



bvba I.C.A sprl
ir. MSc. Vincent Tréfois
Acoustique - Vibrations
Etudes - Conception - Mesures

Le Bruit – les Vibrations

CDC : « AUT/Bruit/Plan-Bruit/2010/02 »

**« Mesures acoustiques des bus
en circulation en
Région de Bruxelles-Capitale »**

Rapport d'étude

VT-afp-BE0129-RP2011-104-1.doc

21 décembre 2011

ir. MSc. Vincent Tréfois
Gérant
+ 32 474 28 60 80

Ce rapport contient : **89 pages** (dont celle-ci et les annexes).

SIÈGE DE BRUXELLES :

AVENUE WINSTON CHURCHILL 194 / 19
1180 BRUXELLES

BVBA I.C.A SPRL

BE 0824.144.167 / DEXIA 068-8896911-01
INTERNATIONAL COMPANY FOR ACOUSTICS SPRL

ir. MSc. Vincent Tréfois
Tel : + 32 474 28 60 80
vincent.trefois @ skynet.be

TABLE DES MATIERES

1	BUT DE L'ETUDE	4
2	METHODOLOGIE.....	5
2.1	Méthode de mesure	5
2.2	Paramètres de mesure	6
2.3	Codage / identification des événements sonores « bus »	7
2.4	Conditions de mesure – météo	9
2.5	Conditions de mesure – appareillage utilisé	9
3	ENDROITS DE MESURE.....	10
3.1	Critères de sélection	10
3.2	Les 9 sites de mesure retenus	10
4	RESULTATS : LA BASE DE DONNEES (l'outil).....	13
4.1	La structure de la base de données	13
4.2	Les tables de données : contenu et « clés de relation »	15
4.3	Contenu chiffré	17
5	RESULTATS : LES REQUETES	18
5.1	Remarque préalable // Interprétation des résultats.....	18
5.2	Revêtements de chaussée	19
5.3	Bruit spécifique des bus - versus - Bruit ambiant	23
5.3.1	Approche globale	23
5.3.2	Approche statistique.....	25
5.3.3	Niveaux sonores sur le trottoir	29
5.4	Bruit perçu à 1,5 m et à 4 m du sol	30
5.5	Comparaison de matériel roulant	40
5.6	Comparaison de niveaux vibratoires	44
5.7	Spectres mesurés.....	49
6	SYNTHESE ET CONCLUSIONS	57
7	RECOMMANDATIONS.....	58
8	ANNEXE 1 : Les sites de mesure	59
8.1	S 1 : « avenue De Fré » (CP 1180).....	60
8.2	S 2 : « chaussée de Wavre » (CP 1050).....	61
8.3	S 3 : « avenue Hermann-Debroux » (CP 1170).....	62
8.4	S 4 : « rue du Luxembourg » (CP 1000).....	63
8.5	S 5 : « rue de Trêves » (CP 1050)	64
8.6	S 6 : « rue des Epicéas » (CP 1170).....	65
8.7	S 7 : « avenue du Roi-Soldat » (CP 1070)	66
8.8	S 8 : « boulevard du Jubilé » (CP 1080).....	67
8.9	S 9 : « avenue Marcel Thiry » (CP 1200)	68
9	ANNEXE 2 : Les appareils de mesure.....	69
10	ANNEXE 3 : La mesure de la vitesse	70
11	ANNEXE 4 : Table de configuration – contenu.....	72
12	ANNEXE 5 : Table count db – contenu	74
13	ANNEXE 6 : Table passages bus – contenu.....	76
14	ANNEXE 7 : Table sites – contenu	78
15	ANNEXE 8 : Table bus – contenu.....	79
16	ANNEXE 9 : Puissance acoustique recalculée.....	84
17	ANNEXE 10 : matériel roulant.....	86

1 BUT DE L'ETUDE

Dans le cadre du marché public de service N° « AUT / Bruit / Plan-Bruit / 2010 / 02 », l' IBGE (l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement) a confié à la société I.C.A la mission :

- de réaliser des campagnes de mesures acoustiques des bus en circulation en Région de Bruxelles-Capitale.

Le but de ces campagnes de mesure était :

1. de définir et d'optimiser une méthodologie de mesure et d'analyse permettant d'identifier l'impact acoustique et vibratoire spécifique au trafic des bus des sociétés de transport public (STIB, DE LIJN et TEC) en Région de Bruxelles-Capitale,
2. de constituer une base de données la plus représentative possible des caractéristiques acoustiques des différents modèles de bus (le plus grand nombre possible dans les limites du budget) en fonction de leurs caractéristiques techniques et des conditions de circulation,
3. et plus largement de fournir des données fiables pour d'une part, mieux prendre en compte la problématique des bus dans le cadastre du bruit des transports et d'autre part, pour objectiver les discussions avec les sociétés de transports STIB, DE LIJN et TEC.



2 METHODOLOGIE

2.1 Méthode de mesure

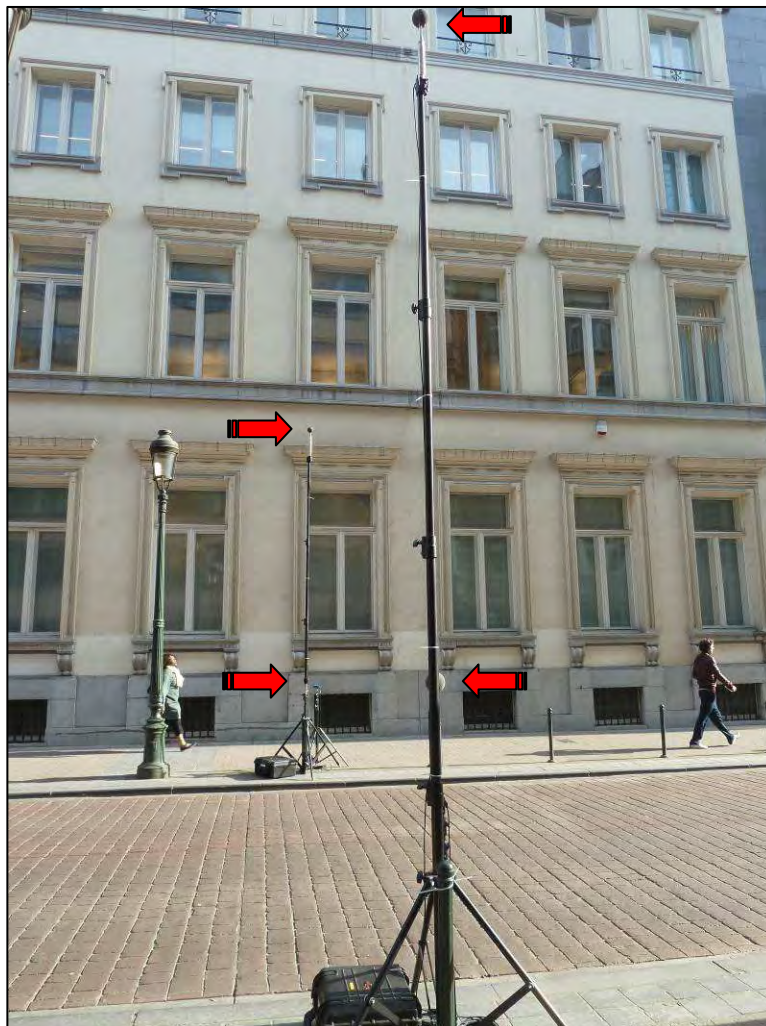
La méthode de mesure proposée initialement a été adaptée et enrichie pour être plus déterministe encore.

Ainsi, les niveaux sonores ont été mesurés :

- au moyen de 4 sonomètres par site (au lieu des 2 initialement proposés),
- et avec la présence systématique de 2 opérateurs sur site (plutôt que 1 comme prévu initialement).

Le dispositif de mesure était donc, comme l'illustre la photo ci-dessous :

- 4 sonomètres (2 de chaque côté de la voirie – flèches rouges sur la photo),
- à 2 hauteurs différentes de chaque côté (1 micro à 1,5 mètre de haut et l'autre à 4 mètres de haut, de chaque côté),
- en plus de l'accéléromètre placé au sol, d'un côté de la voirie,
- la vitesse de chaque bus étant systématiquement mesurée en temps réel par l'un des opérateurs sur site,
- tandis que l'autre opérateur marquait, pour chaque bus, la mesure en temps réel (« codage du signal » au passage du bus), relevait son numéro de série, indiquait le sens de circulation, le numéro de la ligne et la compagnie concernée (STIB, DE LIJN ou TEC), en plus de l'heure précise de passage.



Les avantages de cette méthode sont nombreux :

- ✓ **déterministe** : chaque passage de bus est rigoureusement et systématiquement consigné de façon certaine de sorte que le bruit spécifique du bus peut être extrait du bruit ambiant (voir plus loin),
- ✓ **complète** : tous les paramètres (heure précise, vitesse effective, numéro de série, compagnie, numéro de ligne notamment) sont scrupuleusement et méthodiquement consignés,
- ✓ **efficace** : la présence de 2 microphones de chaque côté de la chaussée permet de caractériser de la même façon chacun des deux sens de circulation et permet surtout de s'affranchir de la problématique des véhicules qui se croisent.

Enfin, le fait de mesurer simultanément les niveaux de bruit **à deux hauteurs différentes** permet :

- à 4 m de hauteur :
 - ✓ de disposer des mesures de bruit à la hauteur à laquelle les cartes de bruit sont établies selon les termes de la directive européenne 2002 / 49 / CE. On dispose ainsi de « points de calage » directs des modèles de calcul grâce à ces mesures et on peut directement comparer les résultats « mesures / calculs »,
 - ✓ de pouvoir appréhender les bruits aérodynamiques des bus et le bruit lié à l'échappement lorsque celui-ci est sur le toit (pour rappel : la hauteur d'un bus est de l'ordre de 3 mètres – de 291 à 332 cm),
- à 1,5 m de hauteur :
 - ✓ de disposer des mesures de bruit à une hauteur représentative non seulement du bruit du moteur, mais aussi du bruit du contact pneu / route et du bruit de l'échappement (lorsque celui-ci est « en bas »),
- de croiser les mesures simultanées aux deux hauteurs pour « coder » les événements « bus » (les extraire du bruit ambiant) et pour mieux recalculer la puissance acoustique liée au passage de chaque bus.

2.2 Paramètres de mesure

Pour chaque site de mesure :

- ➔ les niveaux sonores ont été mesurés et stockés :
 - ✓ en continu,
 - ✓ toutes les **100 ms**,
 - ✓ pour chacun des 4 sonomètres,
 - ✓ simultanément avec l'analyse fréquentielle en temps réel et en **1/3 d'octave** en continu,
 - ✓ sur **toute la durée** des mesures,
- ➔ parallèlement, les niveaux vibratoires ont mesurés et stockés :
 - ✓ conformément aux termes de la norme DIN 4150,
 - ✓ pour chacun des 3 axes de mesure,
 - ✓ et en continu sur toute la durée des mesures,
- ➔ enfin, la vitesse de passage de chaque bus a été mesurée :
 - ✓ directement sur site par un des deux opérateurs présents,
 - ✓ au moyen du cinémomètre de précision « PRO LASER III » (dont les caractéristiques techniques sont fournies en annexe 3).

Le détail des mesures, toutes les 100 ms, était impératif :

- du fait de la très courte durée du passage d'un bus, typiquement de l'ordre de 2 à 4 secondes.
- Mesurer toutes les 100 ms permet donc de disposer de 20 à 40 échantillons de mesure pour chaque passage de bus (contre 2 à 4 échantillons pour une mesure toutes les secondes),
- ce qui permet d'extraire de façon certaine le bruit du bus par rapport au bruit ambiant (notamment lorsque les véhicules se croisent).

Enfin, le matériel de mesure utilisé est décrit en détail :

- ➔ à l'annexe 3 : pour le cinémomètre laser qui a servi à mesurer la vitesse des bus,
- ➔ et à l'annexe 2 : pour les sonomètres, l'accéléromètre, les calibreurs et les mâts.

2.3 Codage / identification des événements sonores « bus »

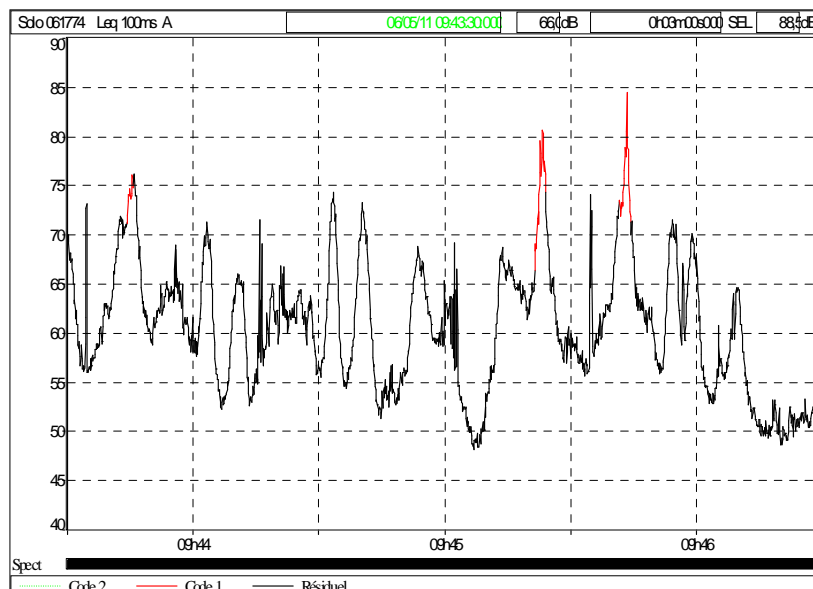
Grâce à la méthode décrite ci-dessus (§ 2.1) et à la précision des mesures (§ 2.2), on dispose, pour chaque passage de chaque bus sur chaque site et ce, de façon parfaitement synchronisée :

- ✓ de l'évolution temporelle complète
- ✓ du spectre en tiers d'octave et du niveau sonore global
- ✓ toutes les 100 ms
- ✓ à deux hauteurs différentes (1,5 m du sol et 4 m du sol)
- ✓ et des deux côtés de la voirie (donc, aux 4 sonomètres simultanément)

ainsi que :

- ✓ des niveaux de vibrations (conformes à la DIN 4150)
- ✓ de la vitesse précise de chaque bus (mesurée en direct)
- ✓ et de son identification complète (modèle, carburant, ... via son numéro de série qui est directement noté sur site).

Au passage du bus, sur site et en temps réel, le signal d'un des 4 sonomètres est « marqué » d'un code couleur (en rouge sur la figure ci-dessous), qui permet de « repérer » le passage de chaque bus et de faciliter le dépouillement des mesures, c.-à-d. l'extraction du bruit spécifique du bus par rapport au bruit ambiant.



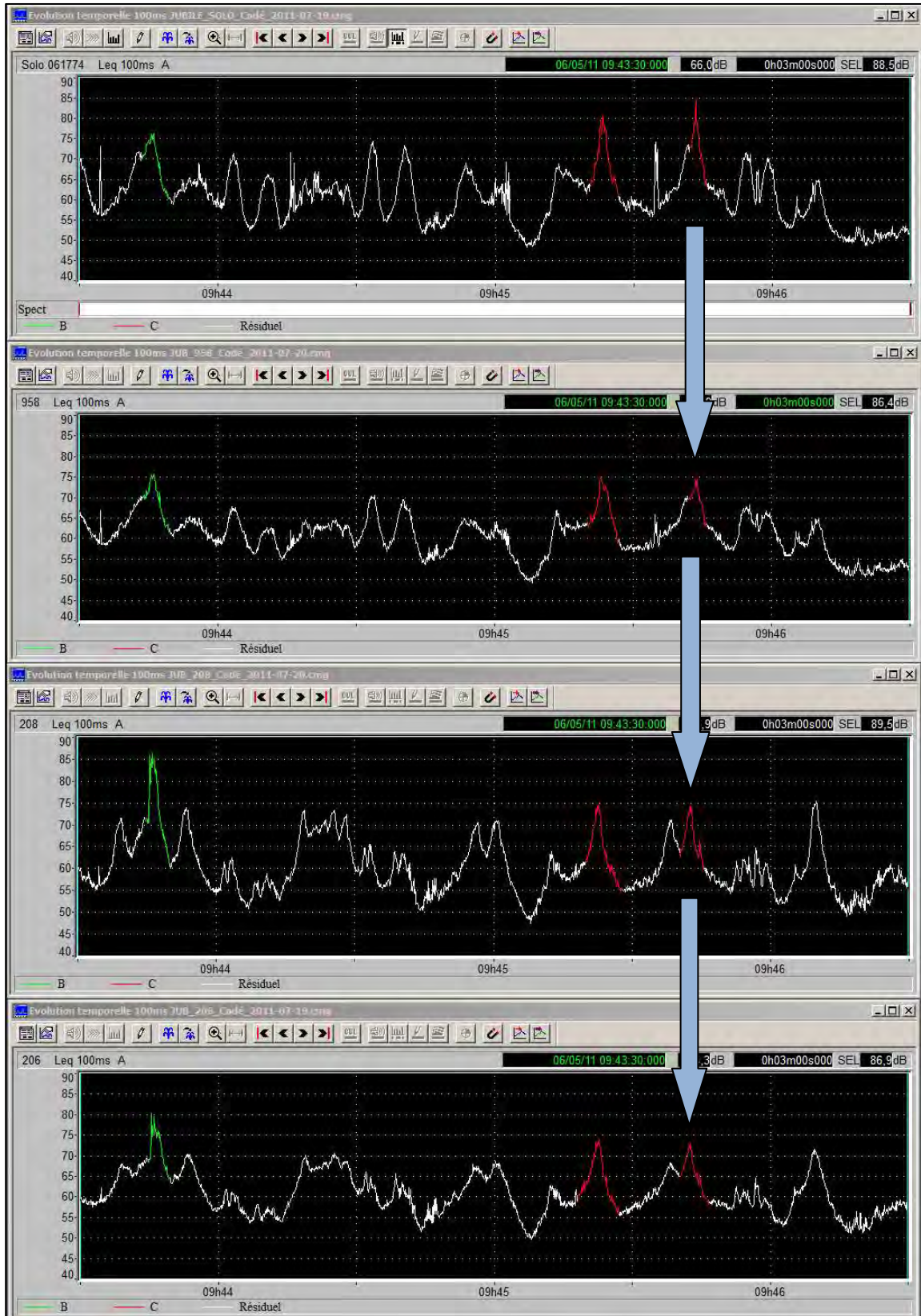
Ensuite, ces codes sont élargis à la durée réelle du passage de chaque bus, ils sont mis en relation avec les notes prises sur le terrain (N° d u bus, N° de ligne, sens de circulation, ...) et ils sont aussi répercutés sur le signal (l'évolution temporelle du niveau sonore global) des 3 autres sonomètres et de l'accéléromètre.

Signal de référence qui contient les marquages

Sonomètre placé du même côté, mais à 4 m de haut

Sonomètre placé de l'autre côté, à 1,5 m de haut

Sonomètre placé de l'autre côté, à 4 m de haut



Les 3^{ème} et 4^{ème} figures de la page précédente illustrent tout l'intérêt des mesures de précision (toutes les 100 ms), puisque c'est justement cette précision qui permet de discerner le passage du bus de celui du véhicule qui le croise quasiment au même moment.

Les figures ci-avant montrent également que le passage des bus « émerge » bien du bruit ambiant.

A ce sujet, il convient d'ailleurs de noter que les passages de bus qui n'émergeaient pas de plus 5 dB en dehors du bruit de fond, pour les 2 sonomètres placés dans le sens de circulation de ces bus, n'ont pas été « codés » et n'ont donc pas été pris en compte dans les analyses, ni dans la base de données.

2.4 Conditions de mesure – météo

Pour chacun des 9 sites de mesures, les conditions de mesure suivantes ont toujours été rencontrées :

- ✓ beau temps – soleil ou grand soleil,
- ✓ chaussée sèche – pas de pluie,
- ✓ vent toujours inférieur à 5 m/s.

C'est ainsi que pour les sites « S2 » (chaussée de Wavre) et « S8 » (boulevard du Jubilé), les mesures commencées respectivement le 10 mars et le 29 avril ont été interrompues (pour cause de vent trop important pour le premier site, et pour cause de pluie pour le second) et elles ont été recommencées le 7 avril et le 6 mai respectivement.

2.5 Conditions de mesure – appareillage utilisé

L'annexe 2 du présent rapport décrit en détail tout le matériel de mesure utilisé et ses spécifications techniques.

Chaque sonomètre est référencé par un code, de « B1 » à « B4 », qui est utilisé pour le repérage de sa localisation sur les sites – voir à ce sujet l'annexe 2, ainsi que l'annexe 1 qui détaille précisément pour chaque site, l'implantation de chacun des sonomètres par rapport aux sens de circulation.

3 ENDROITS DE MESURE

3.1 Critères de sélection

S'agissant de caractériser le bruit des bus en circulation, la problématique du bruit aux arrêts de bus a été écartée par le Comité d'Accompagnement, de même que celle liée aux dispositifs ralentisseur de vitesse.

Ainsi, les critères suivants ont été retenus par le Comité d'Accompagnement pour la sélection des sites :

1. les « revêtements de chaussée »,
2. la « vitesse de circulation »,
3. la « déclivité » des sites (en montée, en descente, à plat),
4. le « matériel roulant » :
 - disposer du plus grand nombre possible de bus différents, sachant qu'ils roulent tous au diesel (il n'y a plus de bus en circulation à Bruxelles qui soit équipé au gaz naturel),
 - disposer de sites différents en termes de revêtement de chaussée, de vitesse de circulation et de déclivité, mais sur lesquels circulent le même matériel roulant – soit typiquement, disposer de 2 ou plusieurs sites sur une même ligne de bus (pour comparer les mêmes bus dans des configurations différentes),
5. le « bruit ambiant hors bus » le plus bas possible,
(pour avoir une bonne dynamique de mesure, une bonne émergence du bruit des bus par rapport au bruit de fond, et donc des résultats fiables)
6. et la « représentativité des 3 sociétés » de transport public,
(STIB, DE LIJN et TEC).

3.2 Les 9 sites de mesure retenus

Sur base des critères de sélection sus-listés, des tracés des lignes, des grilles horaires et des propositions faites en Comité d'Accompagnement :

- ✓ 9 sites ont été retenus,
- ✓ tels que listés dans le tableau ci-après et au vu duquel on constate que :
 - ➔ 5 types différents de revêtements de chaussée ont été mesurés
(asphalte – klinkers – pavés imprimés – pavés sciés – béton) ;
 - ➔ pour des configurations de site différentes
(montée/descente, à plat, en virage) ;
 - ➔ pour une large palette de vitesse
(de 20 à 50 km/h) ;
 - ➔ pour des matériels roulants identiques sur plusieurs sites
(les mêmes bus, ceux de la ligne 95, ont circulé sur les sites S4, S5 et S6 par exemple, ou encore ceux de la ligne 34 sur les sites S2, S4 et S5, ...)
 - ➔ avec plusieurs sociétés de transports public
(STIB : tous les sites – TEC : S3 – DE LIJN : S2, S3, S7 et S8).

L'annexe 1 au présent rapport fournit une description détaillée de chaque site avec :

- ✓ sa localisation précise, les photos et le repérage,
- ✓ l'implantation des sens de circulation, des sonomètres, ainsi que de l'accéléromètre.

Les sites sont répertoriés au moyen des codes : « S1 » à « S9 ».

Note :

Pour ce qui concerne les revêtements de chaussée :

- ➔ il n'a pas été possible,
- ➔ de caractériser les « pavés naturels »,

dans la mesure :

- où il n'y a pas beaucoup de rues pavées à Bruxelles sur lesquelles circulent des bus,
- et lorsqu'il y en a, ces sites ne se prêtent pas aux mesures du bruit des bus.

Ainsi, les sites suivants avaient été proposés :

- la rue des Palais,
- la rue Dieudonné Lefèvre,
- la place du Luxembourg,
- l'avenue du Port,
- ou encore l'avenue Rogier,

mais :

- ✓ soit la cadence des bus et la représentativité du matériel roulant étaient insuffisantes (comme pour la rue Dieudonné Lefèvre par exemple),
- ✓ soit le site ne s'y prêtait pas (comme pour la place du Luxembourg par exemple, qui est en fait un rond-point qui sert de terminus aux bus. Les bus y manoeuvrent plus qu'ils n'y roulent vraiment),
- ✓ soit il était tout simplement impossible d'installer le matériel de mesure de bruit (comme c'était le cas pour l'avenue du Port, la rue des Palais et l'avenue Rogier) comme le montre la photo ci-dessous pour l'avenue Rogier. Les bus circulent sur les voies du tram, au centre de la chaussée, et on ne peut donc pas y installer les mâts et les micro).



TABLEAU DE SYNTHÈSE : 9 sites de mesures – 1 315 passages valides de bus

TOTAL 1.315

SITE	ADRESSE	COMMUNE	N° de ligne									Date_1	Commentaire	DATE DE MESURE	DECLIVITE	V [km/h]	REVETEMENT	# BUS
													C.A.- 1	7. févr. 2011				
S1	Avenue de Fré	1180	Uccle	43	38	41						3. mars 2011	Test méthode	8. mars 2011	Montée / Descente	35-45 / 15	Asphalte	135
													C.A.- 2 validation méthode et sites	21. mars 2011				
S2	Chaussée de Wavre	1050	Ixelles			34			344	345		10. mars 2011	STOP (vent)	7. avr. 2011	À plat	25-35	Klinkers	78
S3	Avenue Hermann-Debroux	1170	Watermeal-Boitsfort	72	E	344	348	343	341	345	349	–	–	8. avr. 2011	À plat	35-50	Asphalte	40
S4	Rue du Luxembourg	1000	Bruxelles	95	38	34	80	27	54	64	21	–	–	13. avr. 2011	À plat	20-30	Pavés imprimés	327
S5	Rue de Trêves	1050	Ixelles	95	38	34	80					–	–	21. avr. 2011	En virage	25-30	Asphalte	270
S6	Rue des Epicéas	1170	Watermeal-Boitsfort	95	17							–	–	27. avr. 2011	Montée / Descente	25-35	Asphalte	152
													C.A.- 3 validation base de données et sites	2. mai 2011				
S7	Avenue du Roi-Soldat	1070	Anderlecht	Site-test : pas de ligne commerciale								–	Site test-site	5. mai 2011	À plat	20-30-40-50	Pavés sciés	119
S8	Boulevard du Jubilé	1080	Molenbeek-Saint-Jean	Plusieurs lignes De Lijn						14		29. avr. 2011	STOP (pluie, vent)	6. mai 2011	À plat	30-45	Pavés imprimés	125
													C.A.-4	17. juin 2011				
S9	Avenue Marcel Thiry	1200	Woluwé-Saint-Lambert					45	79			–	–	27. juin 2011	Montée / Descente	35-45	Béton	69

4 RESULTATS : LA BASE DE DONNEES (L'OUTIL)

Toutes les données sont consignées dans une base de données « Access » dont la structure et les tables de données sont décrites ci-après.

4.1 La structure de la base de données

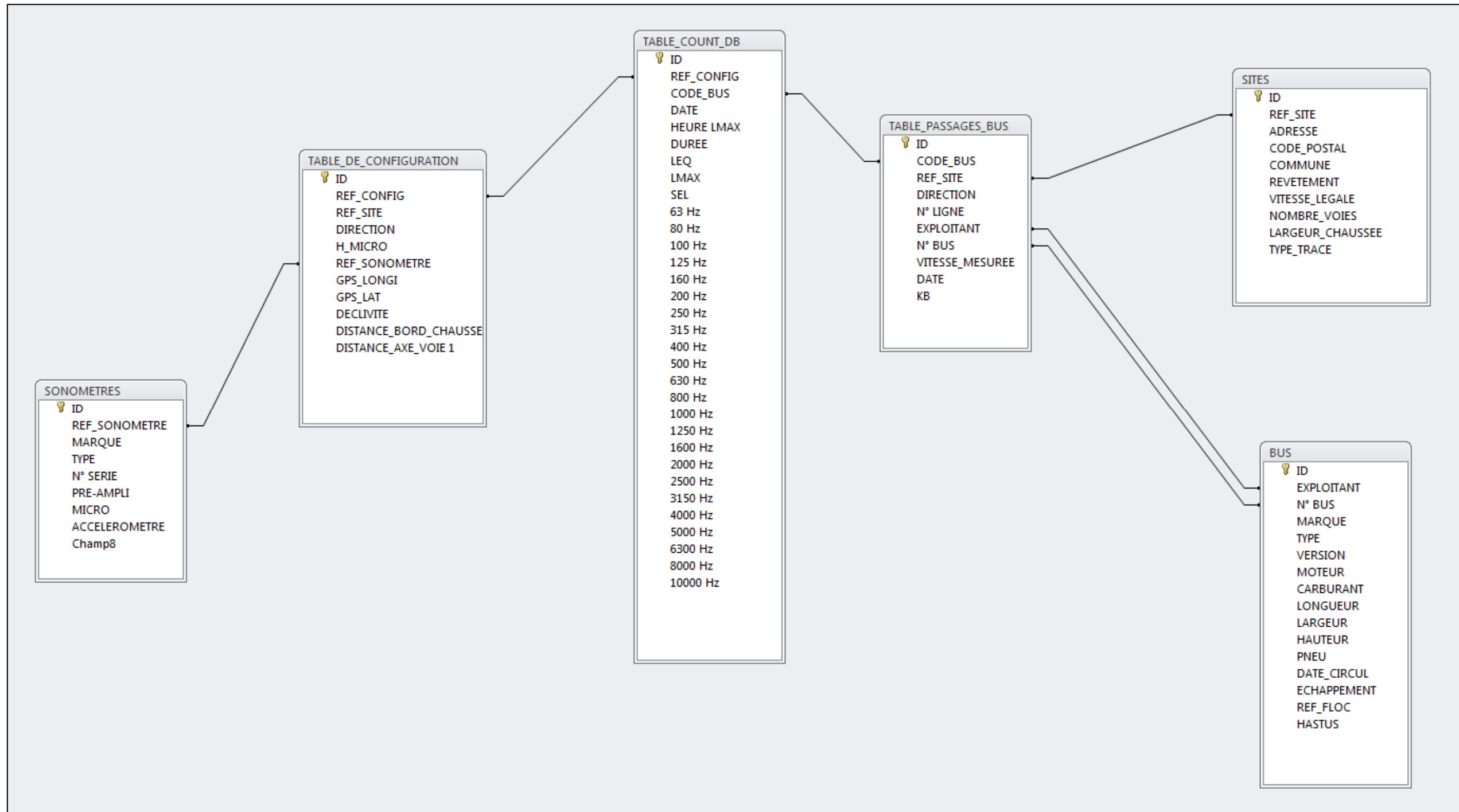
Comme illustré à la figure ci-après, la base de données s'articule :

- ✓ autour de 6 tables distinctes, soit :
 - la table « **SONOMETRES** » :
 - qui reprend la description du matériel de mesure utilisé,
 - la « **TABLE DE CONFIGURATION** » :
 - qui reprend la configuration des différents sites de mesure
 - en termes de localisation des 4 microphones et de l'accéléromètre par rapport aux sens de circulation,
 - la « **TABLE COUNT_DB** » :
 - qui reprend tous les résultats de mesure acoustique pour tous les sonomètres sur tous les sites (spectre, Lmax, ...),
 - la « **TABLE PASSAGES_BUS** » :
 - qui reprend les informations spécifiques au passage de chaque bus sur chaque site (vitesse du bus, n° de ligne, exploitant, ...),
 - la table « **SITES** » :
 - qui reprend les données relatives à chaque site de mesure (adresse, code postal, largeur et nombre de voies de circulation, ...),
 - la table « **BUS** » :
 - qui reprend les informations techniques (longueur, largeur, motorisation, position de l'échappement, ...),
 - de chaque bus, en fonction de son numéro de série.

La figure de la page suivante montre :

- ✓ la structure de la base de données,
- ✓ et les relations qui lient les tables entre-elles.

STRUCTURE DE LA BASE DE DONNEES



4.2 Les tables de données : contenu et « clés de relation »

→ la table « SONOMETRES » :

- reprend la description précise de chacun des sonomètres et accéléromètre utilisés pour les mesures sur site.
- Son contenu est repris à l' **annexe 2** du présent rapport.
- Chaque sonomètre y est référencé par le code « **REF_SONOMETRE** », de « B1 » à « B4 » :
 - qui est la « clé de relation » avec la « table de configuration »,
 - laquelle permet de savoir où chaque sonomètre était installé sur chacun des sites, conformément aux plans d'implantation fournis en annexe 1.

→ la « TABLE DE CONFIGURATION » :

- fournit les données relatives à la localisation de chaque sonomètre sur chaque site, soit son implantation par rapport aux sens de circulation (de quel côté de la chaussée ? à quelle hauteur ? ...).
- Le contenu détaillé de cette table est repris à l' **annexe 4** du présent rapport.
- deux « clés de relation » sont utilisées :
 - le code « **REF_SONOMETRE** » établit le lien vers la description technique du sonomètre concerné,
 - le code « **REF_CONFIG** » lie chaque sonomètre de chaque site (c.-à-d. chaque configuration univoque) à ses résultats de mesures acoustiques.

→ la « TABLE_COUNT_DB » :

- fournit, pour chaque micro de chaque site, et pour chaque passage de bus, les résultats des mesures de bruit [$L_{Aeq}(t)$, L_{Amax} , SEL, le spectre moyen, les date et heure de passage, ainsi que la durée du passage du bus].
- Un extrait de cette table (qui contient 4 482 enregistrements) est fourni à l' **annexe 5** du présent rapport.
- deux « clés de relation » sont utilisées :
 - le code « **REF_CONFIG** » lie chaque résultat de mesure acoustique au sonomètre correspondant de chaque site (via son numéro de configuration unique, son « ref_config »),
 - le champs « **CODE_BUS** » lie les résultats de mesure acoustique au bus correspondant – voir description détaillée en annexe 5.

→ la « **TABLE PASSAGES BUS** » :

- fournit les informations spécifiques au passage de chaque bus sur chaque site, soit :
 - la direction dans laquelle il circulait, sa vitesse exacte de passage au niveau des micro, son numéro de ligne, son numéro de série, le niveau de vibrations qu'il a engendrées, l'exploitant (STIB, DE LIJN ou TEC).
- Un extrait de cette table (qui contient les 1 315 passages de bus recensés) est fourni à l' **annexe 6** du présent rapport.
- quatre « clés de relation » sont utilisées :
 - le champs « **CODE_BUS** » lie chaque passage de bus à ses mesures de bruit – voir description détaillée en annexes 5 et 6,
 - le champs « **REF_SITE** » lie chaque passage de bus au site de mesure concerné,
 - les champs « **EXPLOITANT** » et « **N° BUS** » lient chaque passage de bus à sa description technique en termes de « matériel roulant » (marque du bus, type, motorisation, longueur, hauteur, position de l'échappement, ...).

→ la table « **SITES** » :

- fournit :
 - les données administratives (adresse, commune, code postal)
 - et techniques (revêtement de chaussée, vitesse légale autorisée, nombre de voies de circulation, largeur des voies, tracé)
 - relatives à chaque site.
- Son contenu est repris à l' **annexe 7** du présent rapport.
- le champs « **REF_SITE** » lie le site à chaque passage de bus y mesuré.

→ la table « **Bus** » :

- fournit les données techniques relatives à chaque bus, soit :
 - marque, type, motorisation, longueur, hauteur, position de l'échappement,
- Un extrait de son contenu est repris à l' **annexe 8** du présent rapport.
- les champs « **N° BUS** » et « **EXPLOITANT** » lient chaque bus à chacun de ses passages sur chacun des 9 sites de mesure.

4.3 Contenu chiffré

La base de données contient :

- ✓ **1 315** passages de bus,
- ✓ répartis sur **9 sites** différents (voir tableau en page 10 ci-avant),
- ✓ et représentant :
 - **4 482** « événements sonores » (chaque bus étant mesuré par 4 sonomètres sur 7 des 9 sites et par 2 sonomètres sur les deux autres).

5 RESULTATS : LES REQUETES

5.1 Remarque préalable // Interprétation des résultats

Il convient d'être prudent lors de l'exploitation de la base de données en étant particulièrement vigilant aux éléments suivants :

1. La problématique des véhicules qui se croisent :

Pendant les mesures, il se peut que un ou plusieurs véhicules (vu la longueur des bus – 12 ou 18 mètres de long) aient croisé le bus, dans l'autre sens de circulation.

Ainsi, nous recommandons, lors de la comparaison des niveaux sonores, notamment d'un site à l'autre, de toujours prendre les résultats de mesure des 2 sonomètres qui étaient placés juste à côté du bus, c.-à-d. placés juste à côté de sa direction de circulation (cfr. Annexe 1 pour l'implantation des sonomètres).

Cette précaution permet, à notre avis, de comparer des choses comparables et d'éviter de comparer des résultats qui pourraient être entachés de perturbations indépendantes du passage du bus (c.-à-d. de niveaux sonores engendrés par des véhicules qui croisent le bus dans l'autre sens).

2. La représentativité statistique :

Un des buts de l'étude était de constituer une base de données qui soit la plus représentative possible des caractéristiques acoustiques des différents modèles de bus, *soit le plus grand nombre possible dans les limites du budget.*

Ainsi, il se pourrait que pour certain type de bus en particuliers, le nombre de leurs passages sur les différents sites ne soient pas suffisants pour en tirer des conclusions fiables quant à leur caractéristique acoustique.

Compte tenu des remarques qui précèdent, les paragraphes qui suivent fournissent des interprétations et analyses, notamment :

- quant à la comparaison du bruit mesuré sur les différents revêtements de chaussée,
- quant à l'impact du bruit spécifique des bus par rapport au bruit ambiant,
- quant à la comparaison du bruit perçu à 1,5 mètre du sol et à 4 mètres du sol,
- quant à la comparaison du bruit émis par différents types de matériel roulant – différents types de bus,
- quant aux vibrations mesurées au passage des bus et dans les conditions de mesure décrites
- quant au spectre du bruit des bus.

5.2 Revêtements de chaussée

Les requêtes illustrées à la page suivante sont à la base de l'analyse, soit l'extraction :

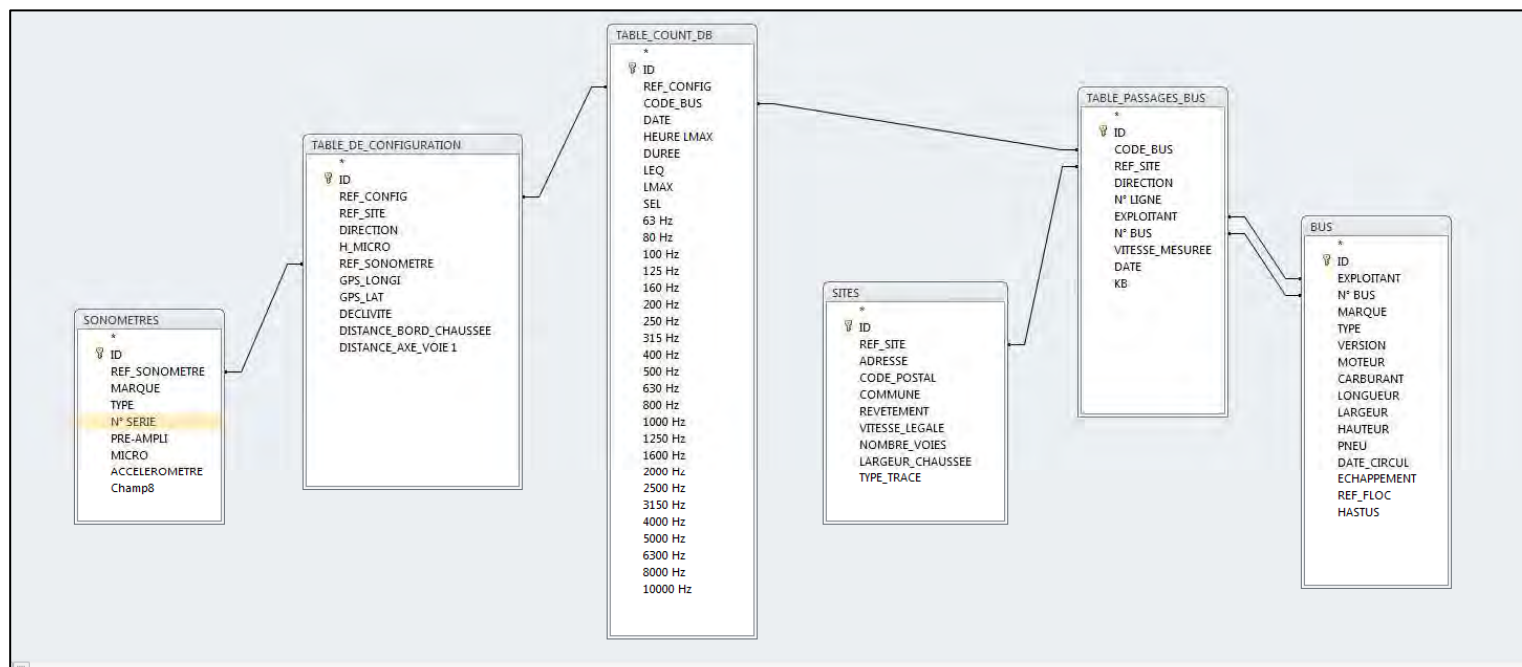
- des niveaux sonores ***LAeq(passage)***,
- spécifiques aux bus du type « ***Van Hool A330*** » (qui représentent 44 % du parc de la STIB : 242 bus de ce type pour un parc total de 553 bus),
- sur le site ***S1, S2, S4, S5 et S9***,
- et pour les sonomètres dont le micro était situé à ***4 m de haut*** ET ***dans le sens de circulation des bus*** (à 4 m de haut pour s'affranchir au maximum du bruit direct du moteur).

Le 1^{er} graphe qui suit montre :

1. que pour des vitesses comprises entre *15 et 30 km/h*,
2. les niveaux sonores augmentent proportionnellement à la vitesse, ***sauf*** pour l'asphalte,
3. la dispersion des niveaux sonores sur chaque site étant assez grande : +/- 3 dB environ,
4. et que nonobstant,
 - a. les « pavés imprimés » sont les plus bruyants (au moins 5 dB plus bruyant que l'asphalte),
 - b. « ***l'asphalte*** » est le revêtement ***le moins bruyant*** et le bruit n'augmente qu'au-delà de 30 km/h contrairement aux deux autres revêtements,
 - c. les « klinkers » sont entre les deux.

Le 2^{ème} graphe qui suit montre :

1. que pour des vitesses plus élevées, comprises entre *30 et 50 km/h*,
2. les niveaux sonores n'augmentent plus aussi fort en fonction de la vitesse,
3. la dispersion des niveaux sonores sur chaque site est comparable à celle du graphe précédent : +/- 3 dB environ,
4. et que nonobstant,
 - a. ***le « béton »*** est ***plus bruyant*** que « l'asphalte »,
 - b. tout en restant moins bruyant que les « pavés imprimés ».

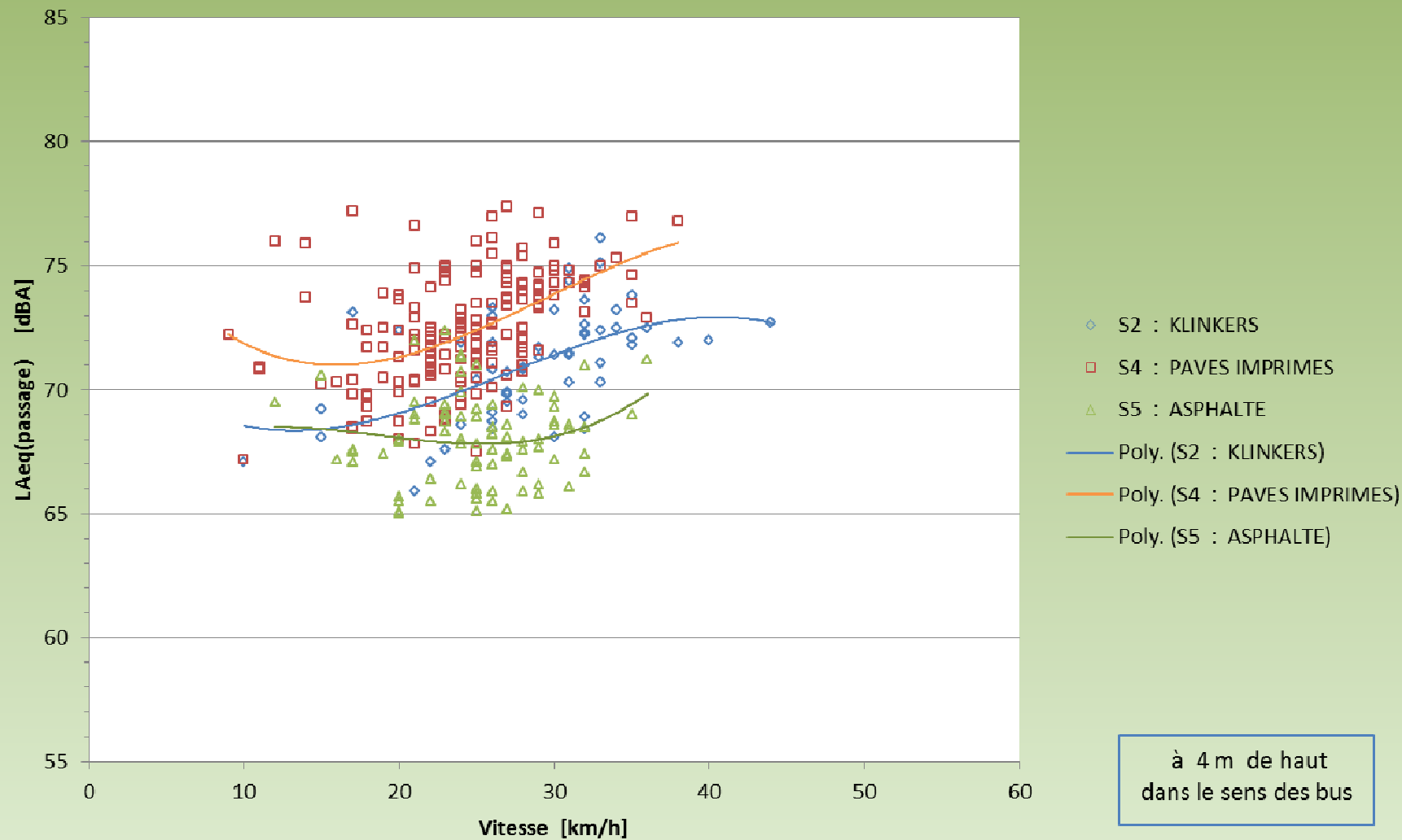


Champ :	REF_SITE	ADRESSE	REVETEMENT	EXPLOITANT	N° BUS	MARQUE	TYPE	REF_CONFIG	REF_SONOMETRE	DIRECTION	VITESSE_MESUREE	LEQ
Table :	SITES	SITES	SITES	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	BUS	BUS	TABLE_DE_CONFIGURATION	TABLE_DE_CONFIGURATION	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_COUNT_DB
Tri :												
Afficher :	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Critères :	"S1"						"A330"	"2"	"B3"	"W"		
Ou :	"S6"						"A330"	"25"	"B3"	"W"		
	"S6"						"A330"	"27"	"B2"	"K"		
	"S7"						"A330"	"30"	"B2"	"Y"		
	"S9"						"A330"	"38"	"B3"	"T"		
	"S9"						"A330"	"40"	"B2"	"G"		

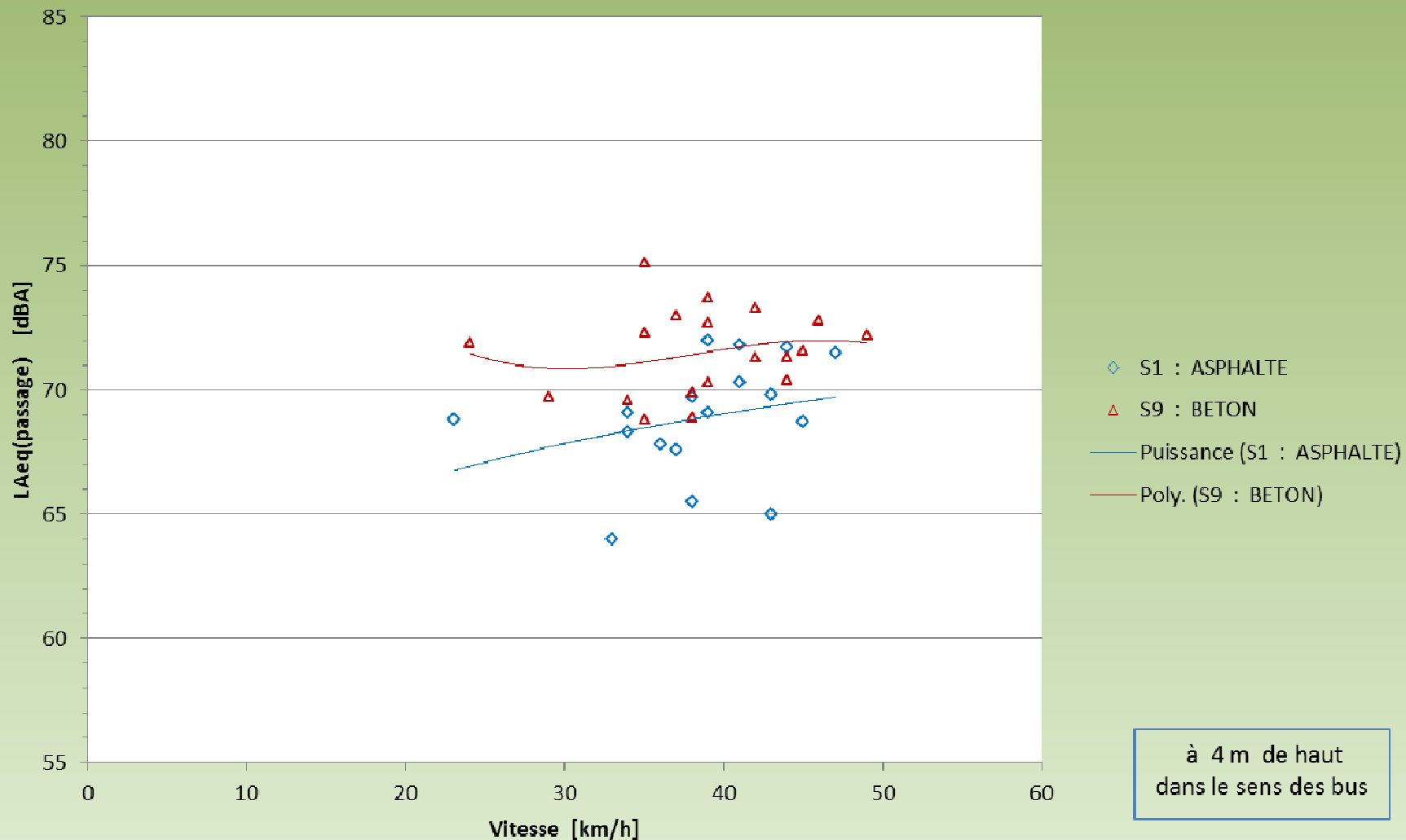
Champ :	REF_SITE	ADRESSE	REVETEMENT	EXPLOITANT	N° BUS	MARQUE	TYPE	REF_CONFIG	REF_SONOMETRE	DIRECTION	VITESSE_MESUREE	LEQ
Table :	SITES	SITES	SITES	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	BUS	BUS	TABLE_DE_CONFIGURATION	TABLE_DE_CONFIGURATION	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_COUNT_DB
Tri :												
Afficher :	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Critères :	"S2"						"A330"	"9"	"B2"	"B"		
Ou :	"S4"						"A330"	"19"	"B2"	"P"		
	"S5"						"A330"	"22"	"B2"	"I"		
	"S7"						"A330"	"30"	"B2"	"Y"		
	"S6"						"A330"	"27"	"B2"	"K"		

Champ :	REF_SITE	ADRESSE	REVETEMENT	EXPLOITANT	N° BUS	MARQUE	TYPE	REF_CONFIG	REF_SONOMETRE	DIRECTION	VITESSE_MESUREE	LEQ
Table :	SITES	SITES	SITES	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	BUS	BUS	TABLE_DE_CONFIGURATION	TABLE_DE_CONFIGURATION	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_COUNT_DB
Tri :												
Afficher :	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Critères :	"S2"						"A330"	"7"	"B3"	"C"		
Ou :	"S4"						"A330"	"17"	"B3"	"L"		

COMPARAISON - REVETEMENT (VAN HOOL A330)



COMPARAISON - REVETEMENT (VAN HOOL A330)



5.3 Bruit spécifique des bus - versus - Bruit ambiant

5.3.1 Approche globale

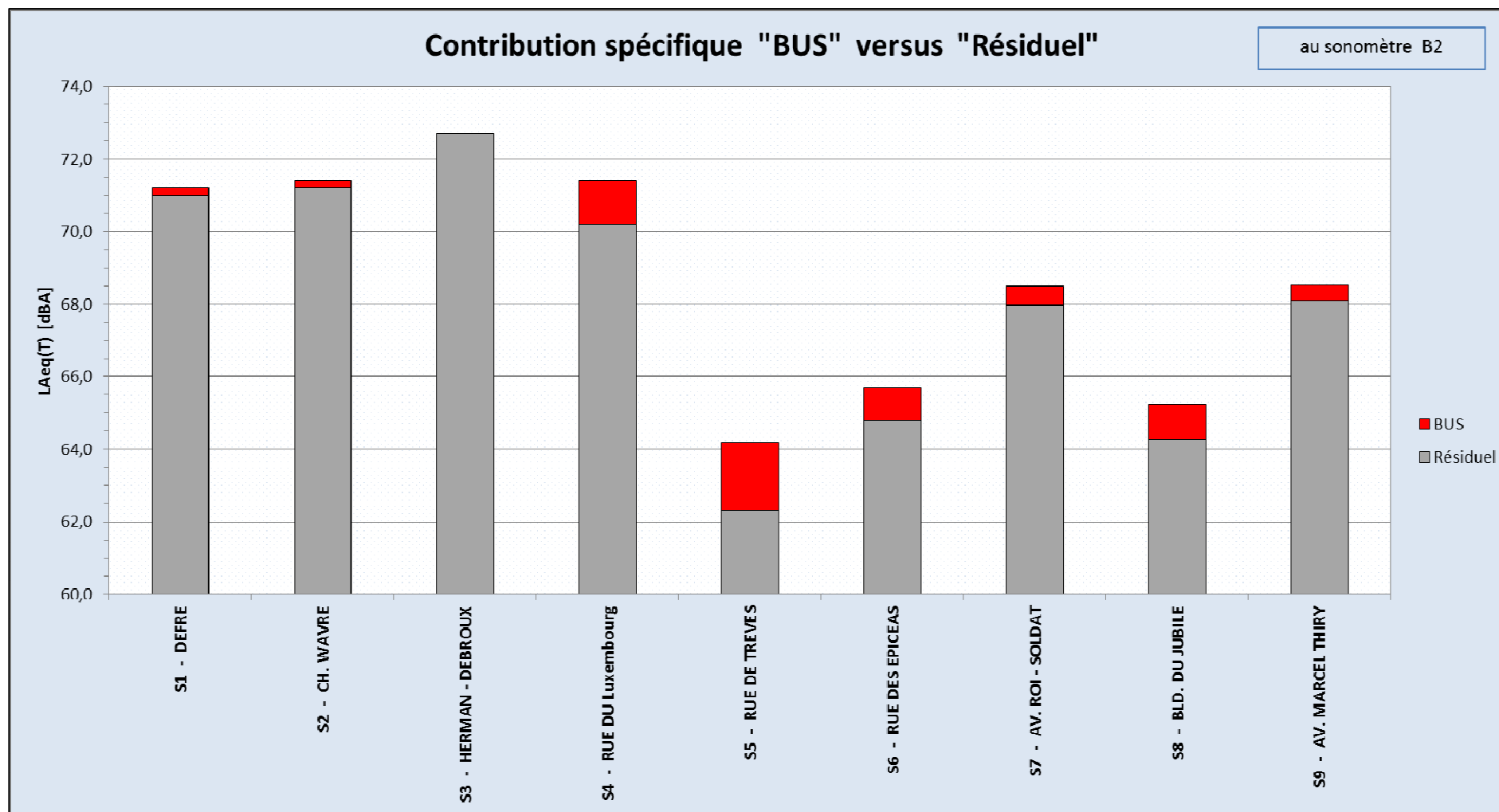
Dans dBTrait :

- les niveaux sonores LAeq,
- spécifique aux bus (tous types confondus) ET au bruit résiduel hors bus,
- ont été extraits systématiquement pour le sonomètre B2 (à 4 m de haut),
- sur chacun des 9 sites.

Le graphe et le tableau ci-après montrent le résultat de la comparaison, soit :

1. que la contribution des bus au bruit ambiant peut être *significative*, ce qui est notamment le cas pour :
 - les sites S4, S5, S6, S7 et S8,
 - en ce sens qu'une faible présence de bus (6 à 13 % du temps en durée cumulée, voir tableau ci-dessous) provoque une augmentation du niveau sonore global de 1 à 2 dB. Les bus font donc proportionnellement plus de bruit que les voitures, mais comme leur nombre de passages est beaucoup plus faible que celui du reste du trafic, leur impact global sur le bruit perçu reste limité (1 à 2 dB),
 2. et que là où le bruit de fond est important, la contribution des bus au bruit ambiant devient négligeable, ce qui est notamment le cas pour :
 - les sites S1, S2, S3 et S9,
 - où le bruit des bus est dilué dans celui du flot des voitures. Sur ces sites, le passage des bus ne représente que 1 à 4 % du temps.
- Ces constats se lisent également sur le graphe de la page qui suit, où une distinction assez nette peut être faite entre les voiries à fort trafic routier – LAeq global > 70 dBA (S1, S2, S3 notamment) et celles plus calmes – LAeq global < 70 dBA sur lesquelles l'impact sonore des bus se marque plus fort.

		BRUIT RESIDUEL - LAeq [dBA]	BRUIT GLOBAL - LAeq [dBA]	Durée cumulée _ RESIDUEL	Durée cumulée _ BUS	Durée en % du passage des bus
S1	S1 - DEFRE	71,0	71,2	4 h 49 min 6 sec	10 min 54 sec	4%
S2	S2 - CH. WAVRE	71,2	71,4	3 h 53 min 2 sec	6 min 58 sec	3%
S3	S3 - HERMAN - DEBROUX	72,7	72,7	4 h 56 min 8 sec	3 min 52 sec	1%
S4	S4 - RUE DU Luxembourg	70,2	71,4	4 h 20 min 26 sec	39 min 34 sec	13%
S5	S5 - RUE DE TREVES	62,3	64,2	6 h 12 min 50 sec	47 min 10 sec	11%
S6	S6 - RUE DES EPICEAS	64,8	65,7	5 h 40 min 12 sec	19 min 48 sec	6%
S7	S7 - AV. ROI - SOLDAT	68,0	68,5	3 h 43 min 45 sec	16 min 15 sec	7%
S8	S8 - BLD. DU JUBILE	64,3	65,2	3 h 45 min 28 sec	14 min 32 sec	6%
S9	S9 - AV. MARCEL THIRY	68,1	68,5	4 h 53 min 10 sec	6 min 50 sec	2%



5.3.2 Approche statistique

Le paragraphe précédent a montré que pour les rues où le trafic routier est moins dense, le passage des bus peut conduire à une augmentation globale du niveau sonore en journée.

Or, le niveau sonore global mesuré en journée dans une rue dépend du bruit émis par chaque véhicule qui passe, mais aussi du nombre de ces véhicules qui passent pendant la durée des mesures de bruit.

Donc, pour que les bus augmentent le niveau sonore global, il faut que chaque bus soit plus bruyant que chaque voiture, puisque le nombre de passages de bus est nettement inférieur à celui des voitures.

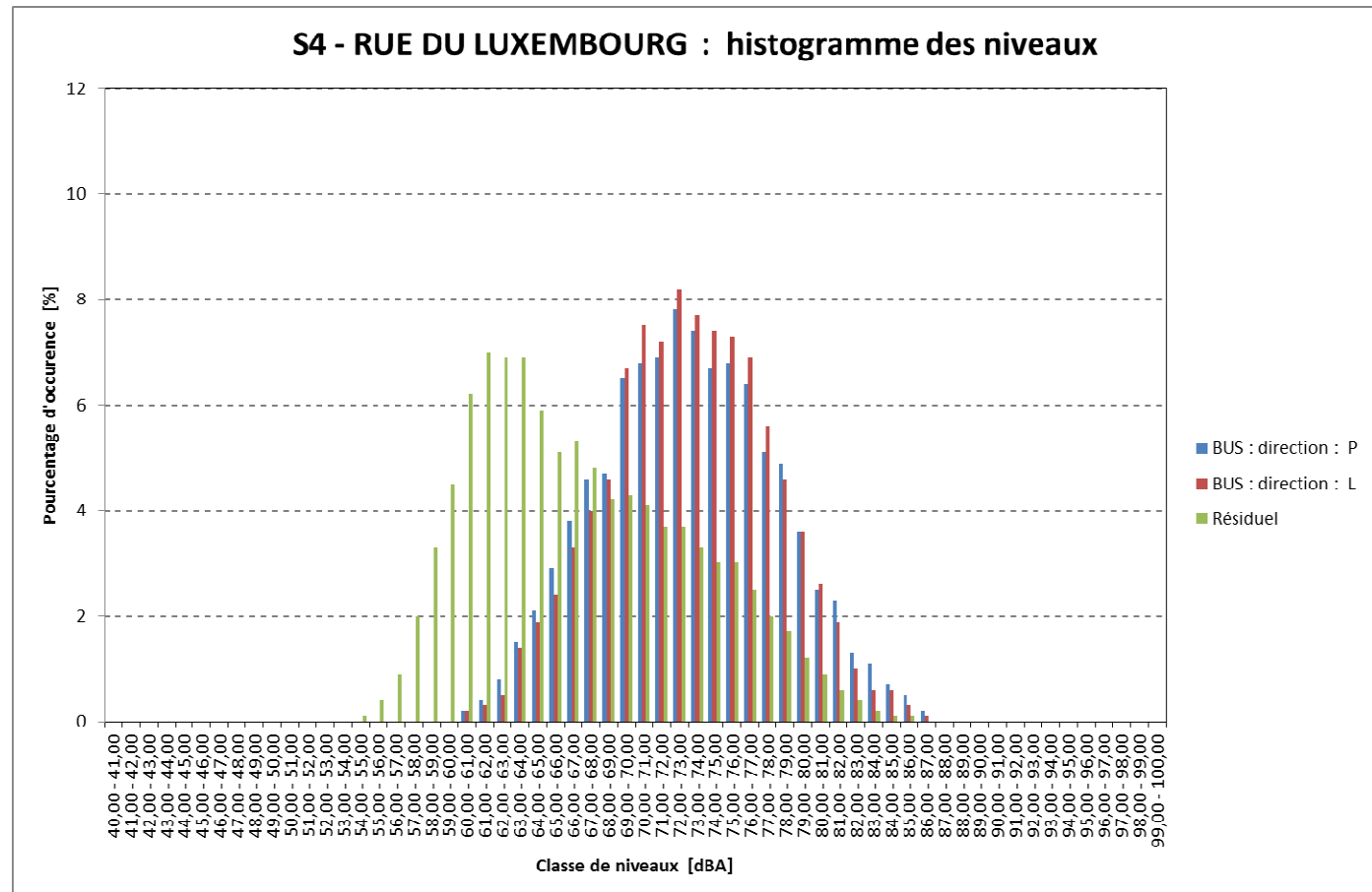
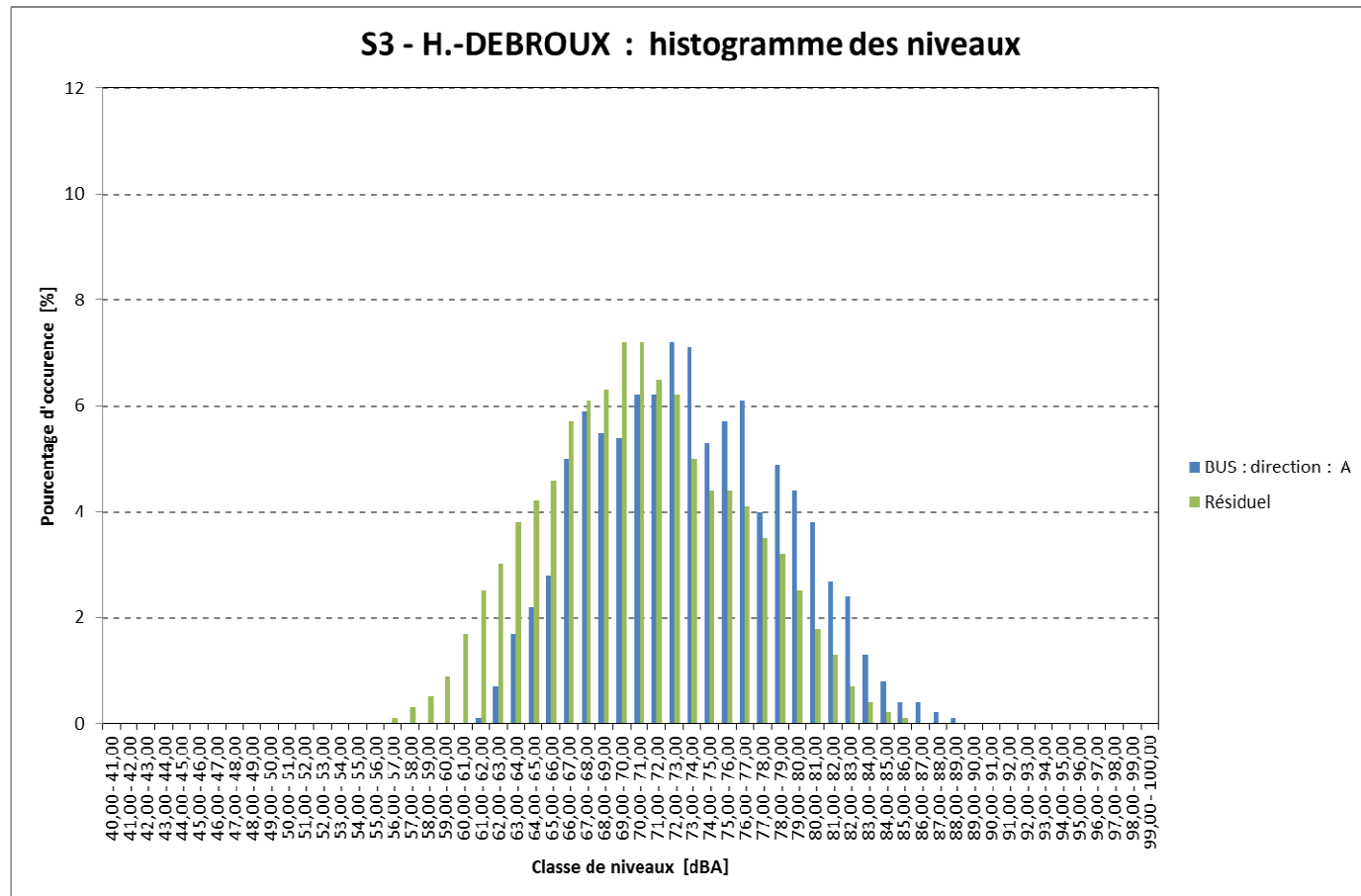
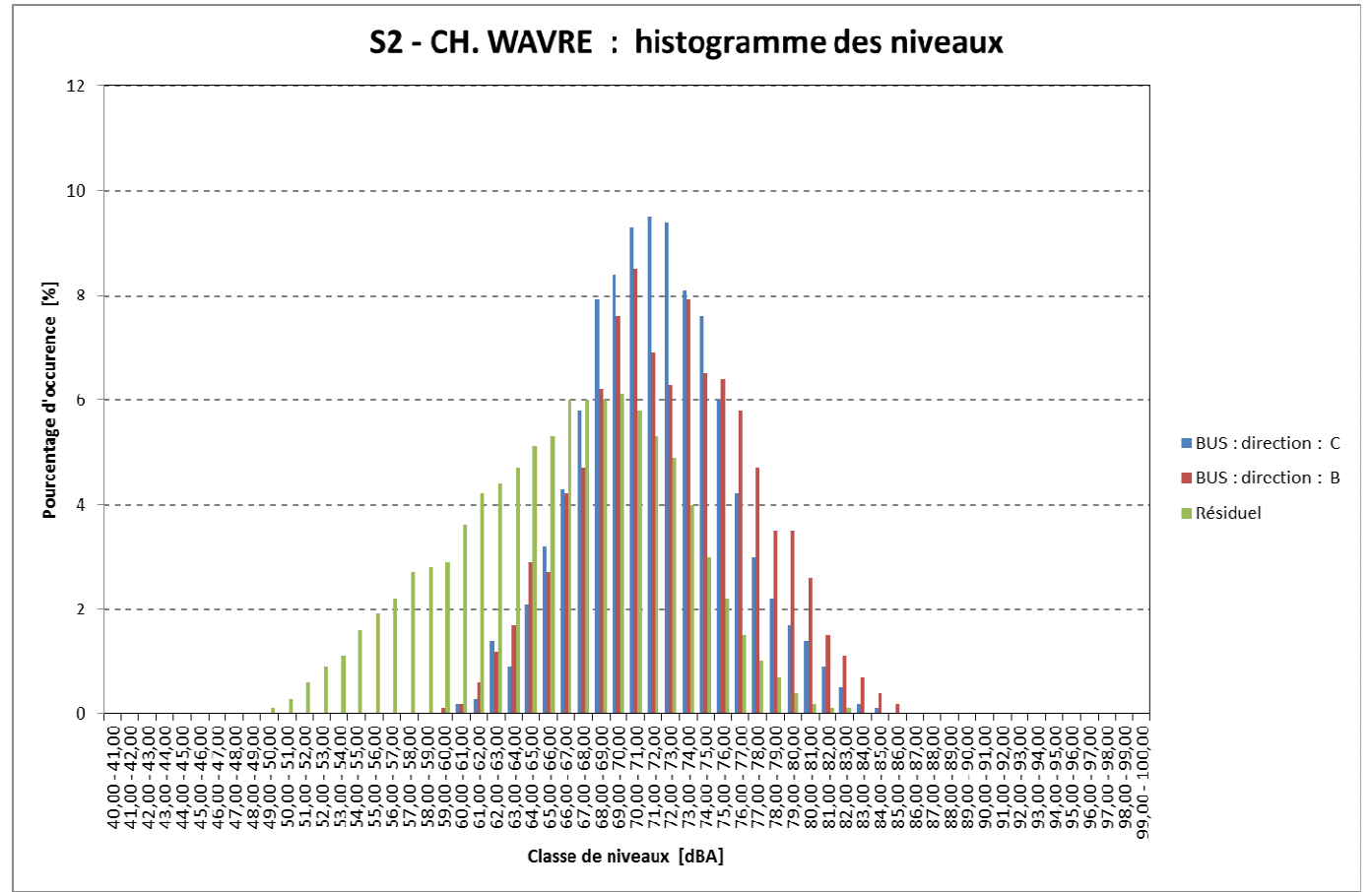
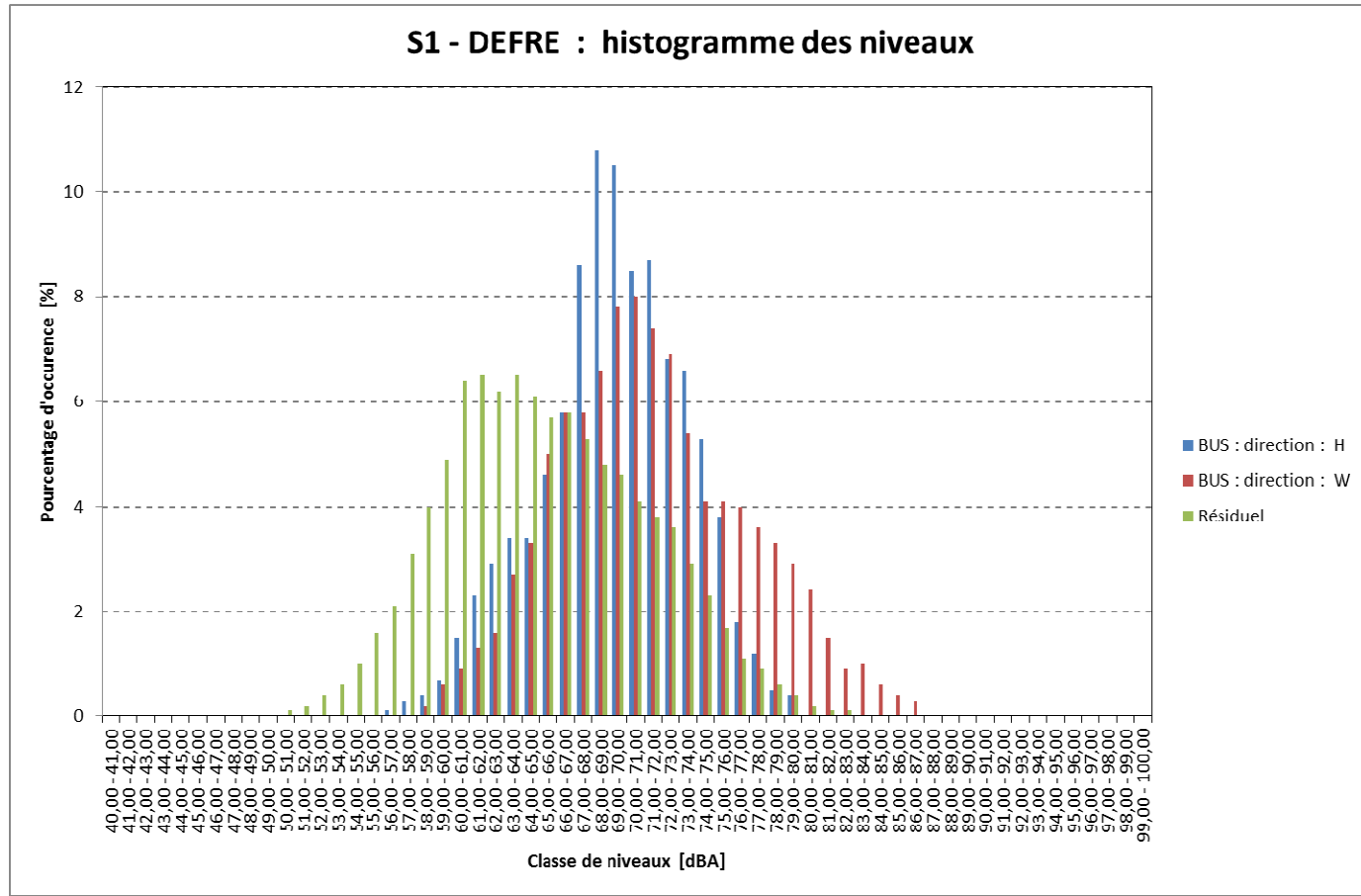
En pratique, c'est d'ailleurs ce que l'on constate. Un bus fait plus de bruit qu'une voiture, mais ils sont moins nombreux.

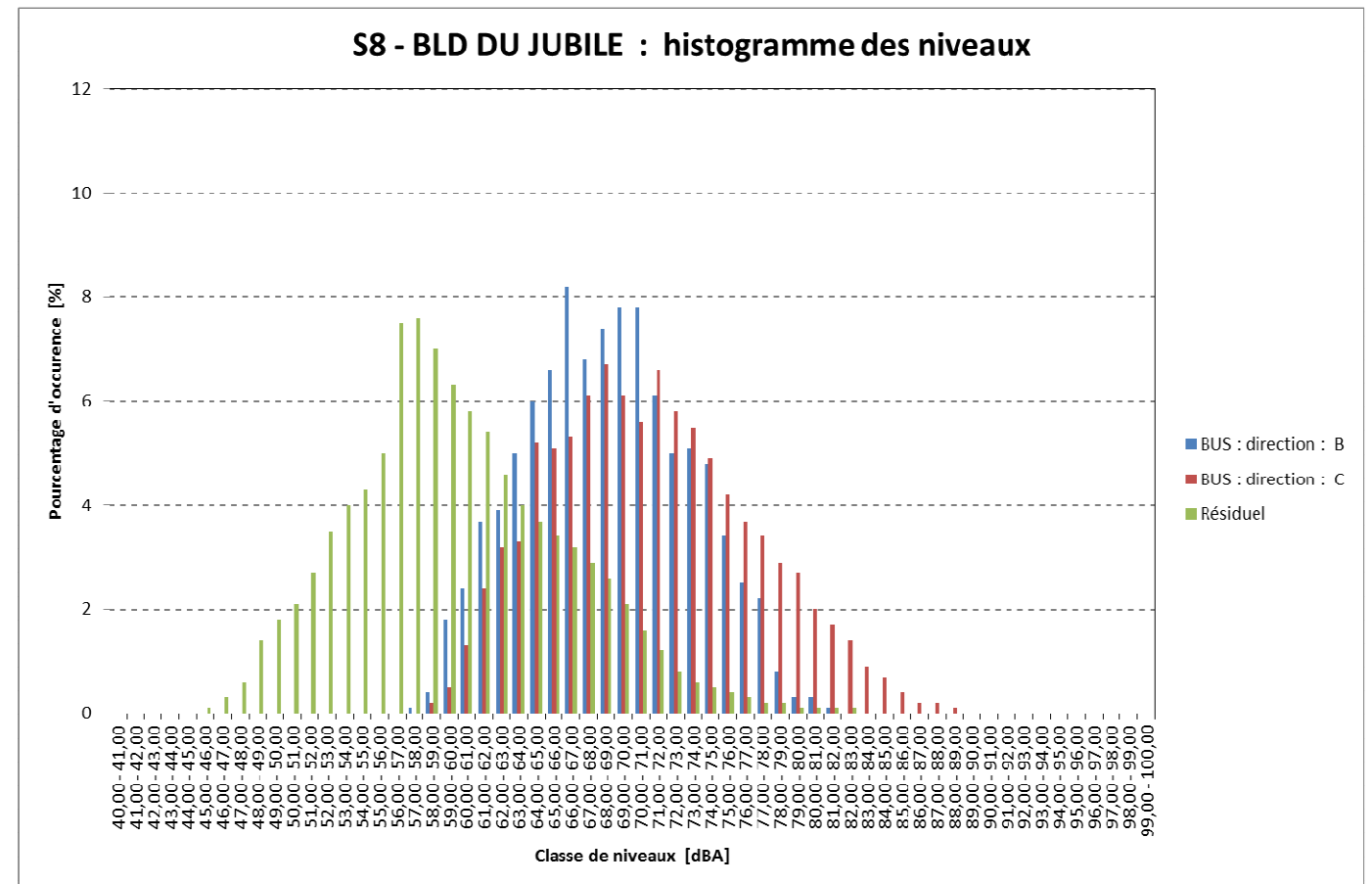
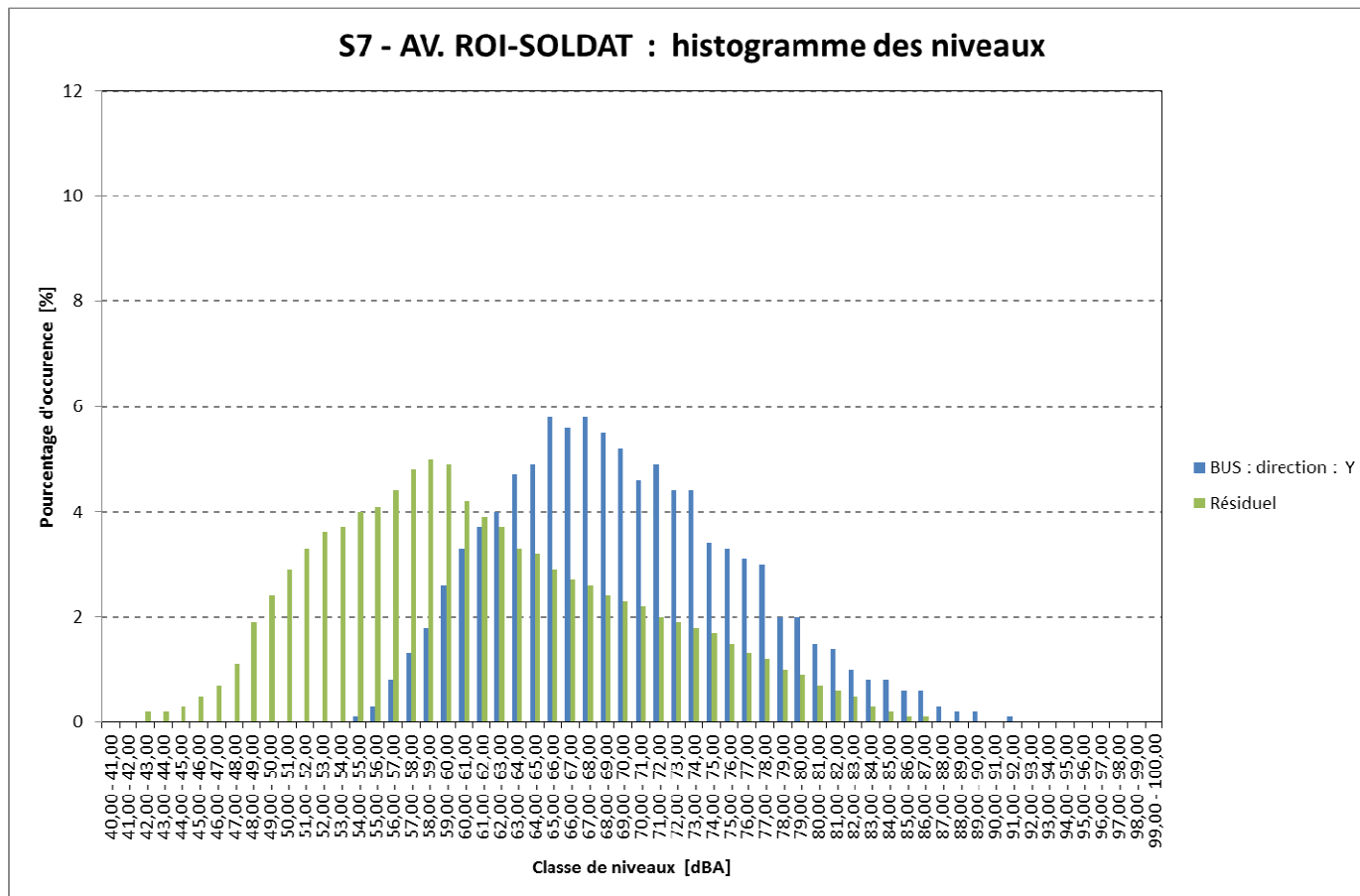
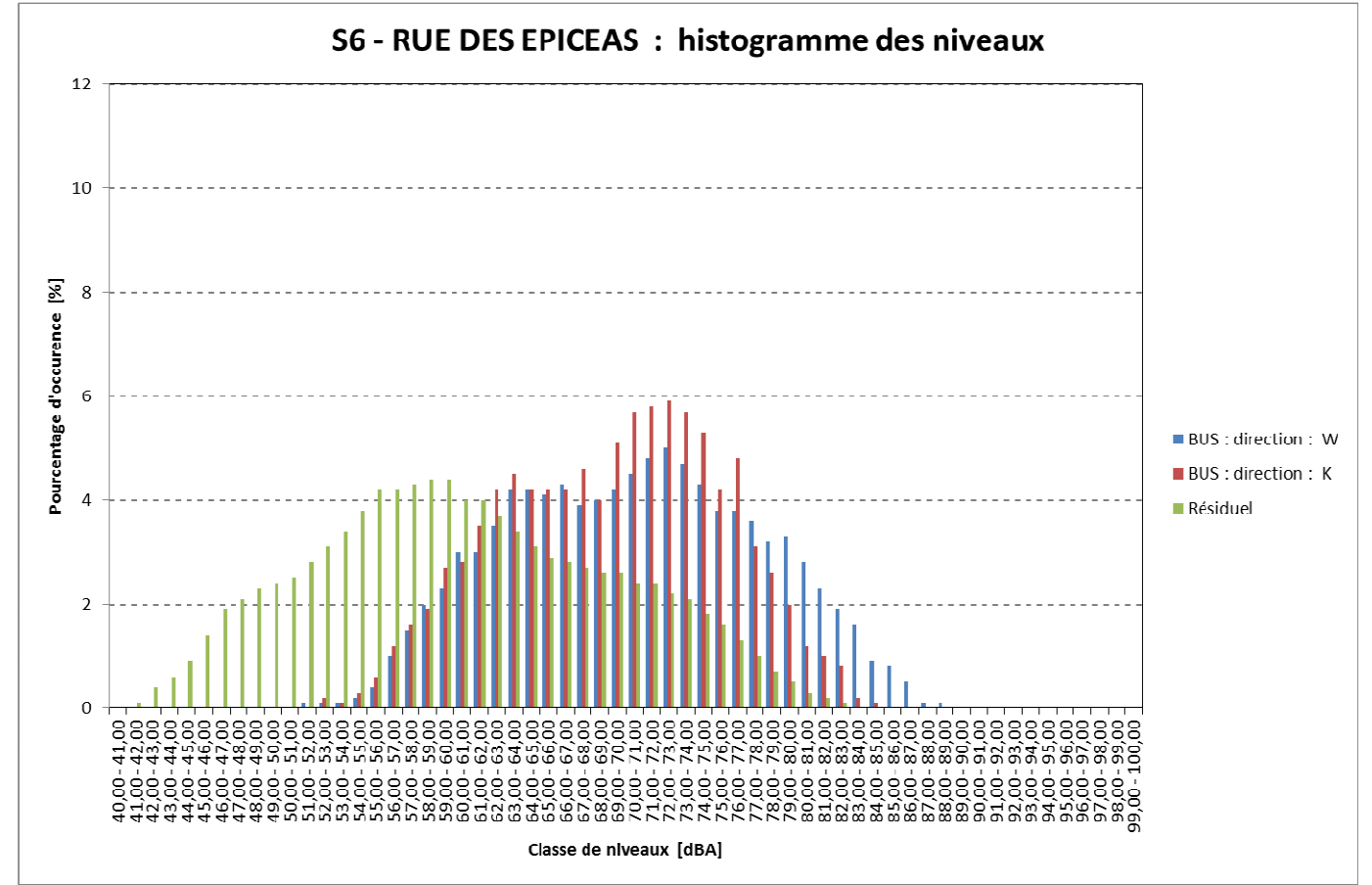
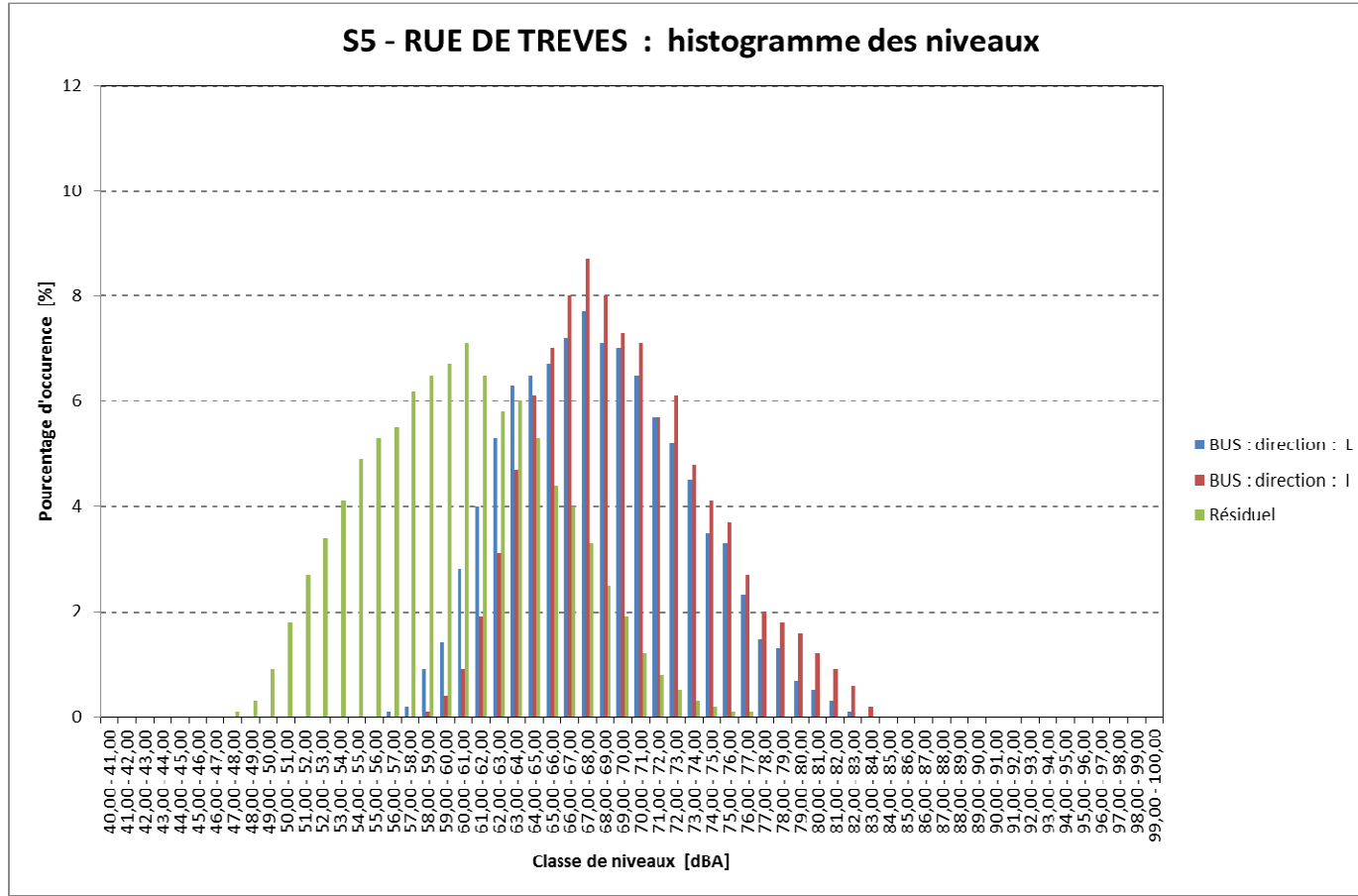
Pour illustrer cela, on a repris :

- sur les 9 graphes qui suivent,
- les diagrammes de pourcentage d'occurrences des niveaux sonores élémentaires LAeq(100ms),
- systématiquement pour le micro B1 de chacun des neuf sites de mesures,
- en faisant la distinction entre les niveaux sonores engendrés par les bus (en rouge et en bleu selon la direction de circulation) et ceux engendrés par le reste du trafic routier (en vert).

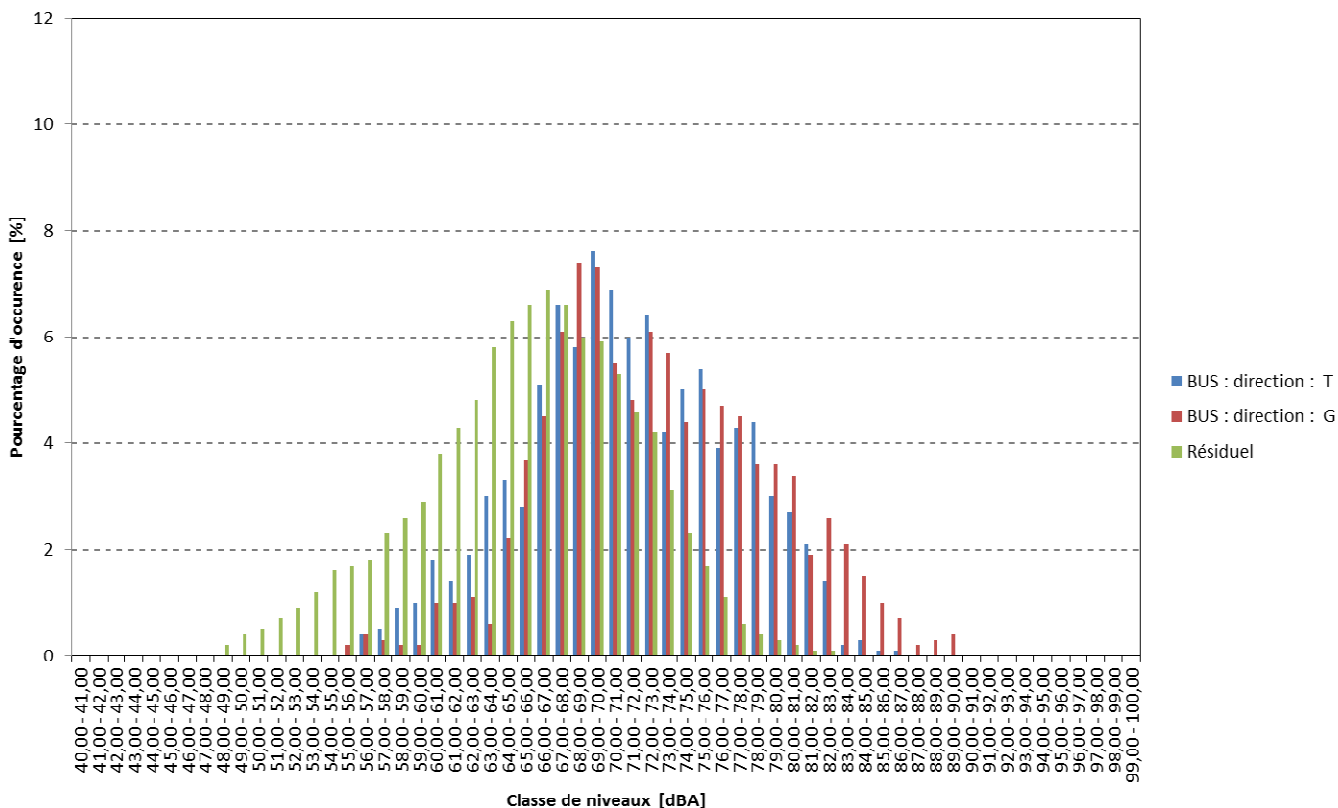
Au vu de ces graphes, on constate :

- ➔ que statistiquement, les bus sont
- ➔ **de l'ordre de 10 dBA**
- ➔ plus bruyants que le reste du trafic routier.





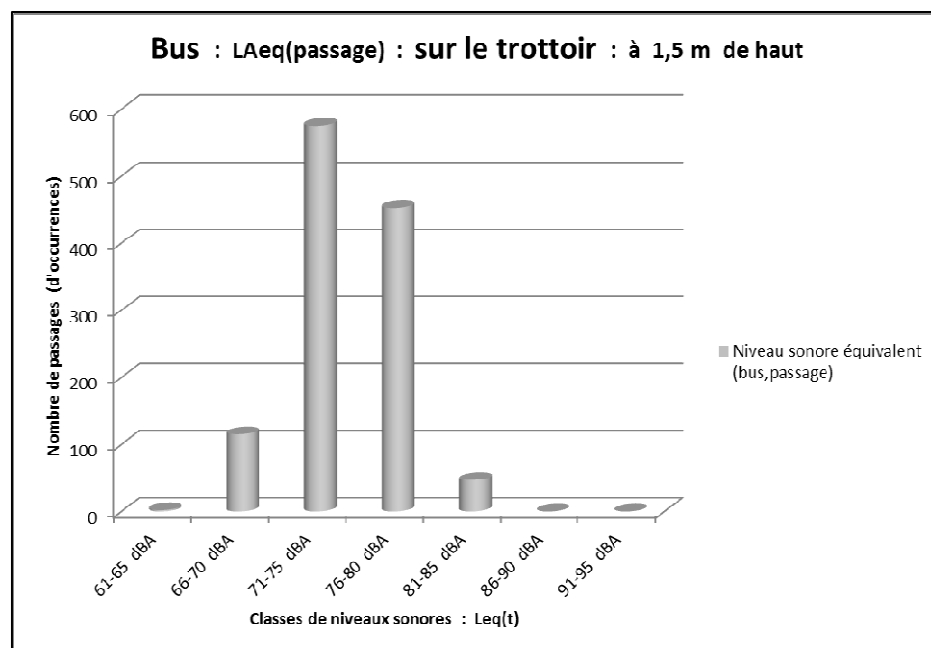
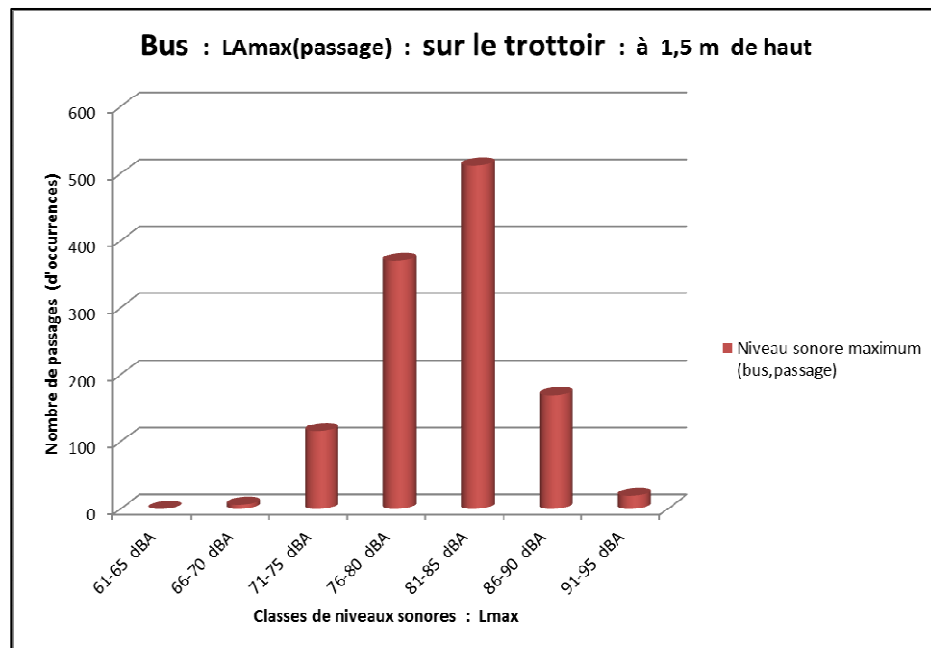
S9 - AV. MARCEL THIRY : histogramme des niveaux



5.3.3 Niveaux sonores sur le trottoir

Les deux graphes ci-dessous montrent respectivement :

- ➔ que le niveau sonore mesuré sur le trottoir, à 1,5 mètre de hauteur, au passage des bus est de l'ordre de :
 - env. 80 à 85 dBA en niveau sonore maximum (Lmax),
 - et env. 75 à 80 dBA en « moyenne » (Leq).



Données à l'origine des graphes :

L_{Aeq}(passage) et L_{Amax}(passage) pour les sonomètres B1 et B4 de chaque site, avec pour chaque sonomètre uniquement les bus qui circulaient du côté où ils étaient respectivement installés. (1192 passages au total)

5.4 Bruit perçu à 1,5 m et à 4 m du sol

La requête illustrée à la page suivante est à la base de l'analyse, soit l'extraction :

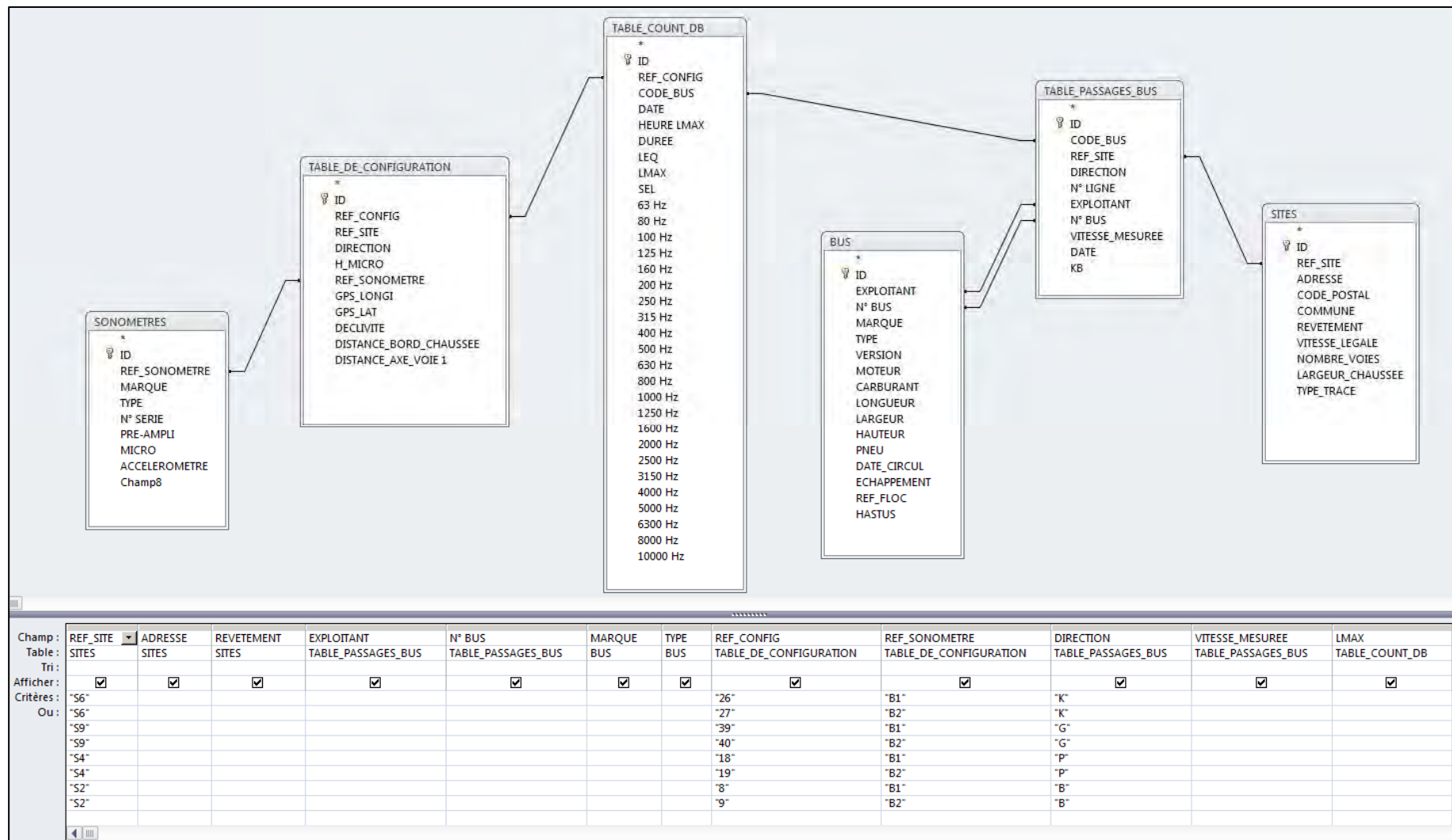
- des niveaux sonores **L_{Amax}(bus)**,
- mesurés aux sonomètres **B1** (1,5 m de haut) et **B2** (4 m de haut),
- sur les sites **S2, S4, S6** et **S9** (pour avoir les mêmes types de matériels roulant, mais différents revêtements de chaussée – respectivement : klinkers, pavés imprimés, asphalte et béton),
- et pour tous les bus qui circulaient **dans le sens** où étaient placés les sonomètres B1 et B2.

Au vu des 8 graphes qui suivent, on remarque :

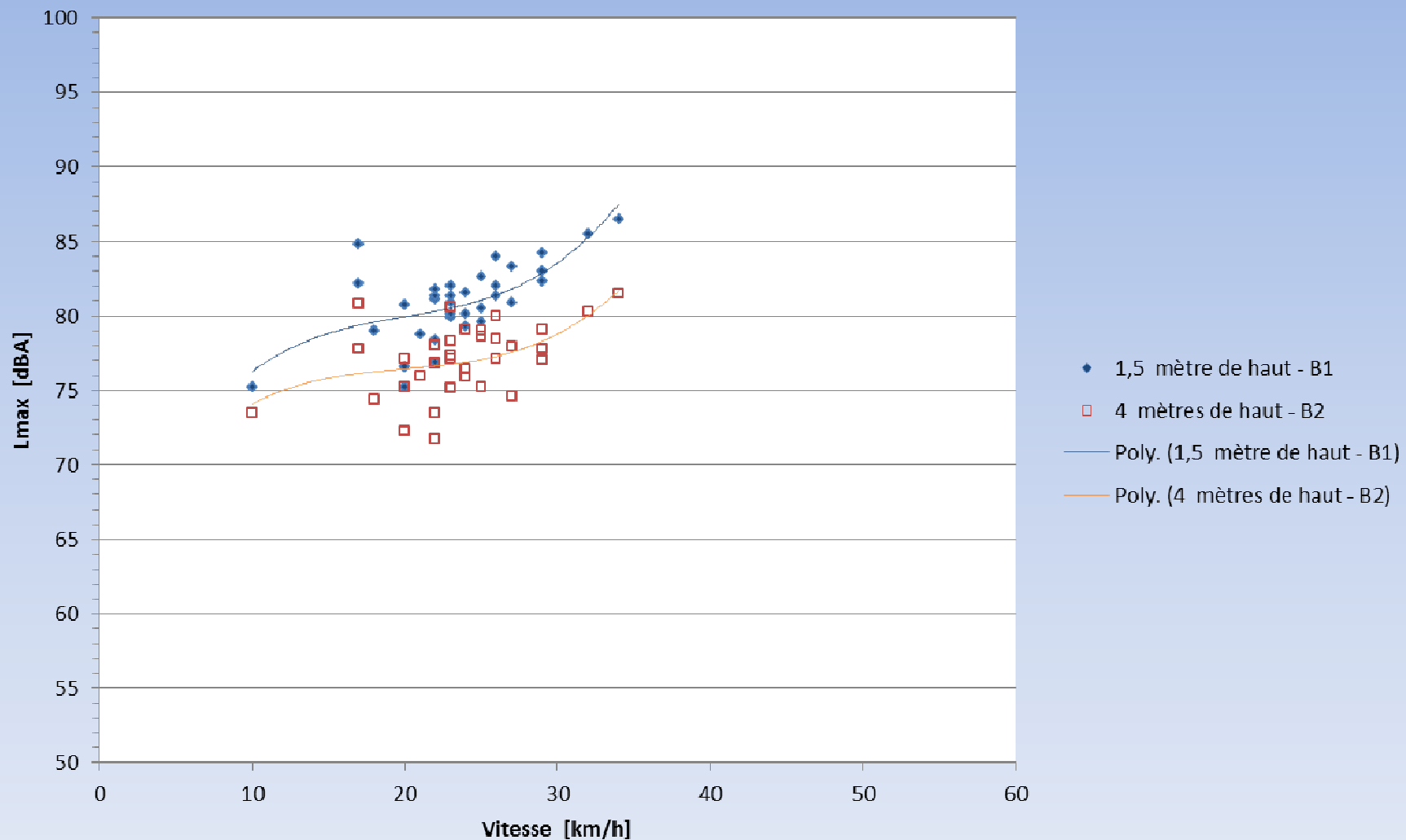
- que le bruit perçu à 1,5 m au-dessus du sol
- est **systematiquement plus élevé** que celui mesuré à 4 m de hauteur et ce,
 - quel que soit le revêtement de chaussée,
 - quelle que soit la vitesse de circulation,
 - et quel que soit le bus : qu'il soit articulé (18 mètres de long) ou pas (12 mètres de long), qu'il soit d'une marque (Mercedes Citaro) ou d'une autre (Van Hool), que son échappement soit sur le toit (Citaro) ou au niveau du sol.
- et plus élevé de l'ordre de 5 dB (à 1,5 m de haut),

ce qui signifie :

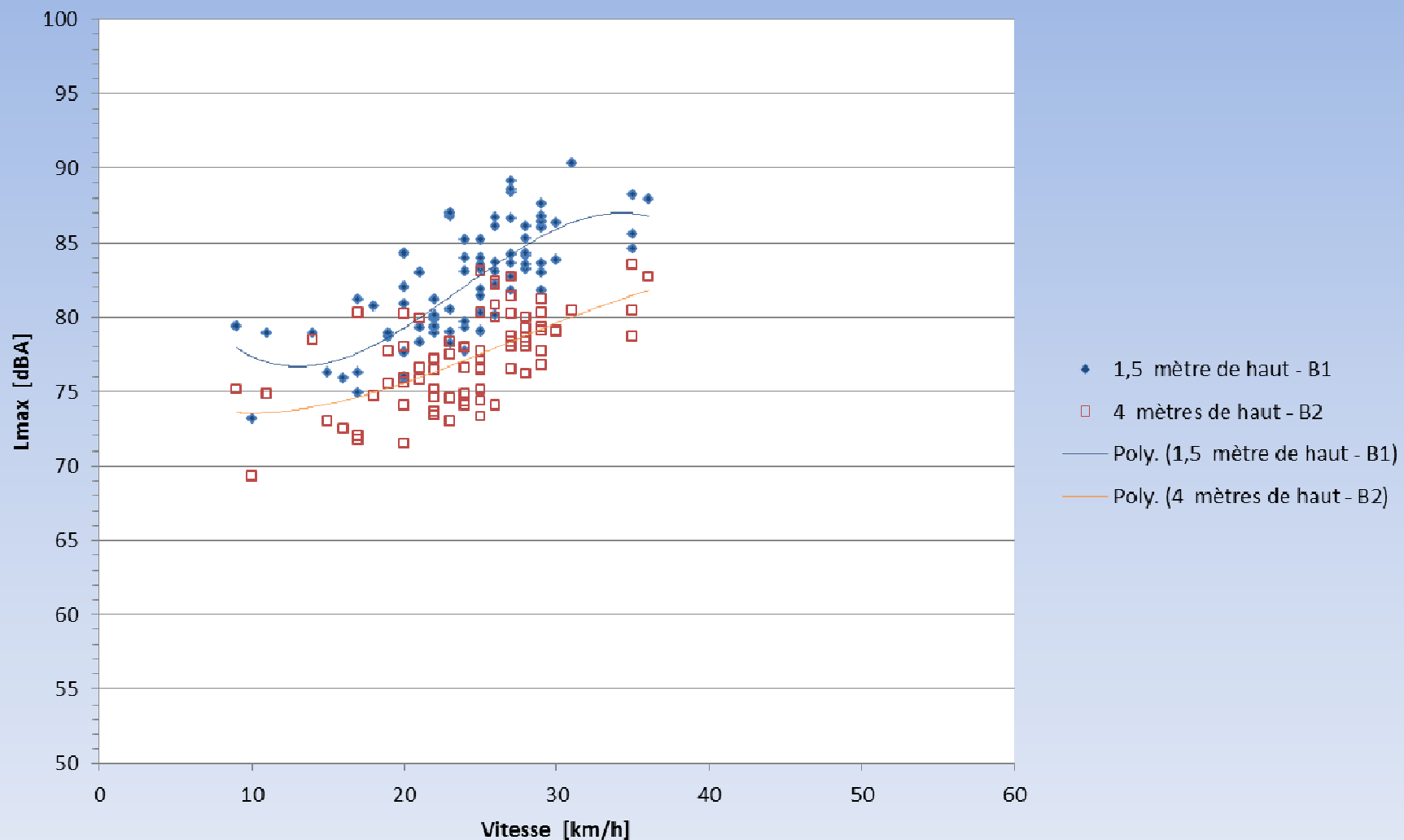
- que la **principale source de bruit** d'un bus en circulation en ville est son **moteur** ; sa vitesse de circulation (entre 10 et 35 km/h) étant insuffisante à générer des bruits aérodynamiques significatifs.



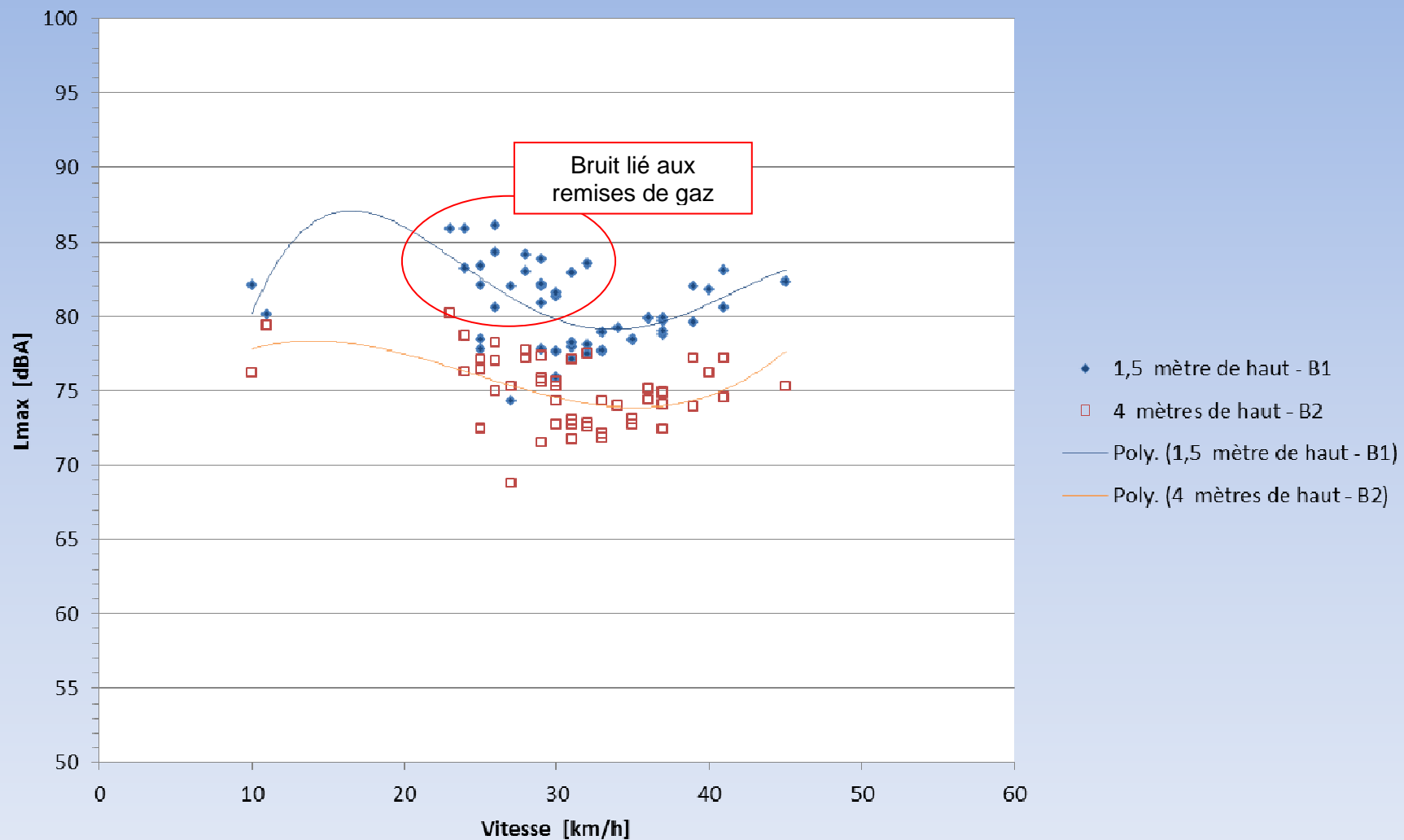
PAVES IMPRIMES : Rue du Luxembourg : Citaro O350G (articulé)

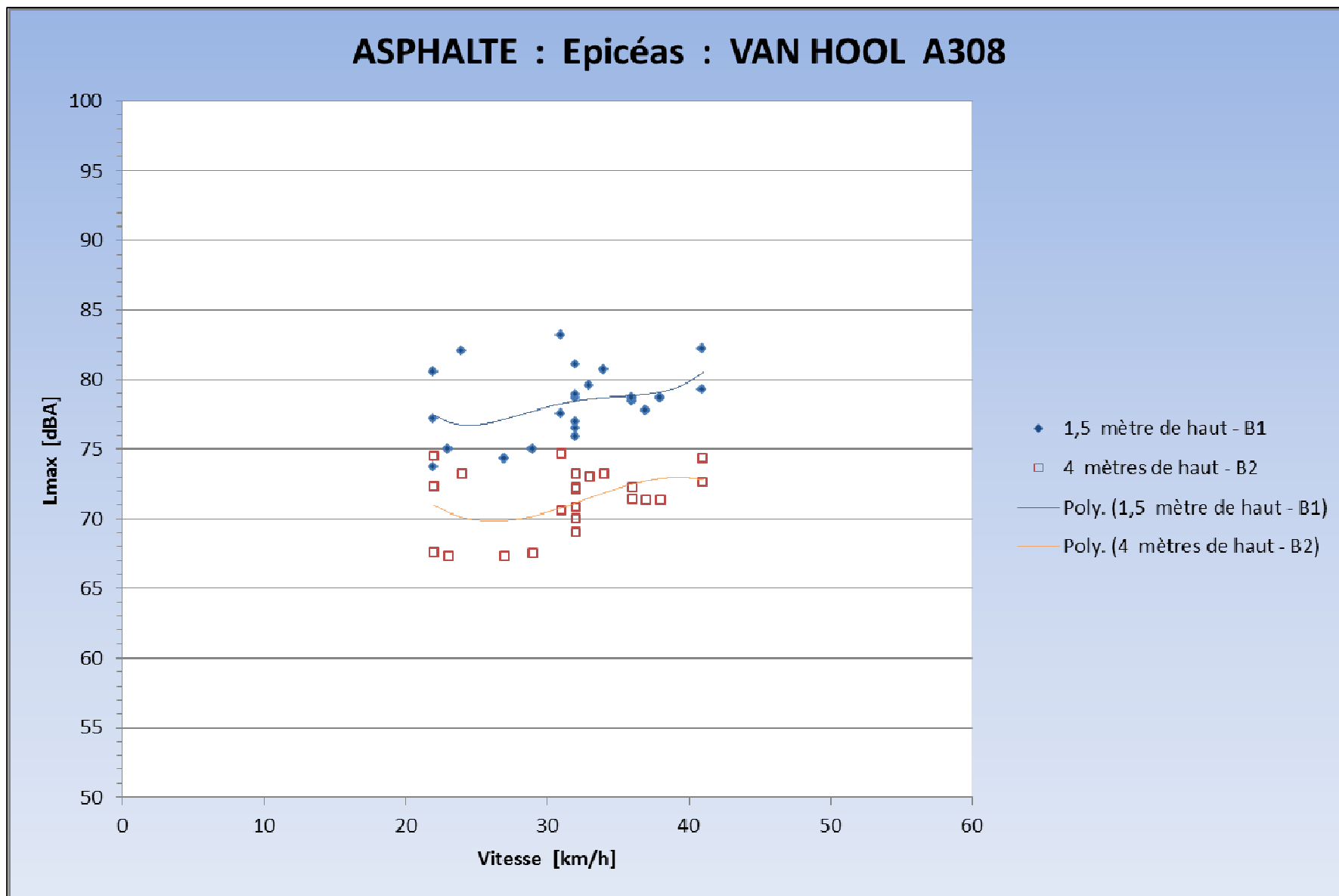


PAVES IMPRIMES : Rue du Luxembourg : VAN HOOL A330

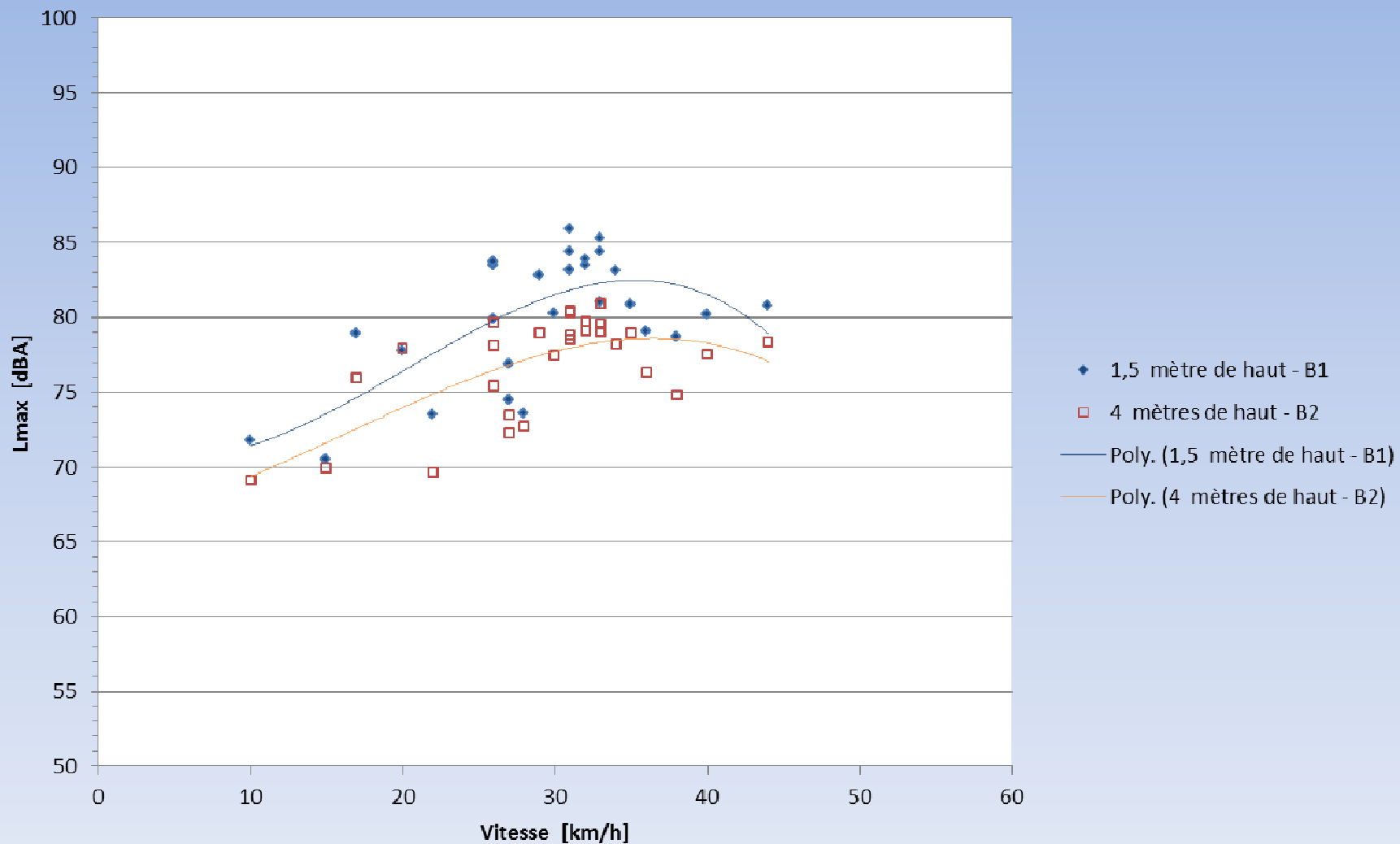


ASPHALTE : Epicéas : Citaro O350G (articulé)

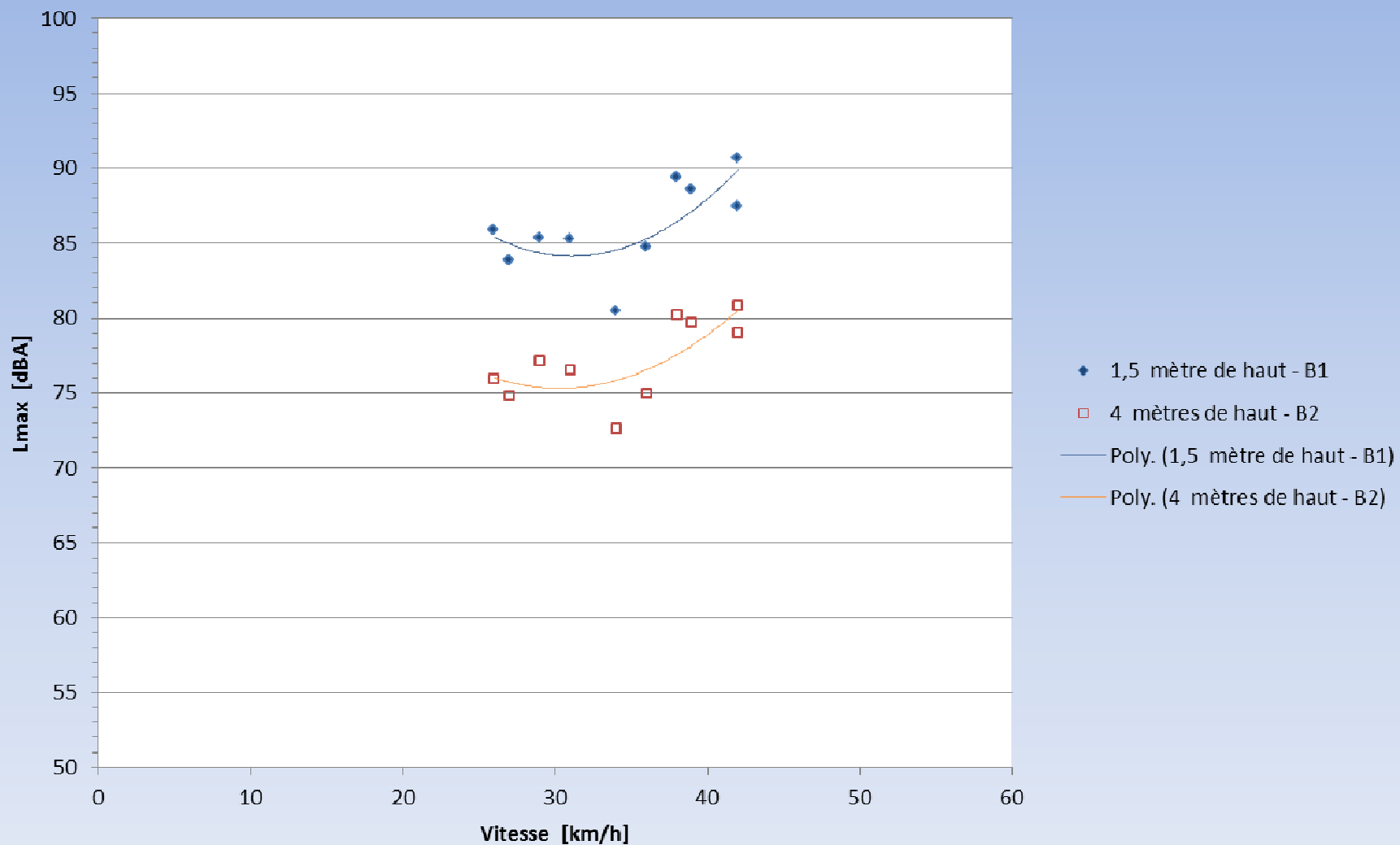




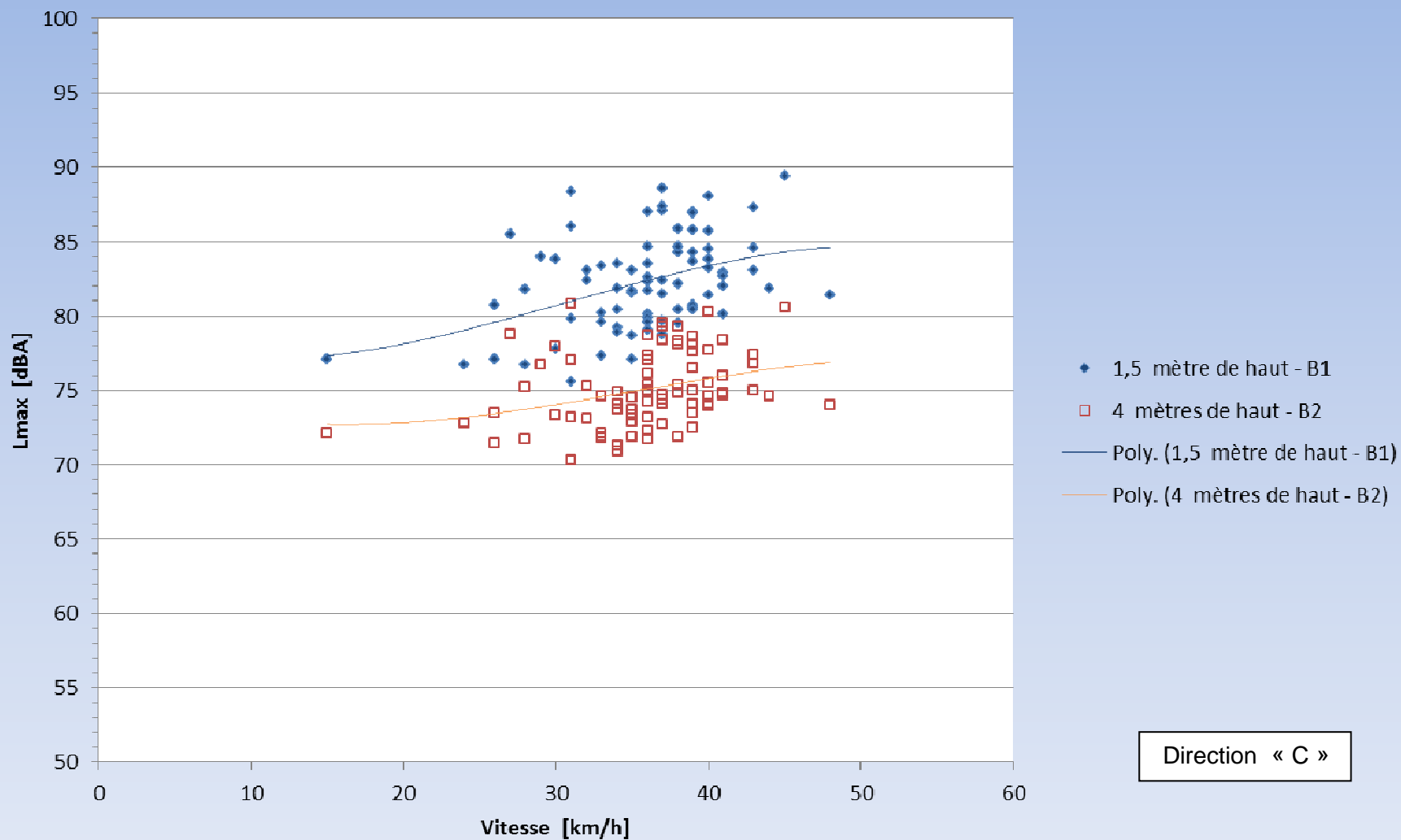
KLINKERS : Chaussée de Wavre : VAN HOOL A330



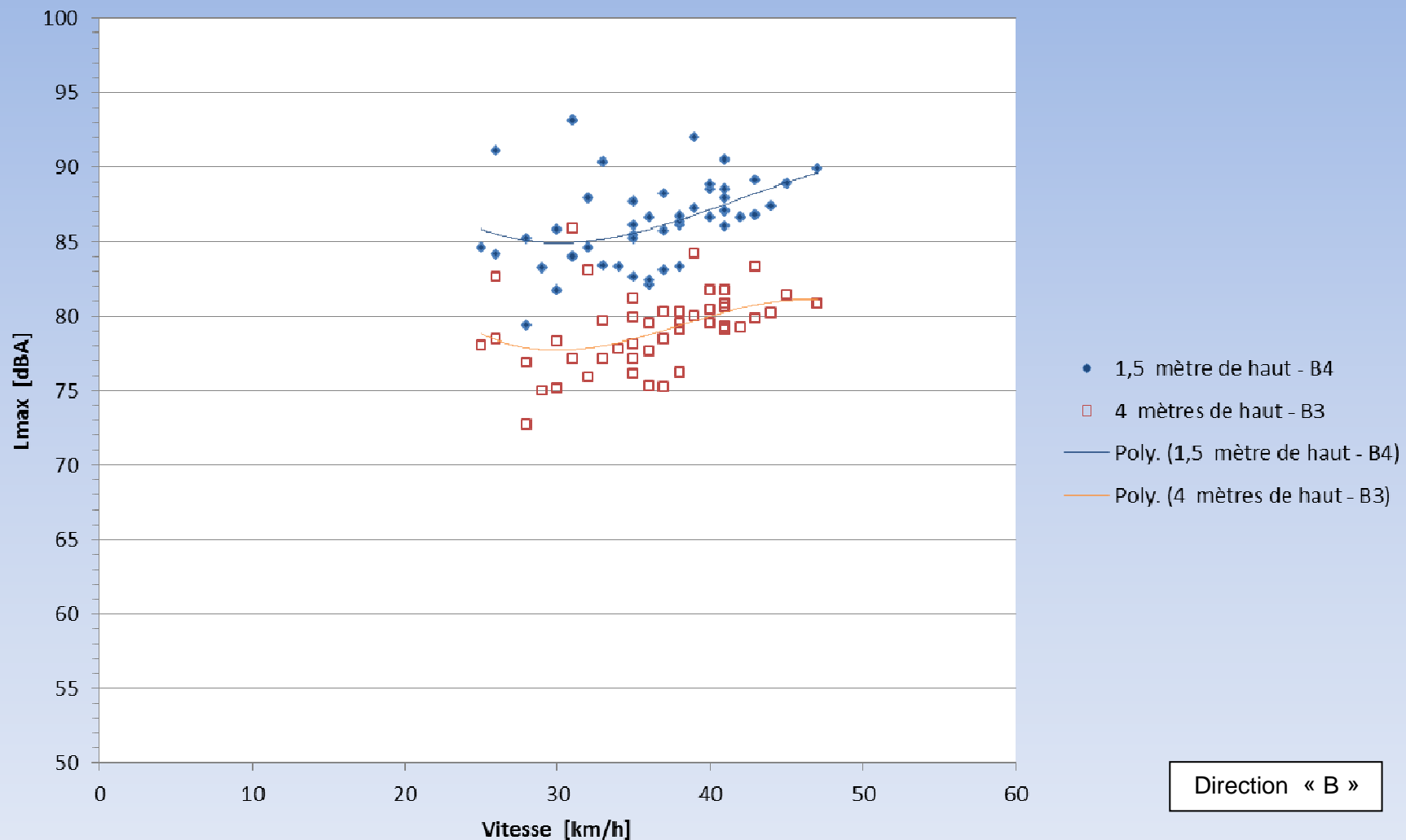
BETON : av. Marcel Thiry : VAN HOOL A300



PAVES IMPRIMES : Bld du JUBILE : tous les bus



PAVES IMPRIMES : Bld du JUBILE : tous les bus



5.5 Comparaison de matériel roulant

Le site « S7 » situé « avenue du Roi-Soldat à Anderlecht » a servi de « site-test » pour la comparaison de différents matériels.

Aussi, les sociétés STIB et DE LIJN ont chacune mis à disposition 2 bus, l'un « articulé » (18 m de long), l'autre pas, pendant ½ journée, pour permettre de mesurer le bruit des bus à différentes vitesses d'étalonnage soit : 20, 30, 40 et 50 km/h successivement.

Les bus suivants ont été comparés :

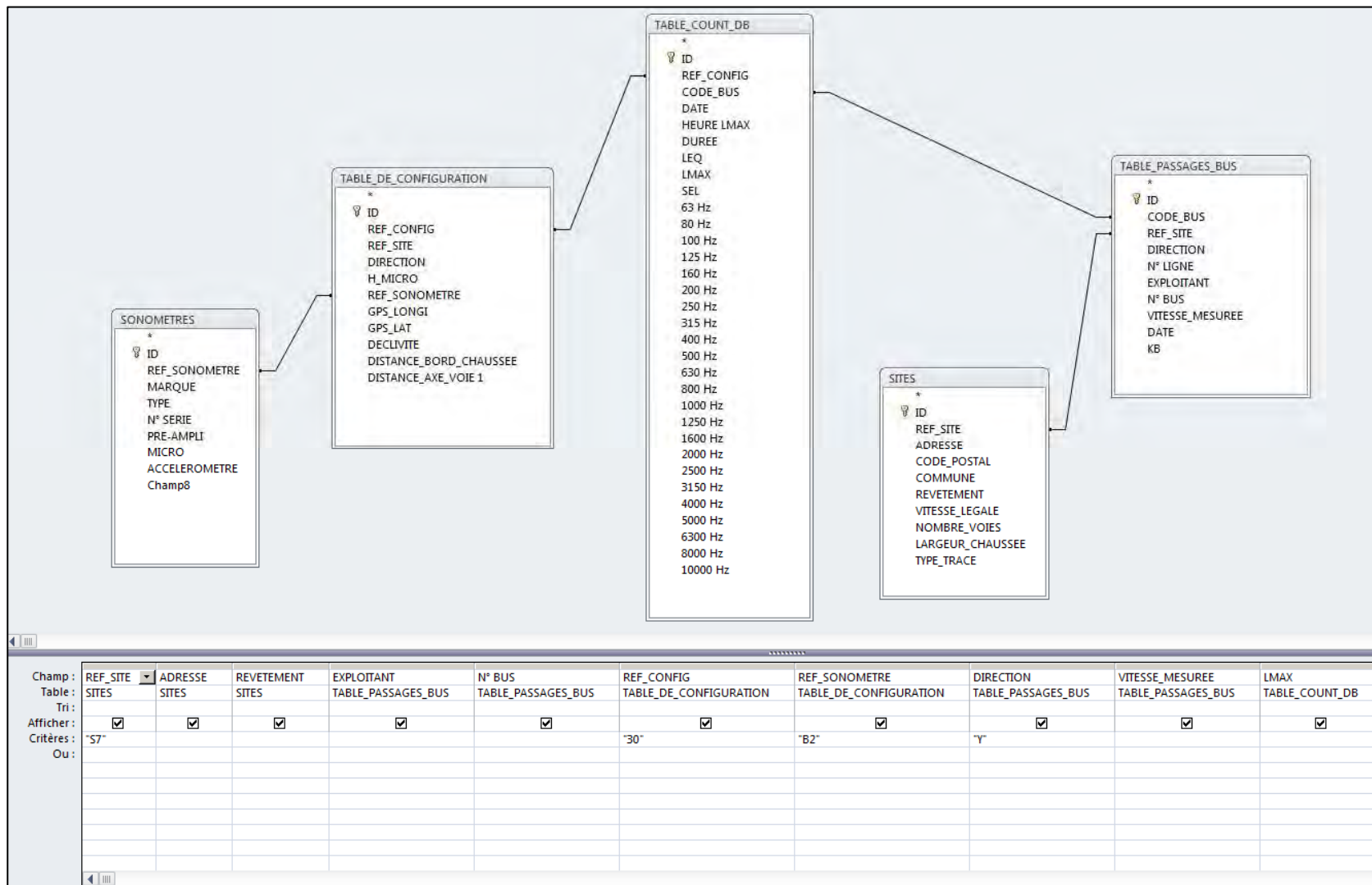
- Bus articulés : « Mercedes Citaro » versus « Van Hool AG300 »,
- Bus de « 12 m de long » : « Jonckheere Transit » versus « Van Hool A330 ».

La requête illustrée à la page suivante est à la base de l'analyse, soit l'extraction :

- des niveaux sonores **L_{Amax}(bus)**,
- mesurés au sonomètre **B2** (4 m de haut),
- sur le site **S7** (pavés sciés mécanisés-préfabriqués),
- et pour tous les bus qui circulaient **dans le sens** où était placé le sonomètre B2.

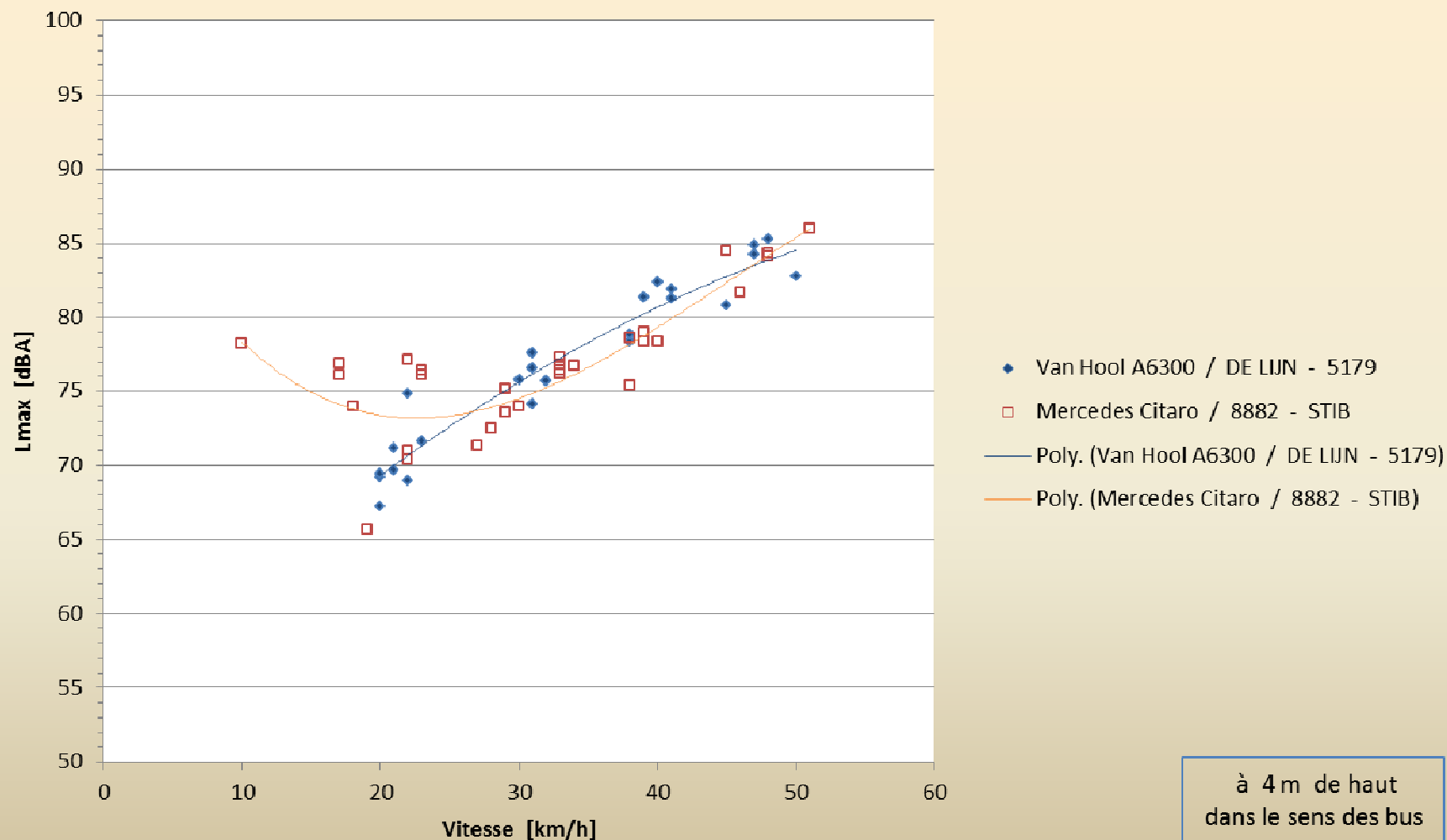
Au vu des 2 graphes qui suivent, on remarque :

- que les 2 bus articulés se tiennent assez fort (1^{er} graphe ci-après),
 - avec un léger avantage au Mercedes Citaro,
 - les écarts autour de 20 km/h étant dus à la remise de gaz juste après le passage du sonomètre,
- et que le Jonckheere Transit est quand même assez bien plus bruyant que le Van Hool A330.



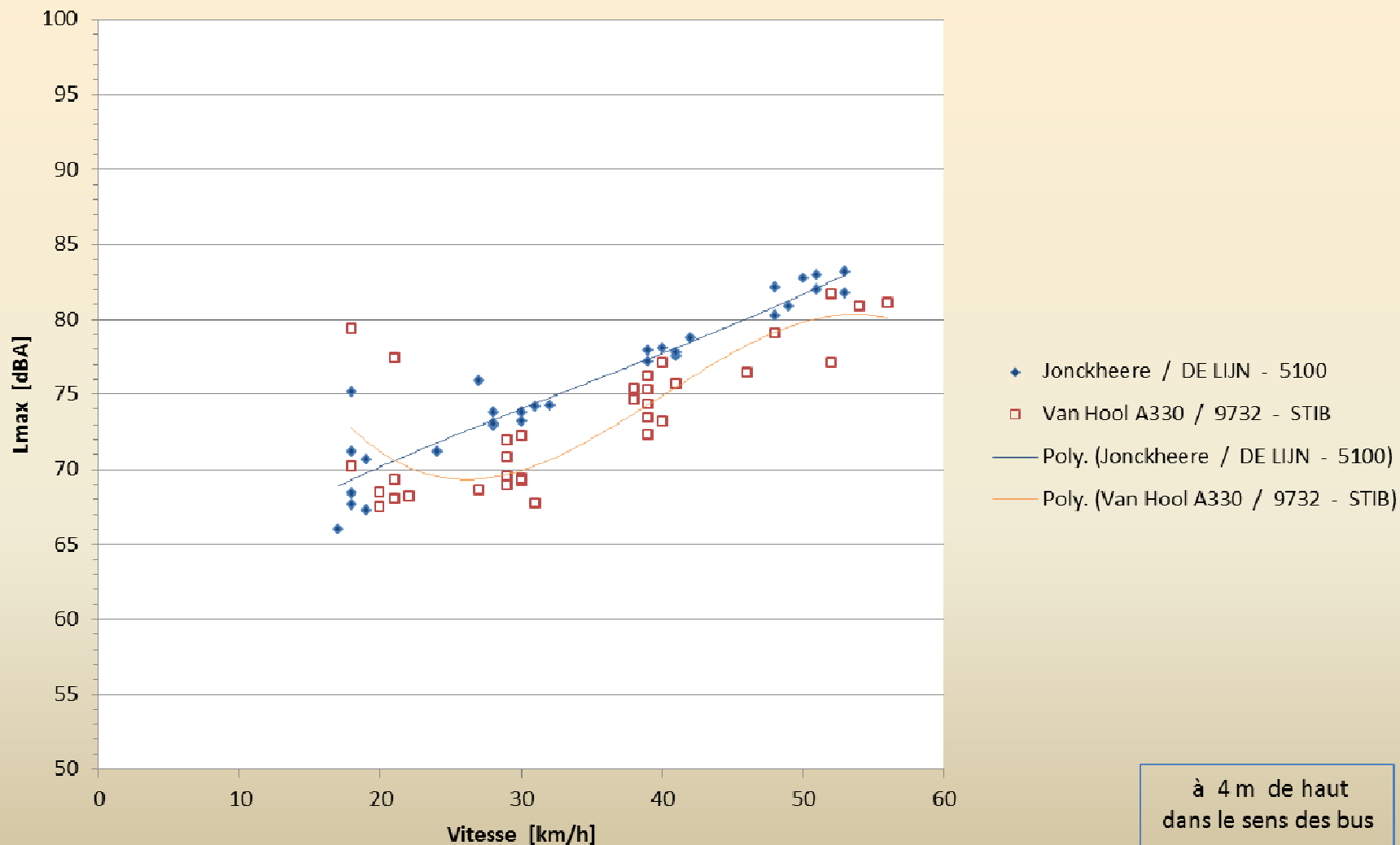
Champ :	REF_SITE	ADRESSE	REJETEMENT	EXPLOITANT	N° BUS	REF_CONFIG	REF_SONOMETRE	DIRECTION	VITESSE_MESUREE	LMAX
Table :	SITES	SITES	SITES	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_DE_CONFIGURATION	TABLE_DE_CONFIGURATION	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_COUNT_DB
Tri :										
Afficher :	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Critères :	S7					30	B2	T		
Ou :										

ROI - SOLDAT : Bus articulé de 18 mètres (Van Hool AG300 versus Mercedes Citaro)



à 4 m de haut
dans le sens des bus

ROI - SOLDAT : Bus de 12 mètres (Jonckheere / Van Hool A330)



5.6 Comparaison de niveaux vibratoires

Pour chaque site de mesure, les niveaux vibratoires ont systématiquement été mesurés au moyen d'un accéléromètre tri-axes, placé le long de la chaussée, comme décrit et présenté en annexe 1.

La requête illustrée à la page suivante est à la base de l'analyse, soit l'extraction :

- des niveaux vibratoires **KB** (axe Z),
- mesurés au niveau du trottoir (accéléromètre – voir photos page suivante),
- sur les sites **S1** à **S9** (pour avoir différents revêtements de chaussée – klinkers, pavés imprimés, pavés sciés mécanisés, asphalte et béton),
- et pour tous les bus qui circulaient **dans le sens** où était placé l'accéléromètre.

Au vu des 2 graphes qui suivent, on remarque :

- que les pavés imprimés et les klinkers sont de nature à générer plus de vibrations que les autres revêtements de chaussée,
- que l'asphalte est le meilleur de tous les revêtements, de ce point de vue,
- et que dès qu'un espace tampon (bande de terre de 1 à 2 mètre de largeur) est présent, comme sur le site « S3 », les niveaux de vibration mesurés deviennent insignifiants (pour autant qu'il n'y ait pas de canalisations sous-jacentes – voir remarque ci-dessous).

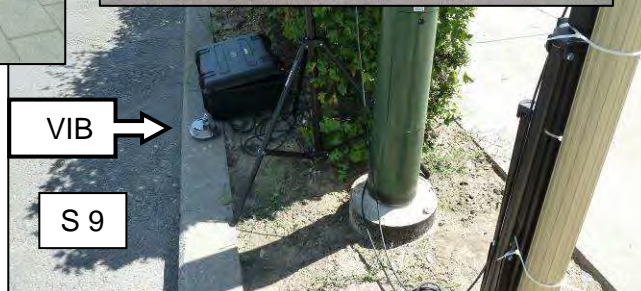
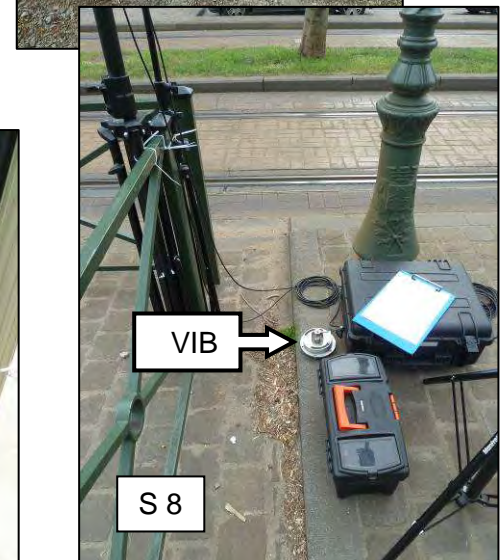
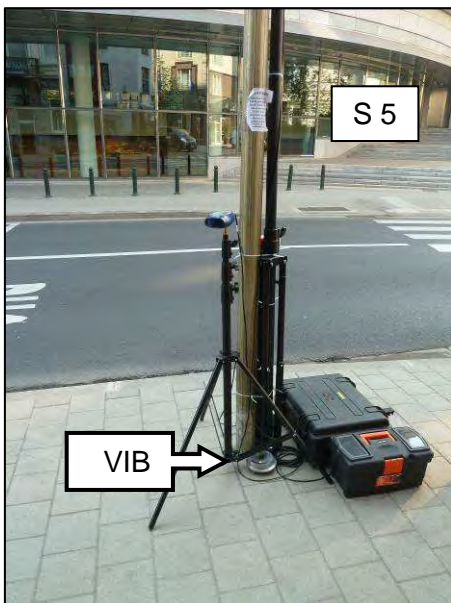
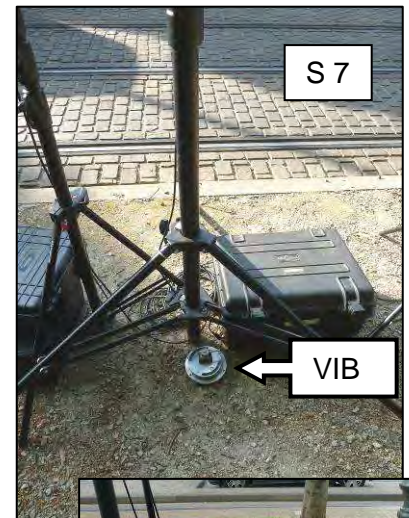
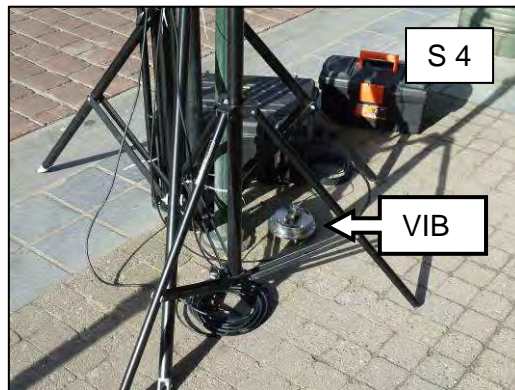
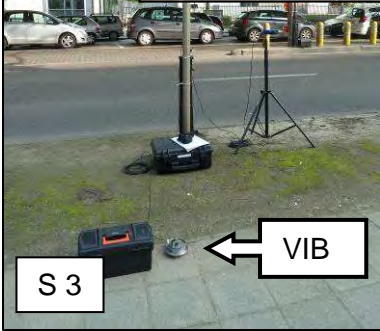
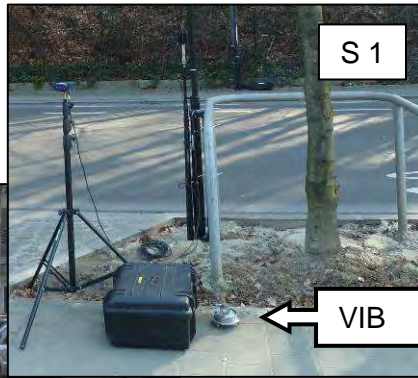
Remarque importante :

La comparaison ci-dessus n'est fournie qu'à titre informatif, pour fournir un ordre de comparaison, dans la mesure :

- où les niveaux de vibrations mesurés sur un site sont fortement dépendant de l'endroit précis où l'on mesure – discontinuité locale dans la chaussée, présence de conduites/impétrants juste sous / ou à proximité du capteur, ... de sorte que la mesure peut fortement varier à quelques mètres de distance.

Cette remarque s'illustre particulièrement sur le 3^{ème} graphe ci-après qui compare deux sites a priori comparables (« pavés imprimés » tous les deux) :

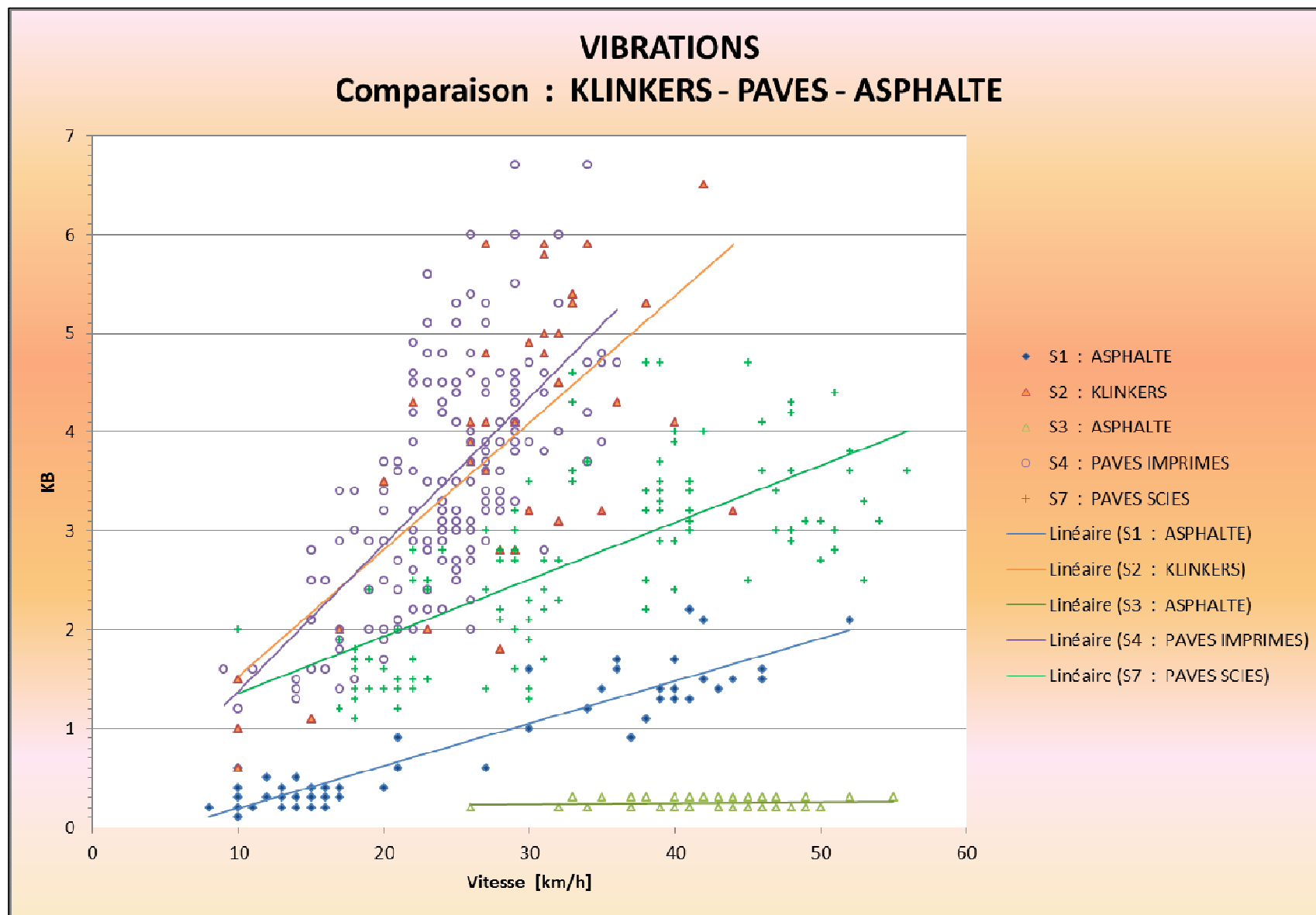
- mais où les bus du site « S8 » (boulevard du Jubilé) sont forcés de rouler en grande partie sur les rails du tram (site propre),
- ce qui réduit très fortement les vibrations par comparaison avec le site « S4 » (rue du Luxembourg) où les bus roulent tous sur les pavés imprimés.

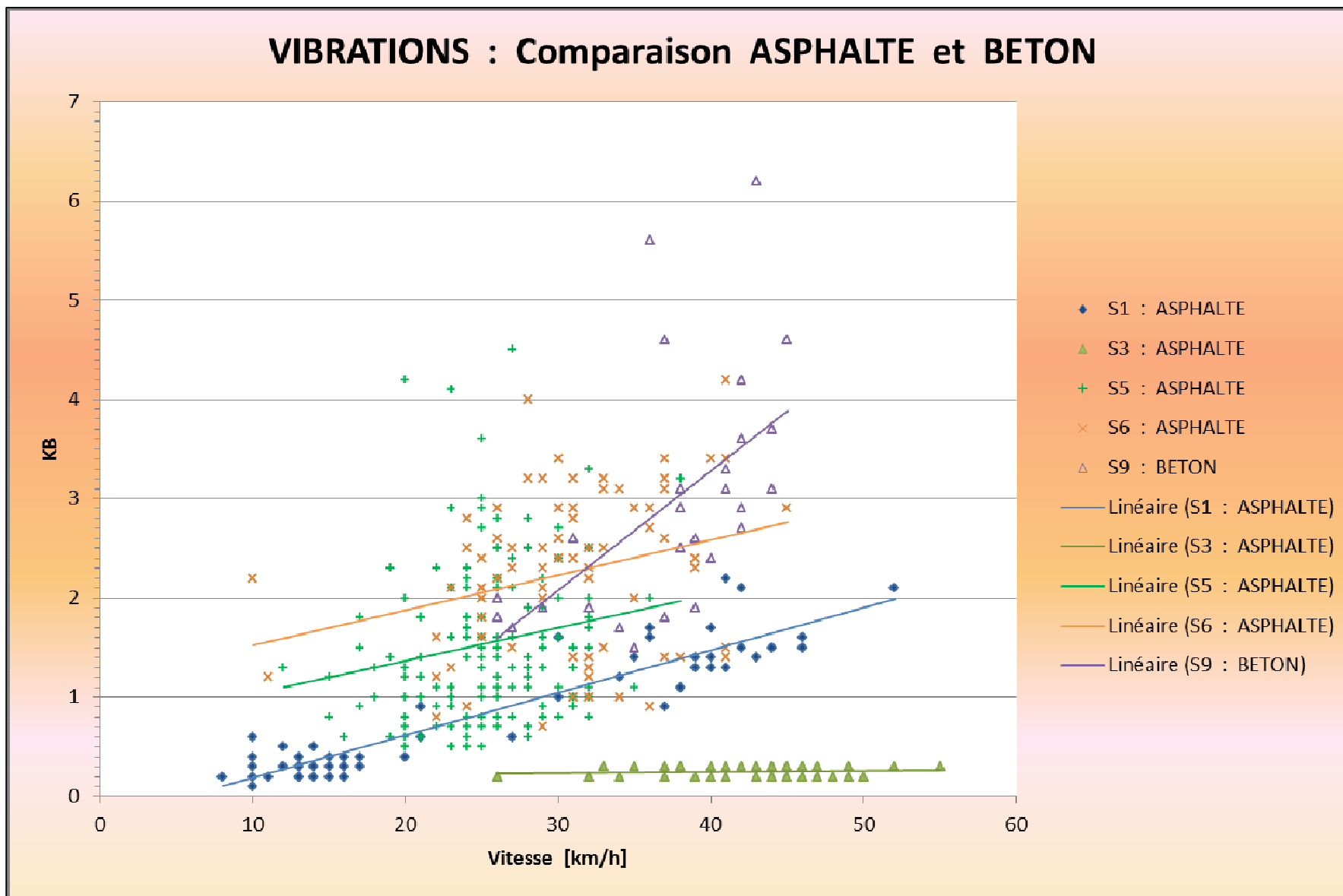


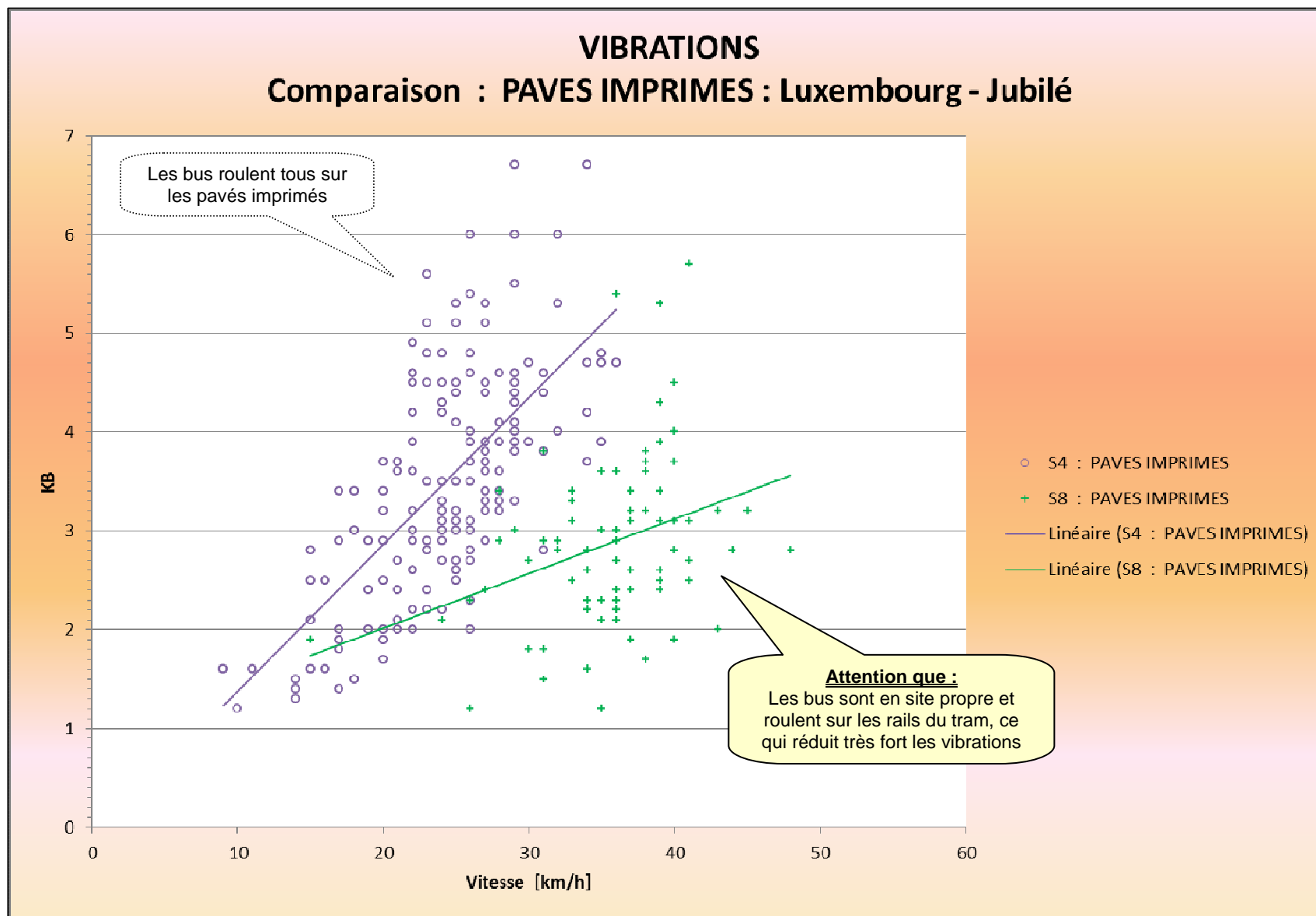
SITES	
ID	*
REF_SITE	
ADRESSE	
CODE_POSTAL	
COMMUNE	
REVETEMENT	
VITESSE_LEGALE	
NOMBRE_VOIES	
LARGEUR_CHAUSSEE	
TYPE_TRACE	

TABLE_PASSAGES_BUS	
ID	*
CODE_BUS	
REF_SITE	
DIRECTION	
N° LIGNE	
EXPLOITANT	
N° BUS	
VITESSE_MESUREE	
DATE	
KB	

Champ:	REF_SITE	ADRESSE	REVETEMENT	VITESSE_MESUREE	KB	DIRECTION
Table:	SITES	SITES	SITES	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS	TABLE_PASSAGES_BUS
Tri:						
Afficher:	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Critères:	"S1"					"H"
Ou:	"S2"					"B"
	"S3"					"A"
	"S4"					"P"
	"S5"					"I"
	"S6"					"K"
	"S7"					"Y"
	"S8"					"C"
	"S9"					"G"







5.7 Spectres mesurés

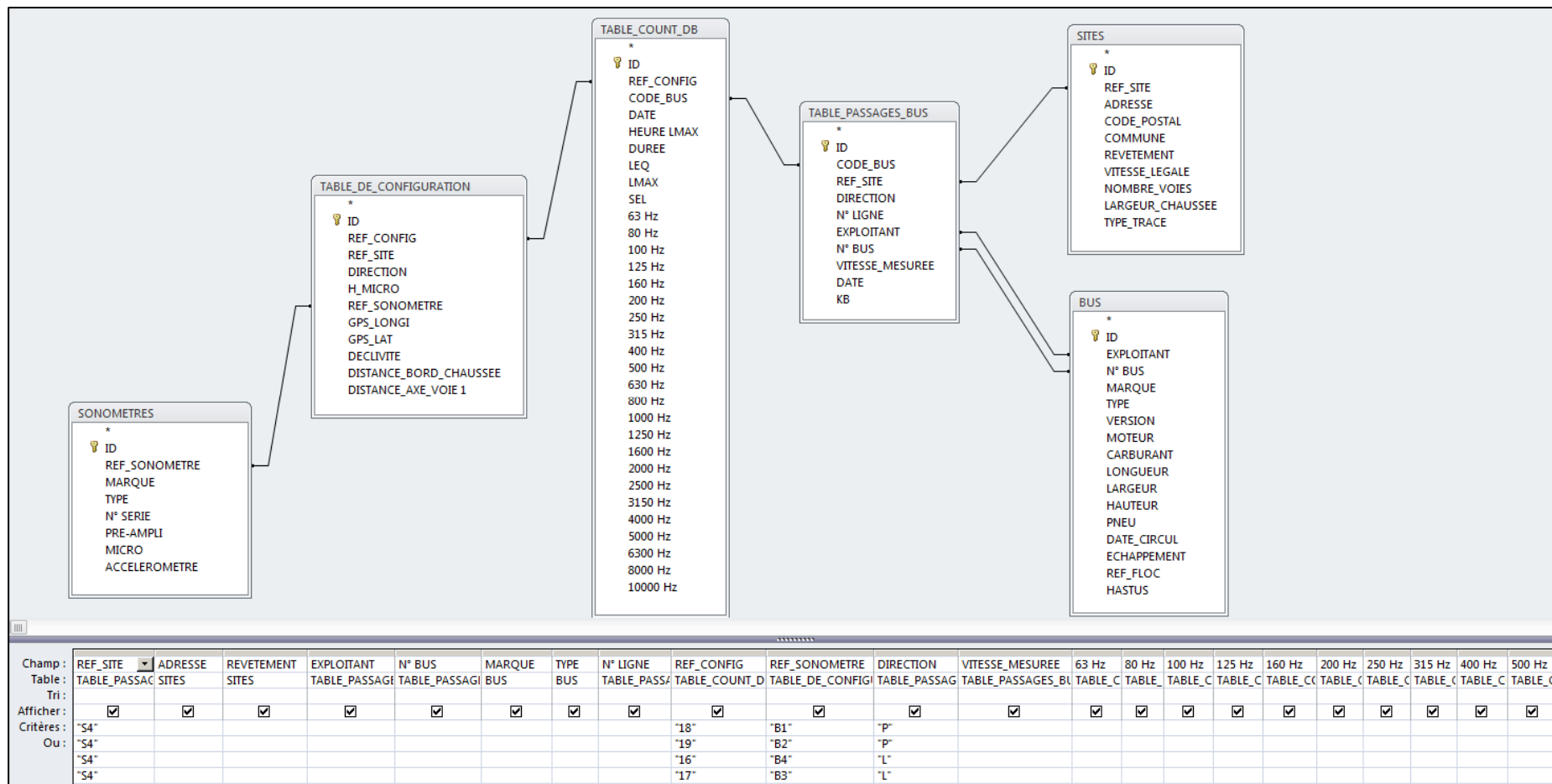
Pour chaque site de mesure, le spectre en tiers d'octave a systématiquement été mesuré toutes les 100 ms en continu.

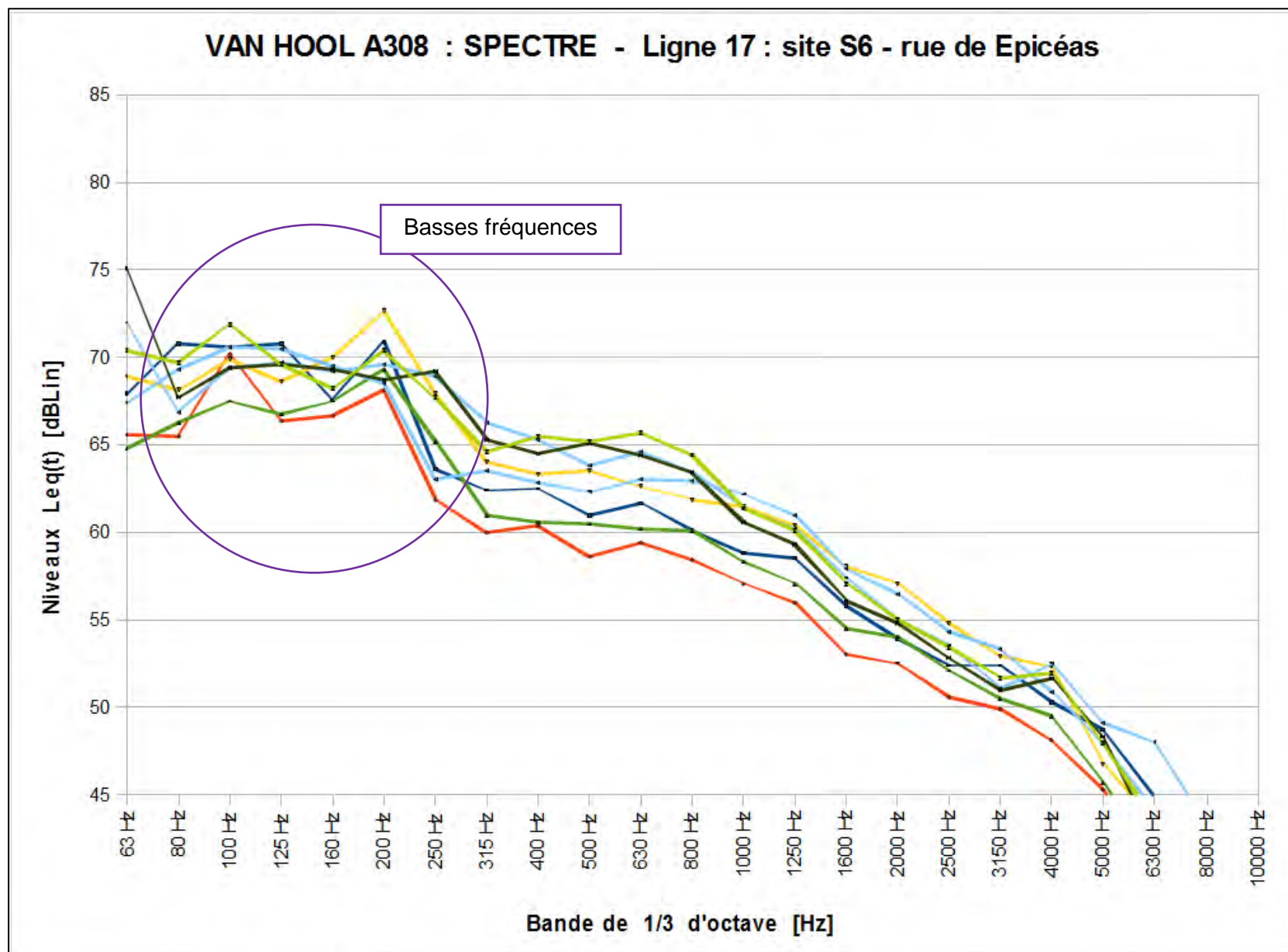
La requête illustrée à la page suivante est notamment à la base de l'analyse, soit l'extraction :

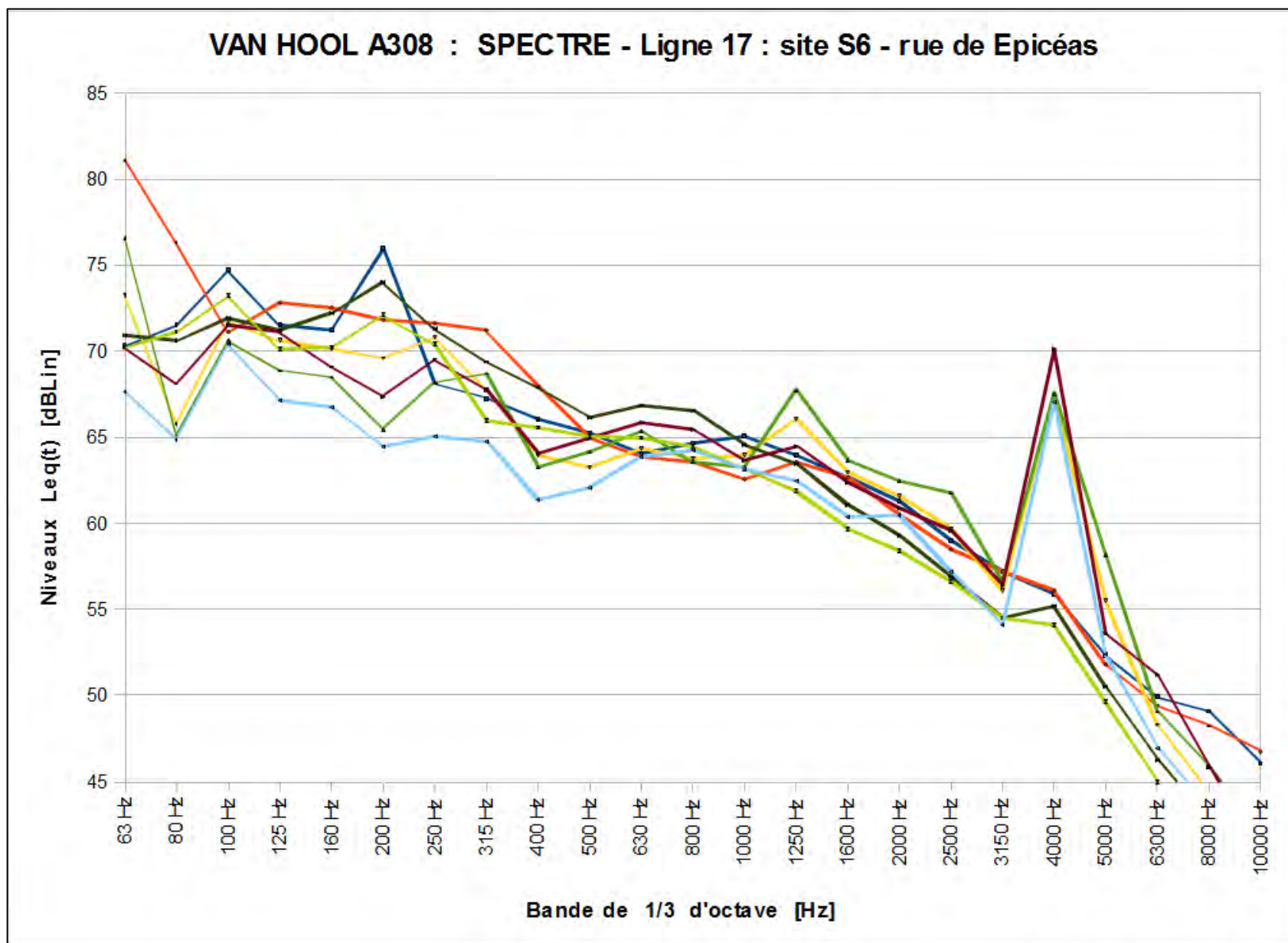
- du niveau équivalent **Leq(passage)** (dBLin),
- pour le sonomètre **B1**,
- sur les sites **S6** et **S4** (pour disposer de suffisamment de passages d'un même type de bus),
- et pour tous les bus qui circulaient **dans le sens** où était placé le sonomètre.

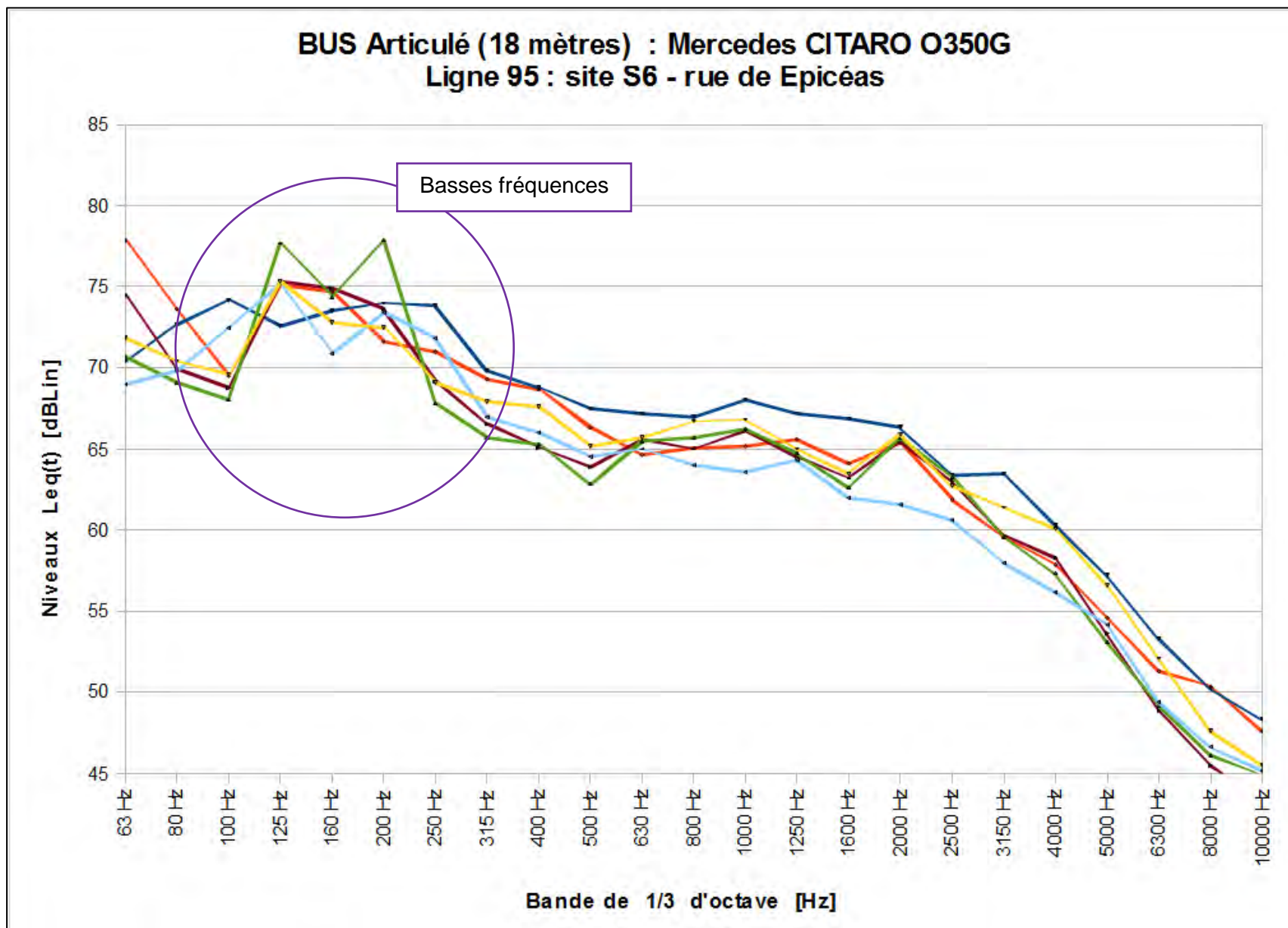
Au vu des graphes qui suivent, on remarque :

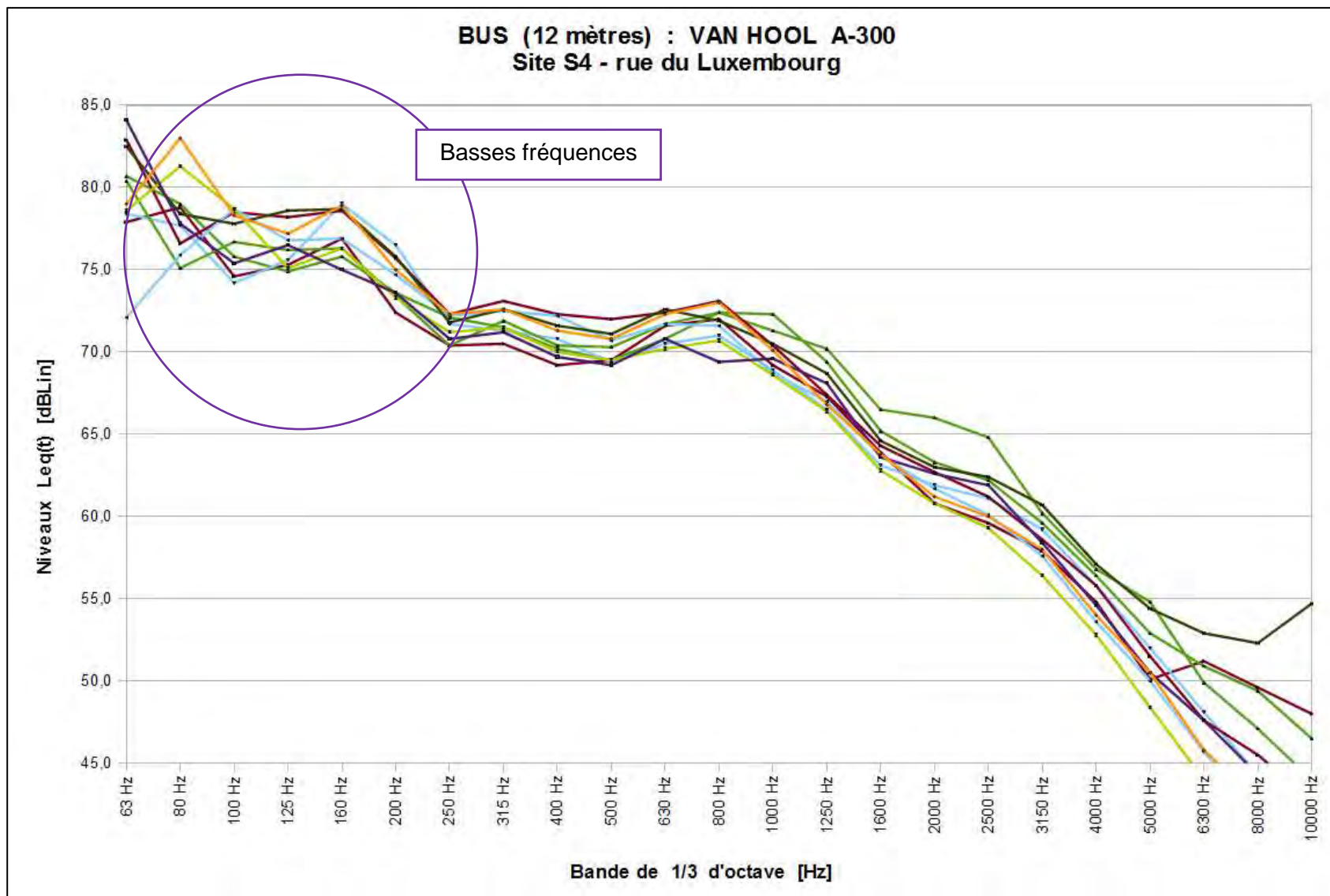
- que **tous les bus** ont un spectre
 - « chargé en basses fréquences » (de 63 à 200 - 250 Hz)
 - ce qui correspond au « **bruit sourd** » que l'on entend au passage du bus, surtout quand il démarre ou qu'il change de vitesse.
- Tous les modèles, quelque soient la marque ou le type du bus (bus articulé de 18 m de long, bus normal de 12 m de long ou minibus du type A-308) sont concernés,
- et cette particularité aura son importance pour qui voudra insonoriser sa façade.

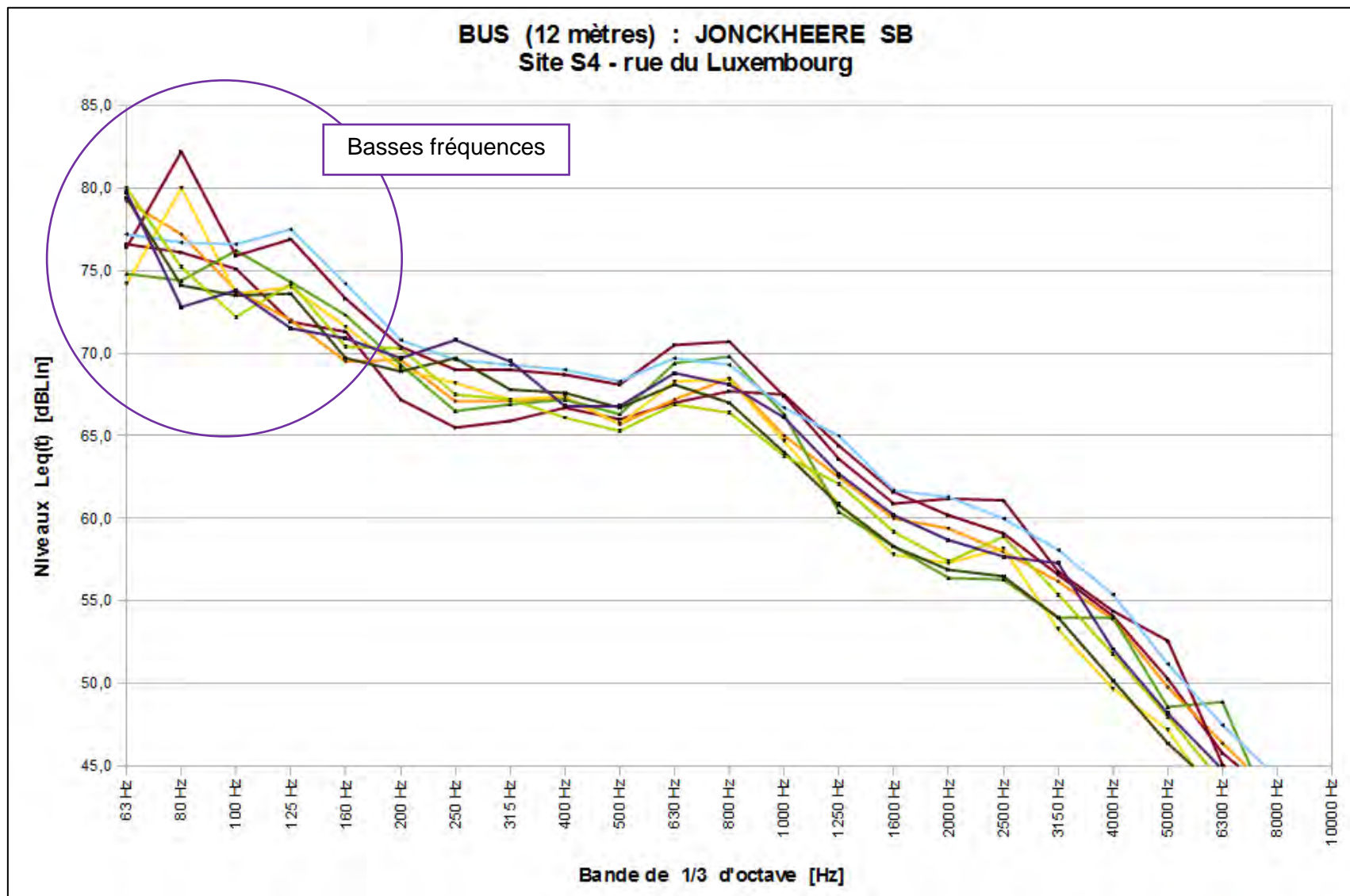


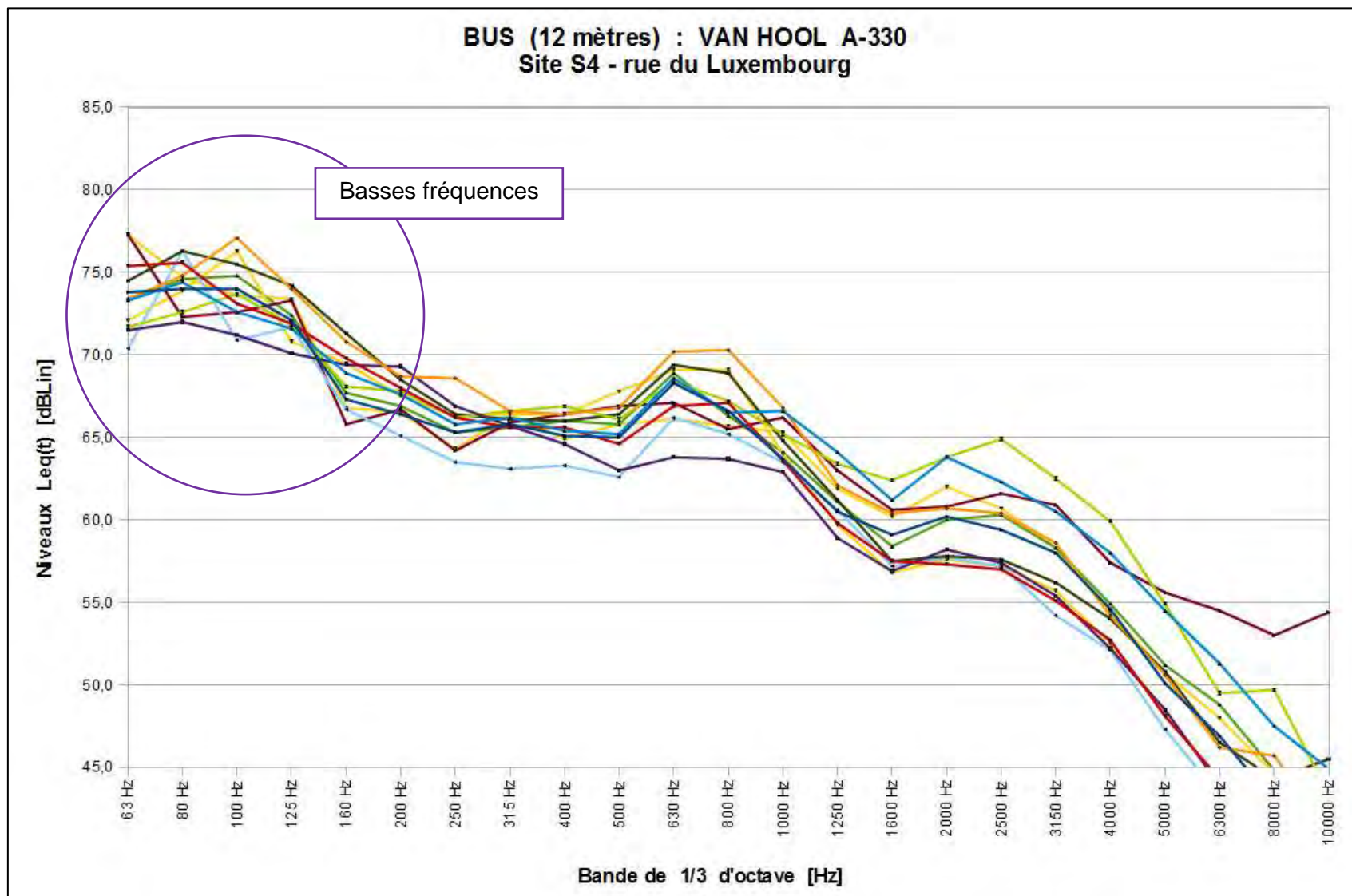












6 SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

La présente étude du bruit des bus en circulation en Région de Bruxelles-Capitale, conduite pour le compte de l'IBGE, permet d'écrire :

1. Que la méthode de mesure, à savoir :
 - le relevé en continu toutes les 100 ms,
 - du niveau global et du spectre complet en 1/3 d'octave,
 - à 4 endroits simultanément (2 micro de chaque côté de la voirie à 2 hauteurs différentes l'un à 1,5 mètre de haut et l'autre à 4 mètres de haut),
 - avec 2 opérateurs sur site : l'un pour mesurer la vitesse réelle de chaque bus, l'autre pour « coder » la mesure et noter toutes les informations en temps réel (numéro du bus, heure de passage, direction de circulation, numéro de ligne, compagnie de transport, ...),que cette méthode de mesure est efficace et déterministe. Elle permet d'extraire le bruit des bus hors du bruit ambiant, et par suite, de réaliser toutes les analyses pertinentes ;
2. Que :
 - 1 315 passages de bus ont été mesurés,
 - sur 9 sites différents,
 - ce qui a permis de construire une base de données exploitable forte de 4 482 « événements sonores bus » (puisque chaque passage de bus a été mesuré par plusieurs microphones en même temps) ;
3. Que les bus se caractérisent par un bruit :
 - « assez sourd » – un bruit en basses fréquences (de 63 à 250 Hz – § 5.7),
 - qui est de l'ordre de 10 dB supérieur à celui du reste du trafic routier (§ 5.3.2),
 - et de l'ordre de 80 à 85 dBA en LAmax (§ 5.3.3) sur le trottoir à 1,5 mètre de haut (au niveau des piétons) ;
4. Que ces caractéristiques spécifiques (bruit fort et assez sourd) font :
 - qu'on reconnaît les bus dans le bruit ambiant (ils « émergent » du bruit de fond),
 - et qu'ils augmentent globalement le bruit de l'ordre de 1 à 2 dB ;
5. Que :
 - c'est le moteur du bus qui génère le bruit et les basses fréquences,
 - et que tout gain sur le bruit du moteur réduit d'office le bruit émis par le bus ;
6. Que :
 - la vitesse moyenne des bus est de l'ordre de 35 km/h (entre les arrêts),
 - et que pour l'asphalte, le bruit n'augmente quasiment pas avec la vitesse ;
7. Enfin, qu'en termes de revêtement de chaussée, on choisira par priorité :
 1. l'asphalte,
 2. puis le béton et les klinkers,
 3. ensuite les pavés sciés mécanisés,
 4. et en dernier lieu, les pavés imprimés – les pavés naturels devant être écartés d'office (car encore plus bruyants).

7 RECOMMANDATIONS

Au vu des résultats de l'étude, il conviendrait :

1. d'inciter les constructeurs à réduire le bruit émis par le moteur des bus, par exemple au travers de normes de bruit plus contraignantes dans les cahiers de charges.

Le moteur est ***la*** source de bruit du bus (quoi d'autre ?) et tout gain à la source, directement sur le bruit du moteur, réduit d'office le bruit émis par le bus ; ***d'autant*** que les bus s'arrêtent et redémarrent tous les 500 mètres environ (aux arrêts), ce qui sollicite constamment le moteur.

2. d'inciter les aménagements de voirie qui fluidifient la circulation des bus et qui donc leur permet de moins solliciter le moteur en accélération et en décélération.

Ces aménagements peuvent prendre la forme de voies de circulation en site propre (rue de Trêves notamment ou comme à l'avenue du Pont de Luttre), de priorité aux feux rouges, d'aménagement pour circuler localement sur les voies de tram pour traverser les carrefours (comme à l'angle entre l'avenue Winston Churchill et la chaussée de Waterloo), de mise en sens unique de certaine voirie, ...

3. d'inciter à choisir les revêtements de chaussée les plus appropriés.

Les pavés naturels doivent être bannis pour les bus. Ils y sont deux fois plus bruyants (de 5 à 10 dB plus bruyant – c'est énorme).

L'asphalte et le béton sont les meilleurs, tant en terme de bruit, que de vibrations ; d'autant qu'ils peuvent être teintés dans la masse pour marquer les voies prioritaires ou en site propre.

8 ANNEXE 1 : LES SITES DE MESURE

Les 9 sites de mesure sont :

- Répertoriés au moyen d'un code : de « S1 » à « S9 ».

Les pages qui suivent fournissent :

- ✓ systématiquement pour chaque site,
- ✓ toute l'information relative :
 - à la localisation précise de chaque site au sein de la Région,
 - à l'implantation exacte des 4 sonomètres et de l'accéléromètre par rapport aux sens de circulation,
 - au type de revêtement de chaussée,
 - à la date des mesures,
 - au numéro des lignes de bus qui y circulaient,
 - et au nombre de passages valides de bus qui ont été extraits des mesures de bruit et ce, par sens de circulation, pour chaque site.

Les sonomètres sont quant à eux repérés au moyen du code « B1 » à « B4 », dont la description détaillée est fournie à l'annexe 2 (chapitre suivant).

De Fré : S.1

8.1 S 1 : « avenue De Fré » (CP 1180)



Montée : direction « W »

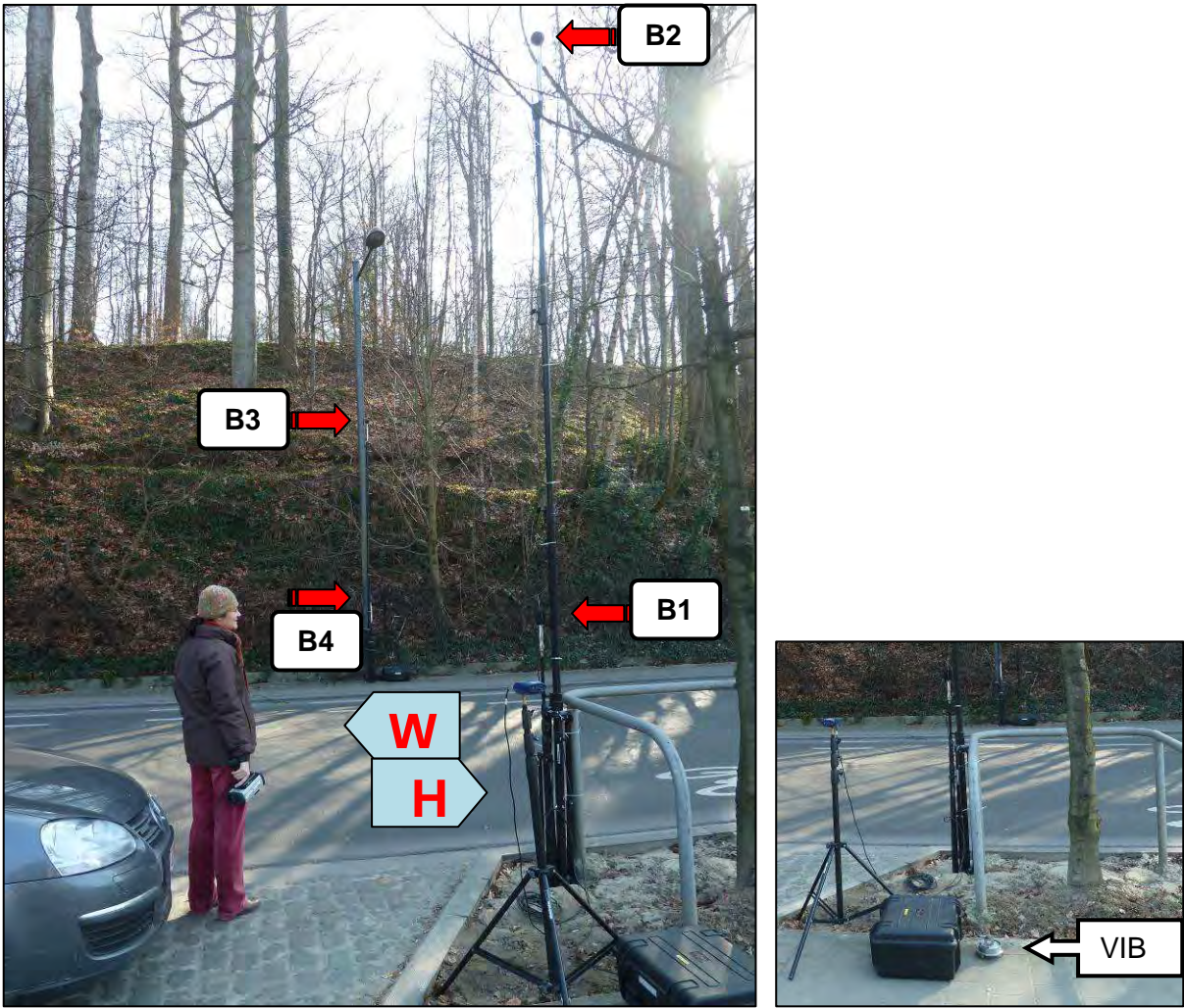


Descente : direction « H »

SITE	S1
Avenue De Fré	
ASPHALTE	
STIB	38 , 41 , 43
DATE	08 mars 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Direction « W »	60
Direction « H »	75
TOTAL	135



Entre les arrêts « Statuaires » et « Zeecrabbe »

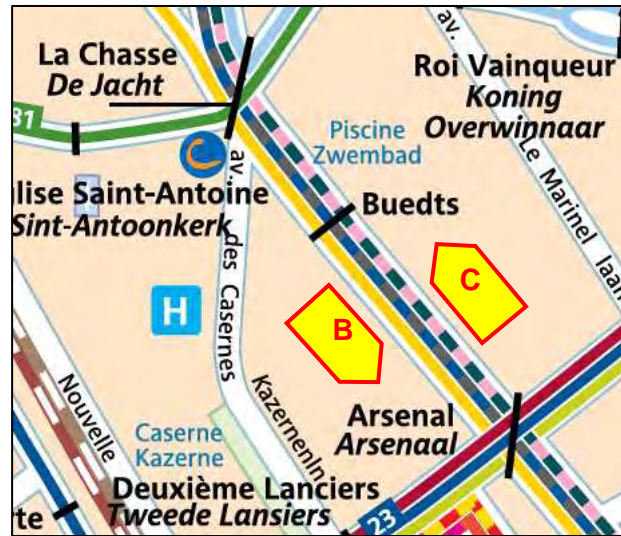


8.2 S 2 : « chaussée de Wavre » (CP 1050)

Direction « B »



Direction « C »

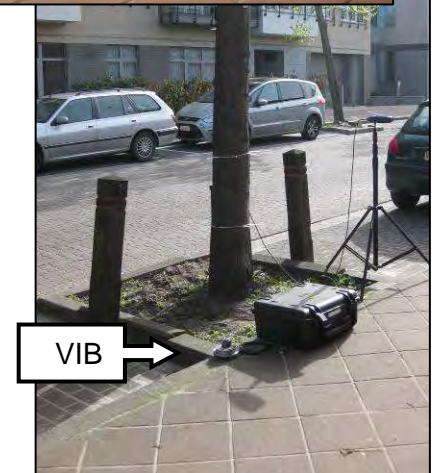
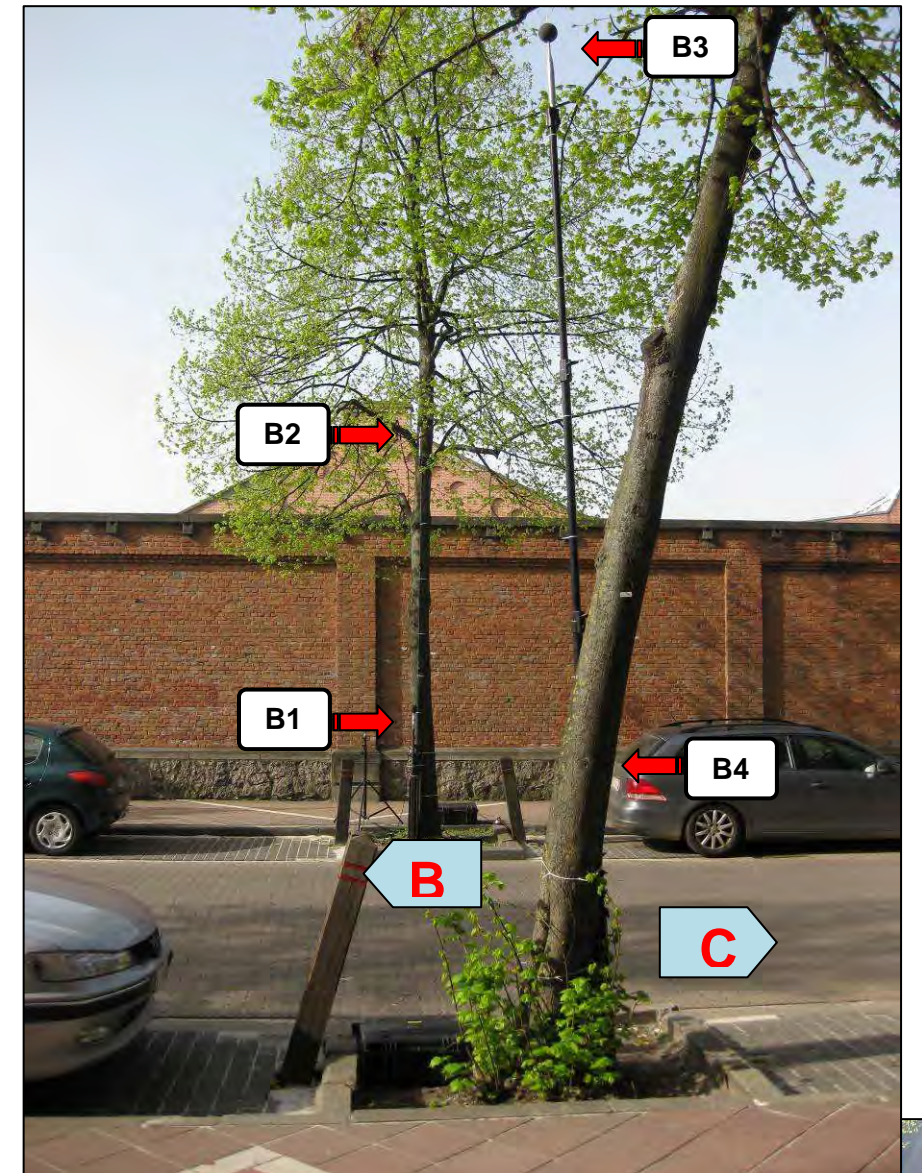


SITE	S2
Chaussée de Wavre	
KLINKERS	
STIB	34
DE LIJN	344 , 345
DATE	07 avril 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Direction « B »	38
Direction « C »	40
TOTAL	78

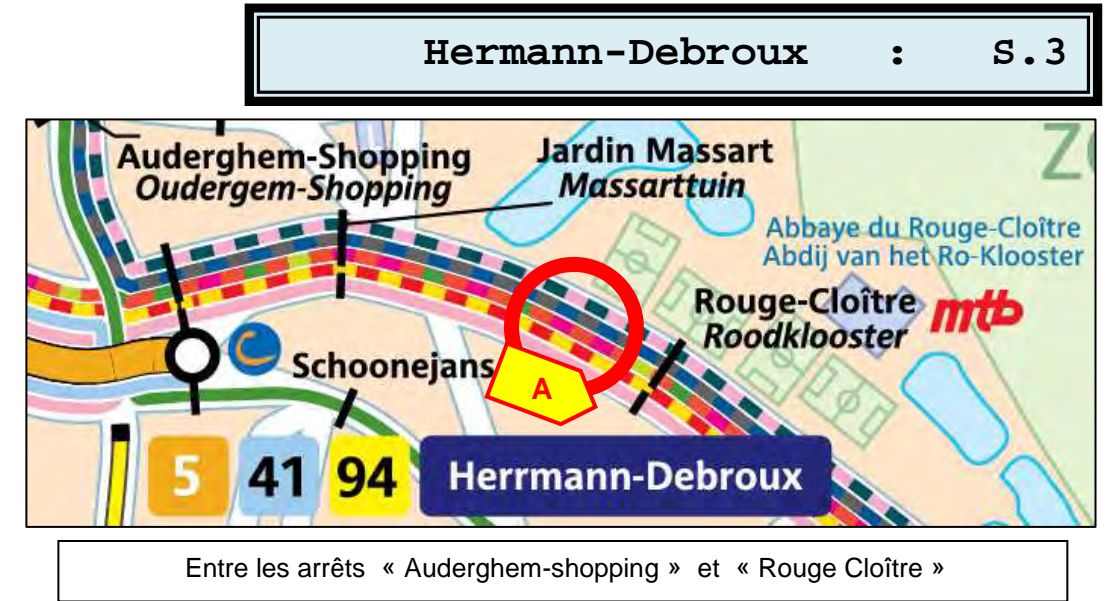
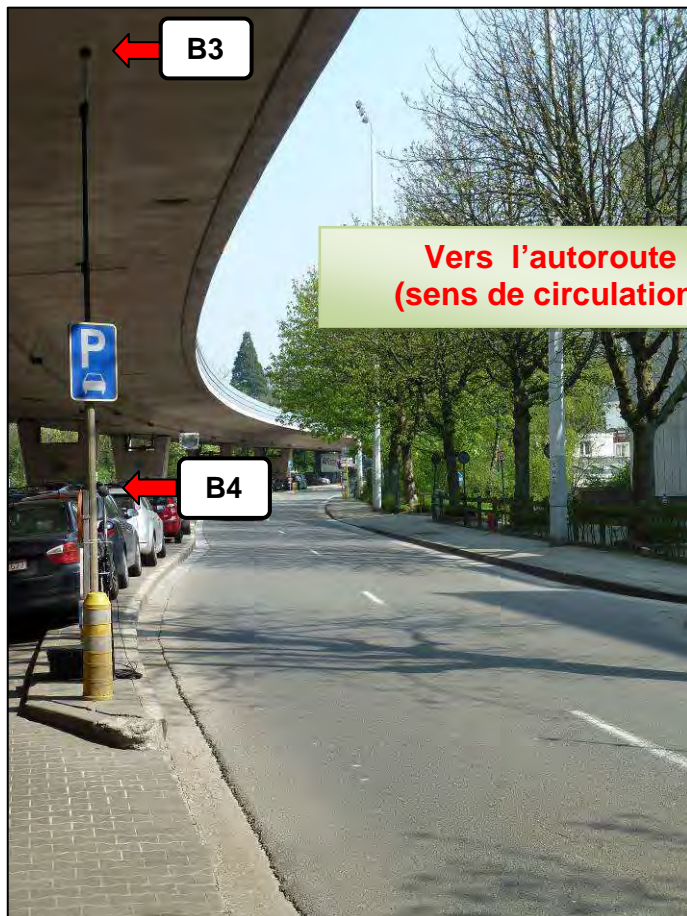


Chaussée de Wavre : S.2

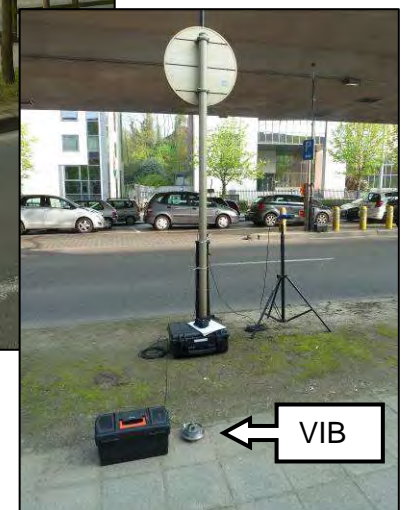
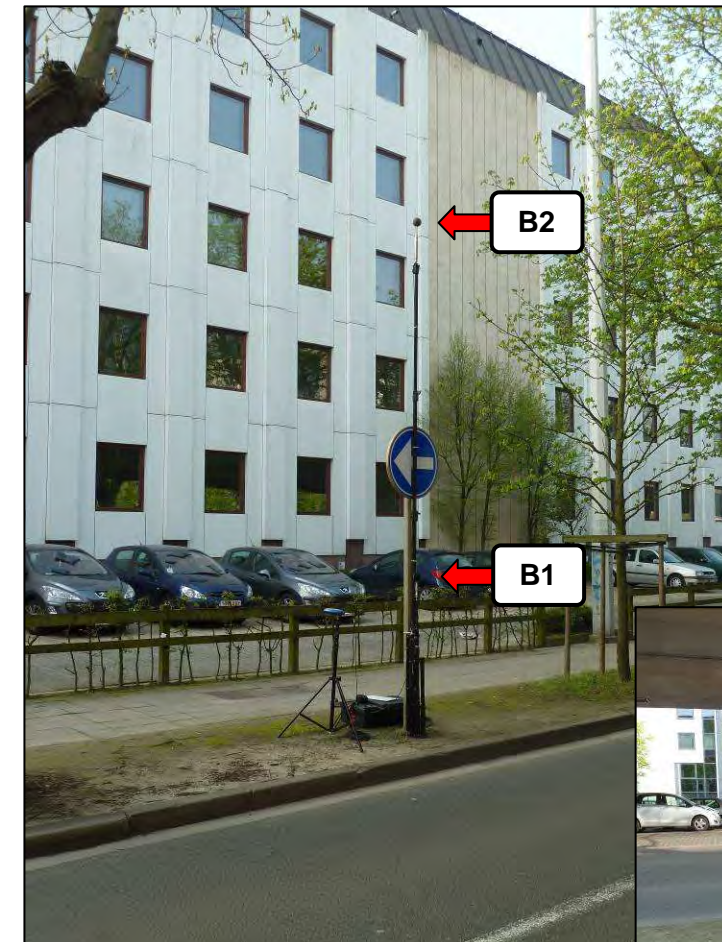
Entre les arrêts « Buedts » et « Arsenal »



8.3 S 3 : « avenue Hermann-Debroux » (CP 1170)



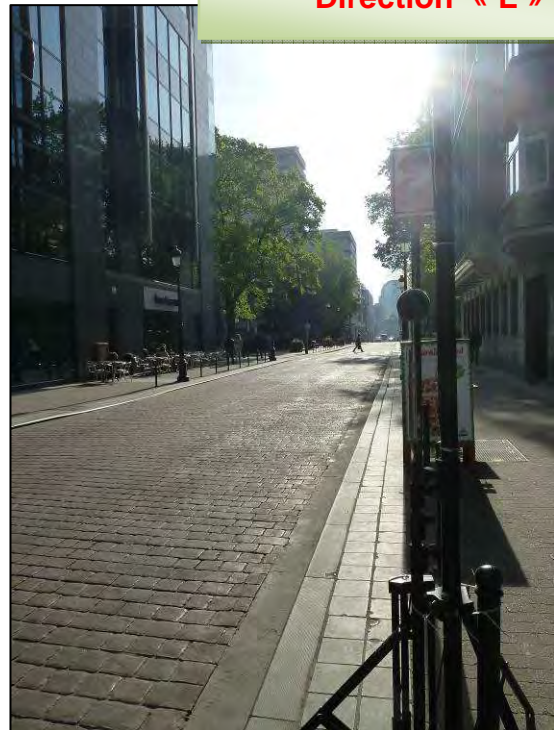
SITE	S3
Avenue Hermann-Debroux	
ASPHALTE	
STIB	72
DE LIJN	341 , 343 , 344 , 345 , 348 , 349
TEC	E
DATE	08 avril 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Vers autoroute	40
TOTAL	40



8.4 S 4 : « rue du Luxembourg » (CP 1000)



Direction « P »



Direction « L »

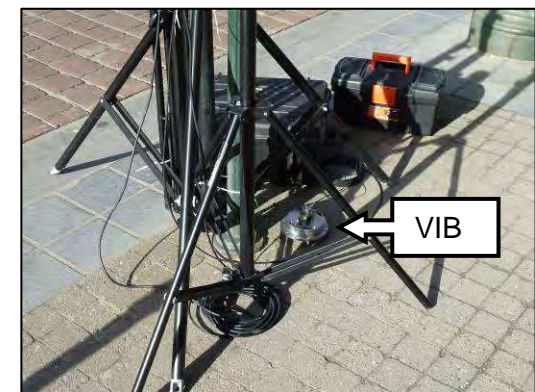
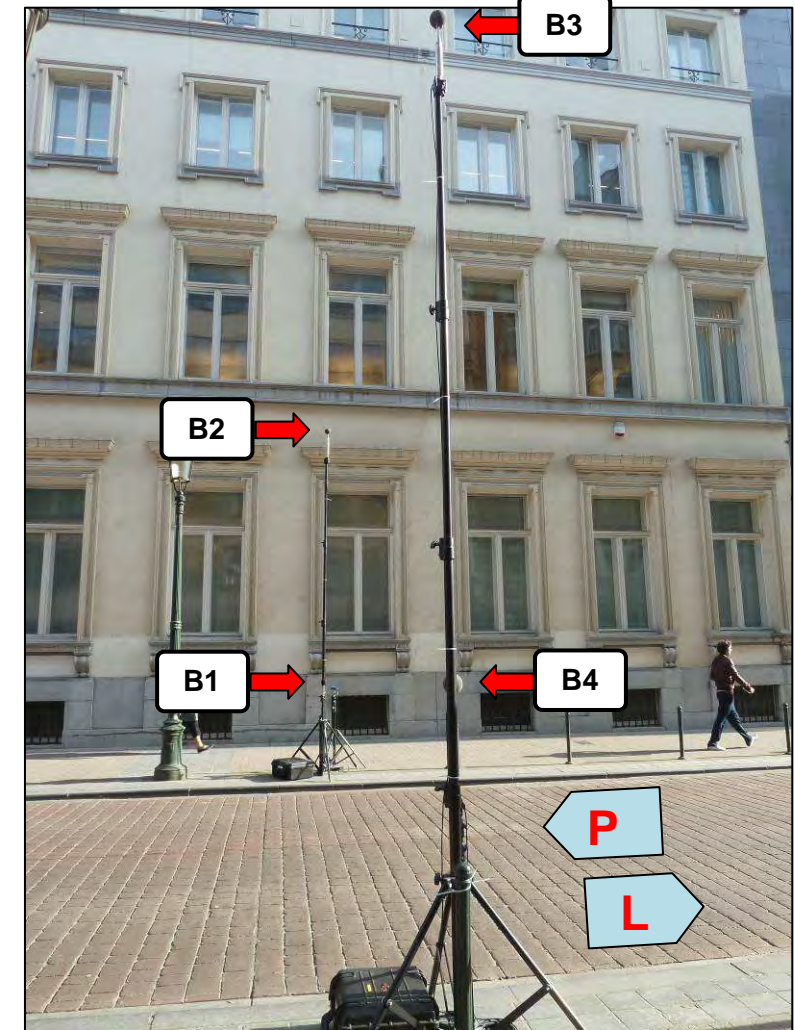


SITE	S4
Rue du Luxembourg	
PAVES IMPRIMES	
STIB	21 , 27 , 34 , 38 , 54 , 64 , 80 , 95
DATE	13 avril 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Direction « P »	168
Direction « L »	159
TOTAL	327



Rue du Luxembourg : S.4

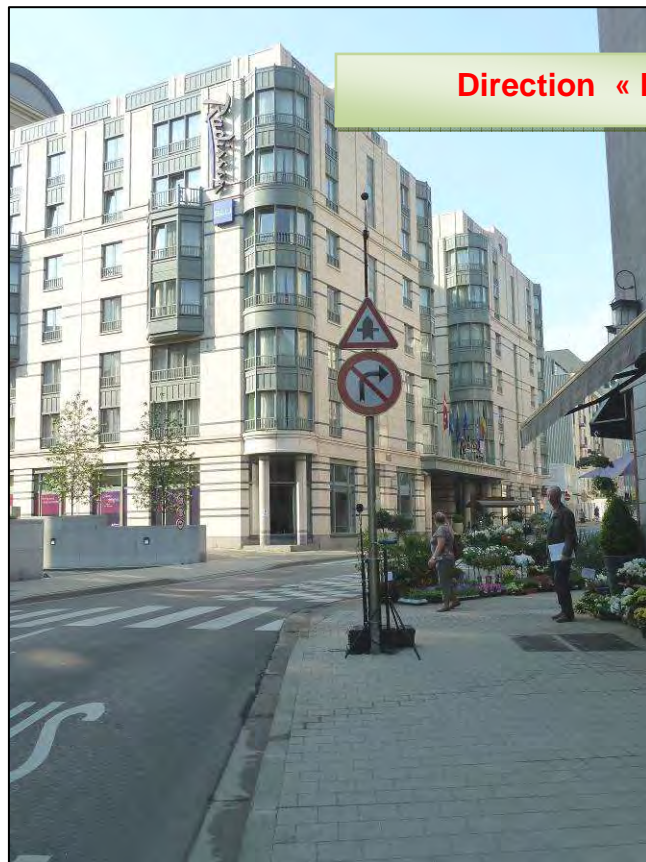
Entre les arrêts « Trône » et « Science »



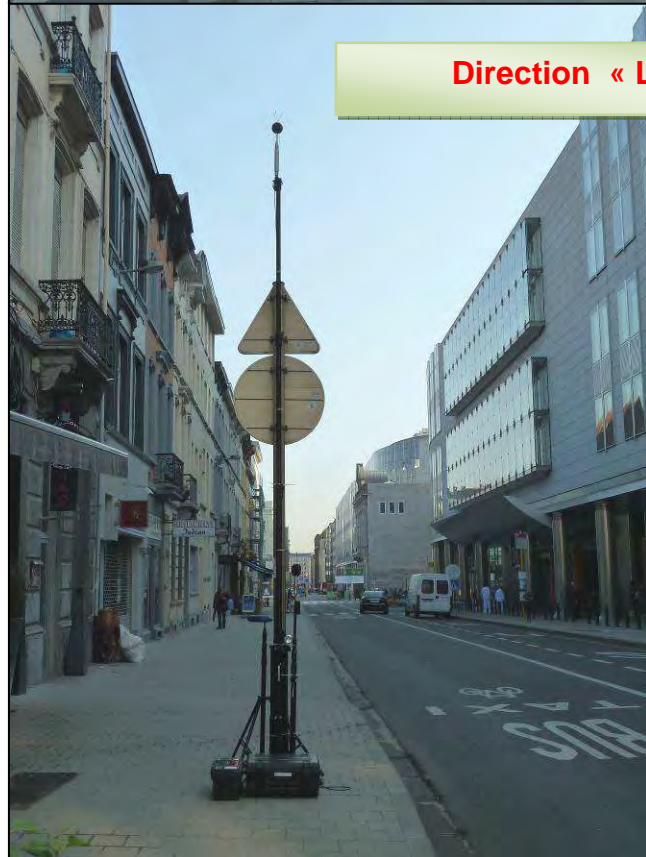
8.5 S 5 : « rue de Trèves » (CP 1050)

Rue de Trèves : S.5

Entre les arrêts « Luxembourg » et « Idalie »



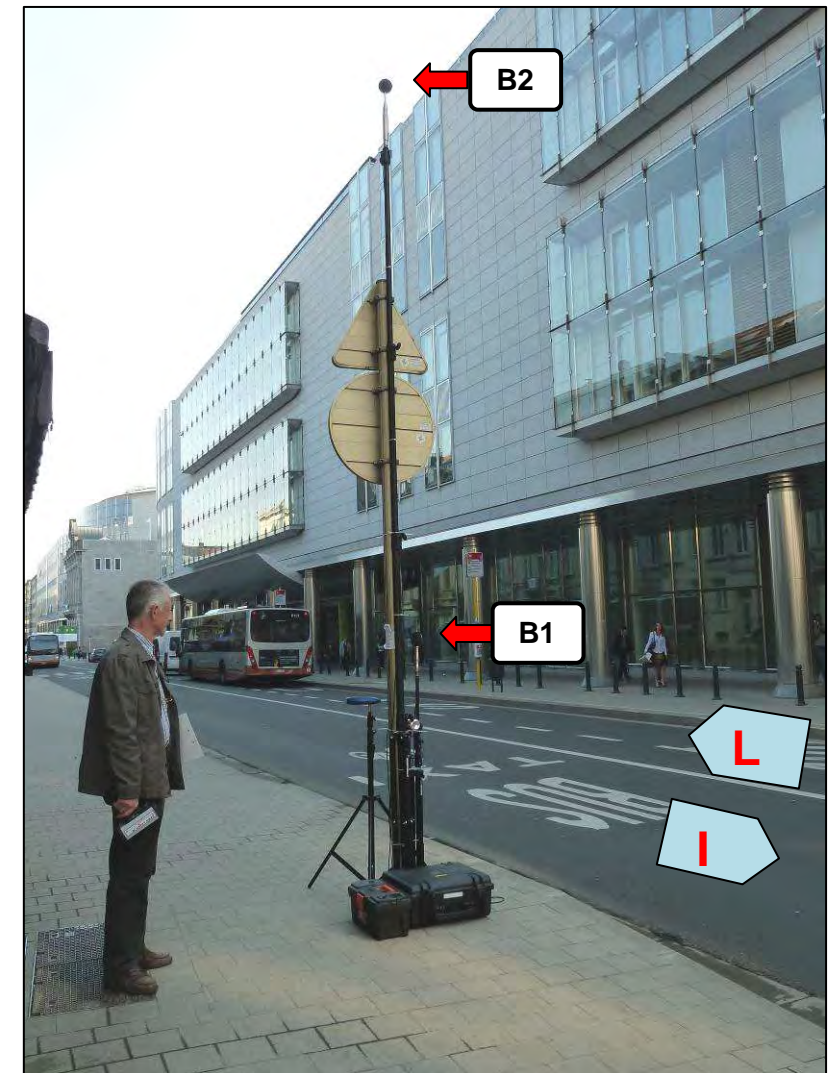
Direction « I »



Direction « L »



SITE	S5
Rue de Trèves	
ASPHALTE	
STIB	34 , 38 , 80 , 95
DATE	21 avril 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Direction « I »	154
Direction « L »	116
TOTAL	270



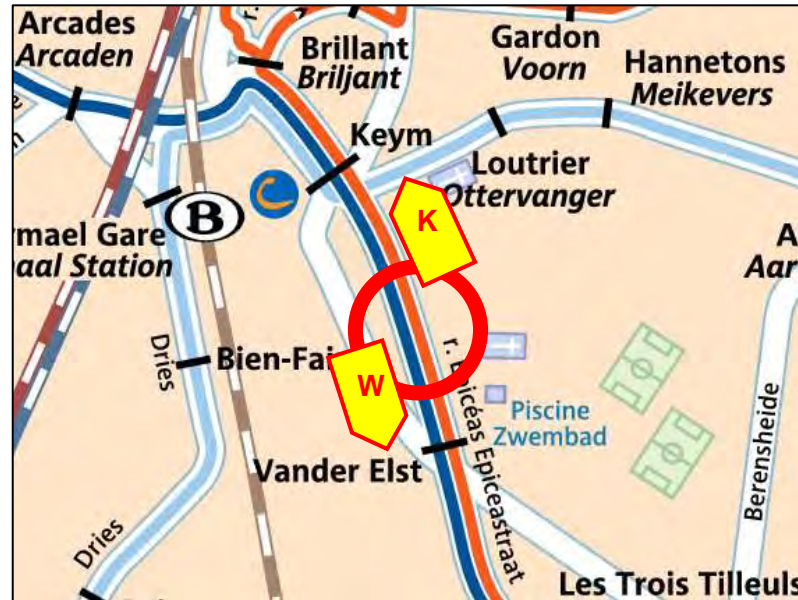
8.6 S 6 : « rue des Epicéas » (CP 1170)

Rue des Epicéas : S.6

Entre les arrêts « Keym » et « Vander Elst »

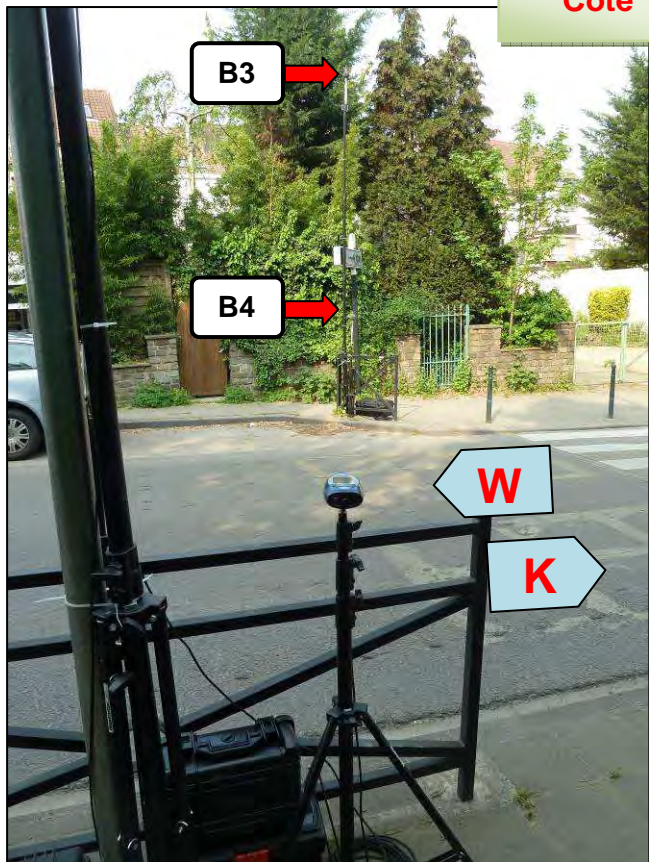


Descente : direction « K »

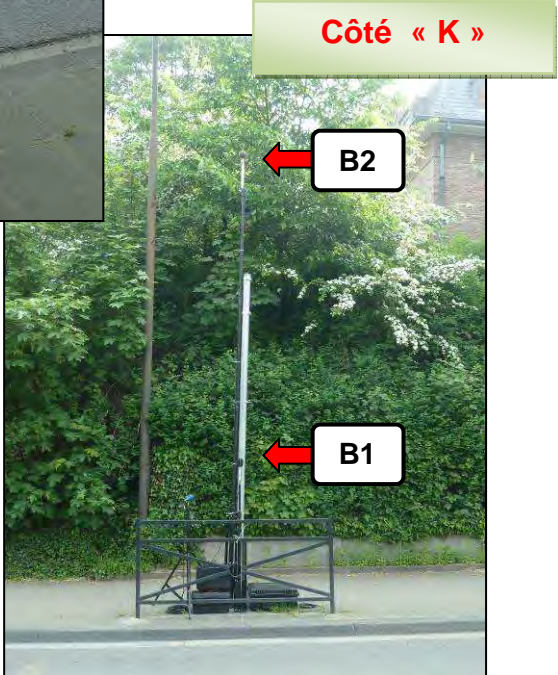


Montée : direction « W »

SITE	S6
Rue des Epicéas	
ASPHALTE	
STIB	17 , 95
DATE	27 avril 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Direction « K »	75
Direction « W »	77
TOTAL	152



Côté « W »



Côté « K »



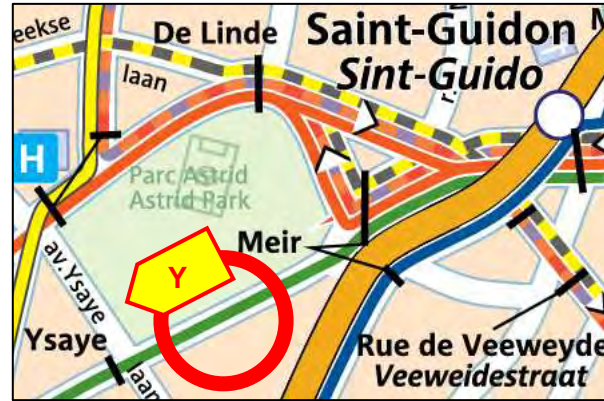
8.7 S 7 : « avenue du Roi-Soldat » (CP 1070)



Vue vers le :
rond-point du Meir



Vue vers l'avenue Ysaye
(sens de circulation des bus)

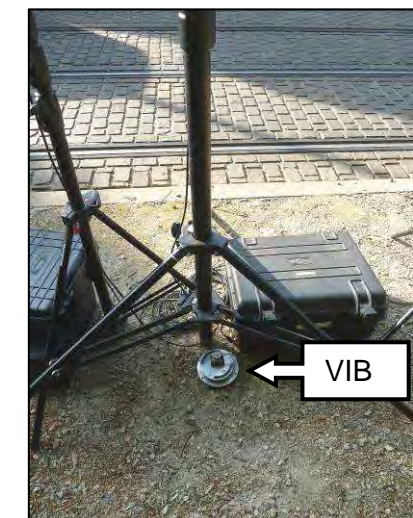
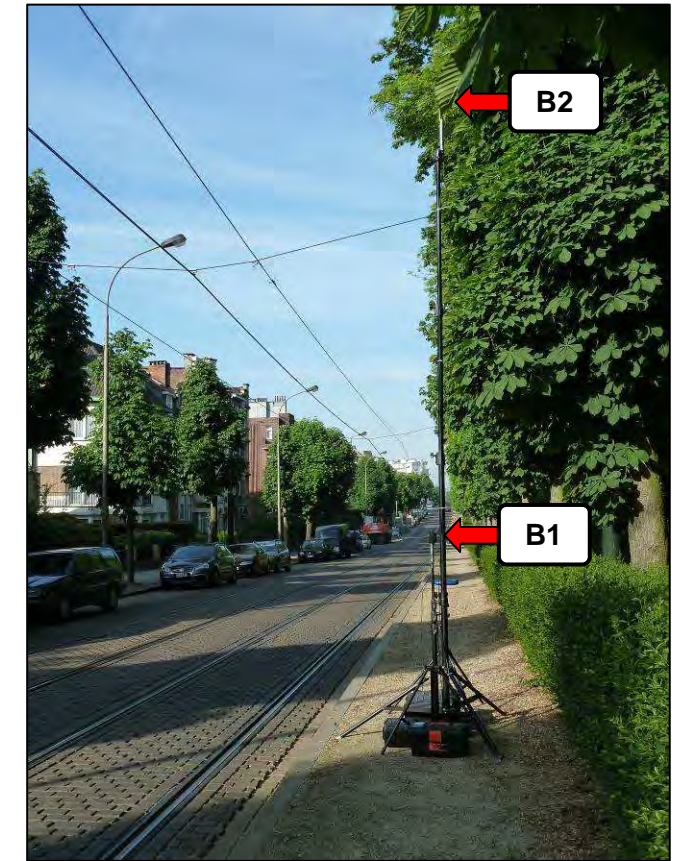


SITE	S7
Avenue du Roi-Soldat	
PAVES SCIES	
STIB	Bus N° 9732 et 8882
DE LIJN	Bus N° 5100 et 5179
DATE	05 mai 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Tous vers « Y »	119
TOTAL	119



Roi - Soldat : S.7

« Site-test » :
STIB et DE LIJN ont chacun mis à disposition 2 bus avec chauffeur, pendant ½ journée, pour permettre de mesurer le bruit des bus sur « pavés sciés » à différentes vitesses (20, 30, 40 et 50 km/h successivement)



8.8 S 8 : « boulevard du Jubilé » (CP 1080)



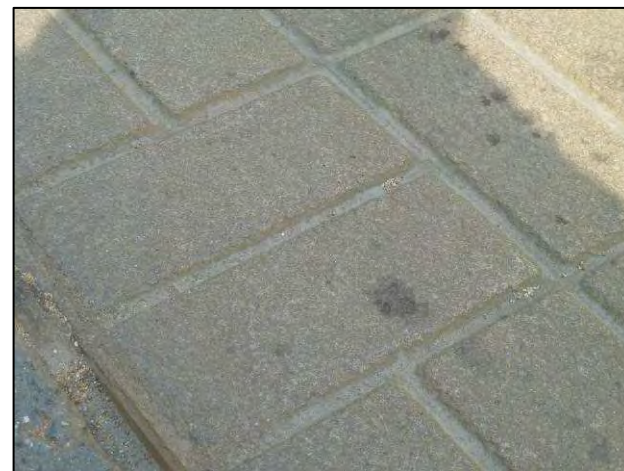
Direction « C »



Direction « B »

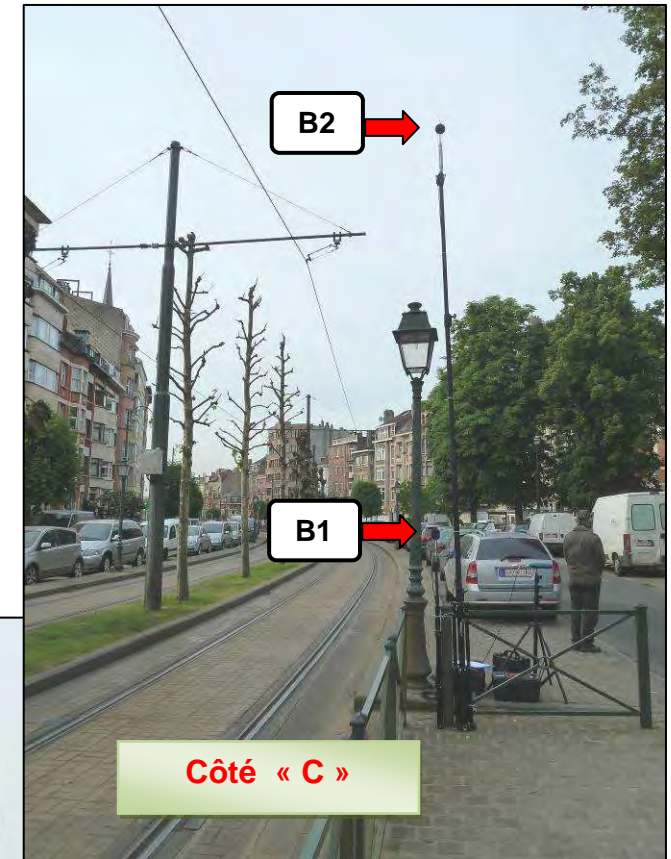


SITE	S8
Boulevard du Jubilé	
PAVES IMPRIMES	
STIB	14
DE LIJN	231 , 460 , 260 , 251 , 250 , 230 , 241 , 232 , 235 , 242 , 461 , 462 , 245 , 243 , 238
DATE	06 mai 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Direction « C »	78
Direction « B »	47
TOTAL	125

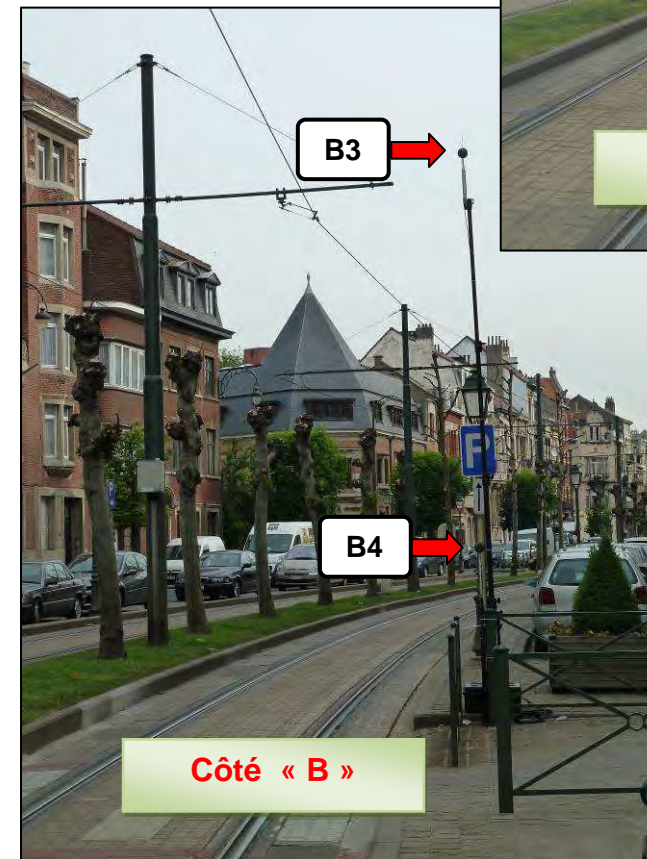


Boulevard du Jubilé : S.8

Entre les arrêts « Flessingue » et « Jubilé »



Côté « C »



Côté « B »



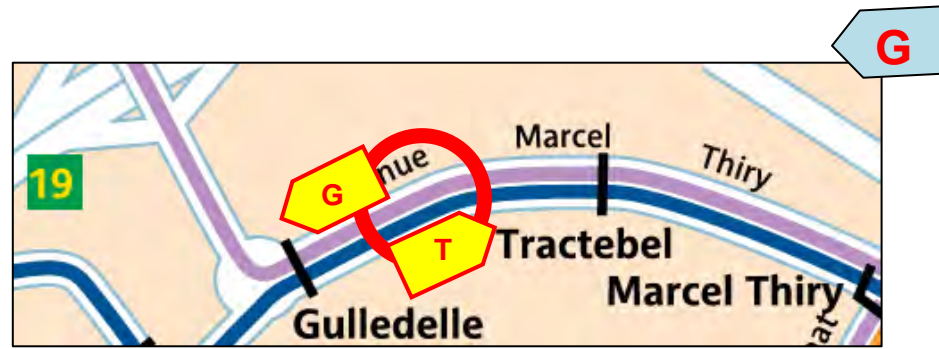
VIB

8.9 S 9 : « avenue Marcel Thiry » (CP 1200)

Montée : direction « G »



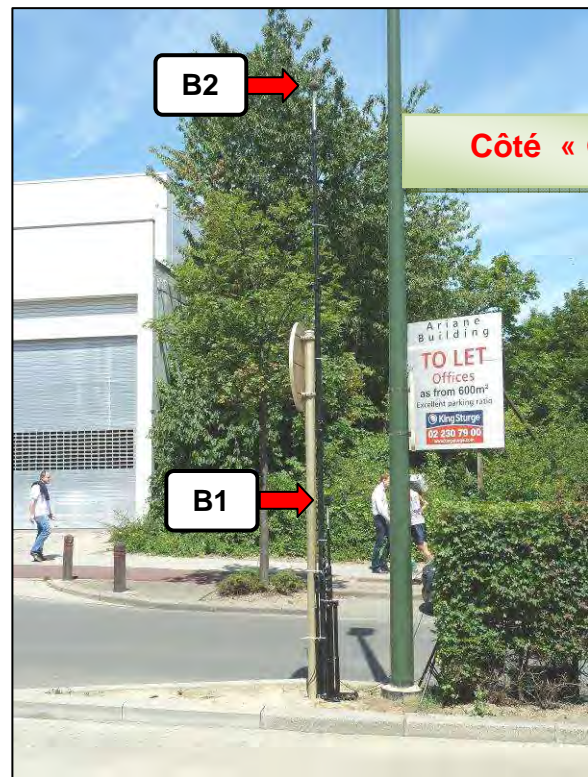
G



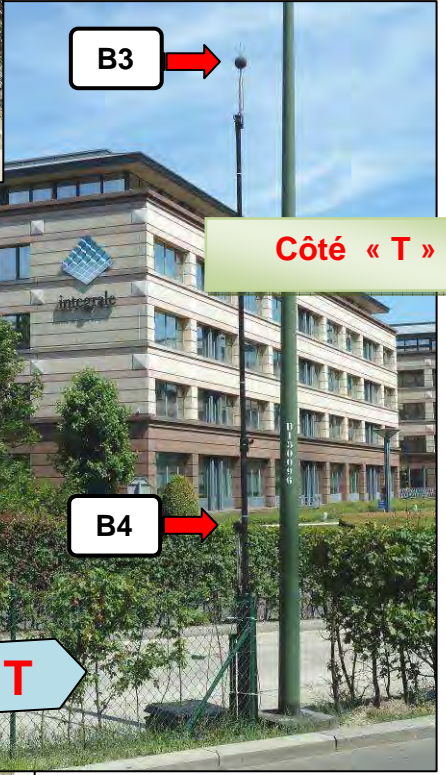
Avenue Marcel Thiry : S.9

Entre les arrêts « Gulledele » et « Tractebel »

SITE	S9
Avenue Marcel Thiry	
BETON	
STIB	45 , 79
DATE	27 juin 2011
NOMBRE DE PASSAGES DE BUS	
Direction « T »	40
Direction « G »	29
TOTAL	69



Côté « G »

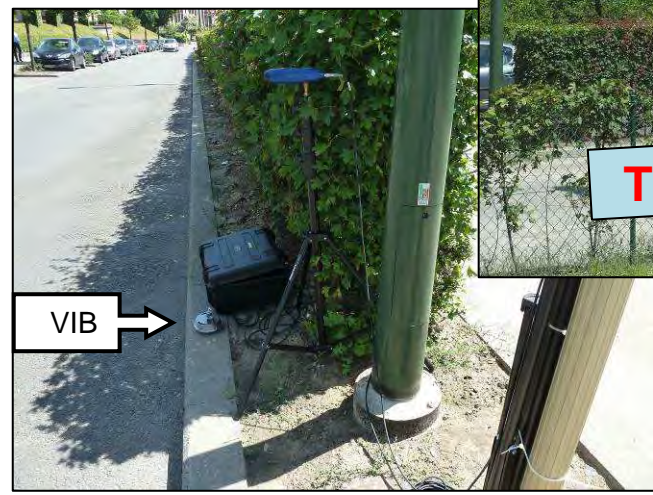


Côté « T »



T

Descente : direction « T »



VIB

9 ANNEXE 2 : LES APPAREILS DE MESURE

La table ci-dessous reprend la liste complète des 4 appareils de mesure utilisés pour l'étude.

Tous ces appareils sont de « classe I » de précision et ils étaient chacun équipés de leur bonnette de protection anti-intempérie, du type BAP 21 NG de classe I n°11638 pour le BlueSolo (réf. « B1 » ci-dessous) et du type SA 203 de classe I pour les trois Svantek (réf. « B2 » à « B4 » ci-dessous).

Tous les appareils ont systématiquement été calibrés avant et après chaque mesure au moyen du matériel suivant :

- calibreur de marque Svantek, type SV31, n° 17 657 (pour calibrer les sonomètres Svantek),
- calibreur de marque 01dB-Metravib, type CAL21, n° 34 593299 (pour calibrer le sonomètre BlueSolo).

Les écarts de calibration « avant – après » étaient toujours inférieurs à 0,2 dB.

Des mâts télescopiques de type « Manfrotto 269BU » et « Manfrotto 1004BAC » ont été utilisés pour fixer les microphones à bonne hauteur.

REF_SONOMETRE	MARQUE	TYPE	N° SERIE	PRE-AMPLI	MICRO	ACCELEROMETRE
B1	01dB	BlueSolo	61774	PRE 21 S 15095	GRAS MCE212 101130	
B2	Svantek	958	15451	SV12L 19519	M4 250 B 7727	Dytran 3233 A 154
B3	Svantek	957	23206	SV12L 24279	ACO 7052 E 46916	
B4	Svantek	957	23208	SV12L 24273	ACO 7052 E 46915	

► Note importante :

La colonne « Ref_sonometre » reprend le « code d'identification » de chaque sonomètre dans la base de données.

C'est également ce code qui sert au repérage de la localisation de chaque sonomètre sur chaque site ; repérage qui est repris en détail, site par site, à l'annexe I ci-avant.

Ainsi, par exemple :

pour le site « S1 » (« avenue De Fré »), le microphone du sonomètre « B4 » (Svantek 957 n°23208) était situé à 1,5 m de haut, dans la direction « W », dans le sens de la montée, en direction de la Chaussée de Waterloo (voir § 4.1).

10 ANNEXE 3 : LA MESURE DE LA VITESSE

Le cinémomètre de précision :

- ✓ « PRO LASER III », tel que décrit ci-dessous,

a été utilisé sur site, pour mesurer avec précision la vitesse de chacun des 1 315 passages de bus recensés.



Cinémomètre laser mobile haute performance

Le Pro Laser III est l'outil de sécurité routière indispensable pour les forces de l'ordre. Issue d'une gamme de cinémomètres performants, il est léger, maniable et peu encombrant. Se tenant comme un pistolet, une simple pression sur la gâchette permet d'obtenir une mesure de vitesse et de distance en double affichage.

Rapide:

Acquisition instantanée de la mesure.

Robuste:

Protection souple et résistante des parties sensibles

Efficace:

Lentilles et laser haute performance.



Poignée ergonomique
Très longue portée.
Réagit sur toutes les surfaces
Fonctionne par tous temps...



Double lecture: viseur et écran LCD - Menu intuitif

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

- Type: Système stationnaire laser de mesure de vitesse et de distance.
 - Poids : 1,4kg
 - Dimensions : L18,4 x l10,53 x H24,8 cm
 - Etanchéité : IP-67 et NEMA 6
 - Tension : 8,6 - 16,6 V.DC
 - Batterie : 9,6V NIMH détrompeur.
 - Mesure vitesse : En Km/h,
 - Mesure distance : En mètre. (Précision 1/10 de mètre)
 - Temps d'acquisition des mesures: 0,3 s
 - Portée max : 1000m
 - Surface de mesure : Sans limitation
 - Contrainte météo : Fonction spécifique «mauvais temps»
 - Communication : - Indications sonores de statut.
- Ecran LCD rétroéclairé réglable.
- Afficheur tête haute réglable.
- Port série RS-232 PC.
- Caractéristique Laser:**
- Faisceau laser : <3m de diamètre à 1000 m.
 - Longueur d'ondes : 904 nm +/- 10 nm
 - Sécurité oculaire : Classe 1
 - Domaine d'utilisation : -20° à +60°
 - Plage de mesure : de 8 à 250 km/h
 - Précision : En mauvaises conditions (angle) valeur inférieure par défaut.
- Certificat d'examen de type:
N°LNE-6901 rév.0 du 21/03/07
- 

CARACTERISTIQUES METROLOGIQUESTechniques :

Tensions opérationnelles : 8,6 – 16,6 V. DC

Tension nominale requise PRO-LASER III en visée, Gâchette enfoncée **13,6V / 510ma**Tension requise en marche sans visée, Gâchette libre **13,6V / 300ma**Tension en position veille **13,6V / 130ma**Tension en position arrêt **13,6V / 3ma**Signal d'ALERTE (batterie faible) **9,2V**DANGER (batterie vide) **8,6V**Batterie **9,6 V NiMH**Dimensions 18,4 cm Long x 10,53 cm larg
x 24,8 cm haut, hors tout.

Poids 1,4 kg

Opérationnelles :

Enregistrement des vitesses de 8 à 250 km/h

Précision d'affichage en mode

"Vérification" via un PC $\pm 0,1$ km/h

Portée 1000 m

Longueur d'ondes 904 nm ± 10 nm

Largeur de faisceau < 3m x 3m à 1000 mètres
(3,0 m vert x 3,0 m hor)

Prise auxiliaire Possibilité de stockage
des données des vitesses

UTILISATION SUR TREPIED

Le Pro Laser III peut être fixé à un trépied par le filetage dont il est pourvu sur le côté opposé à celui où se trouve la connexion RS-232.

11 ANNEXE 4 : TABLE DE CONFIGURATION – CONTENU

La « table de configuration » fournit les données relatives à l'implantation de chaque sonomètre sur chaque site.

Ainsi, la 1^{ère} ligne de cette table montre par exemple :

- que le microphone du sonomètre « B4 » était installé
- à une hauteur de 1,5 mètre
- dans le sens de circulation « W » du site « S1 » (voir plan de localisation en annexe 1)
- du côté de la montée (code « M » - colonne « Déclivité »)
- à une distance de 70 cm du bord de la chaussée
- et que la bande de circulation de ce côté a une largeur de 2,20 mètres.

Définition des champs :

REF_CONFIG	=	numéro séquentiel et univoque qui caractérise l'implantation de chaque sonomètre sur chaque site ;
REF_SITE	=	numéro séquentiel et univoque pour chacun des 9 sites (cfr. Annexe 1) ;
DIRECTION	=	indique le sens de circulation conformément au plan d'implantation de chaque site fourni en annexe 1 ;
H_MICRO	=	fournit la hauteur à laquelle le micro était positionné ;
REF_SONOMETRE	=	code B1 à B4 qui caractérise le matériel de mesure selon la description fournie en annexe 2 ;
GPS_LONGI / GPS_LAT	=	coordonnées GPS du microphone concerné ;
DECLIVITE	=	M = montée ; D = descente ; P = plat ; M/D = code applicable à l'accéléromètre ;
DISTANCE_BORD_CHAUSSEE	=	distance projetée au sol, en cm, entre le microphone et la bordure de la chaussée la plus proche ;
DISTANCE_AXE_VOIE 1	=	distance projetée au sol, en m, entre le microphone et l'axe de la bande de circulation la plus proche.

« TABLE DE CONFIGURATION »**CONTENU**

REF_CONFIG	REF_SITE	DIRECTION	H_MICRO	REF_SONOMETRE	GPS_LONGI	GPS_LAT	DECLIVITE	DISTANCE_BORD_CHAUSSEE	DISTANCE_AXE_VOIE 1
1	S1	W	1,5	B4			M	70	2,20
2	S1	W	4,0	B3			M	70	2,20
3	S1	H	1,5	B1			D	75	2,25
4	S1	H	4,0	B2			D	75	2,25
5	S1	H	0,0	B2			M/D	150	3,00
6	S2	C	1,5	B4			P	70	2,20
7	S2	C	4,0	B3			P	70	2,20
8	S2	B	1,5	B1			P	75	2,25
9	S2	B	4,0	B2			P	75	2,25
10	S2	B	0,0	B2			P	150	3,00
11	S3	A	1,5	B4			P	70	2,20
12	S3	A	4,0	B3			P	70	2,20
13	S3	A	1,5	B1			P	75	2,25
14	S3	A	4,0	B2			P	75	2,25
15	S3	A	0,0	B2			P	150	3,00
16	S4	L	1,5	B4			P	70	2,20
17	S4	L	4,0	B3			P	70	2,20
18	S4	P	1,5	B1			P	75	2,25
19	S4	P	4,0	B2			P	75	2,25
20	S4	P	0,0	B2			P	75	2,25
21	S5	I	1,5	B1			P	75	2,25
22	S5	I	4,0	B2			P	75	2,25
23	S5	I	0,0	B2			P	75	2,25
24	S6	W	1,5	B4			M	70	2,20
25	S6	W	4,0	B3			M	70	2,20
26	S6	K	1,5	B1			D	75	2,25
27	S6	K	4,0	B2			D	75	2,25
28	S6	K	0,0	B2			M/D	75	2,25
29	S7	Y	1,5	B1			P	75	2,25
30	S7	Y	4,0	B2			P	75	2,25
31	S7	Y	0,0	B2			P	75	2,25
32	S8	B	1,5	B4			P	70	2,20
33	S8	B	4,0	B3			P	70	2,20
34	S8	C	1,5	B1			P	75	2,25
35	S8	C	4,0	B2			P	75	2,25
36	S8	C	0,0	B2			P	100	2,50
37	S9	T	1,5	B4			D	70	2,20
38	S9	T	4,0	B3			D	70	2,20
39	S9	G	1,5	B1			M	70	2,20
40	S9	G	4,0	B2			M	70	2,20
41	S9	G	0,0	B2			M/D	140	2,90

12 ANNEXE 5 : TABLE COUNT DB – CONTENU

La « table_count_db » fournit, pour chaque micro de chaque site, et pour chaque passage de bus, les résultats des mesures de bruit [$L_{Aeq}(t)$, L_{Amax} , SEL, le spectre moyen, les date et heure de passage, ainsi que la durée du passage du bus].

Un extrait de cette table, qui contient 4 482 lignes, est fourni ci-après.

Le spectre est le « spectre (linéaire) moyen » (énergétique) relatif à chaque passage de bus, pour chaque sonomètre de chaque site.

Le champs « **CODE_BUS** » lie les résultats de mesure au bus correspondant. Il est construit comme suit :

- « S1A1 » est :
 - le premier bus mesuré,
 - sur le site « S1 »,
 - lors de la campagne de mesure « A ».

de même,

- « S1A49 » est :
 - le 49^{ème} bus mesuré,
 - sur le site « S1 »,
 - lors de la campagne de mesure « A ».

Ainsi, un même bus, par exemple le « S1A1 » sera repris 4 fois dans cette table, c.-à-d. à chacun des 4 micro installés sur le site S1 et qui correspondent aux configurations 1 à 4 (voir la « table de configuration » en annexe 4 et l'implantation des sonomètres sur le site S1 en annexe 1).

13 ANNEXE 6 : TABLE PASSAGES BUS – CONTENU

Cette table fournit les informations spécifiques au passage de chaque bus sur chaque site, soit :

- la direction dans laquelle il circulait, sa vitesse exacte de passage au niveau des micro, son numéro de ligne, son numéro de série, le niveau de vibrations qu'il a engendrées, l'exploitant (STIB, DE LIJN ou TEC).

Un extrait de cette table (qui contient les 1 315 passages de bus recensés) est fourni à la page suivante.

Le champs « **CODE_BUS** » lie le bus aux résultats de mesure acoustique correspondant. Il est construit comme suit :

- « S1A1 » est :
 - le premier bus mesuré,
 - sur le site « S1 »,
 - lors de la campagne de mesure « A ».

de même,

- « S1A49 » est :
 - le 49^{ème} bus mesuré,
 - sur le site « S1 »,
 - lors de la campagne de mesure « A ».

Le champs « **DIRECTION** » est défini, pour chaque site, à l'annexe 1 qui reprend l'implantation du dispositif de mesure par rapport à la chaussée et aux sens de circulation y mentionnés.

Le champs « **N°BUS** » correspond au numéro unique et u nivoque qui est inscrit sur chaque bus et qui permet d'établir le lien vers la table qui décrit le bus correspondant (marque, type, motorisation, dimensions, ...).

Le champs « **KB** » fournit la valeur « KB » de niveau de vibration mesurée selon les termes de la norme DIN 4150.

La vitesse mesurée du bus est fournie en km/h.

« TABLE PASSAGES BUS »**EXTRAIT DE CONTENU**

CODE_BUS	REF_SITE	DIRECTION	N° LIGNE	EXPLOITANT	N° BUS	VITESSE_MESUREE	DATE	KB
S1A1	S1	H	43	STIB	8563	34	8/03/2011	1,2
S1A2	S1	H	38	STIB	8212	46	8/03/2011	1,6
S1A3	S1	W	38	STIB	8204	33	8/03/2011	0,6
S1A4	S1	H	43	STIB	8570	43	8/03/2011	1,4
S1A5	S1	W	43	STIB	8562	34	8/03/2011	0,6
S1A6	S1	H	38	STIB	8200	52	8/03/2011	2,1
S1A7	S1	H	41	STIB	8576	41	8/03/2011	2,2
S1A8	S1	W	38	STIB	8217	43	8/03/2011	0,7
S1A9	S1	W	43	STIB	8561	38	8/03/2011	0,5
S1A10	S1	H	43	STIB	8562	35	8/03/2011	1,4
S1A11	S1	H	38	STIB	8227	37	8/03/2011	0,9
S1A12	S1	W	38	STIB	8212	38	8/03/2011	0,5
S1A13	S1	H	38	STIB	8208	39	8/03/2011	1,3
S1A14	S1	H	43	STIB	8561	38	8/03/2011	1,1
S1A15	S1	W	43	STIB	8618	35	8/03/2011	0,8
S1A16	S1	H	41	STIB	8582	44	8/03/2011	1,5
S1A17	S1	H	43	STIB	8567	42	8/03/2011	1,5
S1A18	S1	W	38	STIB	8227	37	8/03/2011	0,6
S1A19	S1	H	38	STIB	8222	27	8/03/2011	0,6
S1A20	S1	H	43	STIB	8618	42	8/03/2011	2,1
S1A21	S1	H	38	STIB	8199	40	8/03/2011	1,7
S1A22	S1	W	43	STIB	8601	32	8/03/2011	0,3
S1A23	S1	W	38	STIB	8200	41	8/03/2011	0,5
S1A24	S1	W	43	STIB	8570	31	8/03/2011	0,4
S1A25	S1	H	41	STIB	8573	40	8/03/2011	1,3
S1A26	S1	H	43	STIB	8601	21	8/03/2011	0,6
S1A27	S1	W	38	STIB	8208	34	8/03/2011	0,4
S1A28	S1	H	38	STIB	8211	36	8/03/2011	1,7
S1A29	S1	W	43	STIB	8592	32	8/03/2011	0,6
S1A30	S1	H	43	STIB	8570	40	8/03/2011	1,4
S1A31	S1	W	43	STIB	8583	48	8/03/2011	0,5
S1A32	S1	W	38	STIB	8222	23	8/03/2011	1,3
S1A33	S1	H	38	STIB	8226	30	8/03/2011	1,0
S1A34	S1	H	38	STIB	8174	10	8/03/2011	0,3
S1A35	S1	H	41	STIB	8575	21	8/03/2011	0,9
S1A36	S1	H	43	STIB	8592	10	8/03/2011	0,2
S1A37	S1	W	38	STIB	8199	39	8/03/2011	0,6
S1A38	S1	W	43	STIB	8561	39	8/03/2011	0,5
S1A39	S1	W	43	STIB	8605	31	8/03/2011	0,6
S1A40	S1	H	38	STIB	8204	10	8/03/2011	0,4
S1A41	S1	H	41	STIB	8589	10	8/03/2011	0,3
S1A42	S1	W	38	STIB	8226	38	8/03/2011	0,5
S1A43	S1	W	43	STIB	8618	38	8/03/2011	0,7
S1A44	S1	H	38	STIB	8217	10	8/03/2011	0,2
S1A45	S1	W	38	STIB	8211	41	8/03/2011	0,5
S1A46	S1	H	43	STIB	8605	13	8/03/2011	0,4
S1A47	S1	H	43	STIB	8561	10	8/03/2011	0,2
S1A48	S1	W	38	STIB	8174	39	8/03/2011	0,8
S1A49	S1	W	43	STIB	8563	42	8/03/2011	0,6
S1A50	S1	W		STIB	8600	43	8/03/2011	0,4

14 ANNEXE 7 : TABLE SITES – CONTENU

Cette table fournit :

- les données administratives (adresse, commune, code postal)
- et techniques (revêtement de chaussée, vitesse légale autorisée, nombre de voies de circulation, largeur des voies, tracé)
- relatives à chaque site.

Son contenu est repris ci-dessous.

La vitesse légale autorisée est fournie en km/h.

La largeur de chaussée est fournie en Mètres.

Le « type_tracé » contient deux codes :

- D : la voirie est rectiligne
- V : la voirie présente un virage ou une courbe à proximité directe des micro.

Le « REF_SITE » renvoie à chacun des 9 sites (S1 à S9) tels que décrits et présentés en annexe 1.

REF_SITE	ADRESSE	CODE_POSTAL	COMMUNE	REVETEMENT	VITESSE_LEGALE	NOMBRE_VOIES	LARGEUR_CHAUSSEE	TYPE_TRACE
S1	Avenue de Fré	1180	Uccle	Asphalte	50	2	3,0	D
S2	Chaussée de Wavre	1050	Ixelles	Klinkers	50	2	3,0	D
S3	Avenue Hermann-Debroux	1170	Watermael-Boitsfort	Asphalte	50	2	3,0	D
S4	Rue du Luxembourg	1000	Bruxelles	Pavés imprimés	50	2	3,0	D
S5	Rue de Trèves	1050	Ixelles	Asphalte	50	2	3,0	V
S6	Rue des Epicéas	1170	Watermael-Boitsfort	Asphalte	50	2	3,0	D
S7	Avenue du Roi-Soldat	1070	Anderlecht	Pavés sciés	50	2	3,0	D
S8	Boulevard du Jubilé	1080	Molenbeek-saint-Jean	Pavés imprimés	50	2	3,0	V
S9	Avenue Marcel Thiry	1200	Woluwe-saint-Lambert	Béton	50	2	3,0	D

15 ANNEXE 8 : TABLE BUS – CONTENU

La table « BUS » fournit les données techniques relatives à chaque bus, soit :

- marque, type, motorisation, longueur, hauteur, position de l'échappement,

Elle a été dressée à partir des données reçues de la STIB et de DE LIJN (voir ci-après) et un extrait de son contenu est fourni ci-après.

Les champs « N°BUS » et « EXPLOITANT » lient chaque bus à chacun de ses passages sur chacun des 9 sites de mesure.

REF. FLOC		HASTUS	TYPE AUTOBUS	NB	HAREN 1		DELTA	J. BREL	
B0002		A	VAN HOOL A300 D1	32	32	8702 → 8739 8704/8707/8709/8718 8700/8705/8734/8735			
B0004		A	VAN HOOL A300 D2	88	74	8621 → 8679 8740 → 8745 8747 → 8799 8624/8629//8631/8647 8665/8667/8672/8675 8677/8678/8760/8659 8771/8777/8779/8758 8676/8620/8640/8775 8788/8645/8651/8623 8743/8778/8797/8764 8660/8664/8785		8646/8649/8657 8658/8666/8769/8776 8669/8751/8767/8638 8768/8791/8789	
B0060		A	JONCKHEERE-PREMIER	20			0	8500/8509/8513/8518 8527/8531/8532/8533 8538/8543/8545/8546 8547/8550/8551/8552 8553/8554/8556/8558	
B0061		A	JONCKHEERE SB 250	59			59	8560 → 8606 8608 → 8619	
B0062		D	VAN HOOL A308	29			20	8010 → 8016 8018 → 8030	
B0065		H	VAN HOOL A330 D1	114			51	8176 → 8177 8179 → 8227	
B0066		F	MERCEDES CITARO D1	31	21	8858 → 8867 8878 → 8888		10	8868 → 8877
B0067*		F	MERCEDES CITARO D2	52	21	9001 → 9021	31	9022 → 9052	
B0068		H	VAN HOOL A330 D2	128	75	9601 → 9641 9643 → 9676		53	9677 → 9715 9718 → 9727 9730/9732/9737/9738
Tota(a) PARC AUTOBUS				553		223	161	169	
B0001			VAN HOOL A500 SP	30	30	8301 → 8330			
			VAN HOOL A500	6	6	Voir/Zie info			
Tota(a) PARC ECOLE/SP BUS				36		36	0	0	
B0023		M	MERCEDES - Q BUS	3	3	8939 → 8941			
			MERCEDES -EVOBUS	15	15	8942 → 8956			
Tota(a) PARC MINIBUS				18		18	0	0	
PARC TOTA(A)L				607					
INFO:									
1)Les numéros barrés c'est des numéros de bus déclassés.									
2)09/11/2010 Vanhool A500 8399 is voorzien voor museum.									
3) *13 bus A330 D1 sont a haren 3 pour la remise en état câblage phoenix,									

Informations techniques reçues de la STIB.

Marque	Type de bus	Dimensions (L x l x H) en m	Motorisation	Carburant	Date de mise en circulation	type de pneus	lignes desservies	niveaux sonores émis	position de l'échappement
VAN HOOL	A300	11,990 x 2,490 x 2,910 m	MAN D0826 LOH 07	Diesel	1993	Été			Latéral gauche dans l'empattement en bas
VAN HOOL	A300	11,990 x 2,490 x 2,910 m	MAN D0826 LOH 15 Euro 2	Diesel	1995 - 1996	Été			Latéral gauche dans l'empattement en bas
VAN HOOL	A308	11,990 x 2,490 x 2,910 m	MAN D0824 LOH 05 Euro 2	Diesel	1999 - 2000	Été			Latéral gauche dans l'empattement en bas
JONCKHEERE	PREMIER	11,680 x 2,500 x 2,910 m	DAF RS 180 M Euro 2	Diesel	1997 - 1999	Été			Latéral gauche dans l'empattement en bas
JONCKHEERE	SB250	11,960 x 2,500 x 3,320 m	DAF RS 160 M Euro 2	Diesel	1999 - 2000	Été			Porte-à-faux arrière gauche en bas
EVOBUS	CITARO O530G	17,940 x 2,550 x 3,076 m	MERCEDES OM 457 LA Euro 4	Diesel	2006	Été			Porte-à-faux arrière gauche sur le toit
EVOBUS	CITARO O530G	17,940 x 2,550 x 3,076 m	MERCEDES OM 457 LA Euro 5	Diesel	2008	Été			Porte-à-faux arrière gauche sur le toit
VAN HOOL	A330	11,995 x 2,550 x 3,100 m	MAN D2066 LOH 51Euro 4	Diesel	2006 - 2007	Été			Porte-à-faux arrière gauche sur le toit
VAN HOOL	A330	11,995 x 2,550 x 3,100 m	MAN D2066 LOH 26 EEV	Diesel	2009 - 2011	Été			Porte-à-faux arrière gauche sur le toit

Informations techniques reçues de DE LIJN.

Beste Jean-Laurent

Hierbij laat ik u de gevraagde info.

Nr ab	Merk en type	Type motor	Afmetingen Lengte (mm)	Datum in dienst	Geluid à 50 km/h
3323-3345	Jonckheere Communo	Volvo DHA10A	11,637	1996	76 dB(A)
4524-4525	Jonckheere Transit	Volvo D7C250	11.650	2005	links 74 rechts 71
5120-5125	Jonckheere Transit	Volvo D7E290	11.650	2008	Links: 74 rechts: 71
4292-4294	Van Hool AG500	MAN D2866 LOH 27	17.990	2003	Links: 81 rechts: 80
5272-5273	Van Hool AG300	DAF PR228	18.390	2007	Links: 75 rechts: 75
4579-4589	Jonckheere Transit	Volvo D7C250	11.650	2005	links 74 rechts 71
4838-4852	Jonckheere Transit	Volvo D7E290	11.650	2006	Links: 74 rechts: 71
5055-5056	Van Hool AG300	DAF PR228	18.390	2008	Links: 75 rechts: 75

Het opgegeven geluid is het gemiddelde van drie metingen uitgevoerd volgens de methode vervat in de richtlijn EEG 70/157 bij afname van het voertuig.

De metingen gebeuren op een open plaats, op een horizontale, droge en goed geasfalteerde weg.

Begin snelheid van 50 km/u, dan volgast, na 10 m wordt geluid opgemeten, zowel links als rechts, met microfoon op 7,5m van de middellijn van de bus op hoogte van 1,60m.

Meting in open ruimte zonder basisgeluid.

Op 21 maart om 14.30u op uw volgende vergadering wordt ik vertegenwoordigd door mijn medewerker de heer Sam Schalckens.

Met vriendelijke groeten

Roger Meys
afdelingshoofd rollend materieel

De Lijn - Centrale Diensten
Afdeling Rollend Materieel
Motstraat 20 - 2800 Mechelen
tel 015 408 820 - fax 015 408 980
roger.meys@delijn.be - www.delijn.be

16 ANNEXE 9 : PUISSANCE ACOUSTIQUE RECALCULEE

Sur les sites pour lesquels le nombre de bus mesurés était suffisamment représentatif, c.-à-d. pour les sites S2 (chaussée de Wavre), S4 (rue du Luxembourg), S5 (rue de Trêves), S6 (rue des Epicéas) et S8 (boulevard du Jubilé), les modèles de calcul 3D CadnaA fournis par l'IBGE ont été utilisés pour recalculer la puissance acoustique équivalente des bus.

Les tableaux de la page suivante fournissent les résultats obtenus aux deux hauteurs de microphone (soit 1.6 mH et 4.0 mH), ainsi que les paramètres de calcul utilisés.

Au vu de ce tableau, on constate :

→ que **1 bus** est « *acoustiquement équivalent* » à **8 ou 9 voitures**, soit ce qui correspond *en moyenne et en fonction des cadences des lignes de bus* à :

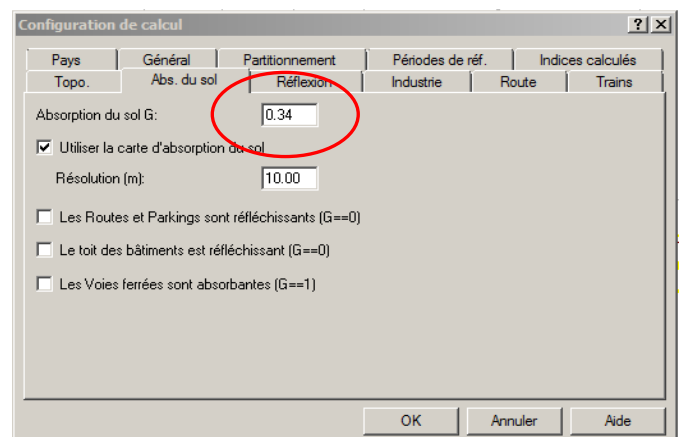
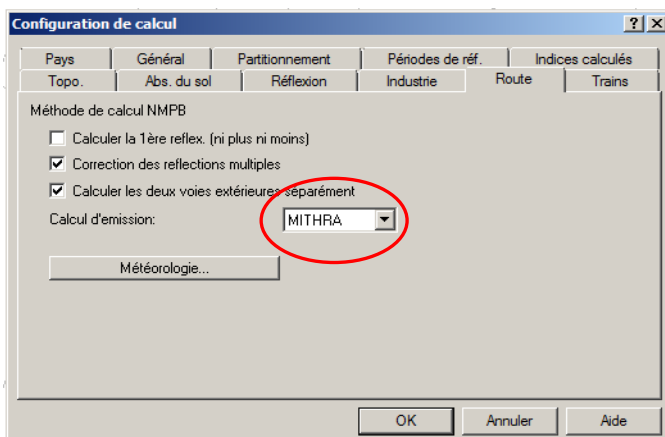
220 équivalent voitures par heure

→ que la vitesse de circulation à considérer pour les bus est : **30 km/h**,

→ et que l'équivalence des revêtements est :

Revêtement sur site	Revêtement « CadnaA »
Klinkers	Chaussée cloutée
Pavés imprimés	EC : pavés lisses
Asphalte	EC : surface poreuse

Notez que les paramètres suivants des modèles fournis par l'IBGE n'ont jamais été modifiés :



à 1,6 mètre de hauteur

SITE	LOCALISATION	PARAMETRES DE MODELISATION					MESURE SUR SITE			NIVEAU CALCULE	ECART	PARAMETRE « EQUIVALENT VOITURES »	
		Revêtement	Trafic	Vitesse [km/h]	Profil / coupe [m]	Pente	Sens de circulation	Type de bus	Equivalent Ld MESURE			Equivalent Ld CALCULE	« Calcul – mesure »
S-2	Chaussée de Wavre	Chaussée cloutée	Pulsé non différencié	30	5	0 %	« B »	Tous bus confondus	60.0	60.0	0.0	1 bus = 8 auto	équivalent = 67.1 auto / Hre
S-4	Rue du Luxembourg	EC : pavés lisses	Fluide continu	30	5	0 %	Tous sens confondus	Tous bus confondus	69.2	69.3	+ 0.1	1 bus = 9 auto	équivalent = 465.9 auto / Hre
S-5	Rue de Trêves	EC : surface poreuse	Pulsé non différencié	30	5 / 8	1 %	« I »	Tous bus confondus	62.4	63.1	+ 0.7	1 bus = 8 auto	équivalent = 177.3 auto / Hre
S-6	Rue des Epicéas	EC : surface poreuse	Accélééré	30	5	1 %	Tous sens confondus	Tous bus confondus	64.9	64.4	- 0.5	1 bus = 9 auto	équivalent = 218.9 auto / Hre
S-8	Boulevard du Jubilé	EC : pavés lisses	Fluide continu	30	0	0 %	« C »	Tous bus confondus	65.3	65.5	+ 0.2	1 bus = 8 auto	équivalent = 158.0 auto / Hre

Tous les niveaux sonores sont exprimés en dBA

à 4.0 mètres de hauteur

SITE	LOCALISATION	PARAMETRES DE MODELISATION					MESURE SUR SITE			NIVEAU CALCULE	ECART	PARAMETRE « EQUIVALENT VOITURES »	
		Revêtement	Trafic	Vitesse [km/h]	Profil / coupe [m]	Pente	Sens de circulation	Type de bus	Equivalent Ld MESURE			Equivalent Ld CALCULE	« Calcul – mesure »
S-2	Chaussée de Wavre	Chaussée cloutée	Pulsé non différencié	30	5	0 %	« B »	Tous bus confondus	58.4	58.8	+ 0.4	1 bus = 8 auto	équivalent = 67.1 auto / Hre
S-4	Rue du Luxembourg	EC : pavés lisses	Fluide continu	30	5	0 %	Tous sens confondus	Tous bus confondus	67.1	66.9	- 0.2	1 bus = 9 auto	équivalent = 465.9 auto / Hre
S-5	Rue de Trêves	EC : surface poreuse	Pulsé non différencié	30	5 / 8	1 %	« I »	Tous bus confondus	59.9	58.9	- 1.0	1 bus = 8 auto	équivalent = 177.3 auto / Hre
S-6	Rue des Epicéas	EC : surface poreuse	Accélééré	30	5	1 %	Tous sens confondus	Tous bus confondus	61.4	61.3	- 0.1	1 bus = 9 auto	équivalent = 218.9 auto / Hre
S-8	Boulevard du Jubilé	EC : pavés lisses	Fluide continu	30	0	0 %	« C »	Tous bus confondus	61.0	61.6	+ 0.6	1 bus = 8 auto	équivalent = 158.0 auto / Hre

Tous les niveaux sonores sont exprimés en dBA

17 ANNEXE 10 : MATERIEL ROULANT

VAN HOOL : A 330 / A 300

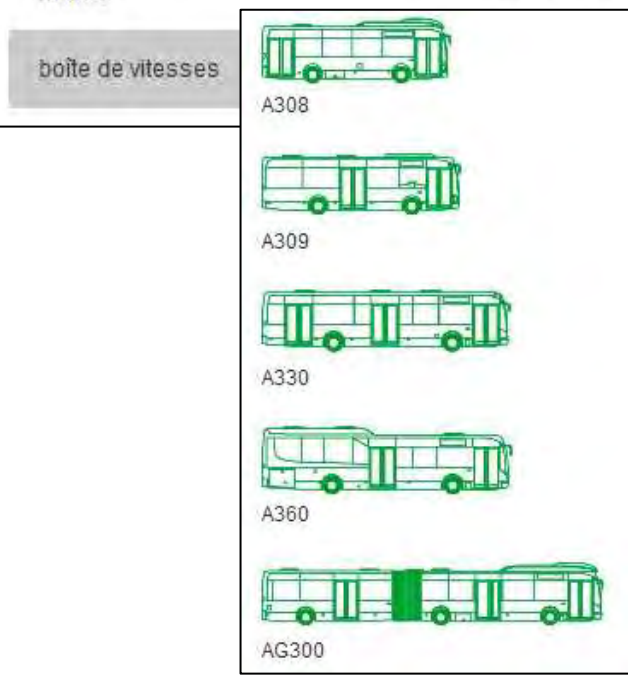


A330

Fiche technique

longueur	11 995 mm
porte-à-faux avant	2 715 mm
empattement	5 790 mm
porte-à-faux arrière	3 490 mm
largeur	2 550 mm
hauteur	3 100 mm
angle d'attaque	7° 7'
angle de départ	7° 7'
hauteur d'accès	330 mm
configuration typique	21 - 40
reservoir de carburant	260 L

moteur	MAN D2066 LOH EURO 5 / EEV 235 kW	DAF PR EURO 5 / EEV 183 / 228 kW
	ZF ECOMAT 4 (ECOLIFE en développement) VOITH	



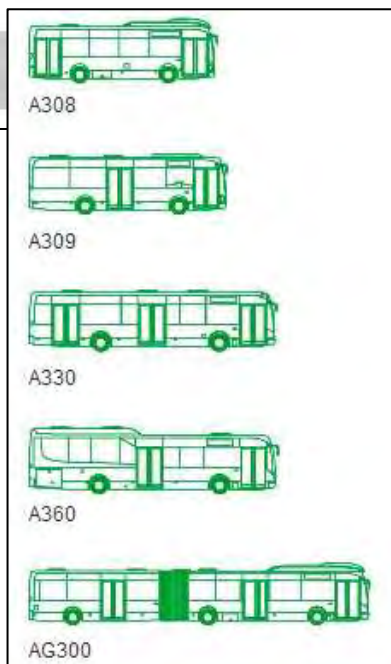
VAN HOOL : A 308



A308

Fiche technique

longueur	9 495 mm
porte-à-faux avant	2 400 mm
empattement	4 500 mm
porte-à-faux arrière	2 595 mm
largeur	2 350 mm
hauteur	3 270 mm
angle d'attaque	7° 7'
angle de départ	7° 7'
hauteur d'accès	330 mm
configuration typique	18
réservoir de carburant	200 L
moteur	MAN D0836 LOH EURO 4 176 kW
boîte de vitesses	ZF ECOMAT 4 (ECOLIFE en développement) VOITH



VAN HOOL : AG 300



AG300

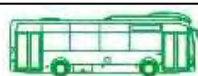
Fiche technique

longueur	18 390 mm
porte-à-faux avant	2 450 mm
empattement	5 790 / 7 750 mm
porte-à-faux arrière	2 400 mm
largeur	2 550 mm
hauteur	3 280 mm
angle d'attaque	7° 7'
angle de départ	7° 7'
hauteur d'accès	340 mm
configuration typique	31
reservoir de carburant	400 L

moteur	MAN D2066 LOH EURO 5 / EEV 235 / 265 kW	DAF PR EURO 5 / EEV 228 / 265 kW
--------	--	-------------------------------------

boîte de vitesses

ZF ECOMAT 4 (ECOLIFE en développement)
VOITH



A308



A309



A330



A360



AG300