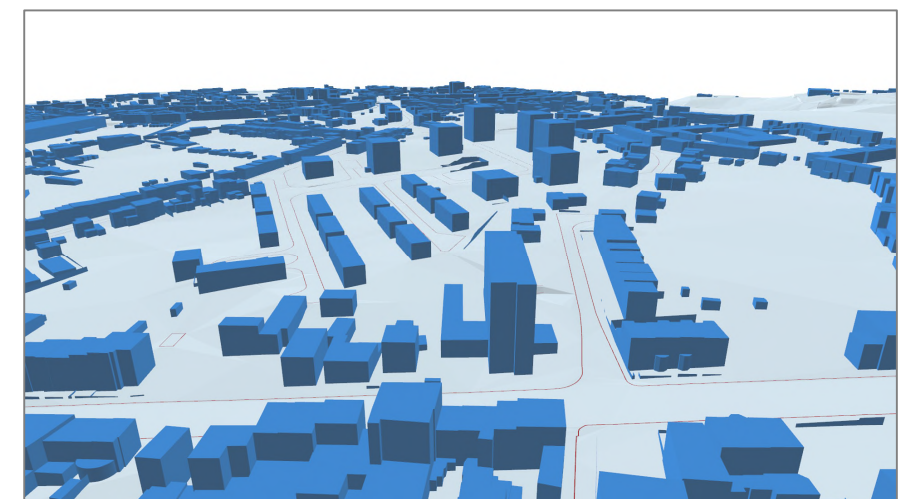
2. La hauteur des bâtiments

AVANT



Les données fournies sont relatives à « la hauteur des corniches »
si bien que des erreurs géométriques apparaissent (comme illustré ci-dessus)
ou que la hauteur réelle des bâtiments est souvent sous-estimée (et donc aussi son effet de
réflexion du bruit et son effet d'écran).

APRÈS

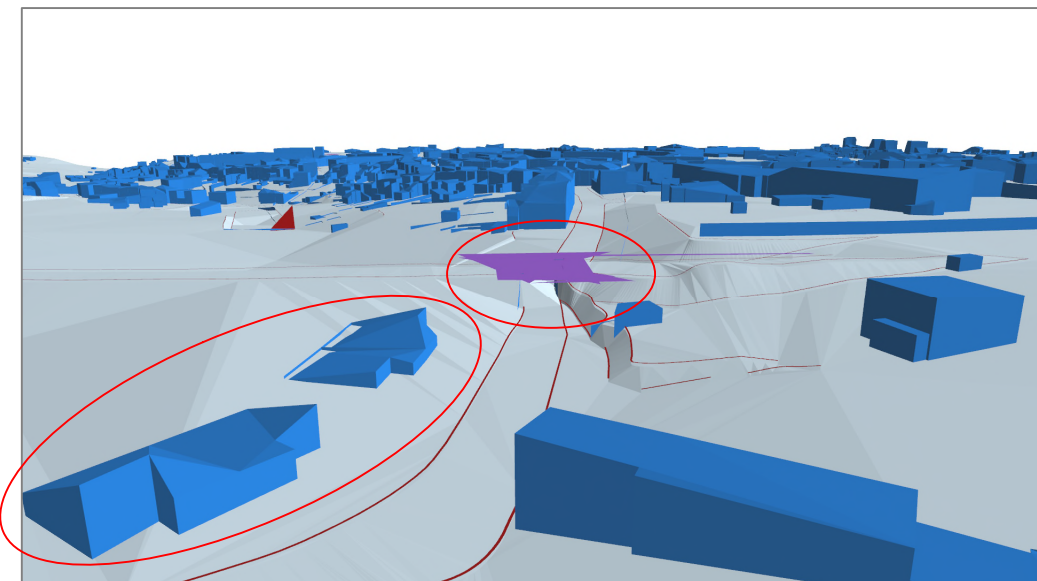


Tous les bâtiments de la toute la zone (sur pas moins de 591 km²)
ont été passés en revue, un à un, pour les ajuster à leur hauteur réelle
et à leur bonne géométrie.

TRAVAIL DE CONSOLIDATION GÉOMÉTRIQUE

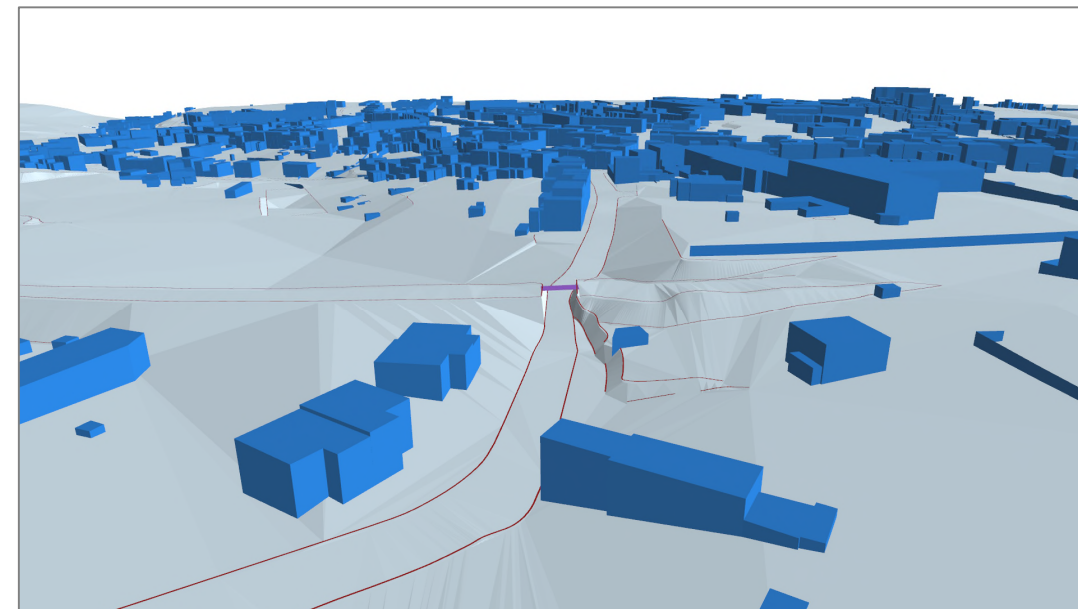
3. Le relief et les ponts / viaducs

AVANT



Le maillage des points de niveau est parfois trop large, si bien que les routes ou les habitations se retrouvent, dans les données brutes, partiellement recouvertes par le terrain/le relief.

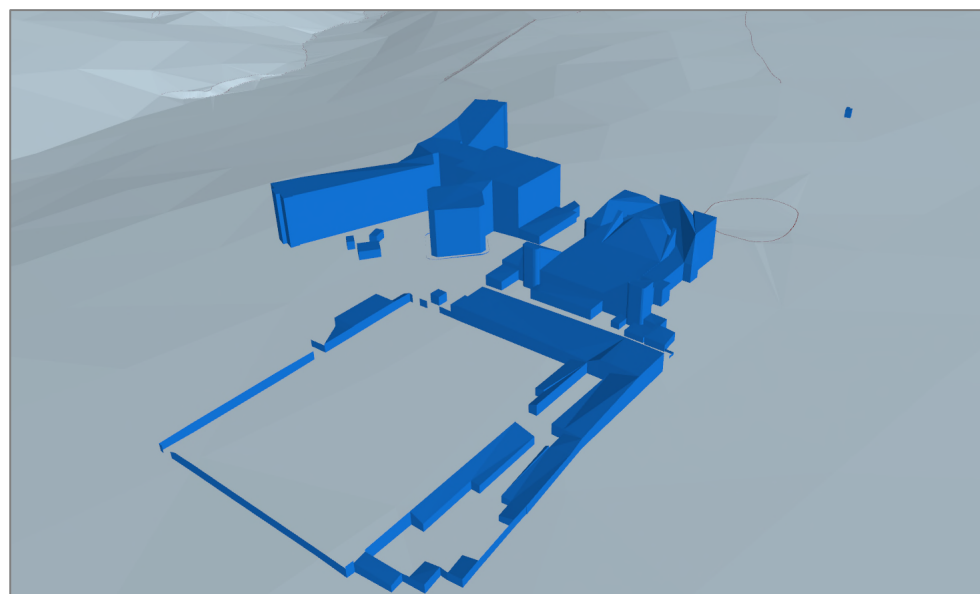
APRÈS



Le terrain a été adapté manuellement pour toutes les zones problématiques.

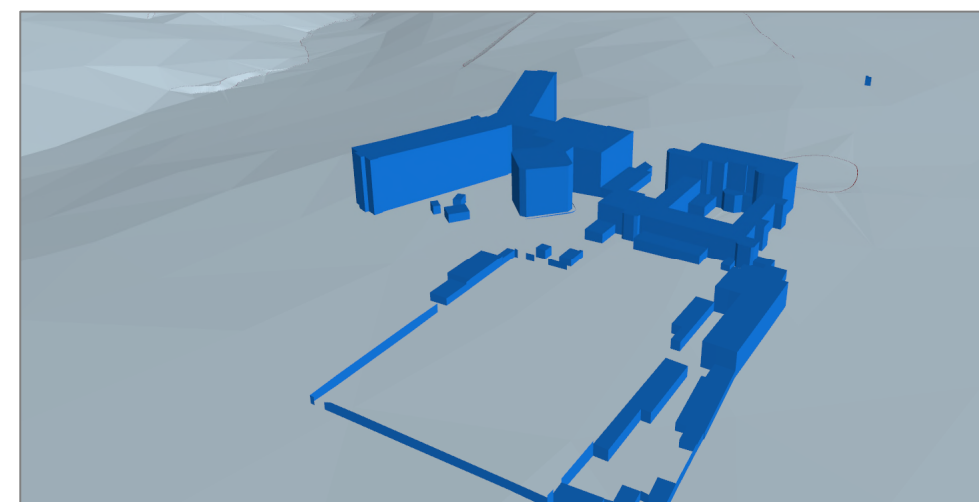
4. Les cours intérieures et les intérieurs d'îlots

AVANT



Modélisés dans les données brutes par une courbe fermée, les cours intérieures et les intérieurs d'îlots sont interprétés comme des bâtiments par le logiciel de calcul.

APRÈS



Les bâtiments et les intérieurs d'îlots ont été passés en revue pour correction – la prise en compte de la géométrie correcte en intérieur d'îlots permet aussi d'avoir un dénombrement correct du nombre d'habitations avec façade calme – comme demandé par la directive et l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 mai 2004.

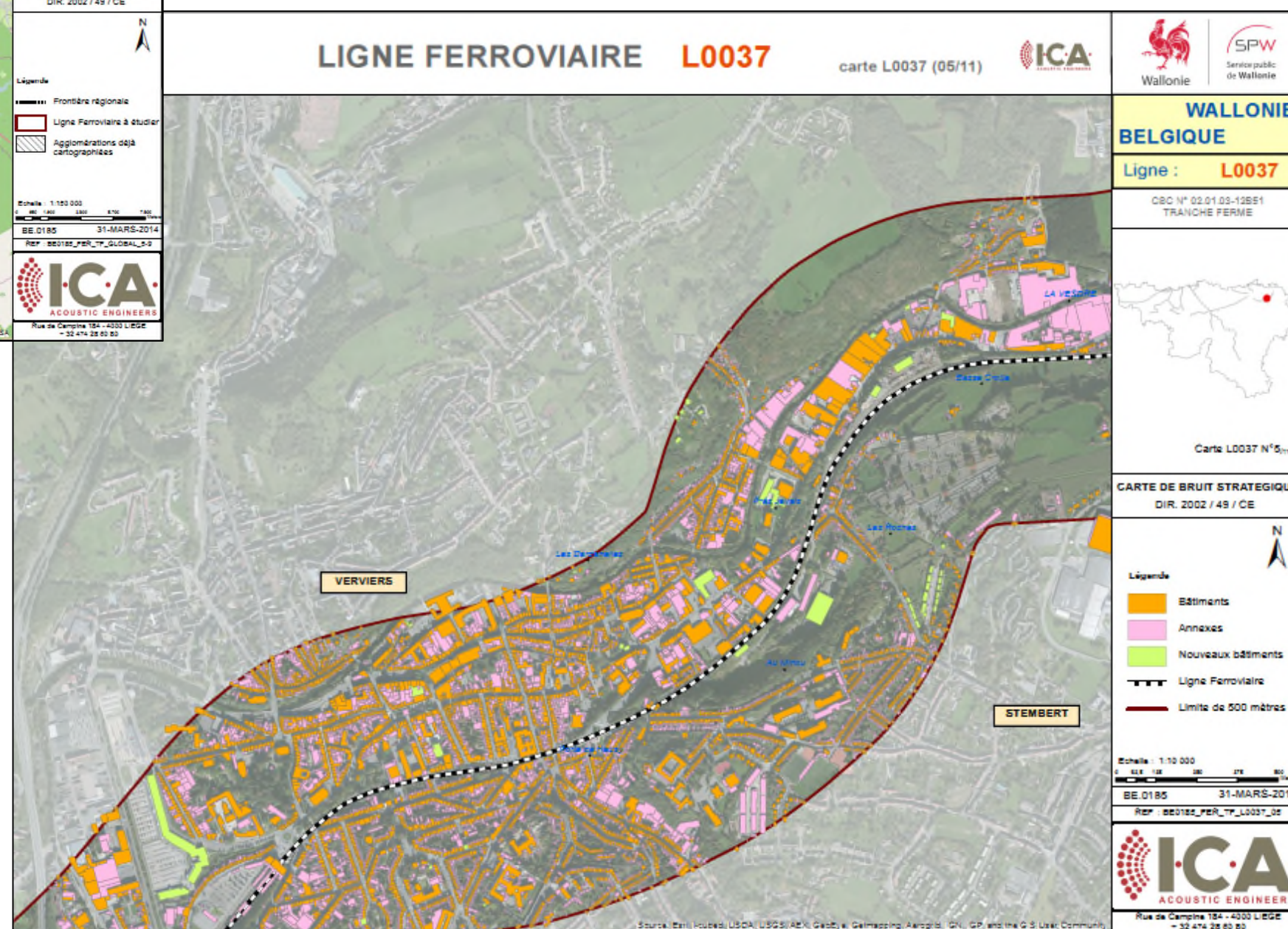
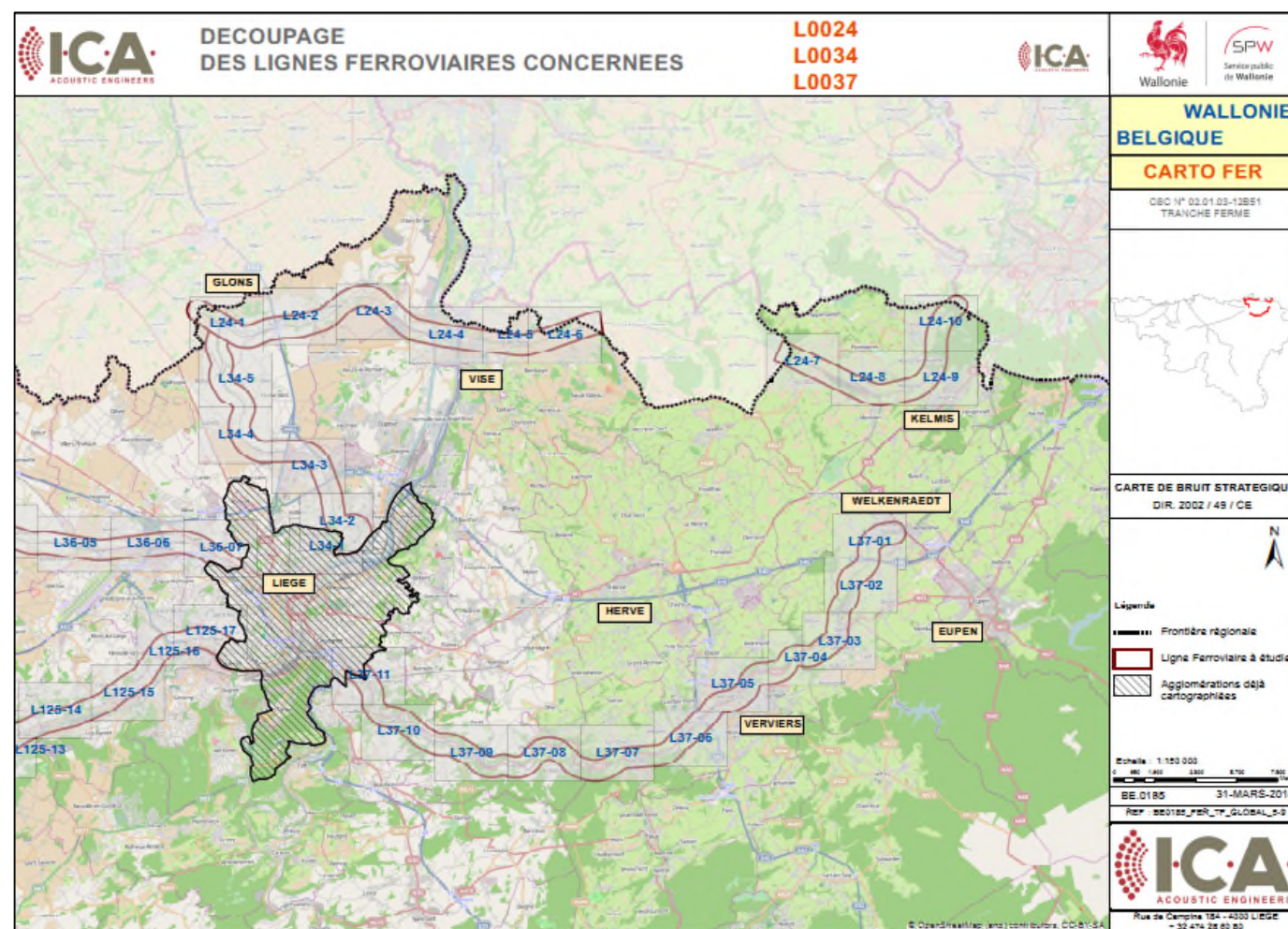
3.3 RÉSULTATS : ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 2 (ANNEXE)

☉ L'ATLAS CARTOGRAPHIQUE : **Volume 2** : « Consolidation et mise à jour du bâti »

en annexe au présent rapport présente :

- ☑ le découpage cartographique des 591,90 km² cartographiés (dont un extrait ci-contre),
- ☑ ainsi que les :
 - **187 planches**
 - illustrant le **travail de validation, de consolidation et de mise à jour géométrique** qui a minutieusement été réalisé,

dont l'une – **celle de Verviers** – est extraite ci-dessous : avec en orange (les bâtiments résidentiels consolidés), en rose (les annexes de bâtiments et les bâtiments non-résidentiels consolidés) et en vert (la mise à jour des données qui représente l'insertion des nouveaux bâtiments digitalisés).



4 TRANCHE CONDITIONNELLE -1 : 100 MESURES DE CONTRÔLE SUR SITE

4.1 BUT POURSUIVI

L'objectif de la « Tranche Conditionnelle n° 1 » était triple :

1. d'abord, d'incorporer dans les modèles géométriques 3D, toutes les données géométriques fournies par INFRABEL à proximité directe des voies
 - c.-à-d. les voies elles-mêmes, les remblais, les déblais, les talus, les murs de soutènement, les murs anti-bruit, et les points de relief proches notamment et ce, dans un couloir de +/- 100 mètres de part et d'autre des voies,
2. ensuite, de réaliser sur site, **100 mesures de contrôle** de bruit, de 24 heures continues chacune,
3. et ce, pour pouvoir valider et calibrer les modèles de calcul qui serviront à calculer les cartes de bruit sur base des trafics ferroviaires à recevoir de la SNCB et d'INFRABEL.

La validation des modèles résulte donc de la confrontation des valeurs de bruit mesurées sur site, avec celles calculées à partir des modèles 3D sur base des trafics ferroviaires qui prévalaient au moment des mesures de bruit.

4.2 L'INCORPORATION DES DONNEES INFRABEL

Les données géométriques fournies par INFRABEL concernent notamment :

- les voies ferrées elles-mêmes :
 - la position des rails et des bords de ballast, ainsi que leur profil en long,
- le relief proche :
 - les talus, les remblais, les déblais, les murs de soutènement, les murs anti-bruit, les ponts, les tunnels, les lignes de niveau et les points de niveaux notamment – ceux-ci étant fournis selon un maillage de 10 mètres par 10 mètres (plus précis que celui du PICC),
- les bâtiments proches :
 - qu'il s'agisse d'habitations, de logements, d'écoles, d'entrepôts, ou autres.

Ces données sont fournies, pour chaque ligne ferroviaire, dans un couloir de +/- 100 mètres de part et d'autres des voies.

Ces données géométriques ont été :

- 1 importées dans les maquettes 3D,
- 2 confrontées aux données PICC déjà traitées et aux données de relief déjà incorporées,
- 3 pour ne garder que l'information pertinente du point de vue de la propagation acoustique et pour consolider les maquettes 3D qui serviront au calcul des cartes de bruit.

4.3 LES MESURES DE BRUIT (100 DE 24 HEURES CHACUNE)

4.3.1 Sur la nécessité des mesures

Des mesures de bruit sont nécessaires pour deux raisons essentiellement :

- d'une part, pour « caler » le modèle de calcul sur la réalité du terrain :

Il est en effet nécessaire de s'assurer que les calculs réalisés correspondent à la réalité du terrain. Les mesures permettent donc de comparer les niveaux sonores réellement relevés sur le terrain, avec ceux issus du modèle de calcul pour la même situation de trafic que celle des mesures de bruit et ainsi, d'adapter localement le modèle ou les paramètres de calcul.

Ainsi, les mesures de bruit de validation ont été réalisées par campagne de 7 à 10 points de mesure simultanés avec, pour chaque campagne de 10 points de mesure, la mesure de la vitesse et de la longueur des trains au moyen de radar-compteur de trafic de marque Icoms.

Ces radars captent chaque train, l'heure de passage, la vitesse et la longueur. On peut dès lors « caler » correctement les modèles de calcul en complétant l'information par le type de train, cette donnée ayant été fournie par INFRABEL / SNCB.

Pour les 10 endroits où la vitesse a été mesurée, on a aussi extrait des mesures de bruit, la puissance acoustique des convois, pour compléter la base de données de 2008 des facteurs d'adaptation des puissances acoustiques.



Radar – compteur de trains
(4 radars à votre disposition)

- et d'autre part, pour mesurer la puissance acoustique réellement rayonnée par les trains belges.

En effet, lors d'études précédentes, des différences ont été constatées entre les hypothèses d'études documentées par les sociétés de chemins de fer et le bruit réellement émis par le matériel roulant sur le réseau belge.

Ces différences s'expliquent par le fait que la méthode recommandée par la Directive Européenne 2002/49/CE est la méthode néerlandaise RMR (Reken en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96).

Pour la partie propagation du bruit de cette méthode, il n'y a pas de problème, elle est réaliste et les phénomènes physiques ne changent d'ailleurs pas d'un pays à l'autre.

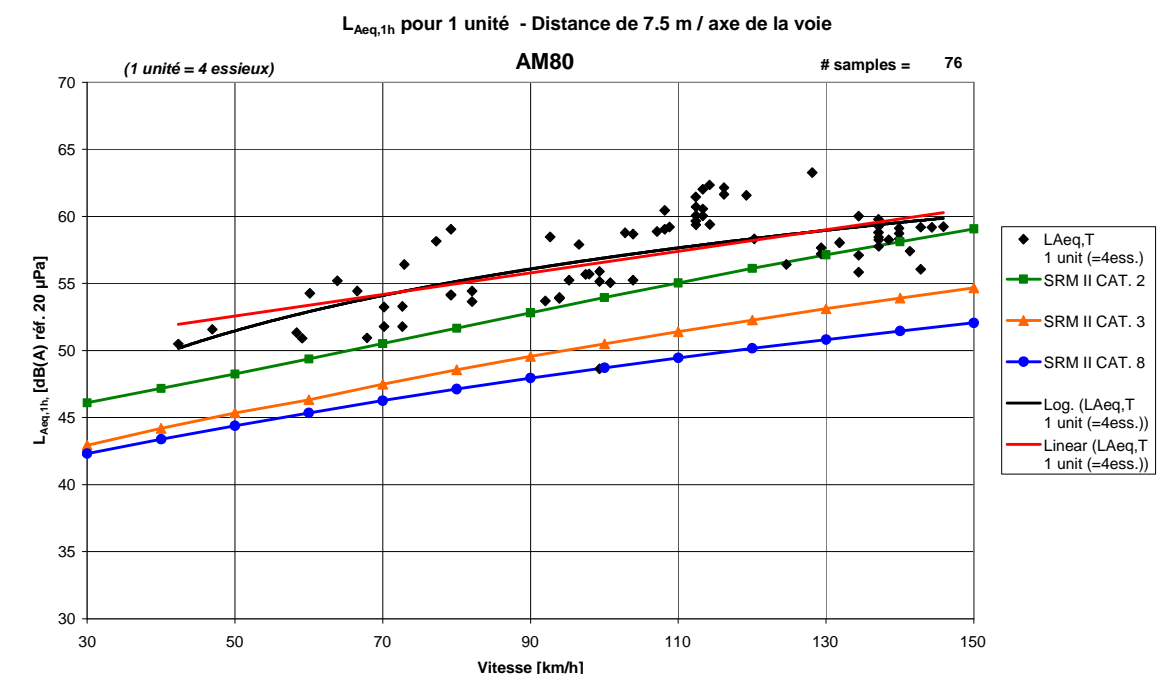
Par contre, pour ce qui concerne la partie caractérisant les émissions sonores des trains, le Ministère néerlandais (Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordeningen Milieubeheer) a caractérisé dans la RMR son propre matériel roulant et pas celui des autres pays comme la Belgique.

La RMR distingue 9 catégories de trains représentatives du matériel roulant néerlandais, qui est assez différent du matériel roulant belge.

Des assimilations des trains belges à ces différentes catégories sont possibles et proposées, mais ces assimilations ne sont pas toujours représentatives du matériel, par exemple :

- les automotrices AM80 sont assimilées à la catégorie 2, alors que des mesures sur site ont montré qu'elles pouvaient être plus bruyantes (jusqu'à +2.4 à +3.7 dB) – comme le montre le graphique ci-après,
- les AM96 sont, quant à elles, assimilées à la catégorie 2 (incluant les freins à blocs). Pour des vitesses allant jusqu'à 130 km/h, cette assimilation est assez correcte, mais au-delà de 130 km/h, cette assimilation est pénalisante car les émissions de bruit sont en réalité inférieures à celles indiquées par la RMR.

Il était donc important de compléter la base de données des puissances acoustiques rayonnées par les trains belges, par les mesures de bruit qui ont été réalisées sur site.



4.3.2 Sur la méthode et le nombre des mesures de bruit

Toutes les mesures de bruit ont été réalisées sur une période 24 heures continues, de façon à déterminer le $L_{Aeq,T}$ correspondant aux périodes de la directive, soit 7h-19h, 19h-23h et 23h-7h, et à en déduire la valeur mesurée des indicateurs L_{den} et L_{night} , spécifique au passage des trains (et eux seuls).

La durée de l'intervalle élémentaire de mesure de bruit est de 125 ms ou 100 ms en fonction de l'appareillage utilisé et ce, en continu sur les 24 heures consécutives de mesure. Ce détail nous a permis d'identifier de façon précise le passage de chaque train.

D'autre part, **un maximum de mesures** a toujours été réalisé **en même temps** – en plus du comptage des trains comme vu au § ci-avant – sur un même site de façon à pouvoir disposer de relevés sonométriques simultanés et synchrones.

Cette méthode de travail fournit :

- non seulement, une caractérisation plus représentative de l'ambiance sonore d'un tronçon (puisque toutes les mesures sont effectuées en même temps),
- mais aussi, un calage du modèle plus fiable et plus homogène, puisqu'un seul scénario de trafic est modélisé par campagne de mesure.

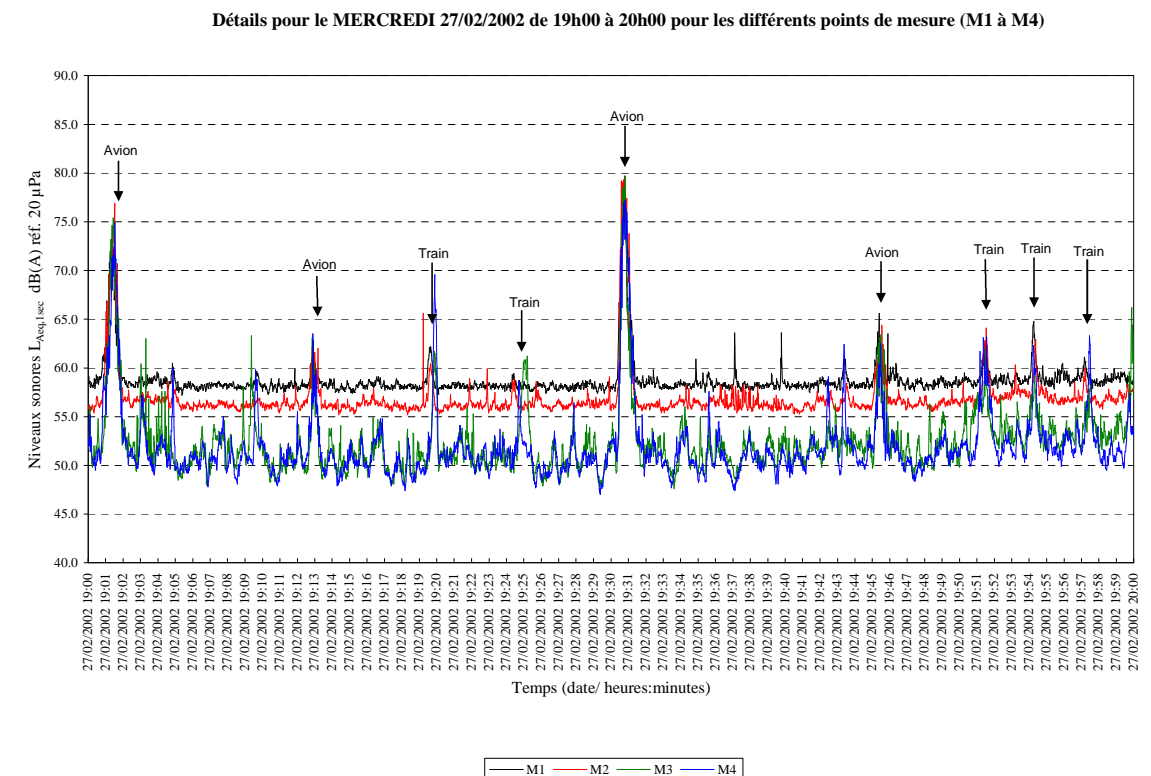
Pour chaque campagne, au moins 1 sonomètre a été placé à proximité des voies (sur poteau caténaire) de façon à pouvoir extraire des mesures, et de façon statistiquement fiable, la puissance rayonnée par chaque type de convoi. Simultanément à ces mesures « à la source », plusieurs autres sonomètres ont été placés sur le site, à proximité des habitations les plus représentatives, pour mesurer le bruit des trains « à la réception » (« à l'immission ») et pour pouvoir ainsi disposer des données nécessaires au « calage » du modèle de calcul (comparaison des niveaux calculés et mesurés). La vitesse et la longueur de chaque train a été mesurée à l'aide des compteurs-radar pour le point de mesure où la puissance acoustique rayonnée a été extraite.

Le fait de mesurer simultanément le bruit en plusieurs endroits permet de superposer toutes ces mesures de bruit sur une même graphique et donc, d'identifier le passage des trains comme le montre le graphe ci-après.

Le passage de chaque train est donc « codé » dans chaque fichier de mesure, ce qui permet de recalculer les valeurs des indicateurs (L_{den} , L_{night} , etc) à partir de ces codages et de « caler » le modèle de calcul.

Au total : 100 mesures de bruit de 24 heures chacune ont été réalisées, dont 15 pour la détermination des puissances acoustiques où la vitesse et la longueur des trains a été mesurée à l'aide des compteurs-radar « loms ».

Mise en parallèle des mesures réalisées simultanément en plusieurs points d'un même site, afin d'identifier facilement le passage des trains



Pour chaque campagne, les mesures ont été distribuées de part et d'autre de l'axe ferroviaire de manière équilibrée, tant au niveau des habitations exposées au bruit qu'à des endroits « clés » pour le calage du modèle informatique.

Les **conditions météorologiques** de validation des mesures sont celles prévues dans la norme NF S 31-085 du 5 novembre 2002, ou norme équivalente.

Le microphone des appareils de mesurage du bruit a toujours été équipé de sa boule anti-intempéries.

Enfin, toutes les chaînes (tous les appareils) de mesure sont de classe 1, conformes aux normes IEC-651 et IEC-804, et elles ont toutes systématiquement été calibrées avant et après chaque mesure sur site.

4.4 RÉSULTATS : ATLAS-RÉSULTATS – VOLUMES 3 & 4 (ANNEXE)

4.4.1 Atlas de localisation des 100 points de mesure de bruit – (Volume 3)

☉ L'ATLAS CARTOGRAPHIQUE : **Volume 3** : « Localisation des 100 points de mesure » , fourni en annexe, reprend :

- ☒ l'atlas de toutes les cartes – globales et détaillées –
- ☒ relatives à **la localisation**
- ☒ de chacune **des 100 mesures** de bruit réalisées sur site (dont la planche de synthèse est reprise ci-contre).

Le choix de la localisation des mesures a été guidé par les principes suivants, – soit localiser les mesures :

1) hors « PTCAR »

les « PTCAR » sont les points de localisation où la densité du trafic ferroviaire change ou est susceptible de changer. Ces points correspondent le plus souvent aux gares ou aux arrêts ou aux zones de changement de voies – zone à aiguillages, ..., de sorte qu'il est préférable (plus représentatif) de ne pas mettre de sonomètre à ces endroits.

2) hors « profil d'accélération / décélération » des trains

idem à l'approche des arrêts ou des gares, les trains ralentissent / accélèrent pour s'arrêter ou redémarrer de ces points d'arrêt.

3) le plus possible à proximité des zones bâties

pour valider les modèles là où l'incidence sonore se fait sentir.

4) pour avoir la répartition la plus homogène possible sur l'ensemble des lignes à cartographier – sachant que 31 des 100 emplacements de mesure correspondent aux localisations (hors villes de Liège et de Charleroi) choisies en 2008 pour la cartographie des axes ferroviaires sur lesquels circulaient plus de 60 000 trains par an et qui est mise à jour par la présente étude.

5) avec une moindre concentration sur les lignes qui bénéficient déjà d'écrans anti-bruit et de mesures de protection phonique

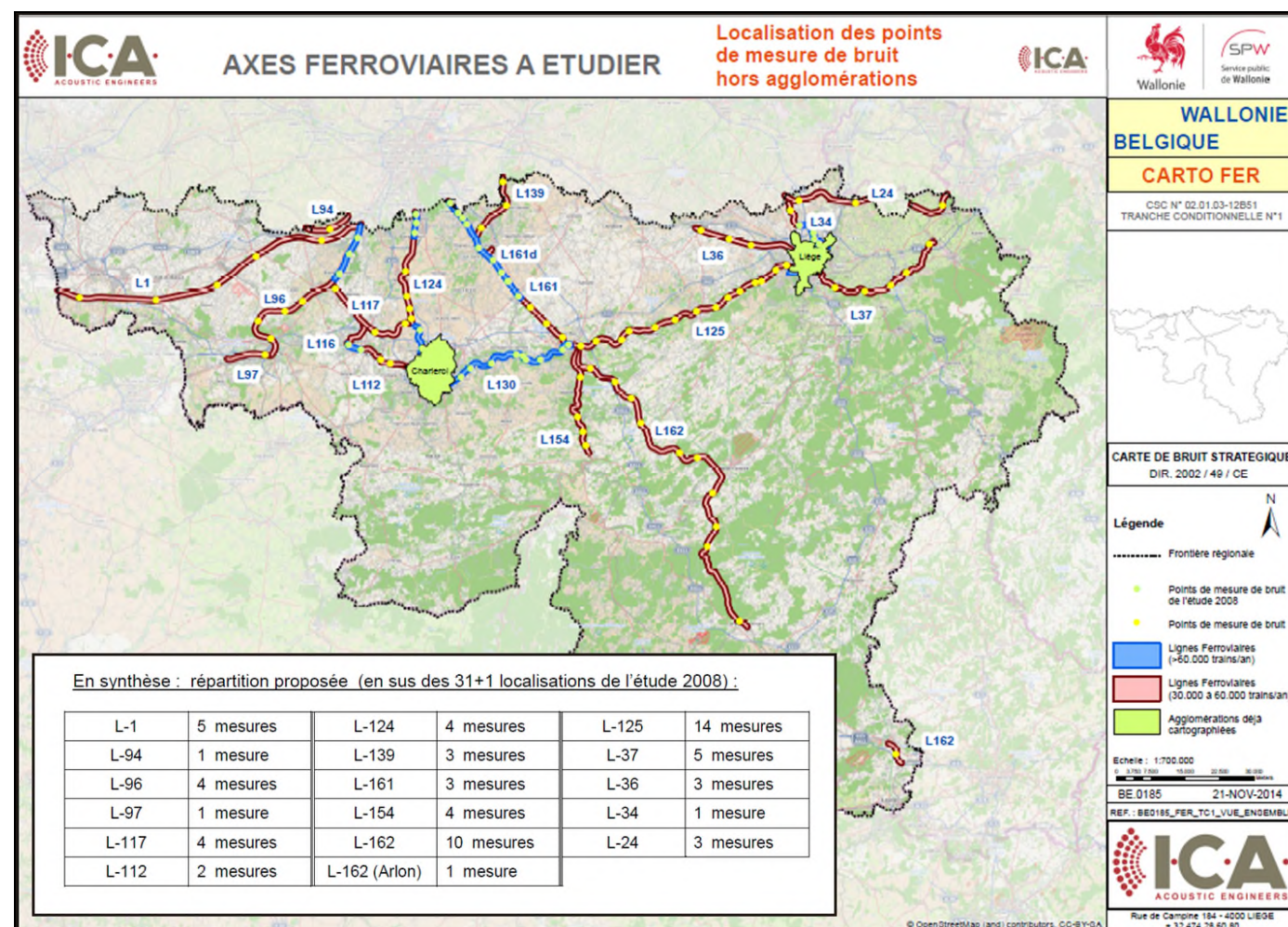
comme par exemple pour la ligne 1 (TGV) – dont le nombre de voies n'est pas amené à changer et qui dispose déjà de nombreux écrans anti-bruit et mesure de protection. Cette ligne devrait donc logiquement se retrouver assez loin dans la liste des lignes pour lesquelles un plan d'action serait nécessaire, si bien qu'un nombre limité de points de calage de mesure de bruit y est nécessaire.

6) avec une attention particulière pour le bruit de fond ambiant

évitons de placer les sonomètres à proximité directe des autoroutes ou des routes à fort trafic, ou à proximité d'industries ou de carrières en activité, ou à proximité de pont-barrage d'un cours d'eau, ... afin de disposer de mesures de bruit qui soient représentatives du bruit de chemin de fer.

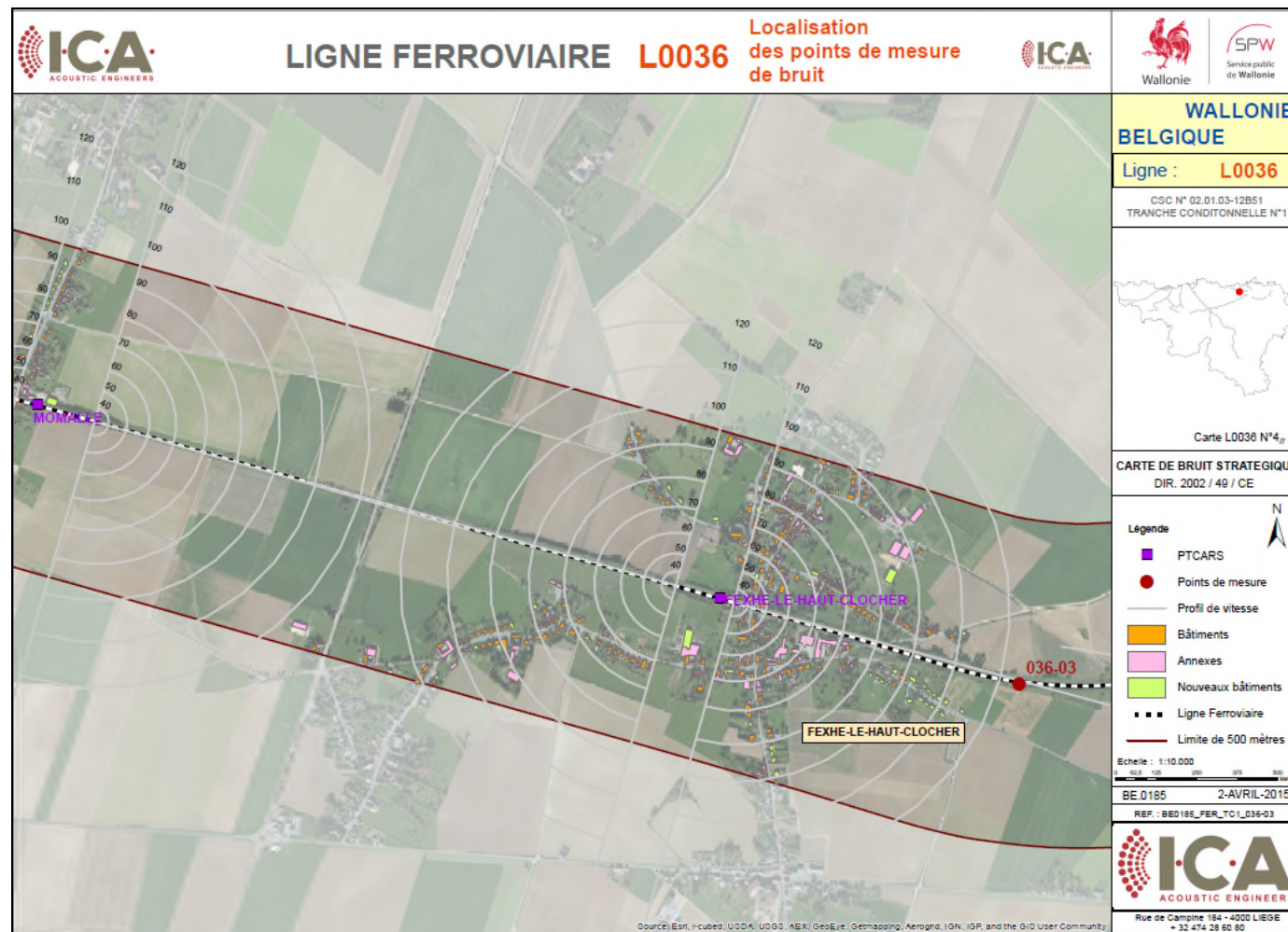
7) et par groupe de 7 à 10 sonomètres (comme indiqué ci-avant).

Vue d'ensemble
de l'implantation des 100 mesures de contrôle (voir : Volume 3 – annexe)





Extrait
de présentation détaillée des points de mesure (voir : Volume 3 – annexe)



4.4.2 Résultats : des 100 mesures de bruit – (Volume 4)

⊙ LE : **Volume 4** : « Résultats des mesures de bruit », fourni en annexe, reprend :

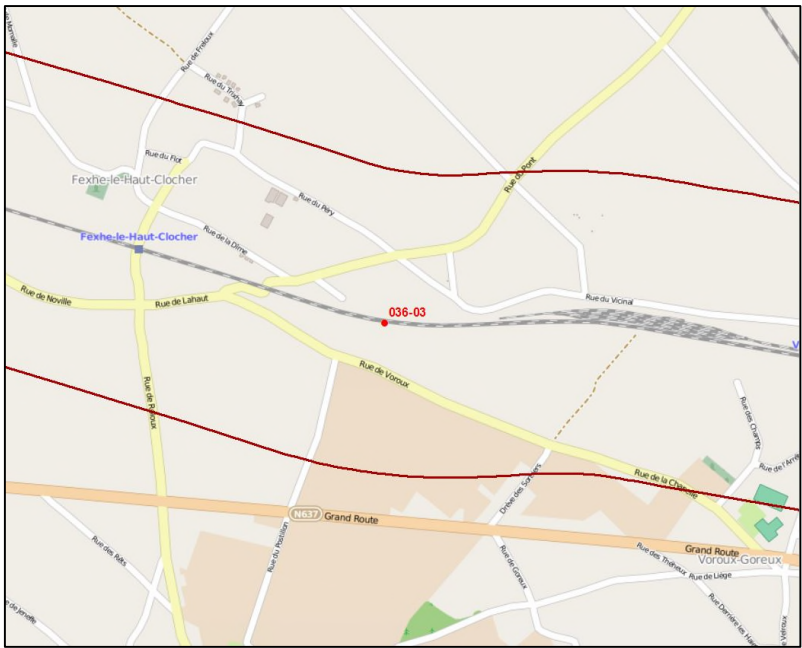
- ☑ en détail,
- ☑ tous les résultats complets et détaillés,
- ☑ de chacune des 100 mesures de bruit réalisées sur site.

Pour chacun point de mesure, le rapport [Volume 4 en annexe] reprend :

- ✓ la localisation du point de mesure,
- ✓ une photo de l'installation,
- ✓ la ligne ferroviaire concernée,
- ✓ la distance (projetée au sol) du microphone par rapport au rail le plus proche,
- ✓ la hauteur du microphone par rapport au terrain naturel,
- ✓ les coordonnées (Lambert) X,Y du microphone,
- ✓ les BK (borne kilométrique) les plus proches (amont et aval),
- ✓ les PTCAR les plus proches (amont et aval),
- ✓ le nom du/des opérateur(s) qui a/ont installé/repris le matériel de mesure,
- ✓ la référence du sonomètre qui a été installé,
- ✓ la valeur de l'écart de calibration du sonomètre (écart entre la calibration d'avant et la calibration d'après la mesure),
- ✓ la configuration du sonomètre (paramètre acoustique mesuré en continu),
- ✓ le début et la fin de la période d'acquisition (de la mesure du bruit en continu),
- ✓ le début et la fin de la période pendant laquelle le bruit des trains a été identifié, train par train,
- ✓ pour chaque heure de la période de codage des trains, un tableau reprenant : la valeur du bruit spécifique du passage des trains, la valeur bruit résiduel, la valeur du bruit global (cumul du résiduel et du passage des trains), et le nombre de trains identifiés,
- ✓ pour les périodes de jour (7-19h), de soir (19-23h) et de nuit (23-7h), la valeur de l'indicateur de bruit correspondant au passage des trains uniquement (bruit spécifique) et la valeur de l'indicateur de bruit correspondant au bruit résiduel, ainsi la valeur de l'indicateur Lden pour le bruit spécifique des trains sur 24 heures et pour le bruit résiduel sur les 24 heures analysées,
- ✓ et enfin, un tableau détaillé reprenant, pour chaque passage de train (chaque ligne du tableau) :
 - la date et l'heure de passage du train,
 - la durée de son passage,
 - la valeur des indicateurs acoustiques (LAeq passage, SEL, Lmax),
 - la voie sur laquelle le train circulait (voie A ou voie B),
 - le numéro du train concerné,
 - la vitesse maximale de l'infrastructure ferroviaire à l'endroit concerné (attention qu'il ne s'agit pas de la vitesse de passage du train, mais bien de la vitesse maximale que les voies ferrées autorisent à l'endroit concerné),
 - et enfin, plusieurs colonnes reprenant la composition exacte du train concerné.

Les deux pages qui suivent montrent un extrait des résultats détaillés tels que présentés dans le Volume 4 (annexe au présent rapport).

EXEMPLE DE FICHE RESULTAT (PAR POINT DE MESURE)



PM 036-03

Situation

Ligne ferroviaire
L-36
Adresse
Rue du Pont 4347 Fexhe-Le-Haut-Clocher
Emplacement
Sur poteau caténaire
Hauteur par rapport au rail
1,6 m
Distance au premier rail
2,1 m
Coordonnées Lambert 72
X 223637
Y 150651
Bornes kilométriques
bk1 86,7
bk2 86,8
ptcar
ptcar1 FEXHE-LE-HAUT-CLOCHER
ptcar2 VOROUX

Protocole de mesure

Intervenant
J. Collette / S. Dasse
Sonomètre
SV 971 - 28273 - classe I
Niveau élémentaire mesuré
100 ms (global)
Calibration
0,01
Mesure
Start
12/01/2015
Stop
16/01/2015
Codage des trains
Start
13/01/2015
Stop
14/01/2015

Résultats par tranche horaire

036-03	Bruit spécifique Train		Bruit Résiduel	Bruit Global
Début Période	L _{Aeq,1h}	# Trains / hr	L _{Aeq,1h}	L _{Aeq,1h}
13/01/15 23:00:00:000	67,2	1	46,8	67,2
14/01/15 00:00:00:000	63,3	1	44,3	63,4
14/01/15 01:00:00:000	61,7	1	49,2	61,9
14/01/15 02:00:00:000			58,3	58,3
14/01/15 03:00:00:000			46,6	46,6
14/01/15 04:00:00:000	65,5	1	56,1	66,0
14/01/15 05:00:00:000	70,4	2	46,5	70,4
14/01/15 06:00:00:000	78,4	4	45,1	78,4
14/01/15 07:00:00:000	78,5	5	62,2	78,6
14/01/15 08:00:00:000	80,9	5	53,6	80,9
14/01/15 09:00:00:000	71,3	3	71,9	74,6
14/01/15 10:00:00:000	75,2	5	53,8	75,2
14/01/15 11:00:00:000	73,8	5	65,8	74,4
14/01/15 12:00:00:000	72,8	5	59,7	73,0
14/01/15 13:00:00:000	73,1	5	65,2	73,8
14/01/15 14:00:00:000	71,8	4	52,7	71,9
14/01/15 15:00:00:000	75,2	5	56,2	75,3
14/01/15 16:00:00:000	76,0	4	54,6	76,0
14/01/15 17:00:00:000	75,8	5	53,4	75,8
14/01/15 18:00:00:000	75,7	5	41,2	75,7
14/01/15 19:00:00:000	71,0	4	65,2	72,0
14/01/15 20:00:00:000	70,9	4	72,6	74,8
14/01/15 21:00:00:000	72,2	3	41,7	72,2
14/01/15 22:00:00:000	69,2	1	45,1	69,2
[DD/MM/YYYY hh]	[dB(A) réf. 20 µPa]	78 # Trains / 24 hr	[dB(A) réf. 20 µPa]	[dB(A) réf. 20 µPa]

Résultats synthétiques

Période	L _{Aeq(trains)}	L _{Aeq(résiduel)}
Ld (07 - 19)	75,8	63,5
Le (19 - 23)	70,9	67,4
Ln (23 - 07)	70,5	52,3
L _{DEN}	78,0	66,6

Nombre équivalent de voitures ==>								1	1	1	1	1	1	10	2	3	3	1	1
Apparition	Durée	Leq	Lmax	SEL	VOIE	# TRAIN	VITESSE	HLE18	HLE21	HLE27	HLD77-78	I10	I11	AMICE3	AM62-66	AM80	AM96	M4	Marchand
13/01/15 23:19:38:300	00:00:52	85,6	98,6	102,7	B	545	140	1				1	11						
14/01/15 00:10:38:600	00:00:38	83,1	92,3	98,9	A	521	140	1				1	11						
14/01/15 01:30:08:100	00:00:38	81,5	97,5	97,3	A	522	140										1		
14/01/15 04:51:22:300	00:00:27	86,6	101,2	101,1	B	527	140										1		
14/01/15 05:08:10:700	00:00:28	88,2	104,1	102,8	B	1727	140								1				
14/01/15 05:51:03:500	00:00:31	88,1	100,2	103,1	B	5176	140								2				
14/01/15 06:06:12:500	00:00:35	94,3	105,1	109,8	B	1728	140									4			
14/01/15 06:37:48:300	00:00:34	96	107,3	111,4	B	7400	140			1								10	
14/01/15 06:50:06:200	00:00:30	83,5	97,9	98,3	A	1704	140									1			
14/01/15 06:51:03:500	00:00:34	83,2	96,9	98,5	B	5177	140									1			
14/01/15 07:06:04:400	00:00:40	92,6	106,7	108,7	B	1729	140									3			
14/01/15 07:08:39:400	00:00:40	79,8	92,7	95,9	A	5156	140								2				
14/01/15 07:38:08:900	00:00:34	95,9	106,9	111,2	B	7401	140			1								10	
14/01/15 07:50:51:900	00:00:34	87,4	100,3	102,7	B	5178	140									1			
14/01/15 07:51:56:400	00:00:34	88,3	100,5	103,6	A	1705	140									2			
14/01/15 08:08:16:100	00:00:26	78,3	91,7	92,4	A	5157	140								1				
14/01/15 08:16:55:500	00:00:33	92,9	104,2	108,1	B	1730	140									3			
14/01/15 08:45:14:300	00:00:44	98,3	105,7	114,7	B	34940	140				1								28
14/01/15 08:51:49:200	00:00:22	95	103,6	108,5	A	1706	140									4			
14/01/15 08:52:15:600	00:00:17	87,9	101,6	100,4	B	5179	140									1			
14/01/15 09:05:54:600	00:00:23	91	104,9	104,7	B	1731	140										1		
14/01/15 09:07:31:300	00:00:23	82,7	93,3	96,4	A	5158	140									2			
14/01/15 09:49:25:900	00:00:24	87,7	98,6	101,6	B	5180	140										1		
14/01/15 10:09:17:900	00:00:34	90,8	101,6	106,1	A	1707	140										4		
14/01/15 10:10:37:600	00:00:34	92,4	105,8	107,7	B	1732	140										2		
14/01/15 10:20:51:000	00:00:23	80,8	92,3	94,5	A	5159	140									1			
14/01/15 10:52:14:300	00:00:24	84,7	98,2	98,5	A	1708	140										1		
14/01/15 10:56:09:800	00:00:20	86,2	99,5	99,3	B	5181	140										1		
14/01/15 11:06:25:900	00:00:23	92,9	104,4	106,6	B	1733	140										2		
14/01/15 11:08:06:200	00:00:23	84,5	95,7	98,2	A	5160	140									2			
14/01/15 11:15:04:400	00:00:18	82,1	94	94,6	A	15142	140			1									
14/01/15 11:49:58:200	00:00:18	89	100	101,5	B	5182	140										1		
14/01/15 11:52:21:400	00:00:27	87,9	98,3	102,2	A	1709	140										2		
14/01/15 12:06:22:300	00:00:22	92,3	103,3	105,8	B	1734	140										2		
14/01/15 12:08:12:500	00:00:27	81,6	94,5	95,9	A	5161	140										1		
14/01/15 12:25:44:700	00:00:24	82	96	95,8	A	34913	140				1								
14/01/15 12:49:51:000	00:00:25	84,5	96,8	98,5	B	5183	140										1		
14/01/15 12:52:30:400	00:00:37	86,2	97,9	102	A	1710	140										2		
14/01/15 13:06:12:500	00:00:30	90,2	101,9	105	B	1735	140										2		
14/01/15 13:08:08:900	00:00:30	80,4	92,4	95,2	A	5162	140									2			
14/01/15 13:34:30:400	00:00:18	83,3	94,3	96,1	B	15444	140			1									
14/01/15 13:49:32:200	00:00:21	87,6	99,5	101	B	5184	140										1		
14/01/15 13:59:05:300	00:00:27	89	101,1	103,4	A	1711	140										2		
14/01/15 14:06:03:500	00:00:22	92,3	103,9	105,9	B	1736	140										2		
14/01/15 14:10:25:000	00:00:26	76,2	89,9	90,4	A	5163	140									1			
14/01/15 14:49:07:100	00:00:24	83,9	97,5	97,7	B	5185	140									1			
14/01/15 14:52:25:000	00:00:29	84,7	98,6	99,5	A	1712	140										1		
14/01/15 15:05:55:500	00:00:26	93,9	104,9	108,1	B	1737	140										3		
14/01/15 15:07:52:800	00:00:26	81,1	92,5	95,3	A	5164	140									1	1		
14/01/15 15:12:45:600	00:00:47	86,6	92,7	103,4	A	39440	140		2										22
14/01/15 15:52:00:800	00:00:27	89,8	101,9	104,3	A	1713	140										2		
14/01/15 15:54:06:200	00:00:24	81,8	97,1	95,7	B	5186	140										1		
14/01/15 16:07:49:200	00:00:24	77,5	90,2	91,3	A	5165	140									1			
14/01/15 16:23:45:600	00:00:27	95,6	106	110,1	B	1738	140										4		
14/01/15 16:49:08:900	00:00:27	82,9	97,1	97,3	B	5187	140										1		
14/01/15 16:52:13:400	00:00:40	89,2	1																

4.4.3 Résultat du calage des modèles de calcul

Les tableaux ci-après reprennent :

- le résultat,
- du « calage » des modèles de calcul,
- par rapport aux résultats des mesures de bruit réalisées sur site,
- avec indication :
 - des écarts « calcul / mesure » (dernière colonne),
 - des vitesses considérées dans les calculs – avec différenciation des trains passagers (colonne « Vpassager ») et marchandises (colonne « Vmarchand »),
 - du type de traverse considérée, pour chaque voie (voie proche et voie éloignée) [bb1 = traverses béton ; bb2 = traverses en bois],
 - et du facteur d'adaptation de la puissance acoustique pour certains trains (colonne « adaptation PWL – acou »).

[Pour les calculs, un facteur G = 0,5 a systématiquement été appliqué, conformément à la demande spécifique du Comité d'Accompagnement.]

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
001-01	Ld	67,6	bb1	bb1	190			67,69	0,09	
	Le	66,1			150			65,73	-0,37	
	Ln	56,6			170			56,58	-0,02	
	Lden	68,2						68,08	-0,12	
001-02	Ld	67,0	bb1	bb1	210			66,89	-0,11	
	Le	66,3			210			66,51	0,21	
	Ln	53,8			160			53,71	-0,09	
	Lden	67,5						67,47	-0,03	
001-03	Ld	69,6	bb1	bb1	200			69,56	-0,04	
	Le	68,6			200			68,91	0,31	
	Ln	56,8			170			56,65	-0,15	
	Lden	70,0						70,07	0,07	
001-04	Ld	67,5	bb1	bb1	190			67,41	-0,09	
	Le	66,8			190			66,95	0,15	
	Ln	53,9			140			53,75	-0,15	
	Lden	67,9						67,89	-0,01	
001-05	Ld	65,9	bb1	bb1	180			66,29	0,39	
	Le	64,9			180			64,91	0,01	
	Ln	52,8			160			52,85	0,05	
	Lden	66,2						66,44	0,24	
024-01	Ld	75,7	bb1	bb1	65	MARCH +2		75,66	-0,04	
	Le	74,9			62			75,46	0,56	
	Ln	76,4			65			76,73	0,33	
	Lden	82,6						82,88	0,28	
024-02	Ld	78,2	bb1	bb1		90	MARCH +2	77,49	-0,71	
	Le	78,4				90		78,15	-0,25	
	Ln	78,4				80		78,17	-0,23	
	Lden	84,8			meme diff que 024- 03			84,49	-0,31	
024-03 R	Ld	77,0	bb1(b-block)	bb1	58	MARCH +2		75,74	-1,26	
	Le	77,1			62			76,73	-0,37	
	Ln	75,8			51			76,06	0,26	
	Lden	82,5						82,51	0,01	
034-01 R	Ld	70,0	bb1(b-block)		75			69,62	-0,38	
	Le	67,8			68			67,64	-0,16	
	Ln							0		
	Lden	69,1						68,83	-0,27	
034-02	Ld	40,9	bb1(b-block)		30	AM80 -6		40,92	0,02	Face à Liers Faisceau + gare de Liers Travaux à proximité
	Le	41,6			55			41,73	0,13	
	Ln							0		
	Lden	41,4						41,47	0,07	

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
034-03	Ld	60,6	bb1	bb1	85		AM80 +1	60,76	0,16	
	Le	62,1			90		M4 +2,5	62,48	0,38	
	Ln	55,1			68		M6 +1	55,12	0,02	
	Lden	64,0						64,17	0,17	
034-04	Ld	63,2	bb1	bb1	50		AM80 +1	63	-0,2	Travaux à proximité
	Le	64,9			65		M4 +2,5	64,73	-0,17	
	Ln	55,3			30		M6 +1	55,36	0,06	
	Lden	65,8						65,69	-0,11	
034-05	Ld	51,3	bb1	bb1	50		AM80 -4	50,99	-0,31	bb2 en 2008 Proche gare d'Herstal
	Le	51,7			30		M4 -2	52,56	0,86	
	Ln	45,7			30		M6 -4	45,77	0,07	
	Lden	54,3						54,53	0,23	
036-01	Ld	79,3	bb2	bb2	100		AM62-66 +3	79,01	-0,29	coeff basé sur L94
	Le	76,0			110		AM80 +1	75,65	-0,35	
	Ln	74,5			110		M4+2,5	74,75	0,25	
	Lden	82,0						82,01	0,01	
036-02	Ld	76,3	bb1	bb1	110		AM62-66 +3	76,59	0,29	M4 L96 AM62-66 L112 L117 AM80 L34
	Le	71,2			100		AM80 +1	71,03	-0,17	
	Ln	69,7			90		M4+2,5	70,19	0,49	
	Lden	77,7						78,08	0,38	
036-03	Ld	75,8	bb1	bb1	100		AM62-66 +3	75,91	0,11	Approche de gare (+constat sur place)
	Le	70,9			100		AM80 +1	71,17	0,27	
	Ln	70,5			90		M4+2,5	70,26	-0,24	
	Lden	78,0						77,91	-0,09	
037-01	Ld	71,5	bb1	bb1	80		I11 +3	71,6	0,1	
	Le	69,8			80		M6 +4	69,89	0,09	
	Ln	65,5			90		AM62-66 +4,5	65,29	-0,21	
	Lden	73,8						73,74	-0,06	
037-02 R	Ld	72,1	bb1	bb1	88		I11 +3	72,4	0,3	
	Le	70,5			88		M6 +4	70,72	0,22	
	Ln	65,9			88		AM62-66 +4,5	65,3	-0,6	
	Lden	74,3			vitesse I11			74,18	-0,12	
037-03	Ld	70,3	bb2	bb2	50		I11 -3	70,05	-0,25	
	Le	70,0			70		M6 0	69,75	-0,25	
	Ln	62,2			50		AM62-66 0	62,23	0,03	
	Lden	72,1						71,93	-0,17	
037-04	Ld	70,8	bb2	bb2	90		I11 -3	71,29	0,49	
	Le	70,5			90		M6 0	70,28	-0,22	
	Ln	61,3			60		AM62-66 0	61,43	0,13	
	Lden	72,2						72,3	0,1	

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
037-05	Ld	63,8	bb1	bb1	40		I11 -5	63,41	-0,39	Constatation sur place, les trains roulent très lentement
	Le	61,1			40		M6 -2	61,43	0,33	
	Ln	55,6			30		AM62-66 -2	55,95	0,35	
	Lden	64,9						64,97	0,07	
094-01R	Ld	80,7	bb1	bb1	127		AM80 +1	80,8	0,1	
	Le	77,9			125		M4 +2,5	78,37	0,47	
	Ln	73,5			120		AM86 -8,5	73,75	0,25	
	Lden	82,2					AM08 -4	82,44	0,24	
096-01	Ld	81,3	bb1 (b-block)	bb1 (b-block)	120	90	M4 +4	81,29	-0,01	
	Le	79,7			140	90	M6 +3	79,09	-0,61	
	Ln	72,6			110	50	AM96 +0,5	72,44	-0,16	
	Lden	82,5					MARCH -1,5	82,26	-0,24	
096-02	Ld	81,4	bb1 (b-block)	bb1 (b-block)	120	90	M4 +4	80,97	-0,43	
	Le	79,4			140	90	M6 +3	78,84	-0,56	
	Ln	71,9			110	50	AM96 +0,5	72,14	0,24	
	Lden	82,2					MARCH -1,5	81,97	-0,23	
096-03R	Ld	82,5	bb2	bb2	123	64	M4 +2	82,69	0,19	
	Le	81,1			123	90	M6 +1	80,32	-0,78	
	Ln	75,5			112	90	AM96 -1,5	74,86	-0,64	
	Lden	84,4					MARCH -1,5	84,01	-0,39	
096-04	Ld	81,2	bb2	bb2	109	64	M4 +2	81,46	0,26	La nuit du 9 au 10, des travaux à proximité
	Le	79,5			117	72	M6 +1	79,91	0,41	
	Ln	73,1			90	30	AM96 -1,5	72,92	-0,18	
	Lden	82,6				par calcul	MARCH -1,5	82,71	0,11	
096-05	Ld	79,5	bb2	bb2	100	64	M4 +2	79,63	0,13	Approche de braine le comte
	Le	78,4			120	72	M6 +1	77,89	-0,51	
	Ln	73,3			110	70	AM96 -1,5	73,53	0,23	
	Lden	81,8					MARCH -1,5	81,86	0,06	
096-06	Ld	69,7	bb2	bb2	90	64	M4 +2	69,46	-0,24	
	Le	66,4			90	72	M6 +1	66,1	-0,3	
	Ln	63,5			90	70	AM96 -1,5	63,74	0,24	
	Lden	71,6					MARCH -1,5	71,6	0	
096-07	Ld	74,4	bb2	bb2	120	64	M4 +2	74,62	0,22	
	Le	71,8			130	72	M6 +1	70,96	-0,84	
	Ln	66,8			110	70	AM96 -1,5	66,67	-0,13	
	Lden	75,7					MARCH -1,5	75,63	-0,07	
097-01	Ld	73,9	bb1	bb1	120	64	M4 +2	73,92	0,02	
	Le	72,2			120	72	M6 +1	72,4	0,2	
	Ln	65,9			85	70	AM96 0	65,88	-0,02	
	Lden	75,3					MARCH -1,5	75,37	0,07	

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
112-01	Ld	63,0	bb1	bb1	65		AM96 +4	62,77	-0,23	
	Le	63,4			79		AM62-66 +6	63,33	-0,07	
	Ln	60,1			72	90		59,96	-0,14	
	Lden	67,5						67,31	-0,19	
112-02	Ld	72,2	bb2	bb2	95		AM96 +4	71,92	-0,28	
	Le	71,2			90		AM62-66 +6	71,18	-0,02	
	Ln	66,7			85	45		66,79	0,09	
	Lden	74,9						74,86	-0,04	
112-03R	Ld	71,5	bb1	bb1	77		AM96 +1	71,25	-0,25	
	Le	71,0			79		AM62-66 +3,3	70,65	-0,35	
	Ln	70,9			72	79		70,58	-0,32	
	Lden	77,4						77,07	-0,33	
112-04	Ld	73,1	bb1	bb1	77		AM96 +4	73,48	0,38	
	Le	73,2			79		AM62-66 +6	72,97	-0,23	
	Ln	72,6			72	79		72,51	-0,09	
	Lden	79,1						79,09	-0,01	
117-01	Ld	69,5	bb1	bb1	82	30	AM62-66 +3,3	69,37	-0,13	
	Le	71,3			79	30		71,26	-0,04	
	Ln	69,7			79	30	MARCH +3 Night	69,42	-0,28	
	Lden	76,3					MARCH +5 Evening	76,08	-0,22	
117-02	Ld	74,0	bb1 (b-block)	bb1 (b-block)	82	40	AM62-66 +3,3	73,76	-0,24	
	Le	74,4			79	40	MARCH +4	74,31	-0,09	
	Ln	71,5			79	35		71,5	0	
	Lden	78,7						78,64	-0,06	
117-03R	Ld	73,7	bb1	bb1	82	55	AM62-66 +3,3	73,65	-0,05	La nuit et le soir, qq trains de marchandises font beaucoup de bruit
	Le	73,3			79	52	MARCH +4	72,88	-0,42	
	Ln	78,9			79	55		78,59	-0,31	
	Lden	84,5						84,2	-0,3	
117-04	Ld	70,8	bb1	bb1	82	55	AM62-66 +3,3	70,9	0,1	La nuit et le soir, qq trains de marchandises font beaucoup de bruit
	Le	70,1			79	52		70,49	0,39	
	Ln	72,8			79	55	MARCH +3 Night	72,8	0	
	Lden	78,7					MARCH +3 Evening	78,78	0,08	
124-01	Ld	56,0	bb1	bb1	60		M6 -2,5	55,95	-0,05	Travaux
	Le	53,6			55		AM08 -2	53,53	-0,07	
	Ln	46,9			55		M4 -2	46,65	-0,25	
	Lden	56,9						56,72	-0,18	
124-02	Ld	59,6	bb1	bb1	70		M6 -2,5	59,28	-0,32	Travaux
	Le	57,1			65		AM08 -2	57,13	0,03	
	Ln	49,9			65		M4 -2	49,74	-0,16	
	Lden	60,2						60,04	-0,16	

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
124-03	Ld	66,3	bb1	bb1	100		M6 -2,5	66,35	0,05	Sur base 124-08
	Le	64,1			100		AM08 -2	64,41	0,31	
	Ln	57,2			85		M4 -2	57,29	0,09	
	Lden	67,2						67,33	0,13	
124-04	Ld	68,0	bb1	bb1	65		M6 -3	67,98	-0,02	Courbes de Nivelles et Baulers limité à 60 km/h
	Le	66,2			60		AM08 -5,5	66,3	0,1	
	Ln	59,2			70		M4 -4	58,98	-0,22	
	Lden	69,1						69,05	-0,05	
124-05	Ld	74,3	bb1	bb1	130		M6 +4	74,17	-0,13	
	Le	71,5			120		AM08 +3	71,34	-0,16	
	Ln	65,2			120		M4 -2	65,23	0,03	
	Lden	75,1						74,96	-0,14	
124-06	Ld	73,9	bb1	bb1	130		M6 +4	74,32	0,42	
	Le	71,0			120		AM08 +3	71,52	0,52	
	Ln	65,6			110		M4 -2	65,7	0,1	
	Lden	74,9						75,23	0,33	
124-07R	Ld	73,8	bb1	bb1	120		M6 +4	73,83	0,03	
	Le	72,1			118		AM08 +3	71,73	-0,37	
	Ln	64,5			90		M4 -2	64,89	0,39	
	Lden	74,7						74,8	0,1	
124-08 R	Ld	72,5	bb2	bb2	78	65	M6 -2,5	73,15	0,65	
	Le	75,6			70	65	AM08 -2	75,55	-0,05	
	Ln	74,1			70	65	MARCH 0	74,26	0,16	
	Lden	80,5						80,73	0,23	
124-09	Ld	72,9	bb2	bb2	78	70	M6 -2,5	72,68	-0,22	
	Le	75,8			70	75	AM08 -2	75,8	0	
	Ln	73,7			70	65	MARCH 0	73,6	-0,1	
	Lden	80,4						80,24	-0,16	
125-01	Ld	70,6	bb1	bb1	40	30	M4 +3,0	70,11	-0,49	
	Le	68,2			30	30	AM96 0	68,33	0,13	
	Ln	66,7			40	30	AM62-66 0	66,78	0,08	
	Lden	73,9					MARCH 0	73,91	0,01	
125-02	Ld	78,2	bb1	bb1	120	81	M4 +3,0	77,46	-0,74	
	Le	76,8			120	80	AM96 0	76,56	-0,24	
	Ln	73,5			120	79	AM62-66 0	73,55	0,05	
	Lden	81,2					MARCH 0	81,05	-0,15	
125-03	Ld	75,1	bb1	bb1	90	81	M4 +3,0	75,4	0,3	
	Le	74,8			100	80	AM96 0	74,84	0,04	
	Ln	71,7			90	70	AM62-66 0	72,13	0,43	
	Lden	79,1					MARCH 0	79,43	0,33	

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
125-04	Ld	76,3	bb1	bb2	90	81	M4 +2	76,37	0,07	
	Le	76,2			100	80	AM96 0	76,16	-0,04	
	Ln	72,8			90	70	AM62-66 0	72,77	-0,03	
	Lden	80,3					MARCH 0	80,27	-0,03	
125-05 R	Ld	76,0	bb1	bb2	94	81	M4 +2,0	76,38	0,38	
	Le	76,0			100		AM96 -1	75,24	-0,76	
	Ln	73,4			100	79	AM62-66 0	74,09	0,69	
	Lden	80,5					MARCH 0	80,96	0,46	
125-06	Ld	76,0	bb1	bb1	100	70	M4 +3,0	75,9	-0,1	
	Le	75,9			110	70	AM96 0	75,65	-0,25	
	Ln	72,0			90	70	AM62-66 0	72,12	0,12	
	Lden	79,7					MARCH 0	79,69	-0,01	
125-07	Ld	74,8	bb1	bb1	90	80	M4 +3,0	75,25	0,45	
	Le	74,5			90	80	AM96 0	75,17	0,67	
	Ln	71,9			90	80	AM62-66 0	72,11	0,21	
	Lden	79,1					MARCH 0	79,46	0,36	
125-08	Ld	74,6	bb1	bb1	90	80	M4 +3,0	75,88	1,28	
	Le	75,0			90	80	AM96 0	75,25	0,25	
	Ln	72,7			90	80	AM62-66 0	72,84	0,14	
	Lden	79,7					MARCH 0	80,05	0,35	
125-09	Ld	73,2	bb1	bb1	90	45	M4 +3,0	73,55	0,35	
	Le	74,8			90	45	AM96 0	74,01	-0,79	
	Ln	69,4			90	45	AM62-66 0	69,76	0,36	
	Lden	77,5					MARCH 0	77,45	-0,05	
125-10	Ld	74,6	bb1	bb1	90	45	M4 +3,0	74,63	0,03	
	Le	76,0			90	45	AM96 0	75,31	-0,69	
	Ln	69,9			80	45	AM62-66 0	70,37	0,47	
	Lden	78,3					MARCH 0	78,37	0,07	
125-11 R	Ld	76,3	bb1	bb1	103	62	M4 +3,0	76,21	-0,09	
	Le	75,4			102	83	AM96 0	75,97	0,57	
	Ln	73,4			100	73	AM62-66 0	73,07	-0,33	
	Lden	80,5					MARCH 0	80,38	-0,12	
125-12	Ld	72,7	bb1	bb1	70	40	M4 +3,0	72,83	0,13	
	Le	73,7			70	70	AM96 0	73,03	-0,67	
	Ln	68,5			70	40	AM62-66 0	68,79	0,29	
	Lden	76,5					MARCH 0	76,57	0,07	
125-13	Ld	81,7	bb2	bb2	110		M4 +5,0	81,93	0,23	
	Le	80,3			100		AM96 +2	80,96	0,66	
	Ln	77,4			120		AM62-66 +2	76,53	-0,87	
	Lden	85,0						84,68	-0,32	

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
125-14	Ld	79,3	bb1	bb1	110		M4 +5,0	79,35	0,05	
	Le	78,3			100		AM96 +2	78,17	-0,13	
	Ln	74,0			120		AM62-66 +2	73,23	-0,77	
	Lden	82,1						81,7	-0,4	
130-01	Ld	65,5	bb1	bb1	40	40	AM62-66 +3	65,61	0,11	
	Le	66,7			40	40	AM96 +1	66,49	-0,21	
	Ln	64,5			40	40	MARCH +4	64,32	-0,18	
	Lden	71,4			Break train sur une voie			71,2	-0,2	
130-02	Ld	55,1	bb2	bb1	40	30	AM62-66 -1,5	55,73	0,63	Coefficient 096-03
	Le	55,1			40	30	AM96 -1,5	54,13	-0,97	
	Ln	50,7			30	20	MARCH -4	50,83	0,13	Proche de Chatelet Formation
	Lden	58,6						58,61	0,01	
130-03	Ld	58,3	bb1	bb1	60	40	AM62-66 +3	58,84	0,54	bb2 en 2008
	Le	58,1			60	40	AM96 +1	57,11	-0,99	
	Ln	58,5			60	40	MARCH +4	58,41	-0,09	
	Lden	64,9						64,72	-0,18	
130-04	Ld	59,4	bb1	bb1	80	60	AM62-66 +3	59,84	0,44	bb2 en 2008
	Le	61,9			80	60	AM96 +1	62,19	0,29	
	Ln	61,4			80	60	MARCH +4	61,42	0,02	
	Lden	67,7						67,77	0,07	
130-05R	Ld	77,9	bb1	bb1	90	70	AM62-66 +3	77,97	0,07	AM62-66/MARCH L117
	Le	78,8			90	70	AM96 +1	79,12	0,32	AM96 L112
	Ln	80,0			90	70	MARCH +4	79,84	-0,16	
	Lden	86,1			paricoms			85,97	-0,13	
130-06	Ld	54,9	bb1	bb1	30	30		55,48	0,58	bb2 en 2008 et quai pas représenté
	Le	57,2			30	30		56,92	-0,28	Face à la gare de Floreffe
	Ln	57,4			30	30		57,19	-0,21	
	Lden	63,5						63,39	-0,11	
130-07	Ld	61,6	bb1	bb1	100		AM62-66 +3	61,72	0,12	Travaux - Trains roulent sur voie parallèle
	Le	59,6			90		AM96 +1	59,67	0,07	
	Ln	57,1			100			56,74	-0,36	
	Lden	64,7			sur les voies // car travaux			64,48	-0,22	
130-08	Ld	57,8	bb1	bb1	50		AM62-66 +3	57,33	-0,47	Travaux - Trains roulent sur voie parallèle
	Le	58,8			70		AM96 +1	58,64	-0,16	Approche gare de Namur
	Ln	51,3			30			50,57	-0,73	
	Lden	60,6			sur les voies // car travaux			60,15	-0,45	
139-01	Ld	68,9	bb1	bb1	90	55	AM08 -1	68,98	0,08	
	Le	71,4			90	70	MARCH +0,5	71,66	0,26	
	Ln	74,4			81	87		74,49	0,09	
	Lden	80,1						80,22	0,12	



	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
139-02R	Ld	70,4	bb1	bb2	90	62	AM08 -1	70,69	0,29	
	Le	73,8			90	93	MARCH +0,5	74,85	1,05	
	Ln	76,9			81	87		76,8	-0,1	
	Lden	82,6						82,59	-0,01	
139-03	Ld	71,0	bb1	bb1	90	80	AM08 -1	70,88	-0,12	
	Le	73,8			90	95	MARCH +0,5	73,09	-0,71	
	Ln	74,4			81	85		74,67	0,27	
	Lden	80,5						80,59	0,09	
154-01	Ld	74,3	bb1	bb1	87	85	AM08 -5	74,38	0,08	
	Le	75,3			89	70	MARCH 0	75,16	-0,14	
	Ln	73,2			87	70		73,51	0,31	
	Lden	80,0						80,24	0,24	
154-02	Ld	73,8	bb1	bb1	70	80	AM08 -5	73,92	0,12	
	Le	74,9			70	65	MARCH 0	74,79	-0,11	
	Ln	73,1			70	65		73,15	0,05	
	Lden	79,8						79,87	0,07	
154-03 R	Ld	75,2	bb1	bb1	87	85	AM08 -5	74,15	-1,05	
	Le	75,8			89	82	MARCH 0	75,49	-0,31	
	Ln	74,6			87	81		74,49	-0,11	
	Lden	81,2						80,98	-0,22	
154-04	Ld	69,8	bb1	bb1	70	60	AM08 -5	70,24	0,44	
	Le	74,0			70	65	MARCH 0	74,12	0,12	
	Ln	72,7			70	70		72,81	0,11	
	Lden	79,1						79,17	0,07	
161-01	Ld	59,8	bb1	bb1	120		AM08 -4	60,12	0,32	
	Le	59,8			120		AM80 +1	59,79	-0,01	
	Ln	51,7			90		M6 -2,5	51,44	-0,26	
	Lden	61,7				Hmur 2m		61,7	0	
161-02	Ld	59,7	bb1	bb1	90		AM08 -4	60,14	0,44	Approche de la gare
	Le	60,4			100		AM80 +1	60,74	0,34	
	Ln	52,5			70		M6 -2,5	52,51	0,01	
	Lden	62,2			Hmur 2,5m	Break train sur une voie		62,39	0,19	
161-03	Ld	63,5	bb1	bb1	110		AM08 -4	63,79	0,29	
	Le	63,9			115		AM80 +1	63,77	-0,13	
	Ln	57,0			100		M6 -2,5	57,07	0,07	
	Lden	66,1				Hmur 1,9m		66,18	0,08	
161-04	Ld	55,2	bb1	bb1	90		AM08 -4	55,85	0,65	Travaux à proximité
	Le	56,3			100		AM80 +1	56,5	0,2	
	Ln	47,0			50		M6 -2,5	46,84	-0,16	
	Lden	57,5				Hmur 3m		57,7	0,2	

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'	
			Proche	Eloignée						
161-05	Ld	66	bb1	bb1	90		AM08 -4	66,26	0,26	
	Le	61,2			90		AM80 +1	61,65	0,45	
	Ln	57,8			100		M6 -2,5	57,25	-0,55	
	Lden	66,7						66,68	-0,02	
161-06	Ld	60,5	bb1	bb1	110	70	AM08 -4	60,07	-0,43	
	Le	59,7			100	70	AM80 +1	60,15	0,45	
	Ln	59,1			110	70	M6 -2,5	58,76	-0,34	
	Lden	65,7					MARCH +0,5	65,51	-0,19	
161-07	Ld	74,4	bb1	bb1	120	85	AM08 -1	74,12	-0,28	
	Le	74,8			120	85	AM80 +4	75,1	0,3	
	Ln	72,7			120	85	M6 +0,5	72,5	-0,2	
	Lden	79,6					MARCH +3,5	79,51	-0,09	
161-08R	Ld	76,7	bb1	bb1	110	70	AM08 -4	76,14	-0,56	AM08 AM80 L94 M6 L124-08 MARCH L139
	Le	76,2			110	70	AM80 +1	76,13	-0,07	
	Ln	73,9			110	70	M6 -2,5	73,76	-0,14	
	Lden	81,1					MARCH +0,5	80,84	-0,26	
161-09	Ld	60,5	bb1	bb1	110	70	AM08 -4	60,62	0,12	
	Le	60,6			110	70	AM80 +1	60,53	-0,07	
	Ln	57,6			110	70	M6 -2,5	57,72	0,12	
	Lden	64,9					MARCH +0,5	64,98	0,08	
161-10	Ld	54,9			60	60	AM08 -4	54,79	-0,11	Approche de la gare de Gembloux
	Le	56,6			60	60	AM80 +1	56,14	-0,46	
	Ln	47,4			30	30	M6 -2,5	47,56	0,16	
	Lden	57,6					MARCH +0,5	57,46	-0,14	
161-11	Ld	75,8	bb1	bb1	110		AM08 -4	76,31	0,51	
	Le	76,8			110		AM80 +1	76,85	0,05	
	Ln	69,4			85	70	M6 -2,5	69,45	0,05	
	Lden	78,6					MARCH +0,5	78,82	0,22	
161-12	Ld	76,3	bb1	bb1	110		AM08 -4	76,82	0,52	
	Le	77,4			120		AM80 +1	77,64	0,24	
	Ln	70,4			90	70	M6 -2,5	70,35	-0,05	
	Lden	79,4					MARCH +0,5	79,58	0,18	
161-13	Ld	75,2	bb1	bb1	95		AM08 -4	75,3	0,1	
	Le	75,0			95		AM80 +1	75,05	0,05	
	Ln	66,6			70	50	M6 -2,5	66,6	0	
	Lden	76,8					MARCH +0,5	76,9	0,1	
162-01	Ld	73,1	bb1 (b-block)	bb1	120		AM96 +1	73,49	0,39	Coeff AM96 basé sur L112
	Le	72,5			120			71,9	-0,6	
	Ln	65,6			100			65,94	0,34	
	Lden	75,0						75,11	0,11	

	Indicateur	Résultats mesurés	Voie		SIMU FINALE					Remarques	
					Vpassager	Vmarchand	Correction PWL - acou	Résultats calculés	Différence 'calcul - mesure'		
			Proche	Eloignée							
162-02	Ld	67,2	bb2	bb1	112		AM96 +1	67,12	-0,08	Coeff basé sur L112 bb1 bb2 L162 L124	
	Le	67,2			120		AM08 -2	67,2	0		
	Ln	60,4			110		AM62-66 +3,3	60,86	0,46		
	Lden	69,6					I6 I10 +5	69,74	0,14		
162-03	Ld	64,5	bb1	bb1 (b-block)	50		M6 -2,5	64,86	0,36	Travaux à proximité AM08/M6 correction L124-08	
	Le	64,5				AM08 -2	63,98	-0,52			
	Ln	58,3				AM96 -2	58,36	0,06			
	Lden	67,1					67,1	0			
162-04	Ld	70,2	bb1	bb2	70		AM96 0	70,23	0,03	Travaux à proximité Entre 2 gares proches	
	Le	69,6			70		AM08 +4	69,96	0,36		
	Ln	62,8			40		AM62-66 +5	62,73	-0,07		
	Lden	72,2					M4 +0	72,24	0,04		
162-05	Ld	70,2	bb1	bb2	130		AM96 0	70,09	-0,11		
	Le	68,9				AM08 +4	68,41	-0,49			
	Ln	62,5				AM62-66 +5	62,18	-0,32			
	Lden	71,8				M4 +3,0	71,54	-0,26			
162-06	Ld	75,9	bb1	bb2	130		AM96 0	75,83	-0,07		
	Le	74,7			130		AM08 +4	74,78	0,08		
	Ln	69,8			120		AM62-66 +5	69,67	-0,13		
	Lden	78,3					M4 +3,0	78,61	0,31		
162-07R	Ld	75,6	bb2	bb2	112		AM96 0	74,95	-0,65	Voie la plus éloignée fait trop de bruit	
	Le	76,2				80	AM08 +4	74,65	-1,55		
	Ln	72,9				80	AM62-66 +5	72,9	0		
	Lden	80,2					MARCH +4	79,82	-0,38		
162-08	Ld	76,7	bb2	bb2	130		AM96 0	75,28	-1,42		
	Le	74,8			130		AM08 +4	75,04	0,24		
	Ln	67,6			120		AM62-66 +5	67,89	0,29		
	Lden	77,7						77,34	-0,36		
162-09	Ld	79,7	bb2	bb2	130		AM96 +5	80,42	0,72		
	Le	78,4				130		AM08 +4	78,31		-0,09
	Ln	74,9				130		AM62-66 +5	74,86		-0,04
	Lden	82,7					M4 +5	82,85	0,15		
162-10	Ld	72,6	bb1	bb1	120		AM96 0	72,95	0,35		
	Le	70,8			100		AM08 +4	70,52	-0,28		
	Ln	63,0			90		AM62-66 +5	63,39	0,39		
	Lden	73,4						73,63	0,23		
162-11 R	Ld	78,3	bb1	bb2	115	30	AM96 0	77,7	-0,6		
	Le	78,5					M6 0	78,72	0,22		
	Ln	75,7				80		75,16	-0,54		
	Lden	82,9					vitesse M6		82,38		-0,52

5 TRANCHE CONDITIONNELLE -2 : CALCUL ET ÉDITION DES CARTES DE BRUIT ET DÉNOMBREMENTS Y ASSOCIÉS

Les cartes de bruit à grande échelle (ici : pas moins de 591,9 km² – 59.190 ha) :

- ✓ s'établissent par calculs
 - pour disposer des niveaux sonores partout, sur chaque façade de chaque bâtiment, dans chaque jardin, dans chaque rue, chaque parc, ...
- ✓ à partir d'un modèle géométrique **3D complet** de toute la zone à étudier (dans toute son entièreté)
 - pour prendre en compte les effets de réflexion du bruit, notamment sur les façades,
 - pour prendre en compte les effets d'obstacles à la propagation du bruit, notamment à l'arrière des bâtiments, à l'intérieur des îlots, en contrebas des talus, ...
 - ⇒ si bien que le relief est modélisé en 3D dans le modèle informatique, que chaque bâtiment y est aussi représenté en 3D, ainsi que chaque annexe de bâtiment, chaque mur d'enceinte, chaque hangar, chaque pont, chaque rue, ...,
- ✓ calculs dont les résultats et les paramètres **sont validés et contrôlés** au moyen des quelques 100 mesures de bruit réalisées sur le terrain et réparties sur l'ensemble des 591,90 km de voies à cartographier.

5.1 BUT POURSUIVI

L'objectif de la « Tranche Conditionnelle n° 2 » était triple :

4. d'abord, sur base des modèles géométriques 3D (construits lors de la tranche ferme – cfr. supra) et sur base des données de trafic ferroviaire fournies par la SNCB et par INFRABEL :
 - de calculer et d'éditer les cartes de bruit stratégiques, tant pour l'indicateur Lden, que pour l'indicateur Lnight,
5. ensuite, de réaliser le dénombrement des populations et des immeubles exposés situés à l'intérieur de ces zones d'exposition au bruit, tant pour le Lden, que pour le Lnight,
6. et enfin, de proposer un plan d'actions à mettre en œuvre à moyen et à long terme pour permettre de réduire durablement l'exposition des populations au bruit des trains.

Les chapitres qui suivent fournissent tant les hypothèses de travail retenues et validées par le Comité d'Accompagnement, que les résultats de l'étude.

5.2 MÉTHODE DE CALCUL

Conformément aux termes de la directive européenne 2002/49/CE et à ceux de l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 mai 2004, la méthode de calcul qui a été utilisée pour l'établissement des cartes du bruit ferroviaire est :

- ⊙ la méthode nationale de calcul des Pays-Bas,
- ⊙ publiée dans « Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaa '96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 november 1996 ».

Cette méthode de calcul – dite RMR (en abrégé) – et les données de puissance acoustique qui s'y rapportent –, sont reprises :

- dans le logiciel de calcul « **IMMI Premium 2012** »
- logiciel qui a été utilisé pour réaliser les cartes de bruit (non seulement de cette étude-ci, mais aussi de celles de la cartographie acoustique des agglomérations de Liège et de Charleroi),
- et dont les résultats ont été validés par les 100 mesures de bruit de contrôle effectuées directement le long des voies de chemin de fer (cfr. supra).

5.2.1 Correction de puissance acoustique

La méthode de calcul « RMR » permet de modéliser et de calculer le bruit des trains sur base d'une classification de ceux-ci en différentes catégories acoustiques.

A chaque catégorie acoustique correspond une série de type de trains à laquelle une puissance acoustique spécifique est attribuée. Cette classification des trains par catégorie reflète le parc ferroviaire des Pays-Bas, qui n'est pas nécessairement le même que le parc ferroviaire belge.

En effet, lors de l'établissement des cartes de bruit de la première phase de la directive, en 2008, qui étaient relatives aux lignes de chemin de fer qui supportaient plus de 60 000 passages de trains par an (et dont la mise à jour fait partie de la présente étude), ainsi que lors de l'établissement des cartes de bruit des agglomérations de Liège et de Charleroi, il avait été constaté que certains trains belges émettaient plus de bruit (parce que plus anciens, ou parce que pas encore freinés par des freins à disques notamment) et parfois moins de bruit que la catégorie acoustique RMR à laquelle ils étaient associés – en fonction notamment des voies sur lesquelles ils roulaient.

Cette constatation s'est de nouveau confirmée et affirmée à la lumière des 100 mesures de contrôle de bruit réalisées sur site dans le cadre de la présente étude, si bien que les coefficients de correction acoustique suivants – en fonction des voies concernées – ont été utilisés pour l'établissement des cartes du bruit ferroviaire, soit :

TYPE DE MATERIEL	CATEGORIE RMR	CORRECTION DE PUISSANCE (*) [dB]
I6, I10 et I11	8	- 2 à + 1
HL-HV	2	0
M4	2	+ 2,5
M6	8	- 2,5 à + 2,5
Marchandises	4	- 1,5 à + 4
AM96	2	0 / + 1
AM80	2	+ 1 à + 3,5
AM75	2	+ 1
AM62-66	3	0 à + 3
PBKA et ICE3	9	0
AM08	10	- 4 à - 1

(*) en fonction de la qualité de la voie sur laquelle le matériel roulant circule.

5.2.2 Données de trafic ferroviaire

La particularité du réseau ferroviaire est que :

- chaque tronçon d'une même voie (généralement 1 à 2 voies par sens de circulation) d'une même ligne de chemin de fer
- ne supporte
- pas nécessairement le même nombre ou le même type de trains
- et n'a pas nécessairement la même vitesse limite ou le même type de traverses
- que le ou les tronçon(s) adjacent(s).

En pratique, cela signifie que **pour chaque tronçon de chaque voie de chaque ligne concernée** (parce que le type ou le nombre ou la vitesse de circulation des trains sur un tronçon de voie n'est pas nécessairement identique sur le tronçon qui suit ou qui précède, voire même sur le tronçon de la ou des voies d'à côté), les données suivantes doivent être insérées, tronçon par tronçon, dans le modèle 3D de calcul tel que construit dans la tranche ferme de l'étude, soit :

- ⊙ le nombre d'automotrices par heure et par période (jour, soir, nuit) en fonction de leur catégorie acoustique,
- ⊙ le nombre de locomotives par heure et par période (jour, soir, nuit) en fonction de leur catégorie acoustique,
- ⊙ le nombre de wagons par catégorie de trains (catégorie 2, 4, ... en fonction des caractéristiques acoustiques de chaque type de train) par heure et par période (jour, soir, nuit),
- ⊙ la vitesse de circulation des automotrices et des locomotives par catégorie,
- ⊙ la vitesse de circulation des wagons par catégorie,
- ⊙ et le type de traverses (bois, bi-blocs, monobloc béton, ...) dont chaque tronçon de voie est équipé.

Cette décomposition en tronçons homogènes de trafic et de vitesses :

- doit encore être subdivisée d'avantage
- à l'approche et au départ des gares et des points d'arrêt
- pour tenir compte de la décélération / accélération progressive des trains à l'approche / au départ des points d'arrêt / gares.

Ainsi, les paliers suivants de vitesse à l'approche / au départ des points d'arrêt ont été appliqués aux trains qui s'y arrêtent (tous ne le font pas nécessairement) avec un profil d'accélération / décélération constante de 0,6 m/s², soit :

Paliers de d'accélération			Paliers de décélération		
Palier de vitesse constante [km/h]	Longueur du palier de vitesse constante [m]	Distance cumulée "début du palier - quai de la gare" [m]	Palier de vitesse constante [km/h]	Longueur du palier de vitesse constante [m]	Distance cumulée "début du palier - quai de la gare" [m]
30	en gare	-	140	173	1202
40	45	45	130	161	1028
50	58	103	120	148	868
60	71	174	110	135	720
70	84	257	100	122	585
80	96	353	90	110	463
90	110	463	80	96	353
100	122	585	70	84	257
110	135	720	60	71	174
120	148	868	50	58	103
130	161	1028	40	45	45
140	173	1202	30	en gare	-

Pour chaque tronçon de voie ainsi subdivisé :

- ☒ les données relatives
- ☒ au type de traverses du tronçon concerné
- ☒ ont été introduites sur base des images 'type Street-View' fournies par Infrabel.

Enfin, précisons que les données de trafic utilisées sont issues de la base de données de trafic fournie par SNCB Holding et par INFRABEL (données représentatives du trafic moyen annuel suivant plan de transport en vigueur depuis décembre 2014 – auxquelles les facteurs de correction de puissance acoustique tels que spécifiés au § ci-avant ont été appliqués).

5.2.3 Paramètres de calcul

Le logiciel de calcul :

- ⊙ « **IMMI Premium 2012** »

a été utilisé pour établir les cartes de bruit de la ville de Liège en utilisant les paramètres de calcul suivants :

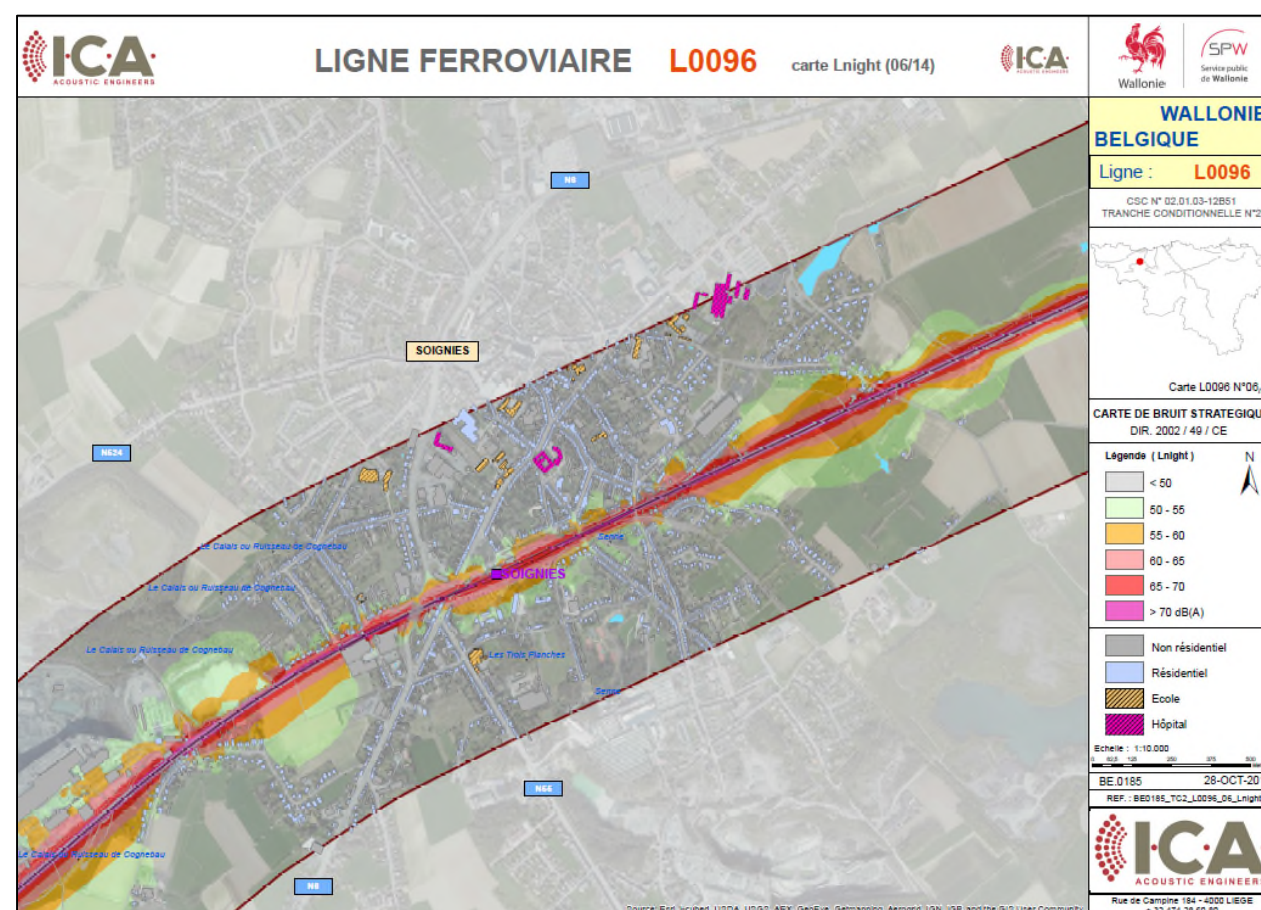
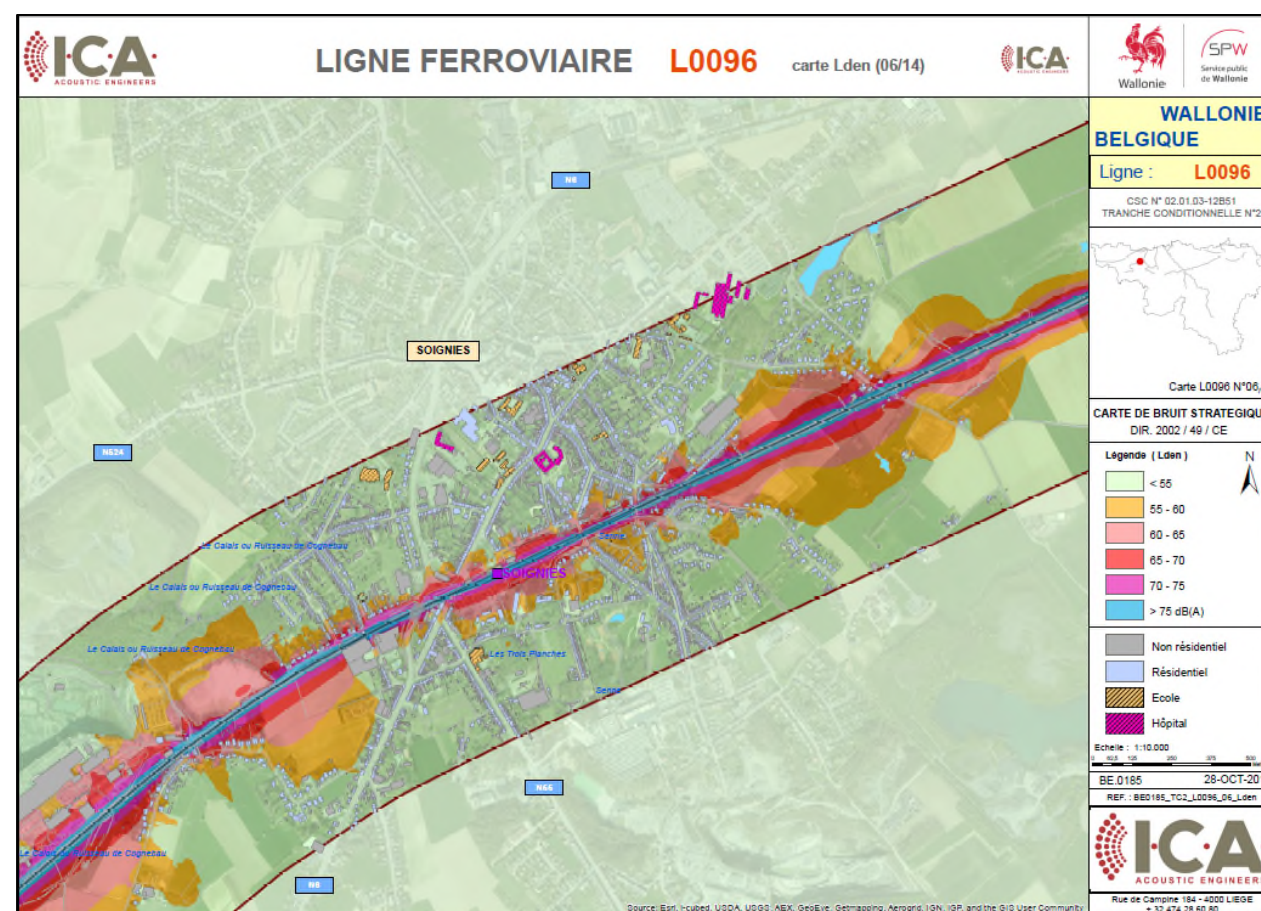
- ⊙ ordre de réflexion du bruit : 2,
- ⊙ maillage :
 - 15 x 15 m
 - (maillage de calcul des cartes)
- ⊙ hauteur de calcul :
 - à 4 mètres de hauteur par rapport au terrain naturel
 - (les cartes de bruit suivent le relief, à 4 mètres de hauteur par rapport à celui-ci, conformément aux termes de la directive européenne),
- ⊙ conditions météo :
 - température : 10°C
 - humidité relative : 70%
 - (ce qui correspond à la moyenne belge)
- ⊙ facteur d'absorption de sol :
 - G = 0.5 (pour s'aligner sur le paramètre utilisé par la Flandre)
- ⊙ facteur d'absorption des façades et des murs :
 - 100% réfléchissant
- ⊙ sans prendre en compte la dernière réflexion du bruit
- (conformément aux termes de la directive européenne),
- ⊙ angle d'ouverture :
 - 180° dans toutes les situations avec augmentation de la longueur maximale des trajectoires sonores en milieu ouvert,
- ⊙ en considérant que :
 - chaque voie de chaque ligne de chemin de fer a été modélisée séparément,
- ⊙ en considérant :
 - les types de traverses (bois, bi-blocs, monobloc béton, ...) tels que constatés sur site pour chaque tronçon de chacune des voies de chaque ligne de chemin de fer,
- ⊙ en prenant les données de trafic ferroviaire
 - comme indiqué ci-avant (y inclus les profils d'accélération/décélération et les corrections de puissance acoustique par voie),
- ⊙ en prenant en compte :
 - tous les écrans et buttes anti-bruit éventuellement présents le long des voies,

- ⊙ et en considérant les vitesses de circulation suivante :

- pour chaque tronçon (de chaque voie de chaque ligne) et pour chaque convoi, la vitesse minimale entre la vitesse maximale du convoi considéré et la vitesse maximale du tronçon d'infrastructure considéré.

Pour les dénombrements de population et des immeubles :

- le calcul de ces dénombrements a été conduit
- séparément de celui des cartes de bruit
- sur chacune des façades de chacun des immeubles de façon à déterminer la façade la plus exposée et la façade calme (conformément aux termes de la directive européenne).



5.3 RÉSULTATS

5.3.1 Les cartes de bruit stratégiques : Lden et Lnight

Conformément aux termes :

- de la directive européenne 2002/49/CE
- et de l'arrêté du Gouvernement wallon du 13 mai 2004

les cartes de bruit stratégiques :

- ont été dressées séparément :
 - pour la période de nuit – [23-07h] – sur base de l'indicateur « Lnight »
 - et pour la période d'une journée complète – [24h] – sur base de l'indicateur « Lden »
- et pour la situation représentative d'une journée moyenne annuelle du plan de transport entré en vigueur en décembre 2014 (comme vu ci-avant).

☉ L'ATLAS CARTOGRAPHIQUE : **Volume 5** : « CARTES **Lden** », fourni en annexe, reprend :

- ☒ en détail,
- ☒ pour chacune des lignes de chemin de fer concernées,
- ☒ les cartes de bruit suivant l'indicateur « Lden ».

☉ L'ATLAS CARTOGRAPHIQUE : **Volume 6** : « CARTES **Lnight** », fourni en annexe, reprend :

- ☒ en détail,
- ☒ pour chacune des lignes de chemin de fer concernées,
- ☒ les cartes de bruit suivant l'indicateur « Lnight ».

Ces cartes sont importantes car elles fournissent :

- non seulement, l'état des lieux précis et exhaustif de la situation actuelle :
 - ⇒ qui doit servir de socle
 - ⇒ à l'élaboration du plan d'actions
 - ⇒ de réduction des nuisances sonores,
- mais elles permettent surtout :
 - ☒ d'identifier
 - ☒ les zones qui sont aujourd'hui exposées au bruit des chemins de fer
 - ☒ que ce soit en terme de l'habitat existant exposé au bruit ou/et en terme des zones (terrains) exposées au bruit et qui méritent une attention en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

Un exemple de cartes – extraites de ces atlas – est présenté ci-contre pour l'entité de Soignies (L-96).

Note :

Toutes ces cartes ont été établies conformément aux termes de la méthodologie décrite dans ce rapport (conformément aux termes des textes réglementaires applicables), et elles ont systématiquement été validées au travers des 100 mesures de bruit de contrôle effectuées sur le terrain (cfr. supra).

5.3.2 Les dénombrements de population, d'immeubles et de superficies

Conformément aux termes de la directive européenne 2002/49/CE :

- le calcul
- des dénombrements de population et des immeubles a été conduit
- séparément de celui des cartes de bruit
- sur chacune des façades de chacun des 14 773 « immeubles destinés à l'habitation » et qui sont concernés par le bruit ferroviaire sur le territoire de la commune de Liège (notez que chaque immeuble peut comprendre plusieurs appartements, le cas échéant),
- de façon à déterminer, pour chacun d'eux, la façade la plus exposée et la façade calme.

Ces dénombrements conduisent aux tableaux suivants, respectivement pour les indicateurs Lden et Lnight.

Lden

**Lden – Bruit ferroviaire 591,9 km –
Nbre de personnes exposées**

ALL	Lden			
HABITANTS	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'habitants (en centaines)	% population	Nombre d'habitants bénéficiant d'une façade calme
	[55-60 [	44.700	50%	22.200
	[60-65 [	22.100	25%	12.800
	[65-70 [	13.800	15%	9.200
	[70-75 [	7.700	9%	5.400
	≥ 75	1.400	2%	1.100
TOTAL =		89.700	100%	50.700

**Lden – Bruit ferroviaire –
Nbre de bâtiments sensibles exposés** // Ecoles et Hôpitaux

ALL	Lden				
BATIMENTS SENSIBLES	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'écoles	% d'écoles	Nombre d'hôpitaux	% d'hôpitaux
	[55-60 [	113	54%	23	64%
	[60-65 [	54	26%	5	14%
	[65-70 [	27	13%	6	17%
	[70-75 [	10	5%	2	6%
	≥ 75	6	3%	0	0%
TOTAL =		210	100%	36	100%

**Lden – Bruit ferroviaire –
Nbre d'immeubles d'habitation exposés**

ALL	Lden		
IMMEUBLES	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'habitations (en centaines)	% des Habitations
	[55-60 [	21.300	50%
	[60-65 [	10.500	25%
	[65-70 [	6.600	15%
	[70-75 [	3.600	8%
	≥ 75	700	2%
TOTAL =		42.700	100%

Conformément aux termes de la directive européenne 2002/49/CE :

- les territoires / superficies
- concernés
- par l'exposition au bruit le long des 591,90 km de voies ferrées en Wallonie qui supportent plus de 30 000 passages de trains par an, sont :

➤ par « couloir de bruit » :

Lden dB(A)	Superficie exposée (km²)
55 - 65	112,51
65 - 75	35,26
> 75	9,07

➤ et « en surface cumulée » :

Lden dB(A)	Superficie exposée (km²)
> 55	156,84
> 65	44,33
> 75	9,07

L_{night}

L_{night} – Bruit ferroviaire 591,9 km – Nbre de personnes exposées

ALL	L _{night}			
HABITANTS	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'habitants (en centaines)	% population	Nombre d'habitants bénéficiant d'une façade calme
	[50-55 [	32.300	50%	17.200
	[55-60 [	16.700	26%	10.400
	[60-65 [	10.700	17%	7.300
	[65-70 [	4.700	7%	3.500
	≥ 70	300	0%	200
TOTAL =		64.700	100%	38.600

L_{night} – Bruit ferroviaire – Nbre de bâtiments sensibles exposés // Ecoles et Hôpitaux

ALL	L _{night}				
BATIMENTS SENSIBLES	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'écoles	% d'écoles	Nombre d'hôpitaux	% d'hôpitaux
	[50-55 [	81	57%	14	56%
	[55-60 [	29	20%	7	28%
	[60-65 [	21	15%	3	12%
	[65-70 [	8	6%	1	4%
	≥ 70	3	2%	0	0%
TOTAL =		142	100%	25	100%

L_{night} – Bruit ferroviaire – Nbre d'immeubles d'habitation exposés

ALL	L _{night}		
IMMEUBLES	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'habitations (en centaines)	% des Habitations
	[50-55 [	15.400	50%
	[55-60 [	8.000	26%
	[60-65 [	5.100	17%
	[65-70 [	2.200	7%
	≥ 70	100	0%
TOTAL =		30.800	100%

6 PLAN D' ACTIONS

6.1 DÉFINITION ET BUT POURSUIVI

6.1.1 Définition

Le but de la directive européenne de 2002 est et reste :

ONT ARRÊTÉ LA PRÉSENTE DIRECTIVE:

Article premier

Objectifs

1. La présente directive vise à établir une approche commune destinée à éviter, prévenir ou réduire en priorité les effets nuisibles, y compris la gêne, de l'exposition au bruit dans

l'environnement. À cette fin, les actions suivantes sont mises en œuvre progressivement:

- a) la détermination de l'exposition au bruit dans l'environnement grâce à la cartographie du bruit, selon des méthodes d'évaluation communes aux États membres;
- b) garantir l'information du public en ce qui concerne le bruit dans l'environnement et ses effets;
- c) l'adoption, par les États membres, de plans d'action fondés sur les résultats de la cartographie du bruit afin de prévenir et de réduire, si cela est nécessaire, le bruit dans l'environnement, notamment lorsque les niveaux d'exposition peuvent entraîner des effets nuisibles pour la santé humaine, et de préserver la qualité de l'environnement sonore lorsqu'elle est satisfaisante.

Ainsi :

- ⊙ la directive
- ⊙ s'inscrit en premier chef

- ⊙ dans une politique de **Santé Publique**
- ⊙ pour prévenir et réduire les effets nuisibles (y compris la gêne) sur la **santé humaine**.

C'est – ce principe – qui fonde le plan d'actions qui est présenté ci-dessous.

6.1.2 But poursuivi

Le but du plan d'actions est – sur base d'une politique de Santé Publique – :

- ❶ de prendre des mesures – à court, moyen et long termes –,
- ❷ pour prévenir ET pour réduire – durablement et efficacement –,
- ❸ les nuisances sonores liées au passage répété des trains.

Il s'agit donc bien d'une politique de Santé Publique.

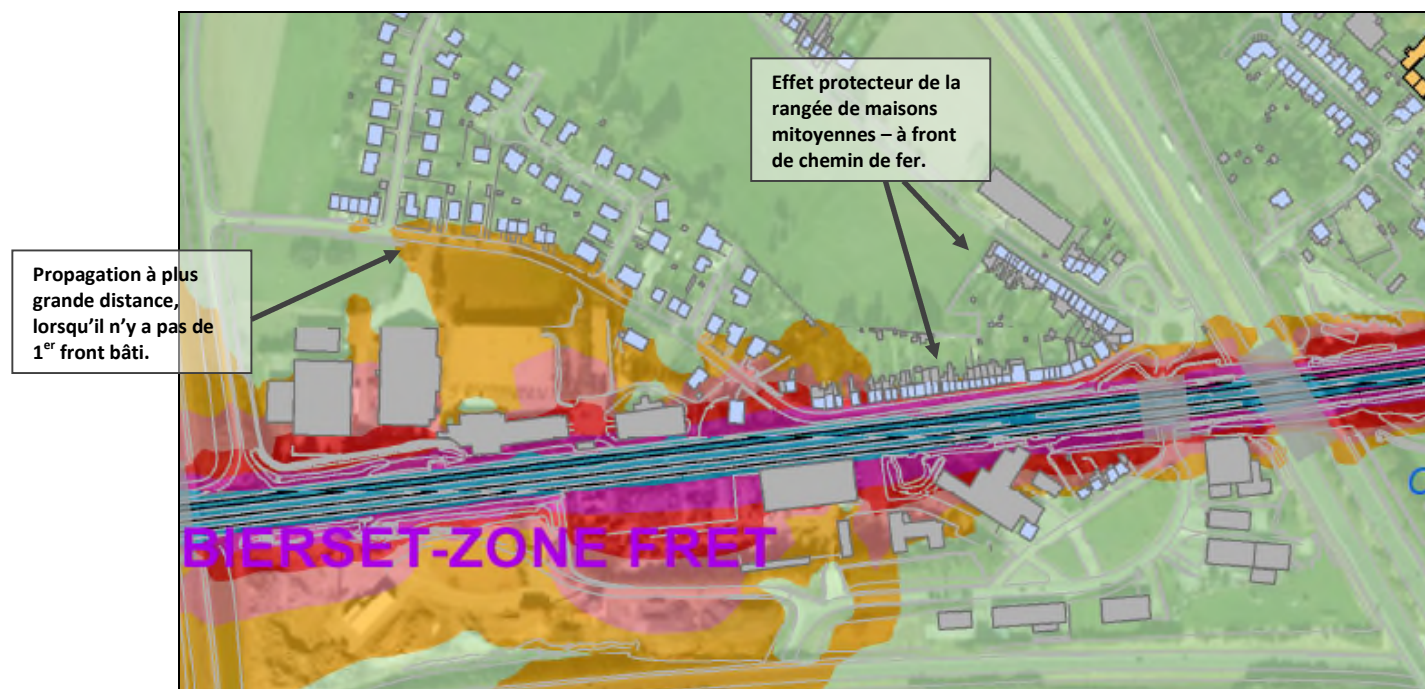
6.2 PRISE EN COMPTE DE L'EXISTANT

6.2.1 L'héritage du passé

Le chemin de fer a été, après le cheval, le 1^{er} mode de transport de personnes et de marchandises, si bien qu'il hérite aujourd'hui, notamment de l'implantation territoriale des voies ferrées.

Ainsi, les voies de chemin de fer pénètrent au cœur des villes et traversent les zones urbaines et les villages, parfois / souvent à quelques mètres des façades des habitations riveraines.

Cette situation propre aux chemins de fer est – **à la fois un avantage, – et un inconvénient**, comme l'illustre l'extrait de carte de bruit ci-dessous :



L'avantage :

- ❶ réside
- ❷ dans le fait :
 - ⇒ que le premier front bâti
 - ⇒ surtout s'il s'agit de rangées de maisons mitoyennes (comme c'est souvent le cas)
 - ⇒ fait obstacle / écran – très efficace – à la propagation du bruit (voyez ci-dessus),
- ❸ si bien que les habitations à l'arrière s'en voit protégées ou, à tout le moins, moins exposées.

L'inconvénient :

- ❶ inéluctable
- ❷ est :
 - ⇒ que ce premier front bâti
 - ⇒ souvent situé à quelques mètres des voies,
- ❸ se voit exposé à une nuisance sonore maximale ce qui se traduit par des niveaux sonores en façade particulièrement élevés (voyez ci-contre).

Cette particularité des chemins de fer est un fait, et il faut en tenir compte – tant pour en tirer avantage, que pour en résoudre les inconvénients.

6.2.2 La deuxième particularité

La deuxième particularité des chemins de fer – du point de vue acoustique – est :

- ❶ que ce mode de transport
- ❷ répond
- ❸ aux caractéristiques des industries lourdes, c.-à-d. :
 - que tant en matière d'infrastructure (les voies elles-mêmes),
 - qu'en matière de matériel roulant (les wagons et les locomotives),
- ☑ les délais de mises en œuvre et/ou de changements
- ☑ sont assez longs.

Ainsi :

- là où la durée d'un revêtement routier est assez courte – il devrait être remplacé tous les 5 ans environ (notamment potentiellement par un revêtement moins bruyant) –, celle d'une ligne de chemin de fer se compte en plusieurs décennies généralement (voyez la ligne à grande vitesse qui est inchangée et qui a déjà presque 20 ans),
- et là où la durée d'un véhicule automobile est de l'ordre de 5 à 8 ans – (ce qui permet un renouvellement plus rapide du parc automobile et donc, de bénéficier plus rapidement des améliorations technologiques) –, celle du matériel ferroviaire se compte ici aussi en décennies.

Cette particularité des chemins de fer est un fait, et il faut en tenir compte – tant pour le court terme en traitant immédiatement les situations qui sont manifestement et qui resteront manifestement exposées à un problème sanitaire (cfr. supra la situation des premiers fronts bâtis), que pour le long terme pour pouvoir bénéficier progressivement des améliorations technologiques et pour concentrer celles-ci prioritairement là où elles sont le plus nécessaire sur le terrain.

6.3 SEUIL D'EXPOSITION AU BRUIT – POLITIQUE DE SANTÉ PUBLIQUE

6.3.1 La problématique de « Santé Publique » et le « Seuil d'exposition au bruit »

Le plan d'actions doit viser :

- des mesures curatives immédiates, là où manifestement, des habitations sont exposées – et dont on sait qu'elles resteront exposées – à des niveaux sonores qui sont bien au-delà des seuils communément et internationalement admis comme ayant des effets nuisibles sur la santé des personnes.
Ces mesures répondent à un besoin sanitaire avéré.
- des mesures curatives à moyen et long termes, via la modernisation des infrastructures (modernisation des voies elles-mêmes) et du matériel roulant (modernisation des trains, qu'il s'agisse de trains passagers ou marchandises).
Ces mesures ont un effet bénéfique partout et pour tous, puisqu'elles réduisent le bruit à la source. Par contre, elles prennent du temps à se mettre en place.
- et des mesures préventives à court, moyen et long termes, via une politique raisonnée d'urbanisme et d'aménagement du territoire.
Ces mesures visent d'une part à prévenir l'implantation de nouvelles habitations dans des zones où l'on sait pertinemment qu'elles seront exposées à un bruit nuisible pour la santé des personnes, et d'autre part à favoriser l'implantation d'immeubles tertiaires ou de commerces à proximité immédiate des voies de chemin de fer, afin d'utiliser ces constructions comme écrans anti-bruit pour les habitations qui sont/seraient implantées derrière elles.

Et pour pouvoir mener cette politique, il faut :

- ① en première instance
- ① **définir**
- ① **le seuil de bruit** // la **valeur-limite** de bruit
à partir duquel / de laquelle des mesures doivent être – graduellement – prises (au plus les niveaux d'exposition sont élevés – nuisibles à la santé des personnes).

Recommandations de l'Union quant aux courbes "dose-réponse" de perception de la gêne par rapport au bruit des transports

[indicateur : Lden]

« Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance »

European Commission – 20 february 2002

Table 1. % A and % HA at various noise exposure levels (Lden) for aircraft, road traffic, and rail traffic

Lden	Aircraft		Road traffic		Rail traffic	
	%A	%HA	%A	%HA	%A	%HA
45	11	1	6	1	3	0
50	19	5	11	4	5	1
55	28	10	18	6	10	2
60	38	17	26	10	15	5
65	48	26	35	16	23	9
70	60	37	47	25	34	14
75	73	49	61	37	47	23

[% HA] = % de personnes fortement gênées

6.3.2 Le « précédent » lié aux aéroports wallons

Tous les citoyens étant égaux en matière de santé publique, il existe en Wallonie, un précédent en matière de prise en charge des nuisances sonores liées à des infrastructures de transport, à savoir :

- ☒ les plans d'action
- ☒ liés aux activités des aéroports régionaux de Liège et de Charleroi
- ☒ via :
 - l'insonorisation des habitations riveraines,
 - ou le rachat de celles qui étaient le plus exposées,
 - ou encore la politique d'urbanisme et d'aménagement du territoire qui a été mise en place pour prévenir et limiter l'implantation de nouvelles habitations.

Ce précédent en matière de gestion des nuisances sonores se base :

- ① par décret,
- ① sur une valeur-seuil de : **Lden ≥ 55 dBA** (pour le bruit des avions),
- ① valeur qui correspond – comme le montre le tableau ci-contre, pour le bruit des avions – **à 10 % de personnes s'estimant fortement gênées** (% HA) – pour le bruit des avions.

Et toute la politique de gestion des nuisances sonores aéroportuaires :

- ① est fondée sur cette valeur-seuil de $L_{den} \geq 55$ dBA (pour les avions)
- ① pour légiférer
- ① pour traduire dans des textes réglementaires (arrêtés et décrets) :
 - les cartes de bruit du PEB (Plan d'Exposition au Bruit)
 - les cartes de bruit du PDLT (Plan de Développement à Long Terme),
 - ainsi que les mesures d'accompagnement – plan d'actions :
 - rachat sur base volontaire des habitations situées en zones A' et B' du PEB,
 - insonorisation des habitations situées dans les B et C du PDLT,
 - indemnisation forfaitaire en zone D du PDLT pour l'insonorisation des habitations,
 - indemnisation des troubles commerciaux pour les commerces situés en zones A' et B' du PEB,
 - révision du Plan de secteur pour supprimer les zones d'habitat de la zone A du PDLT et pour prendre des mesures compensatoires,
 - instauration d'une autorité indépendante de contrôle des nuisances sonores,
 - instauration des comités de concertation avec les riverains,
 - installation d'un système permanent de contrôle du bruit et des trajectoires des avions,
 - arrêté « sanctions » pour infliger des sanctions administratives aux compagnies aériennes qui ne respecteraient pas les routes aériennes et/ou les niveaux sonores limites à ne pas dépasser,
 - ...
- ① Et pour réaliser ce plan d'actions, toutes les mesures listées ci-dessus ont été mises en œuvre et sont maintenant concrétisées.

Le succès avéré de cette politique aéroportuaire :

- ① confirme
- ① toute la valeur du choix
- ① de la valeur-seuil, fixée à $L_{den} \geq 55$ dBA – pour le bruit des avions.

6.3.3 La « valeur-seuil » proposée pour le bruit des trains

Le « précédent » wallon aéroportuaire (cfr. supra) :

- ① confirme
- ① la pertinence du choix
- ① de la valeur-seuil, fixée à $L_{den} \geq 55$ dBA – pour établir le plan d'actions de lutte contre le bruit des avions.

Cette valeur-seuil de $L_{den} \geq 55$ dBA :

- ⇒ correspond
- ⇒ pour le bruit des avions
- ⇒ et sur base des courbes « dose-réponse » issues des enquêtes épidémiologiques
- ⇒ à un taux de 10 % de personnes
- ⇒ qui s'estiment fortement gênées (% HA),
- ⇒ comme l'illustre le tableau ci-après – issus des enquêtes épidémiologiques.

Recommandations de l'Union quant aux courbes « dose-réponse » de perception de la gêne par rapport au bruit des transports
[indicateur : L_{den}]

« Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance »
European Commission – 20 february 2002

Table 1. % A and % HA at various noise exposure levels (L_{den}) for aircraft, road traffic, and rail traffic

L_{den}	Aircraft		Road traffic		Rail traffic	
	%A	%HA	%A	%HA	%A	%HA
45	11	1	6	1	3	0
50	19	5	11	4	5	1
55	28	10	18	6	10	2
60	38	17	26	10	15	5
65	48	26	35	16	23	9
70	60	37	47	25	34	14
75	73	49	61	37	47	23

[% HA] = % de personnes fortement gênées

Or, ce tableau montre également que le bruit des trains (« Rail traffic ») bénéficie d'un « **bonus** » par rapport à celui des avions (« Aircraft ») :

- puisque
- à sensibilité égale – soit : 10 % de personnes s'estimant fortement gênées (10% HA)
- le niveau d'exposition au bruit s'établit à $L_{den} 67$ dBA pour les trains (alors qu'il est de $L_{den} 55$ dBA pour les avions) – voyez le tableau ci-dessus.

Aussi, tous les citoyens étant égaux en matière de santé publique, et par cohérence – et de Santé Publique, et de sécurité juridique par rapport à tout ce qui a été fait pour les aéroports, nous recommandons d'adopter :

- ☑ pour le bruit des trains,
- ☑ une valeur-seuil de :

$L_{den} \geq 67$ dBA

- ☑ pour l'élaboration du plan d'actions pour les chemins de fer en Wallonie,
- ☑ ce qui correspond – comme pour les aéroports – à un taux de 10 % de personnes qui s'estiment fortement gênées.

6.4 L’ETAT DE L’EXISTANT – SITUATION DE RÉFÉRENCE

6.4.1 Les cartes de dépassement

Sur base de cette valeur-seuil – à partir de laquelle les mesures du plan d’actions devraient progressivement être mises en place à mesure que l’exposition au bruit augmente au-delà de cette valeur – :

- les cartes de dépassement de ce seuil
- ont été dressées :
 - pour identifier**
 - les zones du territoire** et les habitations le long des voies ferrées,
 - qui sont exposées à une nuisance supérieure à Lden 67 dBA,
 - et qui devraient faire l’objet de mesures préventives et curatives à court, moyen et long terme.

Ces cartes établissent la « SITUATION DE RÉFÉRENCE » et elles sont fournies dans :

- ⦿ L’ATLAS CARTOGRAPHIQUE : **Volume 7** : « CARTES DE DÉPASSEMENT DU SEUIL **Lden ≥ 67 dBA** » fourni en annexe.

et dont un extrait est repris ci-contre.

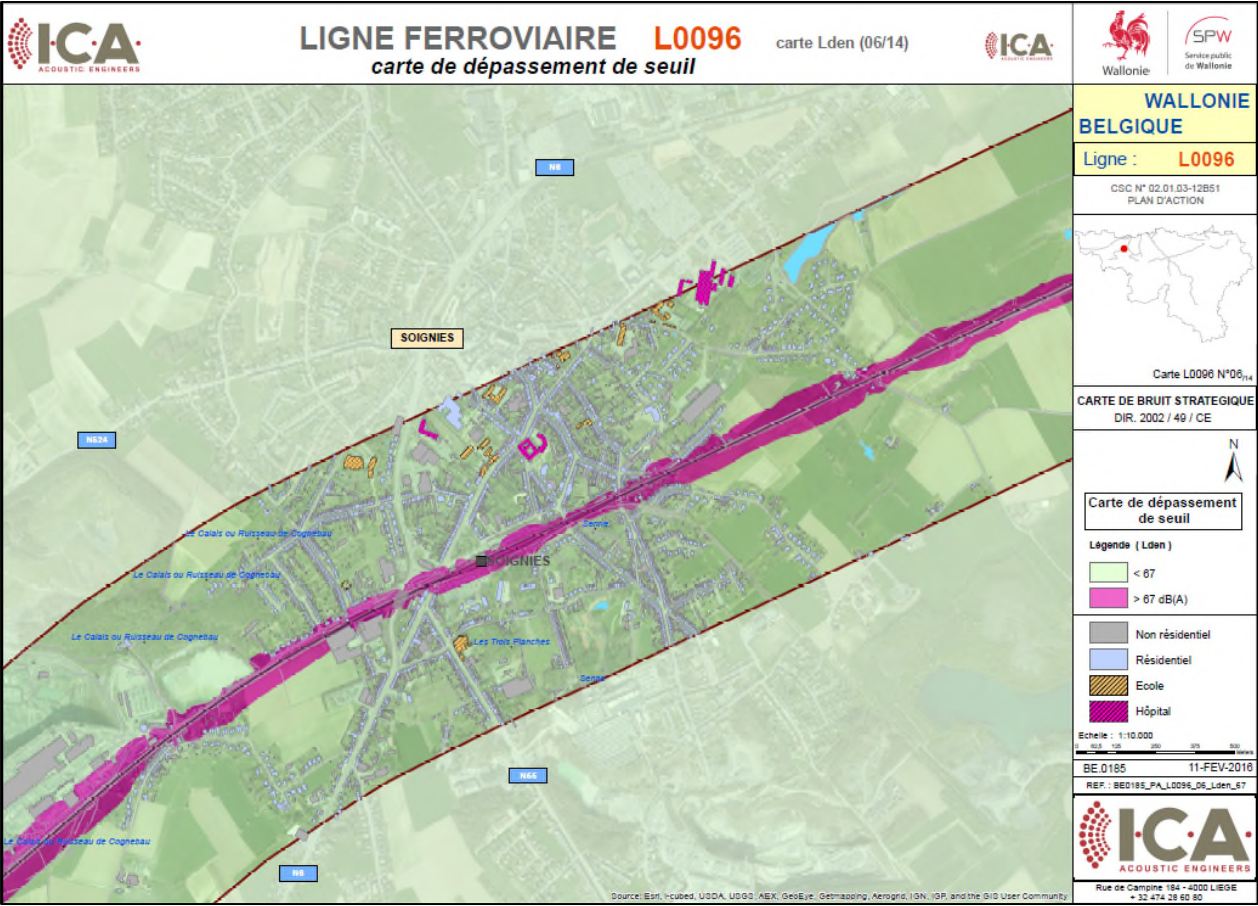
6.4.2 Les habitations déjà au-delà du seuil

En termes du nombre d’habitations actuellement exposées au-delà de ce seuil de Lden 67 dBA, le dénombrement s’établit comme suit :

ALL	Lden		
IMMEUBLES	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'habitations	% des Habitations
	[67-70 [	3.694	46%
	[70-73 [	2.622	33%
	≥ 73	1.673	21%
	TOTAL =	7.989	100%

Ces chiffres sont à ramener au nombre de km de voies ferrées concernées, soit 591,90 km et ils constituent l’état actuel – la situation de référence – par rapport à laquelle les effets bénéfiques des mesures du plan d’actions permettront de se comparer.

Ils s’expriment en termes de « nombre d’habitations » parce que les éventuelles mesures compensatoires s’appliquent aux biens immeubles, indépendamment du nombre de personnes qui y vivent (même approche que celle des aéroports wallons).



6.5 LA POLITIQUE D'URBANISME ET D'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

☉ L'ATLAS CARTOGRAPHIQUE : **Volume 7** : « CARTES DE DÉPASSEMENT DU SEUIL **LDEN ≥ 67 dBA** »

fournit :

- **les zones du territoire** le long des voies ferrées,
- qui sont exposées à une nuisance supérieure à Lden 67 dBA,
- et pour lesquelles des mesures d'urbanisme et d'aménagement du territoire devraient être prises pour :
 1. éviter que de nouvelles habitations ne viennent s'implanter dans ces zones – **dont on sait pertinemment** qu'elles sont et resteront exposées à un bruit nuisible pour la santé des personnes,
 2. favoriser l'implantation d'immeubles tertiaires et/ou de commerces à proximité immédiate des voies de chemin de fer, afin d'utiliser ces constructions comme écrans anti-bruit pour les habitations qui sont/seraient implantées derrière elles (cfr. § 6.2.1 ci-avant),

des mesures compensatoires – par exemple d'échange de terrain – devant être prise pour permettre la mise en place d'une telle politique préventive (gérer le problème pour qu'il n'enfle pas).

6.6 LES SCÉNARIIS D'AMÉLIORATION À TERME

Trois scénarii d'amélioration – trois mesures concrètes à mettre en œuvre – ont été évalués :

1. **la modernisation progressive** – à court et moyen terme – **de l'infrastructure** (c.-à-d. l'amélioration des voies ferrées elles-mêmes par exemple : par le remplacement des semelles de fixation des rails par des semelles plus performantes, ou encore par la mise en place de rails soudés en remplacement des rails courts avec joints),
2. **la modernisation progressive** – à court et moyen terme – **du matériel roulant « PASSAGERS »** (c.-à-d. le remplacement progressive des rames très anciennes, comme les AM62-66 qui datent des années 60 – par des rames de nouvelle génération telles que les récentes AM08 – qui répondent aux critères sévères de la norme « STI-bruit »),
3. **la modernisation progressive** – à moyen et long terme – **du matériel roulant « MARCHANDISES »** (c.-à-d. soit : le remplacement progressive des wagons marchandises par des wagons de nouvelle génération équipés de freins plus silencieux, soit : le « retrofit » progressif des systèmes de freinage des wagons actuels par des systèmes de freinage plus silencieux du type « sabots K » ou « sabots LL »).

Les §§ qui suivent présentent les résultats des simulations.

**WALLONIE
BELGIQUE**

CARTO FER

CSC N° 02.01.03-12B51
PLAN D'ACTION



CARTE DE BRUIT STRATEGIQUE
DIR. 2002 / 49 / CE



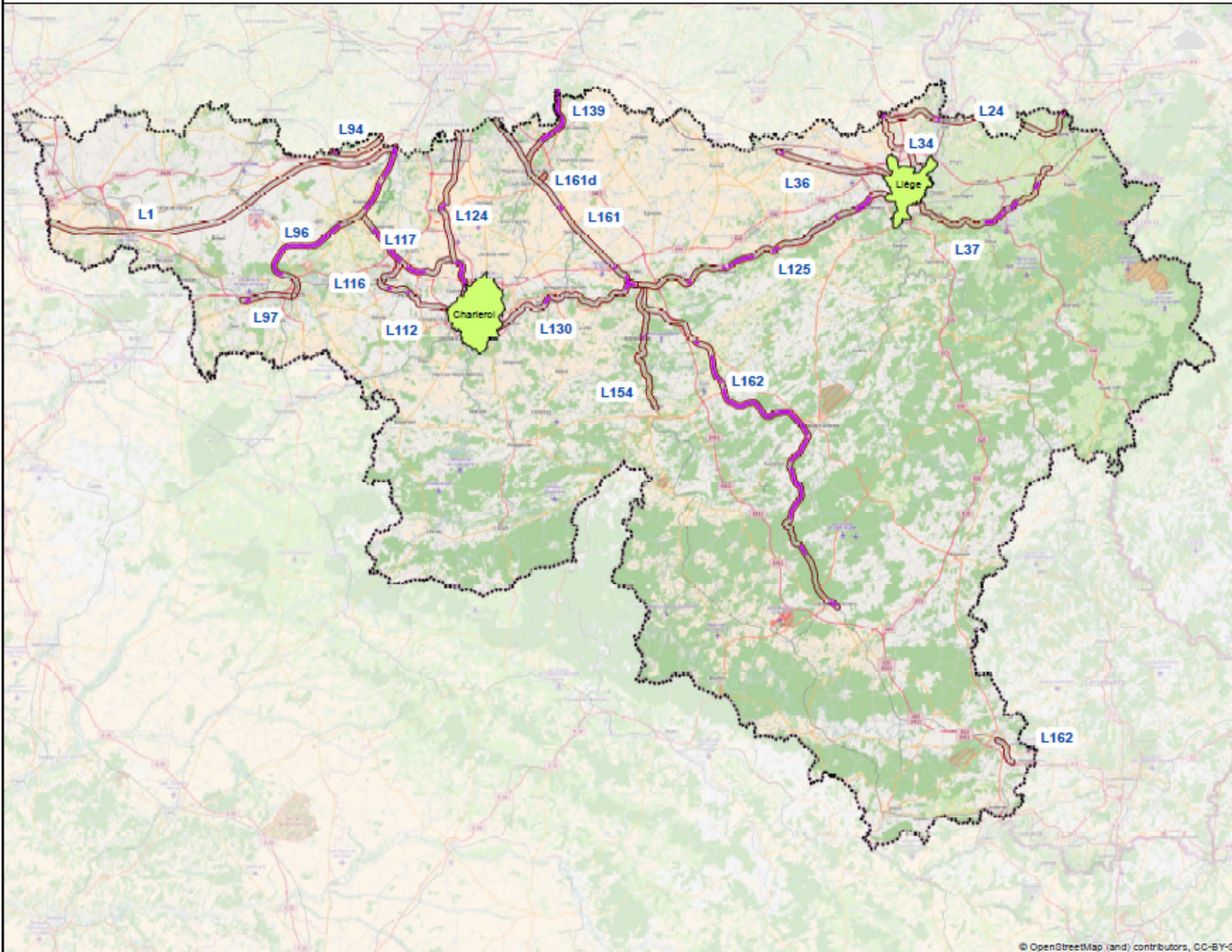
Légende

- Frontière régionale
- Ligne Ferroviaire à étudier
- Agglomérations déjà cartographiées
- Rénovation future des semelles

Echelle : 1:700.000
0 3.750 7.500 15.000 22.500 30.000 Mètres

BE.0185 10-FEV-2016

REF : BE0185_PA_Semelles_Loc



6.6.1 SCNÉRIO 1 : L'Infrastructure (court terme)

La modernisation – à court et moyen terme – de l'infrastructure passe :

- 🔊 par le remplacement progressif des semelles actuelles de fixation des rails, par des semelles plus performantes – dont gain de l'ordre de 2 à 3 dB,
- 🔊 par le remplacement progressif des rails courts avec joints, par des rails longs soudés,
- 🔊 par le remplacement progressif des aiguillages « avec joints », par des aiguillages « sans joints »,
- 🔊 par la réduction progressive du nombre de dispositifs de dilatation et/ou par leur implantation en dehors des zones d'habitat,
- 🔊 par la réduction progressive du nombre de passages à niveau,
- 🔊 et par le remplacement des tabliers de pont métallique (très bruyants – cfr la situation à Visé) par des tabliers en béton.

La carte de la page ci-avant indique les zones de remplacement de semelles telles qu'elles sont aujourd'hui programmées dans le plan d'investissement d'Infrabel.

La mise en place de cette mesure conduira à terme au gain suivant :

ALL	Lden			GAIN	ESCOMPTE
IMMEUBLES	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'habitations	% des Habitations		
	[67-70 [3.430	48%	- 7 %	||
	[70-73 [	2.403	33%	- 8 %
	≥ 73	1.370	19%	- 18%	
	TOTAL =	7.203	100%		

**WALLONIE
BELGIQUE**

CARTO FER


CSC N° 02.01.03-12B51
PLAN D'ACTION





CARTE DE BRUIT STRATEGIQUE
DIR. 2002 / 49 / CE


Légende

----- Frontière régionale

 Ligne Ferroviaire à étudier

 Agglomérations déjà cartographiées

 Gain de l'amélioration

 Pas de gains

Echelle : 1:700.000
0 3.750 7.500 15.000 22.500 30.000 Mètres

BE.0185 10-FEV-2016

REF : BE0185_PA_Passagers_Loc

6.6.2 SCNÉRIO 2 : Le matériel roulant « passager » (court et moyen termes)

Le remplacement progressive des rames « passagers » très anciennes, comme les AM62-66 qui datent des années 60 – par des rames de nouvelle génération telles que les récentes AM08 – qui répondent aux critères sévères de la norme « STI-bruit », conduira à terme – au gain suivant :

ALL	Lden			GAIN	ESCOMPTE
IMMEUBLES	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'habitations	% des Habitations		
	[67-70 [3.080	49%	- 16 %	||
	[70-73 [	2.330	37%	- 11 %
	≥ 73	888	14%	- 47%	
	TOTAL =	6.298	100%		

**WALLONIE
BELGIQUE**

CARTO FER





CSC N° 02.01.03-12B51
PLAN D'ACTION



CARTE DE BRUIT STRATEGIQUE
DIR. 2002 / 49 / CE



Légende

-  Frontière régionale
-  Ligne Ferroviaire à étudier
-  Agglomérations déjà cartographiées
-  Flux de marchandises

Echelle : 1:700.000

0 3.750 7.500 15.000 22.500 30.000 Mètres

BE.0185 10-FEV-2016

REF : BE0185_PA_Marchandises_Loc

6.6.3 SCNÉRIO 3 : Le matériel roulant « fret » (trains marchandises) (moyen et long termes)

Le remplacement progressive des wagons marchandises par des wagons de nouvelle génération équipés de freins plus silencieux et le « retrofit » progressif des systèmes de freinage des wagons actuels par des systèmes de freinage plus silencieux du type « sabots K » ou « sabots LL », conduira à terme au gain suivant :

ALL	Lden			GAIN	ESCOMPTE
IMMEUBLES	Niveaux sonores Lden [dBA]	Nombre d'habitations	% des Habitations		
	[67-70 [3.111	57%	- 16 %	||
	[70-73 [	1.570	29%	- 39 %
	≥ 73	802	15%	- 52 %	
	TOTAL =	5.483	100%		

6.7 LES ACTIONS IMMÉDIATES URGENTES

En tout état de cause – chacun des scénarii d'amélioration présentés ci-dessus – montre :

- ❶ qu'à terme
- ❷ il restera toujours – quel que soit le scénario envisagé,
- ❸ un minimum :
 - ⇒ de 800 habitations
- ❹ qui sont et resteront à terme – exposées à un niveau sonore global nuisible pour la santé – soit, un niveau supérieur à 73 dBA Lden.

Pour ces habitations, dont on sait pertinemment qu'elles sont et qu'elles resteront exposées à un niveau sonore global nuisible pour la santé des personnes, il y a lieu :

- ❶ dès aujourd'hui
- ❷ de conduire une étude détaillée
- ❸ pour permettre de leur définir le meilleur moyen de protection, **soit via** l'implantation de buttes ou d'écrans anti-bruit (comme c'est déjà le cas partout le long de la ligne à grande vitesse LGV, ou encore le long des lignes RER), **soit via** l'insonorisation de leur façade, pour au moins préserver le sommeil des occupants.

Pour rappel, autour des aéroports, les habitations soumises à de tels niveaux ont été rachetées sur base volontaires car – pour les avions – il était techniquement impossible d'insonoriser ces immeubles – ce qui n'est pas le cas pour les trains (puisque ceux-ci passent en façade des immeubles et non pas au-dessus des maisons).

7 ANNEXES

7.1 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 2 : MISE À JOUR ET CONSOLIDATION GÉOMÉTRIQUE DU BÂTI

Cet atlas cartographique résulte du travail fourni lors de la « Tranche Ferme » de l'étude. Le volume est joint au présent rapport.

7.2 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 3 : LOCALISATION DES MESURES DE BRUIT SUR SITE

Cet atlas cartographique résulte du travail fourni lors de la « Tranche Conditionnelle 1 » de l'étude. Il reprend la localisation détaillée de chacune des 100 mesures de bruit de contrôle réalisées sur site, le long des voies ferrées. Le volume est joint au présent rapport.

7.3 RAPPORT ANNEXE – VOLUME 4 : RÉSULTATS DES MESURES DE BRUIT SUR SITE

Cet atlas cartographique résulte du travail fourni lors de la « Tranche Conditionnelle 1 » de l'étude. Il reprend tous les résultats détaillés de chacune des 100 mesures de bruit de contrôle réalisées sur site, le long des voies ferrées. Le volume est joint au présent rapport.

7.4 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 5 : CARTES DE BRUIT STRATÉGIQUES – LDEN

Cet atlas cartographique résulte du travail cumulé fourni lors des trois tranches de l'étude. Il fournit les cartes de bruit stratégiques exprimées selon l'indicateur Lden. Le volume est joint au présent rapport.

7.5 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 6 : CARTES DE BRUIT STRATÉGIQUES – L_{NIGHT}

Cet atlas cartographique résulte du travail cumulé fourni lors des trois tranches de l'étude. Il fournit les cartes de bruit stratégiques exprimées selon l'indicateur L_{night}. Le volume est joint au présent rapport.

7.6 ATLAS CARTOGRAPHIQUE – VOLUME 7 : CARTES DE DÉPASSEMENT DU SEUIL LDEN ≥ 67 dBA

Cet atlas cartographique résulte du travail cumulé fourni lors des trois tranches de l'étude. Il fournit les cartes de dépassement du seuil Lden ≥ 67 dBA. Le volume est joint au présent rapport.

7.7 NOTIONS D'ACOUSTIQUE

Ce lexique fournit la définition et l'explication des principales notions d'acoustique, nécessaires à la bonne compréhension du rapport.

Pour faciliter la lecture et la compréhension du rapport, ce chapitre aborde les notions importantes d'acoustique, tels que notamment :

- la propagation et l'atténuation du bruit avec la distance,
- l'échelle de bruit et les seuils des effets nuisibles sur la santé,
- la représentation du bruit par les indicateurs acoustiques.

A. Le Bruit

A.1. Nature – unité – niveau

Le **bruit** est :

- une *onde* qui se propage dans l'air, dans l'eau ou dans des milieux solides tels que les murs, le béton, ... sous forme d'une *vibration*. Le bruit se propage de proche en proche en faisant vibrer les particules d'air par exemple, qui elles-mêmes font vibrer leurs voisines et ainsi de suite. Le bruit se propage donc *dans toutes les directions*.

La **vitesse de propagation** du bruit dépend de la température et est :

- de l'ordre de 340 m/s dans l'air,
- alors qu'elle est env. 4 x plus élevée dans l'eau (~ 1 450 m/s),
- et de l'ordre de 10 x plus élevée dans le béton (~ 3 500 à 5 000 m/s – ce qui explique en partie que l'on peut entendre au 3^{ème} étage d'un immeuble, une petite cuiller qui tombe au rez-de-chaussée).

Dans l'air, le **bruit** correspond à la **partie audible** par l'homme des variations de pression autour de la pression atmosphérique. Cette plage audible de variations de pression est assez large et s'étend généralement de 20×10^{-6} Pa (seuil commun de l'audition) à env. 20 Pa (seuil de douleur pour la plupart).

Cette gamme étendue de sensibilité de l'oreille au bruit explique pourquoi les niveaux sonores sont exprimés en **décibel** [dB] selon une formule qui est logarithmique et qui exprime le « *niveau de pression acoustique* » $L(t)$, soit :

$$L(t) = 10 \times \log \frac{P(t)^2}{P_0^2}$$

C'est ainsi que **0 dB** (décibel) correspond à une variation de pression de 20×10^{-6} Pa (soit « P_0 » qui est le seuil commun d'audibilité de l'être humain) et que **120 dB** (décibel) correspondent à une variation de pression de 20 Pa (qui est le seuil de douleur pour la plupart – seuil à partir duquel il y a un risque rapide et irréversible de lésion de l'ouïe si l'exposition à ce bruit se prolonge).

Puisque l'échelle des niveaux sonores est logarithmique, l'**addition** des niveaux sonores ne correspond pas à une simple addition arithmétique, c.-à-d. que « 60 dB + 60 dB ne font pas 120 dB », mais bien 63 dB (comme illustré ci-dessous).



Et il faut aussi 10 sources de même intensité pour augmenter le niveau sonore de 10 dB.

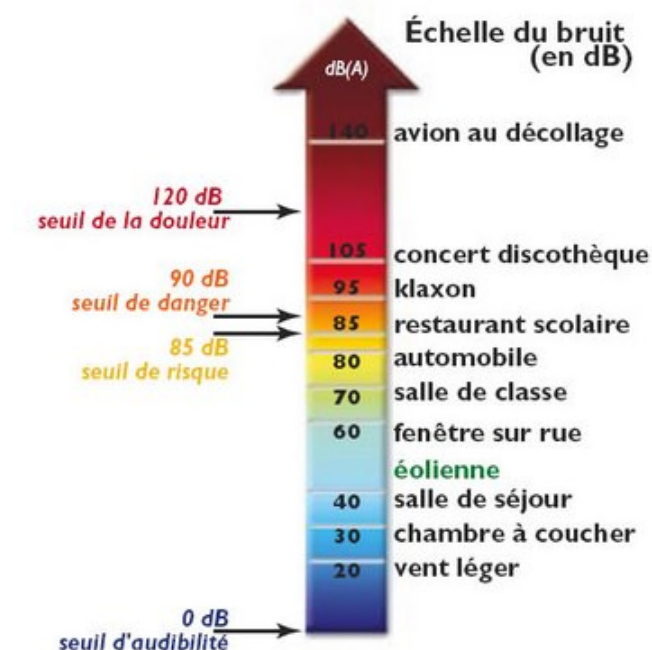


Pareillement, un bruit peut en **masquer** un autre lorsque son intensité est d'au moins 10 dB supérieure à celle du bruit qui est masqué, comme le montre le graphique ci-dessous.

Cet **effet de masquage** correspond à nos réalités quotidiennes comme par exemple, le fait que l'on doive forcer la voix lorsqu'on est au téléphone en rue et qu'une voiture ou un camion passe, ou lorsqu'on veut appeler un enfant dans une cour de récréation animée.



En termes de niveau, le graphe ci-dessous, replace les niveaux sonores sur l'échelle des situations habituelles et des risques pour l'audition :

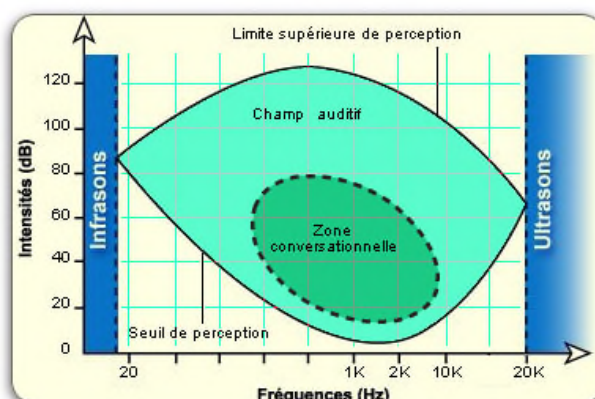


A.2. Composante

Le bruit est aussi constitué de plusieurs composantes en fonction des fréquences. On parle alors de son **spectre**, les basses fréquences étant associées aux sons graves, plus sourds, alors que les hautes fréquences sont généralement associées aux voies fluettes ou à des sifflements aigus.

Le graphe ci-dessous synthétise les notions précédentes et montre :

- ⊙ les limites du champ auditif de l'homme (zone verte), soit typiquement :
 - en intensité : de 0 à 120 dB (décibel) – axe vertical
 - en fréquence : de 20 Hz à 20 000 Hz – axe horizontal
- ⊙ la zone des « infrasons » :
 - c.-à-d. les sons qui se situent **en-dessous** de 20 Hz,
 - et qui sont inaudibles à l'oreille puisque situés en-dessous du seuil d'audibilité moyen en fréquence, en-dessous de 20 Hz (voir graphe ci-dessous) – nous y reviendrons dans la revue de la littérature scientifique,
- ⊙ la zone des « ultra-sons » :
 - c.-à-d. les sons qui se situent **au-delà** de 20 000 Hz,
 - et qui sont également inaudibles à l'oreille puisque situés au-delà du seuil d'audibilité moyen en fréquence, au-dessus de 20 000 Hz (voir graphe ci-dessous – notez que les chiens sont généralement sensibles à ces ultrasons car leur plage d'audibilité en fréquence est plus large que celle de l'homme).



Pour mesurer le bruit en un endroit donné, les appareils de mesure (les « **sonomètres** ») enregistrent les variations physiques de la pression atmosphérique au cours du temps.

Or, l'oreille humaine, sujette aux mêmes variations physiques de pression, en modifie le caractère (le spectre fréquentiel – diminuant naturellement les basses fréquences et accentuant légèrement les aiguës) pour fournir la sensation auditive.

Ce qui se remarque sur le graphe ci-dessus si l'on regarde comment varie la limite inférieure du champ auditif (limite inférieure de la zone verte clair) en fonction de la fréquence, soit de 80 dB à « 20 » Hz pour finir à presque 0 dB entre « 1K » et « 2K ».

C'est ainsi que la courbe de **pondération fréquentielle "A"** est utilisée sur les sonomètres pour refléter directement et le mieux possible sous forme de chiffres notre perception auditive des sons et des bruits.

B. La propagation du bruit

Le bruit se propage **dans toutes les directions** et :

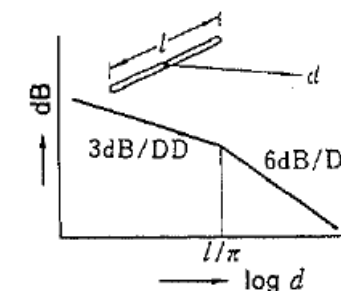
- ⊙ en théorie, pour une source « ponctuelle », il diminue de 6 dB par doublement de distance (DD), en champ libre, c.-à-d. pour une propagation sans obstacles, sans effet du sol et sans atténuation dans l'air.

Ce phénomène d'atténuation du bruit en fonction de la distance vient du fait que l'énergie qui est libérée en un point par la source de bruit, se propage comme une boule qui gonfle, comme une sphère qui grandit sans cesse, et que donc l'énergie libérée se répartit sur une surface toujours plus grande au fur et à mesure qu'elle s'éloigne du point-source.

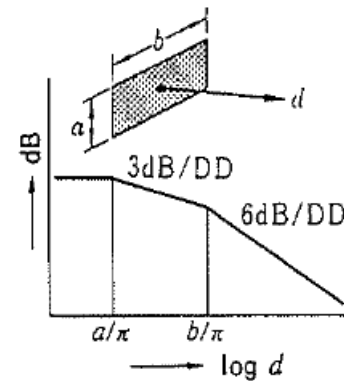
C'est un peu ce que montre l'image ci-dessous qui matérialise la génération du bruit (ici au passage du mur du son). Cette « bulle » blanche va grandir et s'éloigner du point-source, et donc le bruit va diminuer puisque l'énergie sonore va se répartir sur une surface toujours plus grande.



- ⊙ aussi, pour une source « linéique » (une autoroute par exemple), le bruit diminue plutôt de 3 dB par doublement de distance (DD) à proximité de la source, pour diminuer ensuite, en théorie en champ libre, de 6 dB par doublement de distance (DD), comme le montre la figure ci-dessous.



- ⊙ enfin, pour une source « surfacique » (un hall industriel par exemple), le bruit est d'abord constant à proximité directe de la source, puis il diminue de 3 dB par doublement de distance (DD), pour ensuite diminuer, en théorie en champ libre, de 6 dB par doublement de distance (DD), comme le montre la figure ci-dessous.



En pratique, le bruit subit d'autres atténuations complémentaires, comme :

- l'atténuation par l'air
le milieu de propagation lui-même (l'air, l'eau ou le béton par exemple) ralentit légèrement la diffusion de l'onde sonore – le bruit se propageant mieux et plus vite dans les matériaux denses comme le béton, que dans l'air où il est un peu plus atténué,
- l'effet d'obstacle
en se diffusant, le bruit rencontre des obstacles (des bâtiments, des talus, ...) qui freinent et atténuent sa propagation, d'autant mieux que la source de bruit est proche du sol (comme une autoroute par exemple) et que les obstacles sont nombreux et hauts (en ville par exemple),
- l'effet de sol
la rugosité du sol a tendance à ralentir la propagation du bruit et cet effet est d'autant plus marqué que la source de bruit est proche du sol (une autoroute par exemple) et que celui-ci est plus « rugueux ». Une forêt dense aura plus d'effet qu'une prairie ou un champ agricole vierge.

C. Les indicateurs

Le bruit fluctue, par nature.

Il est donc important d'utiliser des « indicateurs » qui permettent de caractériser ces fluctuations et aussi d'établir un lien chiffré entre le bruit (grandeur physique mesurable) et la perception / la réaction que l'homme peut en avoir (gêne, voire effets sur la santé – cfr. échelle de bruit du § 5.1.1).

Le premier graphe de la page suivante illustre les notions de :

- ⊙ **L_{max}** : niveau sonore **maximum** à un instant « t » et forcément lié à un événement sonore particulier (avion, train, aboiements, ...),
- ⊙ **$L_p(t)$** : niveau sonore **instantané** à un instant « t » et qui fluctue au cours du temps (courbe « bleue » pour le bruit ambiant, « rouge » pour le passage du train, « verte » pour le passage de l'avion),
- ⊙ **$L_{Aeq}(T)$** : niveau sonore « équivalent » sur une période « T »,

Cet indicateur représente un niveau sonore qui est continu sur toute la durée de la période « T » et qui donne la même énergie acoustique sur cette période « T » que l'ensemble des fluctuations du bruit instantané sur cette période.

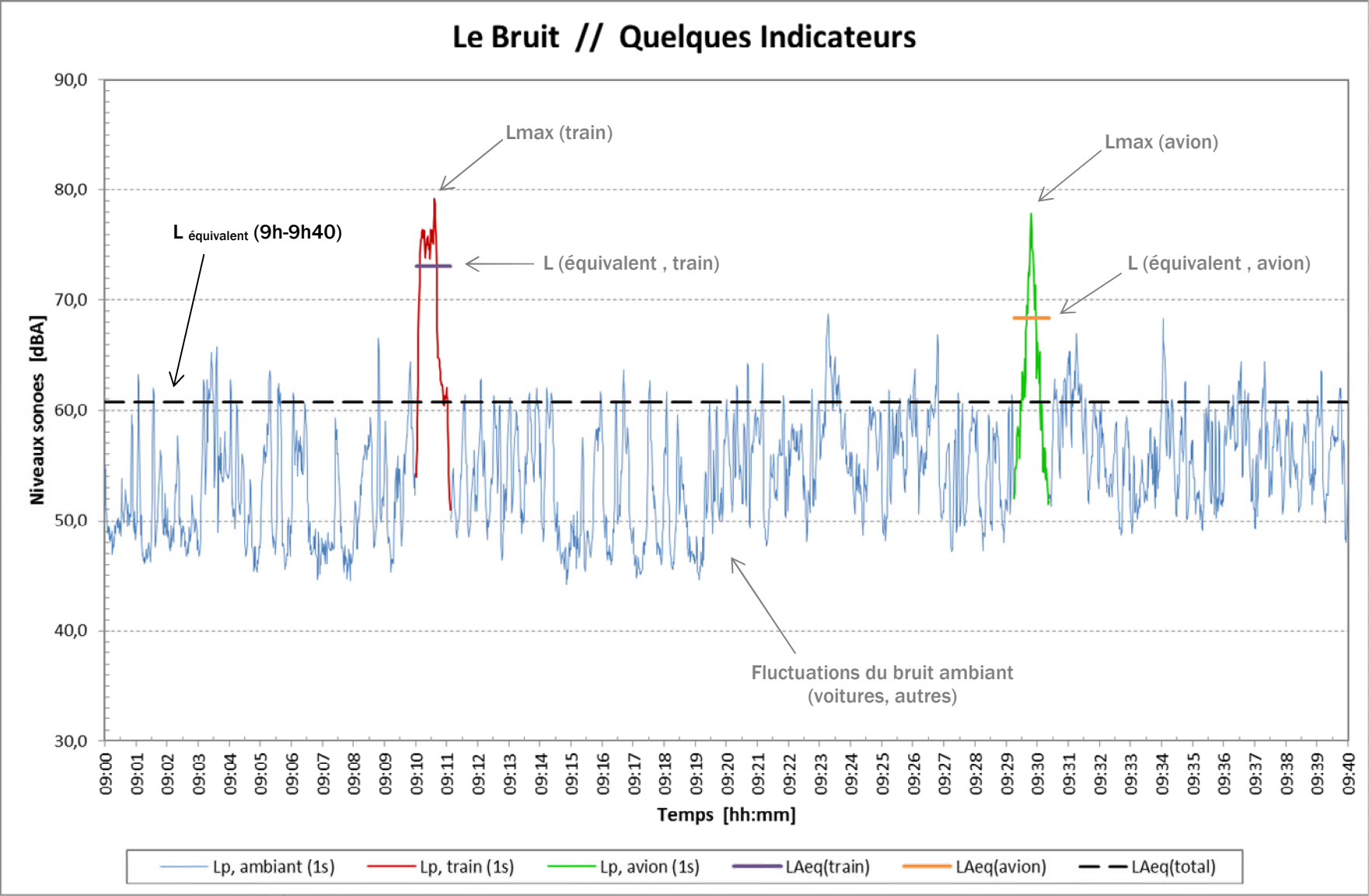
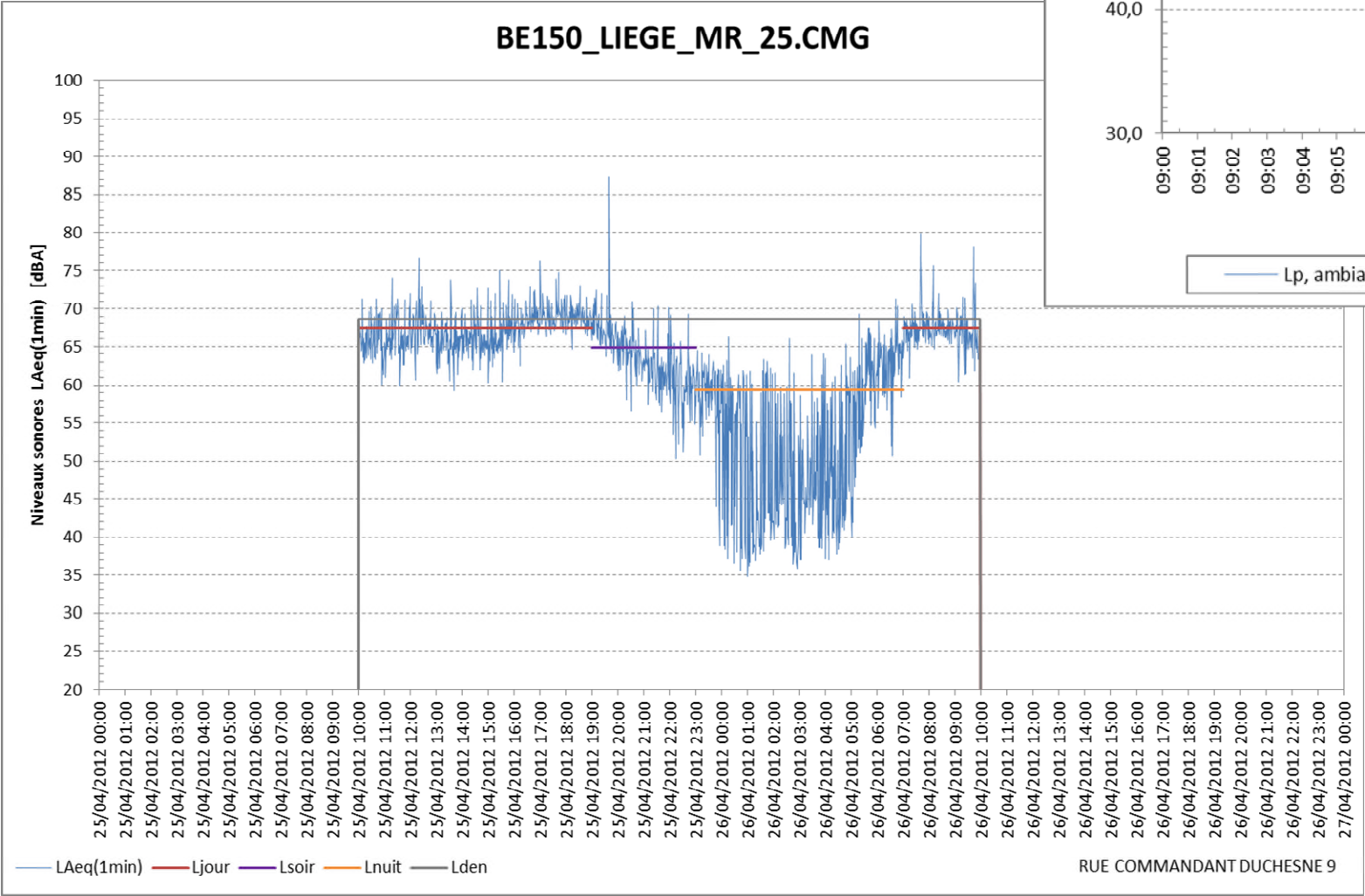
Ce n'est donc pas une moyenne arithmétique habituelle, mais une moyenne énergétique, une manière de convertir un bruit fluctuant sur une période déterminée, en un « **bruit continu équivalent** » sur cette période, et qui a la même énergie que le bruit fluctuant qu'il représente.

Le trait mauve sur le graphe qui suit a la même énergie que la fluctuation du trait rouge (passage du train) ; le trait orange a la même énergie que la fluctuation du trait vert (passage de l'avion) ; et le trait pointillé noir a la même énergie / est « équivalent » aux fluctuations des traits bleu (bruit ambiant), rouge (passage du train) et vert (passage de l'avion) sur la période complète du graphe soit, de 9h00 à 9h40.

L'avantage du niveau équivalent est qu'il tient compte à la fois du niveau maximum de chaque événement sonore, et aussi de sa durée – ce qui est important car parfois, un bruit moins fort mais plus long peut être aussi gênant qu'un bruit plus court mais plus fort. Le niveau équivalent $L_{Aeq}(T)$ intègre l'énergie acoustique globale de la période considérée.

Donc, plus il y a d'événements sonores (passages de trains, d'avions, de voitures, ...), plus le niveau équivalent monte, d'autant plus que ces événements sont bruyants (L_{max} élevé) et/ou qu'ils durent longtemps.

Cet indicateur est intéressant car il permet de « convertir » un niveau sonore fluctuant (donc difficile à quantifier) en un niveau continu équivalent (de même énergie) dont la valeur peut alors être associée à une perception du bruit (gêne, ...) et à des enquêtes épidémiologiques.



⊙ **Lden** : niveau sonore « **jour-soir-nuit** ».

L'indicateur **Lden** est utilisé au niveau européen pour représenter une charge sonore moyenne sur une année complète à des fins de cartographie à grande échelle du bruit des villes notamment.

Il s'applique donc bien à des sources de bruit qui sont stables et continues de jour en jour et de semaine en semaine (comme les **autoroutes** et les routes nationales par exemple) ou à des sources de bruit qui sont régies par des horaires réguliers, bien définis et connus – comme les **industries** ou les **trains** et les **avions** dont chaque passage fait chaque jour sensiblement le même bruit à la même heure, (quasiment) toute l'année.

Le **Lden** est aussi l'indicateur qui est utilisé pour comparer la sensibilité / la réaction des populations à des bruits différents – comparer la gêne perçue vis-à-vis du bruit routier, par rapport à celle du bruit des avions ou celle des chemins de fer par exemple – à indicateur égal (à base comparable).

L'indicateur **Lden** est défini par la directive européenne 2002/49/CE par la formule suivante (qui afflige une pénalité de 5 dB aux niveaux sonores de soirée et une pénalité de 10 dB aux niveaux sonores de nuit) :

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left(12 * 10^{\frac{L_{jour}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{soir} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{nuit} + 10}{10}} \right)$$

dans laquelle :

- L_{jour} est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2:1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de jour d'une année,
- L_{soir} est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2: 1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de soirée d'une année,
- L_{nuit} est le niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini dans ISO 1996-2: 1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de nuit d'une année,

La période de jour est définie sur une période de 12 heures, de « 7h00 à 19h00 », celle du soir sur une période de 4 heures, de « 19h00 à 23h00 » et celle de nuit sur une période de 8 heures, de « 23h00 à 7h00 ».

Le deuxième graphe de la page qui précède illustre la valeur des indicateurs L_{jour} , L_{soir} , L_{nuit} et **Lden** pour du bruit routier – où l'on voit les heures de pointe du soir (17h00 - 19h00) et du matin (7h00 - 10h00) et la forte diminution du trafic routier entre minuit et 5h00.

