

# Pertinence des descripteurs d'ambiance sonore urbaine : application aux bruits des transports pendant les périodes sensibles

Programme "Bruit et nuisances sonores"  
Programmation SRP/BCRD 2003  
Convention de recherche - 18 A/2003  
(référence d'accord n° CV 04000014)

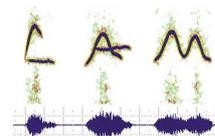
## Rapport final

par

- J.D. Polack, Laboratoire d'Acoustique Musicale (Univ. Paris 6, C.N.R.S., Ministère de la Culture)
- J. Beaumont, B. Robin, S. Lesaux, Laboratoire Transports et Environnement (INRETS)
- C. Pronello, C. Camusso, Institut Polytechnique de Turin
- Ch. Arras, D. Bozzeto, L. Droin, Acouphen



juillet 2007



POLITECNICO DI TORINO



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



## Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>7</b>
<b>Chapitre 1 : Variables de description du bruit et de la perception.....</b>	<b>9</b>
1.1 Analyse structurale des indicateurs acoustiques.....	9
1.2 Un large panel d'indices et d'indicateurs.....	10
1.2.1 La directive européenne du 25 juin 2002.....	10
1.2.2 Les indices statistiques.....	11
1.2.3 Les indices et indicateurs de type évènementiel.....	12
<b>Chapitre 2 : Classification à partir des variables physiques.....</b>	<b>15</b>
2.1 Méthodologie.....	16
2.2 sélection des sites italiens.....	19
2.3 Quelques résultats.....	20
2.4 Discussion.....	22
<b>Chapitre 3 : Classification incluant des mesures acoustiques.....</b>	<b>25</b>
3.1 Eléments théoriques d'analyse des données.....	25
3.1.1 Un peu de vocabulaire.....	25
3.1.2 Analyse en Composantes Principales et Analyse des Correspondances Multiples.....	26
3.1.3 Description de la méthode ACM.....	26
3.1.4 Classification automatique.....	26
3.2 Description des données analysées.....	27
3.3 analyse factorielle et classification des sites lyonnais.....	29
3.3.1 Analyse factorielle des correspondances multiples.....	29
3.3.2 Analyse typologique.....	31
3.4 analyse factorielle et classification des autres sites.....	33
3.4.1 Analyse factorielle des correspondances multiples.....	33
3.4.2 Analyse typologique.....	33
3.5 Variables acoustiques.....	35
3.6 Discussion et conclusion.....	36
<b>Chapitre 4 : Catégorisation perceptive des zones urbaines.....</b>	<b>39</b>
4.1 Principe général des prises de son réalisées et choix du système de reproduction.....	39
4.1.1 Le système <i>Ambisonics</i> .....	40
4.1.2 Ecoute de contrôle stéréophonique à partir du format B.....	43
4.2.3 La restitution en salle d'écoute.....	44
4.2 Protocole expérimental : prises de son en milieu urbain.....	45
4.2.1 Choix des sites étudiés.....	45
4.2.2 Choix des périodes étudiés.....	45
4.2.3 Choix des séquences sonores pour le test d'écoute.....	45
4.3 Test de catégorisation des enregistrements sonores.....	45
4.3.1 Sémantique et objets sonores : des évènements porteurs de sens.....	45
4.3.2 Catégories cognitives en acoustique.....	46
4.3.3 Consignes et déroulement du test perceptif.....	48
4.3.4 Analyses des réponses des sujets.....	48
4.4 Conclusion.....	53
<b>Chapitre 5 : Indices sonores adaptés.....</b>	<b>55</b>
5.1 Les passages de véhicules.....	55
5.1.1 statistiques de passages.....	55

5.1.2 signature des passages .....	56
5.2 Les sources sonores.....	56
5.3 Le modèle systémique.....	56
<b>Conclusion .....</b>	<b>59</b>
Les principaux résultats .....	59
Les problèmes rencontrés. ....	60
Les perspectives. ....	61
Valorisation .....	61
Références générales.....	62
<b>Annexe A : Classification from physical variables .....</b>	<b>65</b>
A.1 Introduction .....	65
A.2 Methodology and site selection .....	67
A.2.1 Introduction .....	67
A.2.2 Methodology .....	67
A.2.3 A <b>first screening</b> in two towns following the methodology .....	73
A.3 The measurement campaign and the survey .....	76
A.3.1 The measurement campaign .....	76
A.3.2 The epidemiological survey.....	88
A.4 The data analysis .....	90
A.4.1. Analysis within each sites.....	90
A.4.2 Analysis of comparison among the sites (full factorial matrix) .....	96
A.5 The noise indicators .....	121
A.5.1 The analysis of the disturbance in respect to the measured noise .....	121
A.5.2 The individuation of best indicators.....	132
A.6 References .....	133
<b>Annexe B : Catégorisation de gêne sonore due au trafic routier.....</b>	<b>135</b>
B.1. Choix des sites pour l'enregistrement.....	135
B.1.1. Introduction des variables et de l'analyse utilisée .....	135
B.1.2. Etude des modalités par l'AFCM sur plan factoriel.....	138
B.1.3. Etude des individus par l'AFCM sur plan factorielle.....	141
B.1.4. Classification par hiérarchie ascendante .....	143
B.1.5. Partition et description des classes .....	144
B.1.6. Comparaison des résultats de chaque étude et conclusion sur une typologie.....	149
B.1.7. Indicateurs acoustiques .....	151
B.2. Préparation au test perceptif : technique d'enregistrement et de restitution .....	156
B.2.1. Description du système de restitution : le système Ambisonics.....	156
B.2.2. le microphone Soundfield .....	156
B.2.3. Méthode de restitution sur haut-parleurs.....	157
B.2.4. Description des caractéristiques de la salle d'écoute.....	158
B.2.5. Prise de son et calibrage.....	159
B.2.6. Choix des séquences sonores.....	159
B.2.7. Conclusion sur les enregistrements. ....	160
B.3. Catégorisation des séquences sonores suivant la gêne .....	161
B.3.1. Etat de l'art.....	161
B.3.2. Questionnaire.....	163
B.4 Références .....	165
B.5 Définitions .....	166
B.6 Contribution des modalités dans l'analyse des modalités.....	167
B.7. Contribution des modalités dans l'analyse des modalités.....	168
B.8 Effectif par groupe.....	169
<b>Annexe C : Analyse typologique urbaine pour la caractérisation des ambiances sonores : application à la ville de Lyon.....</b>	<b>171</b>
C.1 Introduction .....	171
C.2 Eléments théoriques d'analyse des données.....	171
C.2.1 Un peu de vocabulaire.....	171
C.2.2 Analyse en Composantes Principales et Analyse des Correspondances Multiples .....	172
C.2.3 Classification automatique.....	172

C.3 Description des données analysées.....	173
C.4 Présentation des résultats de l'analyse factorielle et de la classification .....	175
C.4.1 Analyse factorielle des correspondances multiples .....	175
C.4.2 Analyse typologique.....	178
C.5 Discussion et conclusion.....	181
<b>Annexe D : Verbalisation et catégorisation libre .....</b>	<b>183</b>
D.1 les instructions du test.....	183
D.2 les 22 séquences sonores.....	184
D.3 l'analyse arborescente.....	185
D.3.1 analyse des objets.....	185
D.3.2 analyse des sujets .....	186
D.4 analyse multidimensionnelle .....	187
<b>Annexe E : Analyse statistique des files d'attentes.....</b>	<b>189</b>
E.1 Base.....	189
E.1.1 Principe .....	189
E.1.2 indépendance statistique.....	189
E.1.3 probabilité d'attente.....	189
E.2 Propriétés avancées.....	190
E.2.1 Fonction caractéristique .....	190
E.2.2 Fonction cumulée .....	190
E.2.3 Indépendance .....	190
E.3 Généralisation .....	190
E.3.1 Généralisation du paramètre de Poisson.....	190
E.3.2 Processus multiples .....	191



## Introduction

Le diagnostic et la gestion des ambiances sonores urbaines sont une entreprise difficile, car elle demande une grande transversalité des acteurs et des compétences. Elle rassemble plusieurs domaines aux préoccupations parfois antagonistes, comme l'environnement, l'économie, les transports ou encore la santé. De plus, au problème scientifique qu'est la description quantitative du bruit s'ajoute le problème psychosociologique qui est celui de la description de la gêne sonore.

Or si l'on dispose d'indices qui permettent la description globale des situations sonores (sur une grande échelle géographique et pour des durées moyennées sur de grandes périodes), les décideurs ne possèdent pas d'outils qui permettent de rendre compte des particularités de la perception des nuisances acoustiques qui sont pour l'essentiel localisées dans le temps et dans l'espace et qui seuls pourront permettre de prendre en compte les réalités de terrain vécues par les riverains.

Voilà pourquoi l'un des buts du présent projet est de pouvoir fournir à ces décideurs des indices adaptés aux particularités des ambiances sonores urbaines pour les périodes sensibles, c'est-à-dire les soirées (pour le repos et l'endormissement) et les matinées (pour le réveil). L'utilisation de ces indices doit également permettre d'améliorer la communication entre les différentes parties prenant part à la gestion des ambiances sonores urbaines. Ces indices doivent être élaborés à partir de situations réelles comme de sites virtuels, ce qui permet de trouver, par exemple, la meilleure configuration du point de vue acoustique. Ces indices doivent aussi constituer de réelles aides pour la planification urbaine (modification des infrastructures de transport, Plan de Déplacement Urbain...).

En outre, s'il est nécessaire de décrire le plus exactement possible les ambiances sonores du point de vue acoustique, il ne faut pas oublier que les effets du bruit (gêne et nuisances) ne sont pas uniquement fonctions du seul niveau acoustique. Cela est d'autant plus vrai que la situation sonore urbaine est tout à fait particulière : le bruit en ville n'est pas qu'une nuisance, il est même parfois signe de vie (activités économiques, mobilité des personnes et des marchandises, activités culturelles,...). Dans la présente recherche, l'étude de la perception et la définition de sites homogènes du point de vue perceptif doit donc servir de base au choix et à l'élaboration des indices, qui sont retenus de sorte qu'ils traduisent, pour chaque groupe, les changements de la perception. On ne tente pas de prendre en compte la gêne dès la construction de l'indice mais uniquement de se servir de la connaissance des caractéristiques que l'on sait influencer sur la perception (prédominance d'une source, caractéristique signifiante du son, bruit particulier,...) pour orienter l'élaboration de l'indice.

L'étude sur des sites représentatifs de la diversité perceptive a été menée pour servir de base à l'élaboration des indicateurs affinés de sorte qu'ils traduisent, pour chaque type retenu, les caractéristiques de la perception ou du vécu sonore des populations ; le poids des variables

non acoustiques sur le ressenti est particulièrement intéressant à tester et à mesurer. Cet aspect est un des éléments forts de la méthodologie retenue dans la présente recherche.

L'exploitation de tels indices, en complément de descripteurs génériques comme le  $L_{den}$  ou le  $L_{night}$ , peut ainsi constituer un appui utile pour les décideurs ou les concepteurs et ce à plusieurs niveaux :

□ dans le temps

- en amont de projets urbains, au niveau de la planification urbaine, de la stratégie des déplacements,
- en aval de projets, pour diagnostiquer une situation délicate, voire faciliter la communication ou établir l'objectivité d'une plainte,
- dans le cadre d'un suivi de l'évolution d'un secteur sensible (particulièrement bruyant ou particulièrement vulnérable) ou encore dans le cadre de la gestion d'un chantier,

□ dans l'espace

- à l'échelle d'un territoire étendu, de type agglomération urbaine (cadre ScoT ou PDU par exemple),
- à l'échelle d'un territoire de type commune (cadre PLU par exemple),
- à l'échelle d'un projet local (modification d'une infrastructure, projet de TCSP, requalification de quartier, etc.)

Enfin, parmi les finalités pragmatiques de ce projet, on recherche les modalités d'exploitation opérationnelle des descripteurs pertinents en précisant les échelles de valeurs mises en évidence.

Le présent rapport présente les résultats obtenus au cours du contrat. Le chapitre 1 vise à faire une synthèse de toutes les variables jouant un rôle dans la description du bruit et de la perception, en passant en revue les indices et indicateurs acoustiques avec une attention spécifique à la directive européenne du 25 juin 2002. Il est suivi d'une présentation de la méthodologie de classification des sites à partir des variables physiques (chapitre 2), qui est appliquée à notre corpus de sites pour obtenir une classification incluant des mesures acoustiques au chapitre 3. Enfin, les techniques de prise et restitution du son, retenues pour cette étude, sont présentées au chapitre 4, en vue d'une catégorisation perceptive des zones urbaines, afin de répondre à la question de fond : la classification typologique des sites obtenues à partir des variables physiques est-elle perceptivement pertinente ? Le chapitre 5 est consacré à la définition d'indices sonores adaptés à chaque catégorie.

# Chapitre 1 : Variables de description du bruit et de la perception

Le choix d'un indicateur est un compromis entre une bonne évaluation des effets du bruit, la facilité de mesure et/ou de prévision et la facilité de compréhension par les riverains, les associations de défense de l'environnement et les élus. Trop d'indicateurs rendent le résultat confus et occultent la vue d'ensemble que l'on veut obtenir, tandis que peu d'indicateurs risque de ne pas être représentatif de l'ensemble d'une situation.

## 1.1 Analyse structurelle des indicateurs acoustiques

Pour la clareté de l'exposé, nous sommes amenés à faire la différence entre indice et indicateur. Il a d'ailleurs été proposé d'utiliser le terme *métrique de bruit* à la place d'*indice* pour lever l'ambiguïté entre les deux termes. Un indice acoustique a pour vocation de caractériser le bruit émis par la(les) source(s) sonore(s), en ne prenant en compte que le phénomène physique. Un indicateur acoustique prend en compte les grandeurs de source, définies par un ou plusieurs indices acoustiques, les grandeurs de cible (population exposée par exemple) et les grandeurs d'impact qui traduisent la manière dont les nuisances sont ressenties par les cibles touchées. L'objectif d'un indicateur acoustique est d'étudier la gêne alors que celui de l'indice acoustique est de caractériser les nuisances (ou grandeurs) physiques.

L'analyse structurelle et morphologique des indicateurs, réalisée par M. Maurin (2002, 2003a, 2003b), a permis d'identifier les étapes majeures de la construction d'indicateurs d'impact. Cette analyse distingue les données en entrée, et toutes les transformations qu'elles subissent lors des différentes étapes de la construction. L'établissement d'un indicateur nécessite donc la définition des grandeurs suivantes :

- grandeurs de source (caractérisent les nuisances physiques)
- grandeurs de site (identification du site et caractéristiques géométriques)
- grandeurs de cible (qui ressent ou éprouve un effet causé par les grandeurs de source, les grandeurs de cible sont de nature extensive)
- grandeurs d'impact (traduisent la manière dont les nuisances sont ressenties par les cibles touchées).

L'intérêt de la grandeur d'impact réside dans le fait que l'exposition peut ne pas traduire l'importance véritable de l'effet que produit cette nuisance sur la cible. Les étapes majeures dans la construction d'un indicateur sont :

- le conditionnement des données : lissage, reconstitution de données manquantes, fusion de données de fichiers différents, etc.
  - la détermination des transformations entre la grandeur de source et d'impact, et entre la métrique de bruit retenue et la gêne. Pour cela, il faut :
  - définir les grandeurs de source
  - définir la grandeur d'impact

- définir la transformation faisant passer de la grandeur de source à la grandeur d'impact (la loi pouvant être numérique ou catégorielle, déterministe ou probabiliste). La transformation respecte le caractère extensif ou intensif de la grandeur de source
- le croisement de la cible avec l'impact (en faisant des ratios de grandeurs de source et de cible, en croisant des grandeurs de source intensives avec les grandeurs extensives de cible, etc.). Ce croisement figure souvent dans la construction de l'indicateur sans être clairement identifié
- l'agrégation ou des sous-agrégations emboîtées (les grandeurs d'impact à agréger devant être relativement homogènes).

Il est important de noter que le calcul d'un indicateur doit être modulaire pour pouvoir se prêter à l'évolution des outils particuliers, notamment en ce qui concerne la définition des données d'entrée, donc des métriques de bruit utilisées.

On s'intéresse à la définition des grandeurs de source, qui caractérisent l'exposition à laquelle la cible est soumise. Ce sont des grandeurs physiques, à valeurs ponctuelles et intensives, mesurables et éventuellement modélisables. Une des pistes de recherche est de caractériser ces grandeurs de source à l'aide d'une analyse temps-fréquence, outil qui n'a jusqu'alors pas été utilisé dans le cadre de cette problématique.

## 1.2 Un large panel d'indices et d'indicateurs

Diverses méthodes d'évaluation des niveaux sonores, de la gêne et plus généralement des nuisances dues aux bruits ont été proposées. On distingue les approches énergétiques ( $L_{Aeq}$ ,  $L_{den}$ , etc), les approches statistiques ( $L_{10}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{50}$ ), les indices de crête ( $L_{max}$ ) et les indices "évènementiels" (SEL, NNI, NNE).

### 1.2.1 La directive européenne du 25 juin 2002

Les indicateurs acoustiques  $L_{den}$  et  $L_{night}$ , fixés par la directive européenne du 25 juin 2002, correspondent à des moyennes énergétiques temporelles. Ils sont basés sur le niveau énergétique équivalent, qui a la dimension d'un flux d'énergie, défini par :

$$L_{eq} = 10 * \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L}{10}} . dt \quad (1)$$

T étant la période d'intégration, sur laquelle le bruit est supposé continu, et L le niveau de pression "instantané".

Si l'on considère un bruit variable perçu pendant une période de temps T, le  $L_{eq}$  représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit réellement perçu pendant cette période. Le  $L_{eq}$  correspond à la moyenne énergétique temporelle d'un signal sonore fluctuant au cours du temps, pendant une durée d'observation T.

Le  $L_{den}$ , ou niveau jour-soir-nuit exprimé en décibels et pondéré A, prend en compte les différentes périodes de la journée avec des pénalités pour le soir et la nuit :

$$L_{den} = 10 * \log \frac{1}{24} \left( 12 * 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (2)$$

$L_{day}$ ,  $L_{evening}$  et  $L_{night}$  correspondent respectivement aux  $L_{eq}$  calculés sur les périodes 7h-19h, 19h-23h et 23h-7h.

Les indicateurs réglementaires, tels que le  $L_{den}$  et le  $L_{night}$ , ont pour vocation de caractériser de façon globale les situations sonores, mais ils ne suffisent pas pour évaluer le bruit et la gêne due aux transports en milieu urbain, qui dépendent aussi d'autres éléments tels que les émergences énergétiques (écart entre le niveau max et le bruit de fond), les émergences tonales (ou tonalités marquées) et le nombre d'évènements. En effet, en utilisant ces

indicateurs, qui sont des moyennes énergétiques sur de longues périodes d'intégration, on perd l'évolution temporelle de la situation sonore (Flahaut 1996). Dès les années 70, P. Lienard (1978) mis en garde que la probabilité de dépassement d'un seuil ou le niveau d'énergie reçue ne suffiraient pas pour chiffrer la gêne qui dépend aussi d'autres éléments tels que l'écart des niveaux de pointe par rapport au bruit de fond, ou la période de jour ou de nuit. L'importance des émergences a aussi été mise en évidence par des études perceptives, qui ont montré que, dans certaines situations, la gêne est maximale le matin lorsque le trafic est faible, ce qui correspond à des émergences fortes.

Dans le cadre d'une étude sur l'impact sonore lors de l'opération "Journée sans voitures", sept typologies de sites urbains, où les transports en commun sont présents, ont été testées. Il a été observé qu'une émergence perceptive des transports en commun n'est pas forcément accessible à la mesure physique avec les outils actuels. De plus, il ressort de cette étude deux grands types de sites urbains. Le premier type de site est caractérisé par des émergences fortes, ce qui correspond à un niveau de bruit de fond assez bas, et le deuxième type est qualifié de "magma" sonore où il n'y a pas d'émergence physique, mais où les transports en commun sont perçus. Les enquêtes réalisées montrent que la première source sonore identifiée correspond aux transports en commun, alors que cette source n'est qu'en cinquième position lors d'une journée "normale" et que la différence, en terme de  $L_{Aeq}$ , n'est que d'environ 2 dB(A). Ces résultats illustrent bien l'intérêt de développer un nouvel outil de description des sources sonores, puisque les outils classiques utilisés en milieu urbain ne se trouvent pas être assez précis. En milieu urbain, la gêne dépend tout autant des événements sonores isolés, des émergences, des tonalités marquées, des signatures sonores particulières que du volume du trafic proprement dit (Hamet 1998).

Le niveau énergétique équivalent pondéré A reste pour l'instant l'outil préconisé par les différentes réglementations. Schomer a proposé une amélioration au  $L_{Aeq}$  afin de mieux prendre en compte les déficiences du niveau énergétique équivalent (Dumas 2001). Il préconise l'utilisation des courbes d'égalité sonores comme filtre dynamique, qui change à la fois avec le niveau sonore et avec la fréquence, contrairement à la pondération A. Le  $LL - L_{eq}$ , *loudness-level-weighted equivalent level*, permettrait de mieux évaluer les bruits à composantes basses fréquences importantes, alors que la pondération A les atténue, et les bruits de type impulsif.

### 1.2.2 Les indices statistiques

Basés sur le niveau de pression instantané ou sur le niveau énergétique équivalent, ces indices correspondent au niveau dépassé pendant un certain pourcentage du temps d'observation. Le  $L_{90}$ , niveau dépassé pendant 90% du temps d'étude, est censé représenter le bruit de fond. Le  $L_1$  et le  $L_{10}$  ont été utilisés pour prendre en compte les émergences. Le niveau  $L_{50}$ , médiane statistique, correspond au niveau acoustique moyen du site étudié. Ces indices ne sont représentatifs que si l'échantillon statistique est suffisamment important et si la distribution est proche d'une loi gaussienne. Les valeurs extrêmes ne sont stables que pour des durées d'observation assez longues. L'expérience montre que le niveau  $L_1$  relevé pendant 15 minutes est stable et significatif pour la plupart des bruits industriels et urbains (Lienard 1978). La répartition des niveaux de bruit au cours du temps est en général aléatoire et suit une loi de Gauss lorsque le débit de véhicules est assez élevé (trafic supérieur à 500 véhicules/heure). Ces indices ne seraient donc valables que pour un nombre d'événements important et pour des durées d'observation statistiquement valables.

En Grande-Bretagne, plusieurs indicateurs ont été proposés afin de prendre en compte les "nuisances" liées à l'aspect fluctuant du bruit urbain. Le *Traffic Noise Index (TNI)* a été mis au point spécialement pour le bruit de trafic routier. Il est basé sur des indices statistiques et est

définir par la relation  $TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$ . On peut remarquer que la valeur de cet indice diminue lorsque le bruit de fond augmente, puisqu'il varie comme  $-3L_{90}$ .

Une deuxième proposition est basée sur le taux d'insatisfaction manifesté par des observateurs soumis à diverses distributions de bruit. La détermination expérimentale des coefficients et quelques simplifications numériques les ont conduit au  $L_{np}$ , *level of noise pollution*, prenant en compte le niveau moyen ainsi que l'écart-type des niveaux sonores. Il est défini par:

$$L_{np} = L_{eq} + K\sigma = L_{eq} + (L_{10} - L_{90}) \quad (3)$$

Dans le cas d'une répartition gaussienne,  $L_{10} - L_{90} = 2,56\sigma$ ,  $K = 2,56$  et :

$$L_{np} = L_{50} + \frac{(L_{10} - L_{90})^2}{56} + (L_{10} - L_{90}) \quad (4)$$

### 1.2.3 Les indices et indicateurs de type évènementiel

L'objectif de ces indices et indicateurs est la prise en compte des évènements sonores, c'est-à-dire des émergences par rapport au bruit de fond.

L'indicateur le plus simple proposé est le  $L_{max}$ , ou  $L_{Amax}$ , qui correspond à un indicateur de pics de bruit. Il est calculé en faisant la moyenne, sur la période temps étudiée, des valeurs maximales du  $L_p$  ou du  $L_{eq}$ , qui dépendent de la précision temporelle d'analyse. Pour pouvoir prendre en compte un évènement sonore, il faut que la durée d'intégration soit adaptée à la durée de l'évènement que l'on souhaite étudier.

Sound Exposure Level (SEL) L'indicateur de pics  $L_{max}$  ne prenant pas en compte l'aspect énergétique, le SEL a été proposé pour combler cette carence. Cet indicateur correspond au niveau énergétique équivalent ramené à 1s. Il prend en compte le niveau sonore, la durée de l'évènement et donc son aspect énergétique.

Number of noise events (NNE) Le NNE est un indice simple d'émergence puisqu'il consiste à fixer un seuil et à compter le nombre de fois que ce seuil est dépassé pendant la durée d'observation. Le seuil préconisé par les normes en vigueur (NFS 31-010) correspond au  $L_{90} + 5dB(A)$  pour la période diurne et au  $L_{90} + 3dB(A)$  pour la période nocturne.

L'*indice de masque* est un indice dérivé du NNE qui a pour objectif la prise en compte de l'aspect temporel des émergences sonores. Son calcul revient à déterminer la durée cumulée des émergences, durée cumulée pendant laquelle le niveau dépasse un seuil fixé.

M. Raimbault (2002), dans le cadre de sa thèse, a proposé de pondérer le nombre d'émergences en fonction du temps d'apparition des émergences sur un fragment d'étude de 25 minutes. L'indice d'émergence sur la durée qu'elle propose est défini par le rapport entre le nombre d'émergence et la durée en secondes. Cet indice informerait du caractère impulsif et fragmenté de la séquence sonore étudiée. Cependant, il se pose la question du choix du seuil, qui est *a priori* relatif aux sites étudiés et lié à la forte variabilité du bruit de fond en milieu urbain.

Noise and Number Index (NNI) et indice psychologique Ces indicateurs ont été créés à l'origine pour évaluer le bruit lié au trafic aérien. Le *Noise and Number Index* est l'indice utilisé en Grande-Bretagne pour le bruit d'avions. Il prend en compte le nombre de passages d'avions (N) et le niveau sonore maximum de chaque passage d'avion ( $L_{pni}$ ).

$$NNI = 10 * \log\left(\frac{1}{N} * \sum 10^{L_{pni}/10}\right) + 15\log(N) - 80 \quad (5)$$

Le NNI correspond donc à la valeur moyenne des niveaux maximums additionnée de deux termes décrivant la gêne due aux bruits du trafic aérien, l'unité est le PNdB (*Perceived Noise decibel*). Le choix du facteur 15 dépend de l'importance que l'on souhaite donner aux nombre d'évènements.

L'indice *psophique* est l'adaptation française du NNI, à la différence que celui-ci différencie les passages de jour et de nuit :

$$I_e = L_{pn} + 10 \cdot \log(n_1 + 10 \cdot n_2) - 32PNdB \quad (6)$$

avec :

$$L_{pn} = 10 \cdot \log\left[\frac{1}{(n_1 + n_2)} \cdot (\sum 10^{L_i/10} + \sum 10^{(L_j+10)/10})\right]$$

$n_1$  : nombre de passages de jour

$n_2$  : nombre de passages de nuit

$L_i$  : niveau sonore de passage d'avion de jour

$L_j$  : niveau sonore de passage d'avion de nuit

La probabilité de dépassement d'un seuil, ou le niveau d'énergie reçue, ne suffisent pas à évaluer le bruit en milieu urbain et à retranscrire le vécu sonore des riverains, qui dépendent aussi d'autres paramètres tels que l'écart des niveaux de pointe par rapport au bruit de fond, du nombre et de la durée des évènements, des périodes de jour ou de nuit et de silence.

Le bruit en milieu urbain est, par nature, un phénomène fluctuant dans le temps. Le niveau énergétique équivalent, ainsi que ses dérivés tels que le  $L_{den}$ , sont adaptés pour évaluer l'exposition globale, mais ils ne sont pas conçus pour rendre compte des effets d'un trafic très fluctuant. Ils ne permettent pas d'évaluer les effets de crête, ni l'amplitude et la fréquence de variation du niveau de bruit sur la période d'étude. En milieu urbain, les riverains sont sensibles à des aspects qualitatifs dont la variabilité du bruit, ce qui n'est pas pris en compte par les indicateurs réglementaires basés sur des niveaux moyens.

En raison du caractère statistique du  $L_{eq}$ , il faut qu'il existe un grand nombre d'évènements ou que le bruit soit relativement homogène pendant la durée d'étude, c'est-à-dire une répartition gaussienne des niveaux sonores. Dans le cadre de cette étude, on souhaite aller au-delà des logiques quantitatives, valables pour un grand nombre d'évènements, en étudiant entre autres comment les sujets humains perçoivent – c'est-à-dire catégorisent – l'environnement sonore urbain. Mais celui-ci se caractérise par une telle variété de situations qu'il est indispensable dans un premier temps d'en dresser la typologie pour guider le choix des sites d'enregistrement. C'est l'objet des deux chapitres qui suivent.



## Chapitre 2 : Classification à partir des variables physiques

De manière étrange mais compréhensible, aucune variable de bruit n'intervient dans les modèles de prédiction des infrastructures routières. Il y a deux raisons principales à cela. La première, c'est que la majeure partie des études sur le trafic induit ont été réalisées aux Etats-Unis, où le nombre de routes construites a fortement augmenté au cours des dernières décades et où beaucoup de données sont disponibles, mais où également l'ONAC (Office of Noise Abatement and Control) a été fermé en 1981, avec pour conséquence le fait que les études de bruit sont moins importantes que les études sur la pollution de l'air. La seconde raison, c'est que les effets du bruit sur la santé sont moins évidents que ceux de la pollution de l'air, et sont donc considérés comme moins nocifs.

La politique européenne récente en matière de bruit cherche à harmoniser les méthodes d'analyse des données. Le but est de dresser des « cartes de bruit » et de définir des valeurs seuils. Pour les voies ferrées, la réglementation sur les niveaux de bruit admissibles a été présentée en 1993. Elle fut approuvée par le Parlement Européen, mais retirée par la commission la même année. L'une des raisons avancées était que les wagons en provenance de pays non-membres, et qui ne sont donc pas soumis aux seuils d'émission sonore de la Communauté, ont un accès sans restriction aux réseaux de l'Union Européennes (Commission Européenne, 1996)

Entre temps, plusieurs pays européens ont décidé d'établir des procédures de contrôle des émissions sonores du trafic ferroviaire.

Comme la caractérisation de la seule source de bruit n'est pas suffisante pour décrire correctement les événements sonores, nous proposons de focaliser les recherches sur la définition de sites standards. « Récurrents » en contexte urbain ou interurbain, ces sites sont caractérisés par une combinaison précise de variables décrivant l'infrastructure, les véhicules et l'environnement proche, y compris les conditions météorologiques, même si ces dernières ne sont pas significatives à proximité, mais seulement à distance plus grandes. Ainsi, un site sera caractérisé en termes de « forme », densité (ou intensité d'usage des terres), et de catégories des habitants : pourcentage d'enfants, de personnes âgées, etc. Savoir seulement combien de personnes sont affectées par certains impacts est certes important, mais n'est pas suffisant. En effet, le degré de risque est différent et le même impact peut créer plus de dommages aux enfants et personnes âgées qu'aux autres.

Les indicateurs de bruit doivent donc permettre l'évaluation et la prédiction du bruit et de la gêne dues aux sources sonores urbaines. Il faut les définir en fonction d'une combinaison de variables caractérisant chaque site (sources sonores, environnement, population). Pour obtenir un tel résultat, la recherche doit se dérouler en plusieurs phases, qui sont schématisées sur la figure suivante :

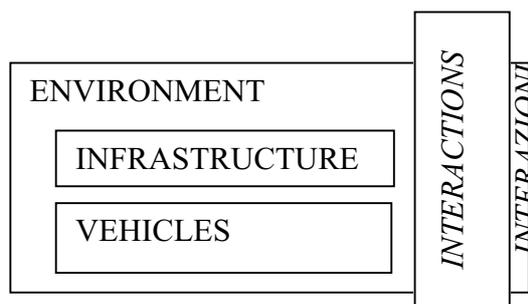


Figure 1 – Diagramme du “système urbain” en fonction du bruit du système des transports.

## 2.1 Méthodologie

La méthodologie a été définie pour analyser le système urbain dans sa globalité, et pour examiner les interactions entre variables impliquées dans la production et diffusion du bruit, dans le but de :

- identifier les variables influençant le bruit produit par les activités humaines (transports, humains, etc.) ;
- définir les « sites standards » où conduire les mesures.

L’identification des caractéristiques des sites standards est fondamentale pour les mesures, parce que la caractérisation de la source de bruit en elle-même n’est pas suffisante pour bien comprendre l’événement sonore. En effet, cet événement crée des effets différents en fonction du lieu et de l’environnement dans lesquels il se produit. Cela signifie que deux sous-systèmes sont présents et interagissent dans le système environnement : l’infrastructure, et les véhicules (Pronello, 2003 ; Pronello et Iannelli, 2002).

Dans le cas de l’environnement sonore urbain, il faut donc distinguer :

1. **les véhicules**, avec leurs caractéristiques, les conditions et comportements de conduite, la composition du trafic (figure 2) ;

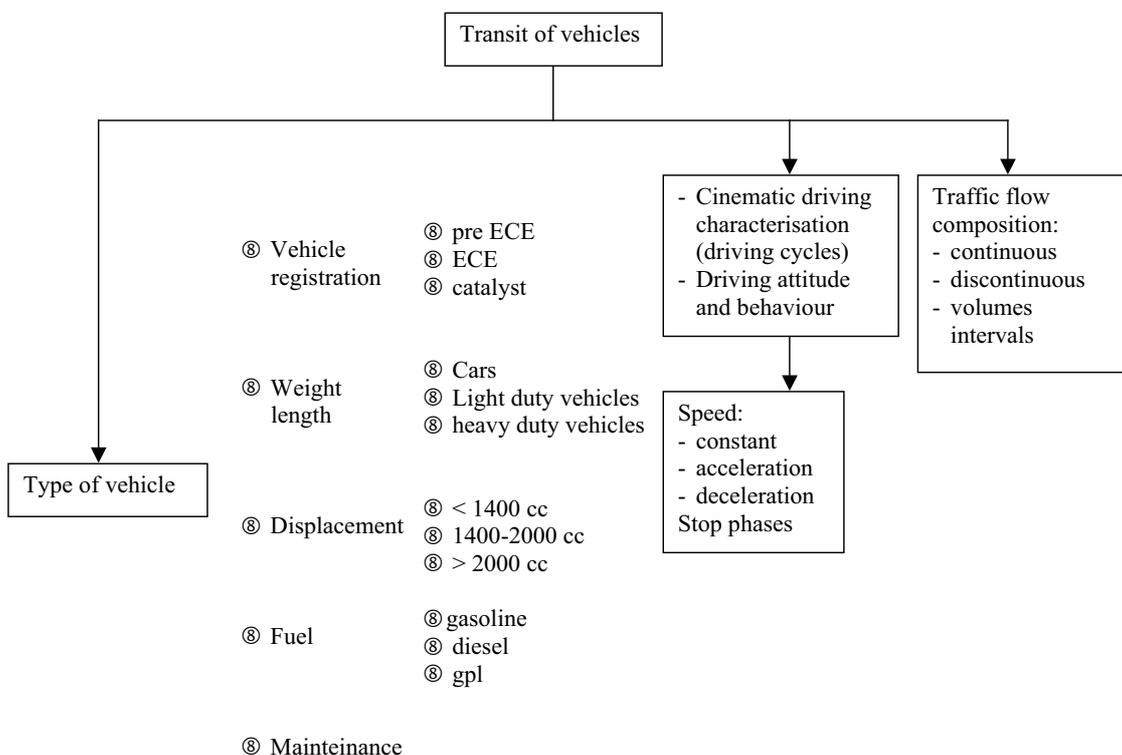


Figure 2 - Les variables caractérisant les véhicules routiers.

2. **l'infrastructure**, avec ses caractéristiques géométriques, sa typologie, ses conditions d'entretien, y compris l'infrastructure de régulation (figure 3) ;

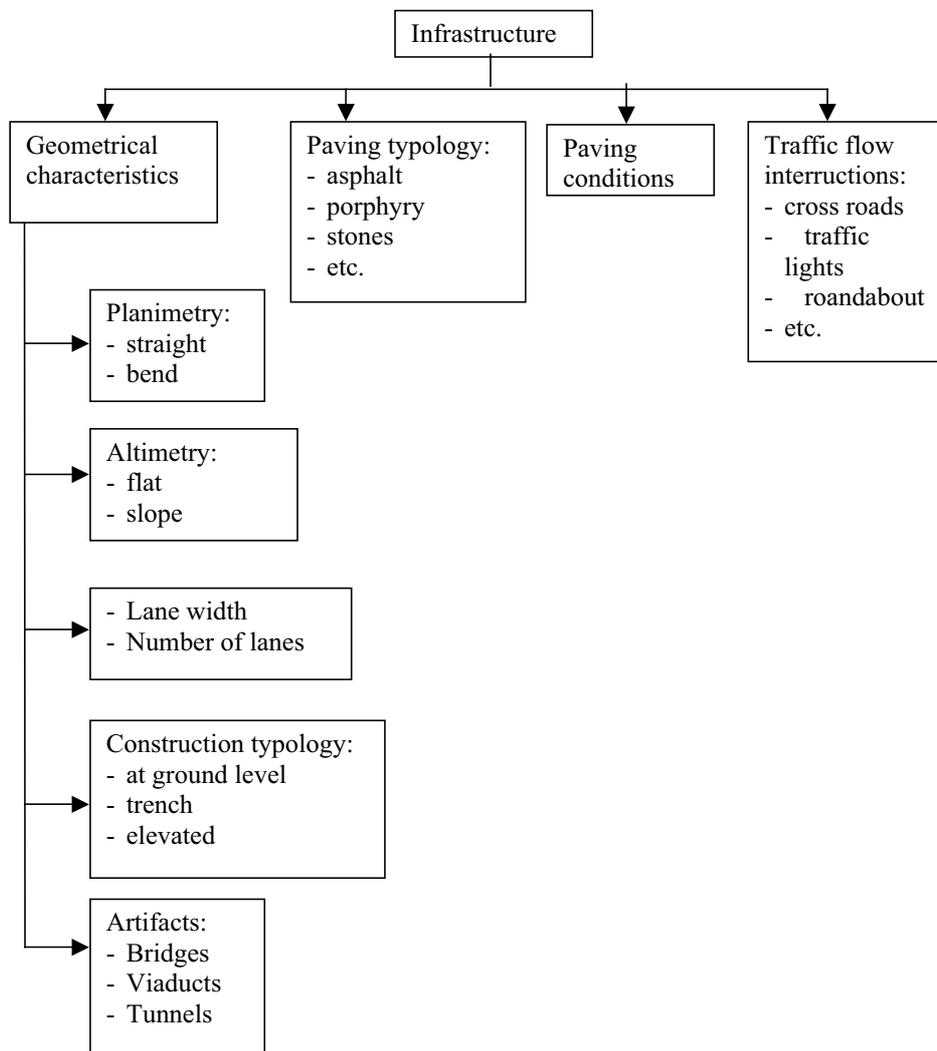


Figure 3 – Les variables caractérisant l'infrastructure routière.

3. **l'environnement**, caractérisé par la présence ou l'absence d'obstacle, les conditions météorologiques, et la qualité de vie (aspects visuels, socio-économiques, et politiques ; figure 4)

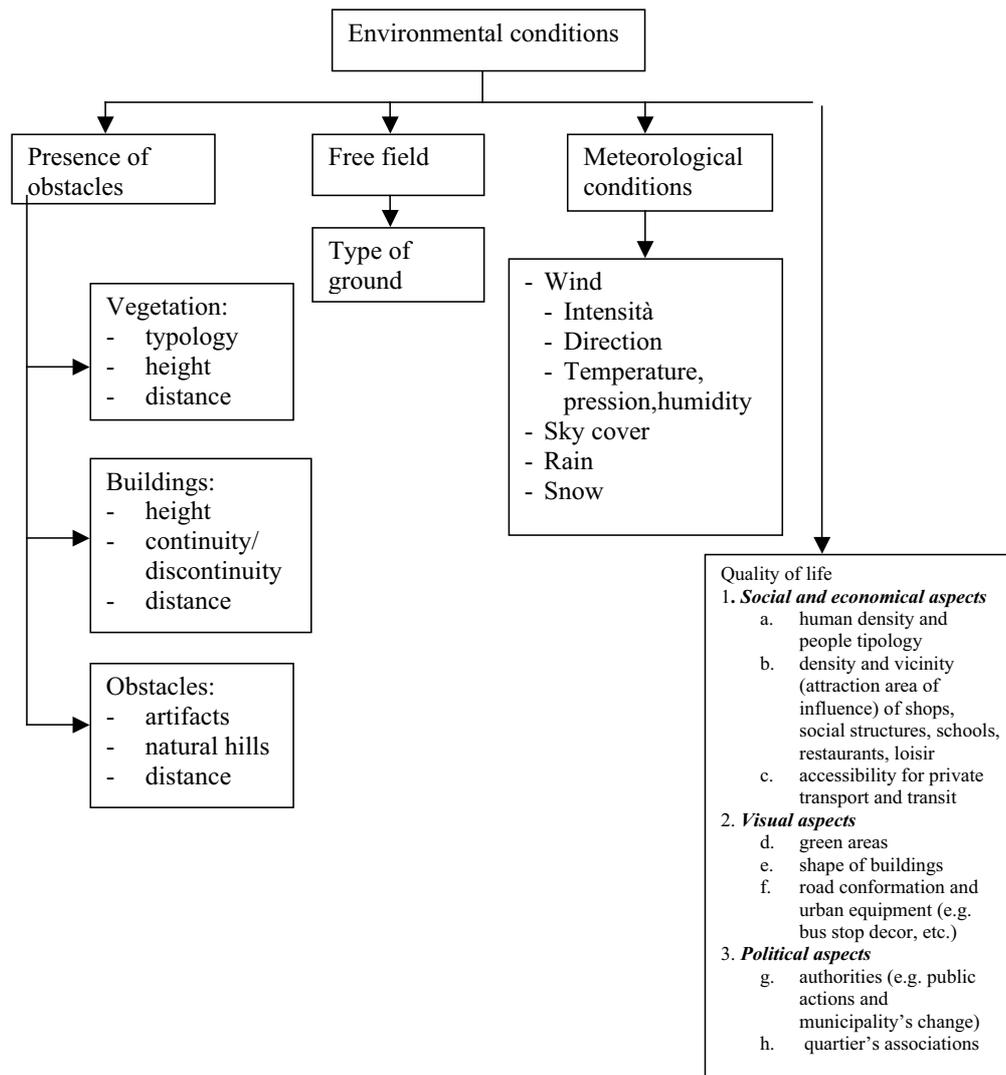


Figure 4 - Les variables caractérisant les conditions environnementales.

A partir de toutes ces variables, il est possible de construire une longue liste de combinaisons caractéristiques de différents sites et produisant différents niveaux sonores. C'est le propre du plan d'expérience de définir le nombre optimum et la typologie des combinaisons à retenir pour les sites de mesure (Fawlkes et Creveling, 1995). Le plan d'expérience spécifie en effet les facteurs qui peuvent influencer la valeur moyenne et la variance d'une variable dépendante, le niveau sonore dans notre cas. Il permet également de faire varier le niveau de plusieurs facteurs de manière concomitante en conservant la possibilité d'analyser les résultats.

L'analyse de toutes les combinaisons, à tous les niveaux, pour toutes les variables définies précédemment demande beaucoup trop de tests. Il faut donc sélectionner une fraction de ces combinaisons, tout en assurant l'orthogonalité des matrices pour conserver l'efficacité du plan expérimental. Un exemple de plan expérimental où les facteurs ont seulement deux niveaux est donné dans la table 1 pour 13 facteurs. La matrice d'interaction résultante est alors une matrice 13x13 dont les éléments prennent seulement deux valeurs. Cela fait 169x2, soit 338 sites à répertorier pour y effectuer les mesures.

Table 1 – Exemple de facteurs caractérisant le bruit, classés en deux niveaux.

Facteurs	Niveaux	
	double sens	sens unique
Conditions de circulation	double sens	sens unique
Nombre de voies	≤ 2 voies	> 2 voies
Largeur de rue	8 mètres	> 8 mètres
Diviseur de trafic	oui	non
Tramway	oui	non
Bâtiments (côté 1)	oui	non
Bâtiments (coté 2)	oui	non
Typologie de la chaussée	asphalte	autre
Nombre de voitures	< 44 véhic./ 5 mn.	> 44 véhic./ 5 mn.
Vitesse des voitures	60 km/h	> 60 km/h
Température	30 °C	> 30 °C
Humidité relative	50 %	> 50 %
Vent	absent	présent

## 2.2 sélection des sites italiens

Au démarrage du projet, 28 sites italiens avaient déjà fait l'objet de campagnes de mesures acoustiques. Ils correspondaient à seulement 7 des facteurs de la table 1, et ne correspondent même pas aux 49 sites nécessaires pour remplir la matrice du plan d'expérience.

La première constatation de cet état des lieux est que la liste des variables définies par les figures 2 à 4 est beaucoup trop exhaustive pour permettre un plan d'expérience réaliste. De plus, toutes les combinaisons n'existent pas dans la réalité. Il faut donc simplifier le plan d'expérience.

La technique de simplification du plan d'expérience est détaillée en annexe 1. Elle mène à ne retenir que 3 facteurs, avec seulement deux niveaux chacun : nombre de voies, présence de tramway, section (en U ou en L). Pour prendre en compte également la largeur de la rue, le plan d'expérience est scindé en deux : une matrice complète pour les rues à 1 ou 2 voies ( $2^3=8$  combinaisons) ; et une matrice incomplète pour les rues à 2 ou 4 voies (seulement 4 combinaisons retenues). Malgré tout, les 28 sites mesurés ne correspondent qu'à 7 des combinaisons, dont l'une est d'ailleurs commune aux deux matrices. Il a donc fallu compléter les mesures par 4 autres types de sites – en tenant compte des redondances entre matrices.

La campagne de mesure est détaillée en annexe 1, avec la liste des paramètres mesurés. L'un des sites retenus est présenté sur la figure 5, avec une coupe détaillant la configuration des mesures acoustiques.

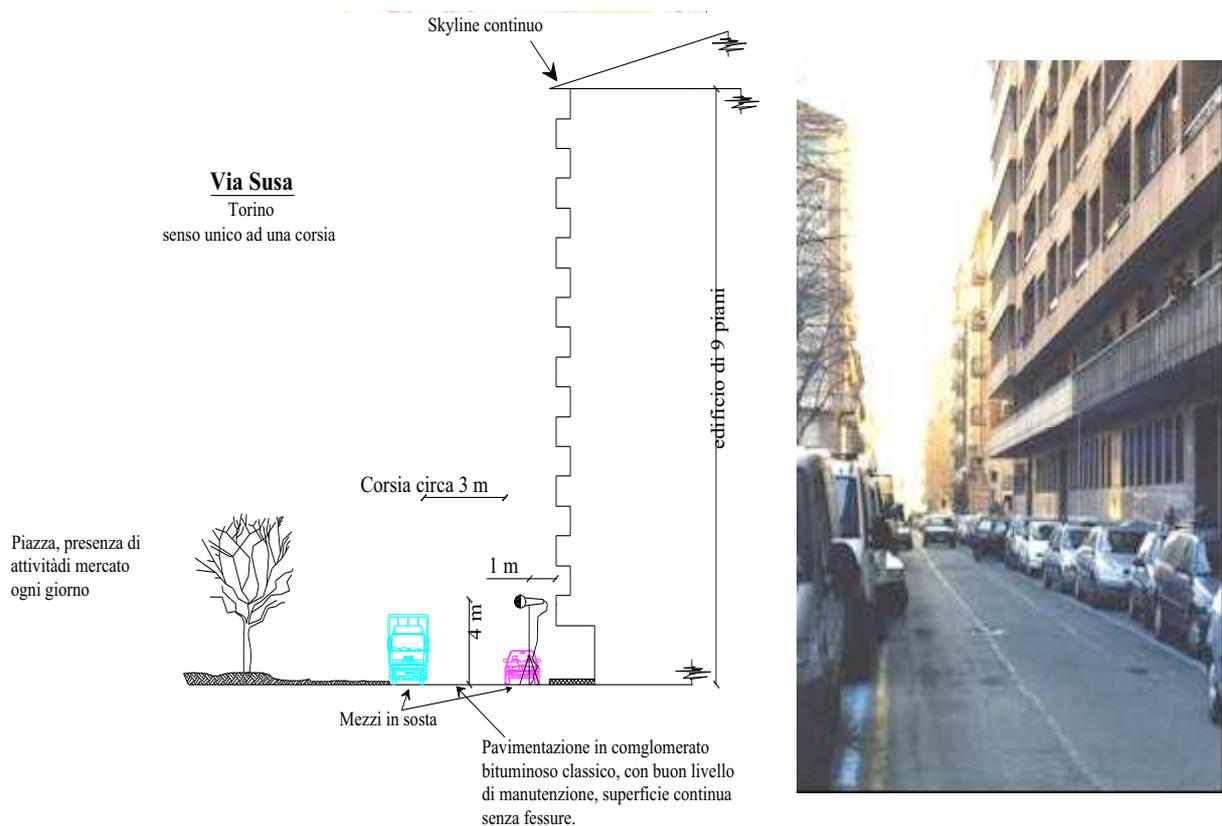
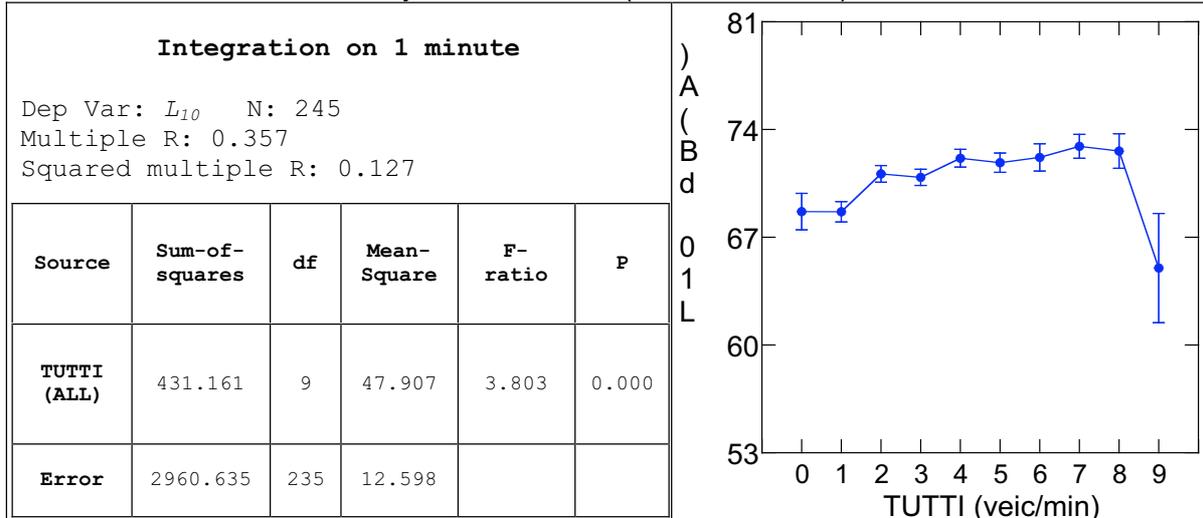


Figure 5 – Site de la Via Susa : coupe indiquant la configuration de mesure, et photo correspondante.

## 2.3 Quelques résultats

L'analyse s'est attaché à étudier comment les niveaux sonores –  $L_{eq}$ , mais également la série statistique  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$  – varient en fonction des caractéristiques géométriques et des taux de circulation mesurés sur différents intervalles de temps entre 1mn et 30mn (analyse de la variance, ou ANOVA). Elle a permis de prouver que les caractéristiques géométriques sont de bons prédicteurs des taux de circulation. Comme elles sont plus faciles à mesurer, elles suffisent donc à établir la typologie des sites. De manière générale, nous trouvons un accroissement du niveau sonore avec le taux de circulation, à l'instar de la table 2 pour le niveau  $L_{10}$  – dépassé 10% du temps. Cependant, il est indispensable de disposer de la série statistique complète des niveaux, car non seulement les différents termes de cette série croissent différemment avec le taux de circulation, mais encore l'accroissement du niveau sonore avec le taux de circulation n'est pas monotone : il est plus important pour de longue période. Enfin, cette série statistique doit être calculer pour des tranches horaires semblables sur tous les sites, afin de pouvoir évaluer l'influence de la période de la journée. Cette dernière remarque pose la question de la complétude et de l'indexation des bases de données acoustiques, question qui mérite une attention particulière dans le contexte des observatoires du bruit chargés de surveiller l'évolution de l'environnement sonore urbain sur plusieurs décennies.

Table 2 – Analyse sur 1 minute (L<sub>10</sub> vs Vehicules) – Via Susa



Les principaux résultats sont :

- L'analyse des données sur 10 minutes montre que les sites en U sont plus bruyants d'environ 3-4 dBA que les sites en L à nombre de voies et taux de circulation égaux (figures 6 et 7). Pour les sites à une voie, la différence est observée pour tous les taux de circulation, tandis que pour les sites à deux voies, la différence n'est observée que pour des taux de circulation moyens (de 50 à 250 véhicules en 10 minutes) ; pour des taux de circulation inférieurs ou supérieurs, les sites en L sont plus bruyants.

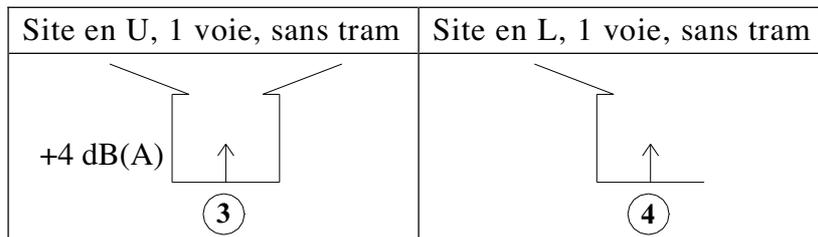


Figure 6 – Comparaison géométrique des sites 3 et 4

Dans le cas des sites à une voie (figure 6), on observe cependant une diminution de la différence entre les deux typologies de rues quand la largeur augmente.

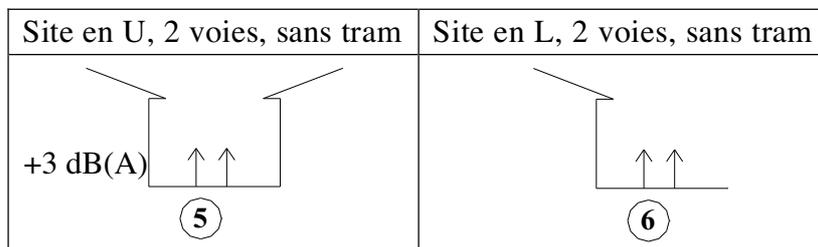


Figure 7 – Comparaison géométrique des sites 5 et 6

- L'analyse des données sur 5 minutes montre que les sites en U à deux voies sont plus bruyants d'environ 3-4 dBA que les sites en U à une voie à taux de circulation égal, dans les deux cas en l'absence de tramway (figure 8).

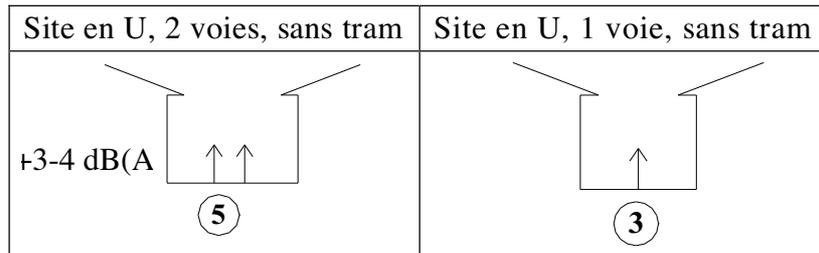


Figure 8 – Comparaison géométrique des sites 5 et 3

- L'analyse des données sur 5 et 10 minutes montre que les sites en L à une voie avec tramway sont plus bruyants d'environ 5-6 dBA que les mêmes sites sans tramway (figure 9). Contrairement au tramway, le taux de circulation n'a pas d'influence sur le niveau de bruit pour les rues étroites et à trafic modéré.

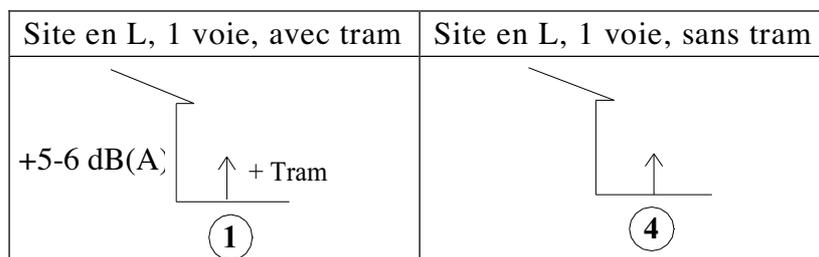


Figure 9 – Comparaison géométrique des sites 1 et 4

- En ce qui concerne la largeur de la rue, les sites en L avec 1-2 voies et le tramway sont plus bruyants d'environ 4 dBA que les mêmes sites sans tramway. Par contre, dans les sites en L avec 2 voies et une voie de service latérale, le tramway n'a pas d'influence sur le niveau sonore. L'interprétation est que, dans les rues très larges, le tramway ne contribue pas à augmenter le niveau sonore parce que le bruit induit par le trafic devient la seule source de bruit.

La réverbération pourrait cependant fournir une autre explication. En effet, dans les rues larges, la réverbération est faible, et le niveau maximum varie peu avec le taux de circulation. Au contraire des rues étroites où la réverbération augmente les niveaux de bruit quand le taux de circulation augmente. Ceci justifie d'étudier les événements sonores un par un. D'ailleurs, une enquête auprès des habitants a bien confirmé que la gêne est liée aux événements bruyants.

## 2.4 Discussion

La méthode ANOVA d'analyse de variance utilisée dans ce chapitre est une méthode puissante qui met bien en évidence la complexité des environnements sonores liés au trafic urbain. Grâce à elle, nous avons pu prouver l'existence de corrélations entre les indices acoustiques et certaines variables topographiques ou morphologiques des sites urbains considérés dans ce chapitre. Nous avons ainsi montré que les rues en U étroites sont plus bruyantes que la seule analyse du trafic ne le laissait prévoir, point sur lequel nous reviendrons d'un point de vue perceptif au chapitre 4. Et la particularité des rues larges de présenter un niveau maximum pratiquement indépendant du taux de circulation pointe du doigt la nécessité d'analyser les événements sonores un par un, point sur lequel nous reviendrons également au chapitre 4.

Malheureusement, l'analyse de variance n'est pas capable de mettre en évidence des classes typologiques de sites urbains. Ce sera l'objet du chapitre suivant, qui reprend la même étude, mais sur une autre base de données et avec une autre technique d'analyse : l'analyse factorielle en composantes principales.



## Chapitre 3 : Classification incluant des mesures acoustiques

Si la classification précédente à partir des variables physiques a montré que caractéristiques géométriques et taux de circulation sont redondants, et qu'il existe une corrélation entre typologie géométrique et certains indicateurs acoustiques, elle ne permet pas de prouver que la typologie géométrique est suffisante pour caractériser complètement l'acoustique d'un site urbain. Il faut donc reprendre la classification précédente, en incluant les variables acoustiques dans le plan d'expérience. Le nombre et la variabilité de celles-ci oblige alors à recourir à une autre méthode d'analyse statistique : l'analyse factorielle, et plus précisément l'Analyse des Correspondances Multiples.

Ce travail a été mené en deux temps. Dans un premier temps, nous sommes partis d'une base de données mise à disposition par la Ville de Lyon. Puis, dans un deuxième temps, nous avons vérifié la pertinence de la classification ainsi obtenue sur une autre base de données, fournie par les partenaires du projet.

### 3.1 Eléments théoriques d'analyse des données

Il existe de nombreuses méthodes statistiques pour analyser des données. Les méthodes dites descriptives visent à synthétiser un ensemble de données en mettant en valeur ses principales caractéristiques : liaisons entre variables, groupements d'individus homogènes... Nous allons présenter ici les principes généraux de ces méthodes.

#### 3.1.1 Un peu de vocabulaire

On appelle population l'ensemble sur lequel portent les observations. Les éléments de la population sont les individus. Dans le cas de notre étude, les individus sont des sites urbains. Les paramètres évalués pour chaque individu sont les variables. Lorsqu'il s'agit de variables nominales ou qualitatives, c'est-à-dire non numériques, les différentes valeurs que peut prendre une variable constituent ses modalités.

On peut transformer des variables numériques en variables nominales, en formant des classes. Par exemple, la variable « Largeur de voie » peut être transformée en variable nominale en définissant les modalités suivantes :

- « inférieure à 10 m »
- « entre 10 et 15 m »
- « entre 15 et 20 m »
- « supérieure à 20 m »

L'effectif associé à la modalité d'une variable est le nombre d'individus qui possèdent cette modalité.

### 3.1.2 Analyse en Composantes Principales et Analyse des Correspondances Multiples

L'objet de ces analyses dites factorielles est d'extraire les principales informations contenues dans un grand tableau de données. Il s'agit d'étudier les relations entre les différentes variables considérées ainsi que la ressemblance entre les individus. Une représentation imagée des données permet de faciliter l'interprétation.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'Analyse factorielle des Correspondances Multiples (ACM) fonctionnent selon le même principe, la différence concerne essentiellement la nature des données : l'ACP traite des variables quantitatives alors que l'ACM porte sur des données qualitatives. Ces analyses sont intéressantes et efficaces lorsque le tableau de données est suffisamment grand (au moins plusieurs dizaines d'individus pour une dizaine de modalités).

### 3.1.3 Description de la méthode ACM

Le tableau de données comporte un certain nombre d'individus (dans notre étude, il s'agit de sites urbains) qui sont caractérisés par un certain nombre de variables. Un individu est complètement décrit par les valeurs qu'il prend pour les variables considérées. Ainsi, un individu peut être représenté par un point dans un espace à  $p$  dimensions où  $p$  est le nombre de modalités (chaque modalité constitue un axe de cet espace). L'ensemble des individus constitue alors un nuage de points dans cet espace.

L'ACM permet de réduire la dimension de cet espace en perdant le moins d'information possible. La méthode consiste à déterminer un nouvel espace (un nouveau référentiel) en construisant des axes qui sont des combinaisons linéaires des axes initiaux, c'est-à-dire des combinaisons linéaires des modalités. Ces axes sont construits de telle manière que le premier facteur explique le mieux la variabilité des données, le deuxième explique le mieux la variabilité du résidu non pris en compte par le premier, et ainsi de suite. On peut ainsi réduire l'espace des données en rejetant les derniers axes factoriels qui expliquent le moins la variabilité des données. A chaque axe factoriel est associé un nombre traduisant la part d'explication que renferme cet axe vis-à-vis de la répartition des données : ce nombre est appelé taux d'inertie.

A l'issue d'une ACM, plusieurs informations sont fournies pour interpréter les résultats :

- la valeur propre associée à chaque axe factoriel, qui correspond au taux d'inertie de cet axe ;
- des représentations graphiques planes, qui permettent de visualiser la répartition des individus ou des variables par rapport aux différents axes factoriels ;
- des éléments permettant d'interpréter les axes factoriels et d'indiquer la qualité de la représentation.

Pour l'analyse, certains éléments du tableau de données peuvent être définis comme éléments supplémentaires, c'est-à-dire qu'ils ne seront pas pris en compte dans les calculs (construction des axes) mais qu'ils pourront être ensuite utilisés lors de l'interprétation. Ces éléments supplémentaires peuvent être des individus ou des variables.

### 3.1.4 Classification automatique

La classification automatique, aussi appelée analyse typologique, vise à former des groupes d'individus les plus homogènes possibles vis-à-vis des variables les caractérisant. Autrement dit, il s'agit de regrouper les individus ayant des caractéristiques semblables du point de vue

des variables considérées : ainsi, les individus appartenant à une même classe seront décrits par des combinaisons de modalités très proches.

La démarche générale consiste à choisir un critère qui mesure la qualité d'une partition, puis à déterminer une partition qui optimise ce critère. Le critère choisi est souvent le critère d'inertie inter-classes. La notion d'inertie généralise au cas multidimensionnel la notion de variance. L'inertie inter-classes mesure ainsi l'écartement entre les groupes, et l'inertie intra-classes mesure la dispersion au sein de chacun des groupes. L'inertie totale d'un ensemble d'individus est la somme des inerties inter-classes et intra classes :

$$\text{Inertie totale} = \text{Inertie inter} + \text{Inertie intra}$$

Avec cette relation, on voit que plus l'inertie inter sera importante moins l'inertie intra le sera ; en d'autres termes, une bonne partition des individus correspondra à une inertie inter forte (les groupes sont bien différenciés les uns des autres) et une inertie intra faible (les groupes sont homogènes). En fait, la meilleure partition correspondra au cas où chaque individu constitue une classe. Ce cas limite n'est bien sûr pas intéressant, et il s'agira alors de trouver un compromis entre nombre de classes limité et bonne qualité de la partition (plus le nombre de classes sera important, plus la partition sera de qualité, mais avoir un nombre important de classes n'est pas l'objectif d'une classification, au contraire).

Il existe deux grands types de méthodes de classification : les méthodes hiérarchiques et les méthodes non hiérarchiques.

Avec les méthodes hiérarchiques, on obtient une succession de partitions emboîtées : les groupes sont obtenus par regroupements successifs (on parle alors de méthode hiérarchique ascendante) ou par scissions successives (c'est alors une méthode hiérarchique descendante) ; on choisit alors une partition plus ou moins fine, selon sa qualité et le nombre de classes qu'elle comporte. Les résultats sont représentés sous la forme d'un arbre hiérarchique appelé dendrogramme. Il est associé à un indice de niveau qui indique le niveau où les groupements sont réalisés ; plus l'indice est élevé, plus les groupes sont hétérogènes. On détermine le nombre optimum de classes à l'aide du dendrogramme.

Dans le cas des méthodes non hiérarchiques, le nombre de classes est fixé dès le début de la méthode et les individus sont affectés à ces différentes classes selon un processus itératif. Les deux types de méthodes possèdent des avantages et des inconvénients et il est souvent intéressant et utile de combiner les deux approches afin d'évaluer la qualité de la typologie obtenue, et également pour déterminer des « formes fortes », c'est-à-dire des groupes d'individus qui sont récurrents par toutes les méthodes de classification.

En général, le fait d'effectuer la classification dans l'espace factoriel créé précédemment par ACP ou ACM permet d'améliorer la partition.

### 3.2 Description des données analysées

Un premier cas d'étude a été réalisé à l'INRETS avec Stephen Lesaux. Les données d'entrée portent sur 80 sites du deuxième arrondissement de Lyon. Ces sites urbains font partie du classement, réalisé par la Direction Départementale de l'Équipement du Rhône, des infrastructures de transports terrestres bruyantes. Ces sites sont caractérisés par un jeu de dix variables :

- variables relatives au trafic :
  - trafic journalier moyen
  - trafic journalier moyen de bus
  - pourcentage de poids lourds

- variables relatives à la voie de circulation :
  - type de rue (tissu ouvert, rue en U)
  - sens de circulation (double, sens unique)
  - largeur de voie
  - pente
  - courbure de la voie
- degré d'ouverture (hauteur/largeur)
- variable acoustique :  $L_{Aeq}(6h - 22h)$

Les variables numériques ont été transformée en variables nominales en formant des classes afin de réaliser une analyse des correspondances multiples. Par exemple, les modalités de la variable *trafic moyen journalier de bus* sont classées de la manière suivante :

- classe 1 : 0
- classe 2 : 1 100
- classe 3 : 100 200
- classe 4 : 200 300
- classe 5 : 300 400
- classe 6 : 400 500
- classe 7 : > 500

Dans un premier temps, l'objectif est de tester la méthode sur ces variables, sachant que d'autres variables relatives au trafic, à la voie de circulation, à l'habitat pourront être rajoutées par la suite. Ce type de méthode permettra notamment d'évaluer des indicateurs sonores, autres que le  $L_{Aeq}(6h - 22h)$ .

Un deuxième cas d'étude a été réalisé au LAM par Manuel Lopes et Benjamin Robin. Les données d'entrée portent sur une centaine de sites fournis par Acouphen, dont 42 sites sont complètement décrits et 60 seulement partiellement (ils ne sont pas décrits par les variables type de voirie, pourcentage de poids lourd et type de zone – cf. annexe 2). Pour respecter l'analyse que nous devons effectuer, il faut avoir plus de sites qu'il n'y a de variables qui sont, pour certaines, liées entre elles. Nous n'avons donc conservé que les variables les plus pertinentes et documentées pour un maximum d'individus. De plus, le premier cas d'étude ayant montré que le niveau sonore intervient peu dans la typologie, nous n'avons pas retenu les variables acoustiques.

Ainsi, la deuxième étude porte sur tous les individus et sur les variables suivantes : nombre de voies, sens, trafic moyen journalier annuel (TMJA), type de tissu et largeur entre façade.

L'analyse des correspondances multiples et la classification automatique présentées dans les paragraphes suivants ont été réalisées sous le logiciel d'analyse statistique *SPAD*.

### 3.3 analyse factorielle et classification des sites lyonnais

#### 3.3.1 Analyse factorielle des correspondances multiples

L'analyse des correspondances multiples (ACM) forme des axes factoriels à partir des modalités "actives", modalités prises en compte dans l'analyse. Un apurement des données peut être effectué, avant la création des axes factoriels, afin d'éliminer les modalités très peu représentées au sein de la population étudiée, ce qui rend l'analyse plus robuste.

L'ACM crée des axes factoriels à partir des modalités conservées (qui sont dites actives). La figure 10 montre que les cinq premiers axes factoriels expliquent déjà une grande partie de la répartition des sites urbains (ils expliquent près de 50% de la variabilité des individus).

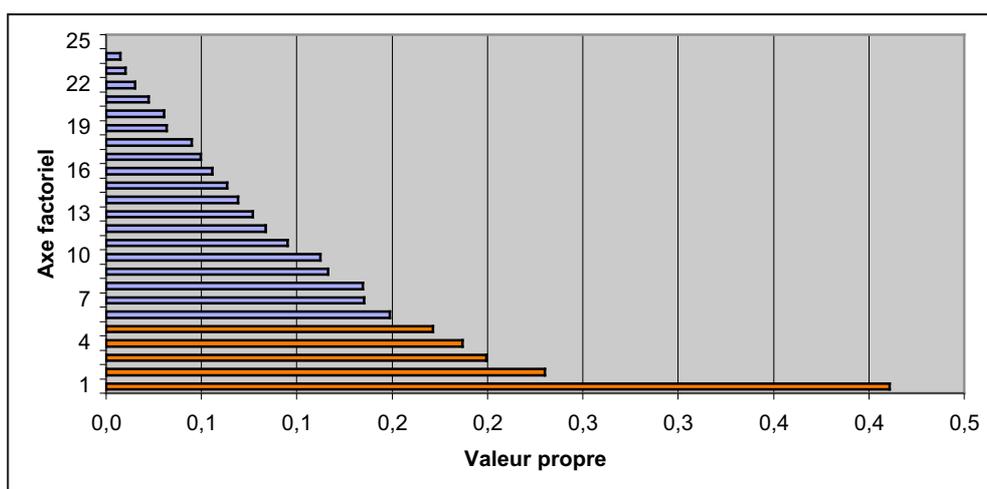


Figure 10 – Taux d'inertie associés aux axes factoriels

Les axes factoriels ont été construits comme des combinaisons linéaires des modalités initiales. Ils peuvent donc être décrits à partir de celles-ci. Le tableau 3 ci-dessous présente les cinq premiers facteurs avec les variables qui les caractérisent le plus.

Table 3 – Description des principaux axes factoriels

Axe factoriel	Variables caractéristiques
Axe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degré d'ouverture</li> <li>- Largeur de voie</li> <li>- Configuration</li> <li>- Trafic (total et bus)</li> <li>- Sens de circulation</li> </ul>
Axe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trafic</li> <li>- Largeur de voie</li> <li>- Niveau sonore</li> <li>- Degré d'ouverture</li> </ul>
Axe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trafic de bus</li> <li>- Largeur de voie</li> <li>- Degré d'ouverture</li> <li>- Pourcentage de PL</li> </ul>
Axe 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trafic</li> <li>- Niveau sonore</li> <li>- Degré d'ouverture</li> </ul>

Axe 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degré d'ouverture</li> <li>- Niveau sonore</li> <li>- Trafic de bus</li> <li>- Configuration</li> </ul>
-------	--

Le premier facteur concerne les caractéristiques géométriques des sites (configuration, largeur de voie, ouverture), ainsi que leur trafic. Les autres axes sont moins différenciés entre eux par rapport aux variables, mais ils se différencient en fait par rapport aux modalités qui les caractérisent (elles ne sont pas indiquées dans le tableau).

On peut déjà noter que les variables Pente et Courbure n'interviennent pas dans ces cinq premiers axes factoriels. Ils expliquent donc peu la répartition des sites, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'ils sont totalement indépendants des autres variables, et sont donc peu représentatifs des sites.

Si l'on regarde de plus près la description des axes factoriels par les modalités, on s'aperçoit que l'axe 1 oppose de façon très nette les sites en U, très fermés, de faible largeur, à sens unique et de faible trafic (typiquement la rue Gentil) avec les sites en tissu ouvert, à double sens, de forte largeur de voie avec un trafic très important (typiquement le quai de Perrache). En regardant le tableau de Burt, qui croise toutes les modalités deux à deux, on voit que les variables intervenant dans le premier axe sont assez liées entre elles : il est clair que des rues en U de faible largeur de voie entraînent une faible ouverture et un faible trafic, et sont souvent à sens unique.

L'axe 2 différencie de la même manière les sites de largeur de voie importante, à double sens, et avec un trafic fort, avec les sites à sens unique, ayant une largeur de voie et un trafic moins importants (ici la configuration et l'ouverture n'interviennent pas).

On peut observer la répartition des sites dans le plan factoriel défini par ces deux premiers axes.

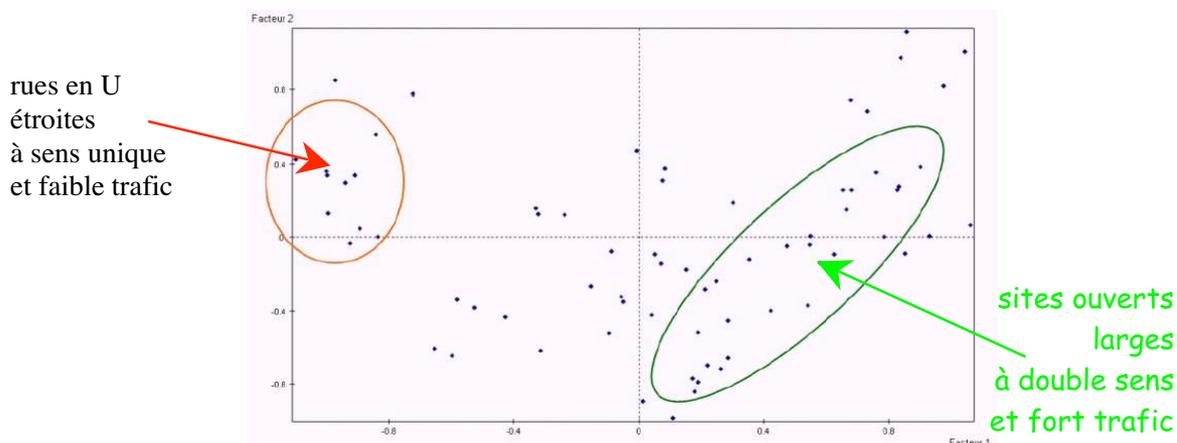


Figure 11 – Les deux premiers axes factoriels

Dans ce plan, on voit déjà apparaître un groupe de sites assez éloigné des autres sites : il s'agit des rues en U, étroites, à sens unique et de faible trafic (entourées en orange) ; les tissus ouverts, plus larges, et avec des trafics plus importants (entourés en vert) possèdent une dispersion assez grande autour du facteur 2, qui différencie les sites de largeur de voie et de trafics très importants, et les sites moins larges et avec des trafics moindres.

L'ACM permet ainsi de mettre en évidence les variables les plus discriminantes du point de vue de la répartition des individus : il s'agit de la configuration, du degré d'ouverture, de la

largeur de voie, et du trafic. Dans l'espace factoriel ainsi créé, la classification automatique va permettre de définir des groupes de sites homogènes.

### 3.3.2 Analyse typologique

La classification des sites urbains est réalisée par méthode hiérarchique ascendante. Le logiciel SPAD fournit comme résultat une représentation de l'arbre de hiérarchisation, appelé dendrogramme. Cette représentation a permis d'observer qu'un groupe de sites se différencie des autres dès le premier embranchement : il s'agit du groupe identifié précédemment concernant les sites en U très fermés et à faible trafic. Cet arbre de classification donne une indication sur le nombre de classes que l'on peut former suivant le degré de hiérarchisation, qui correspond aux embranchements de l'arbre ; dans notre cas, on peut définir 3, 6 ou 9 classes. Plus le nombre de classes est important, plus la partition est fiable, c'est-à-dire que les classes sont plus homogènes, mais on perd en synthèse de l'information. Pour cette raison, on peut déjà écarter la partition en 9 classes, qui donne des groupes de très faible effectif, peu pertinents.

Il reste donc à choisir entre une partition à 3 classes et une partition à 6 classes.

Pour ces deux partitions, il y a une classe invariante (en vert sur le graphique ci-dessous). Elle comprend exclusivement des rues en U, étroites (< 10 m), et avec un trafic faible (< 10 000 véh en trafic journalier). Elles sont pour la majorité à sens unique, et plutôt fermées.

Dans la partition à trois classes, l'une des deux classes restantes est assez hétérogène. La partition en 6 classes améliore l'homogénéité des classes en scindant la classe très hétérogène en trois classes (tableau 4).

Table 4 – Description des 6 classes retenues

classe 1	tissus ouverts, faibles $L_{Aeq}(6h - 22h)$ , faibles trafics, souvent en sens unique
classe 2	rues en U à double sens de circulation, plutôt ouvertes, avec un trafic pas très élevé
classe 3	classe hétérogène sans caractéristiques très marquées
classe 4	tissus ouverts à double sens, largeur de voie moyenne, de trafic assez dense et avec un fort pourcentage de poids lourds
classe 5	tissus ouverts à double sens, largeur de voie assez importante, avec un trafic très dense
classe 6	rues en U, étroites et fermées, à faible trafic et majoritairement à sens unique

On obtient la représentation graphique de la figure 12 dans l'espace factoriel des deux premiers axes.

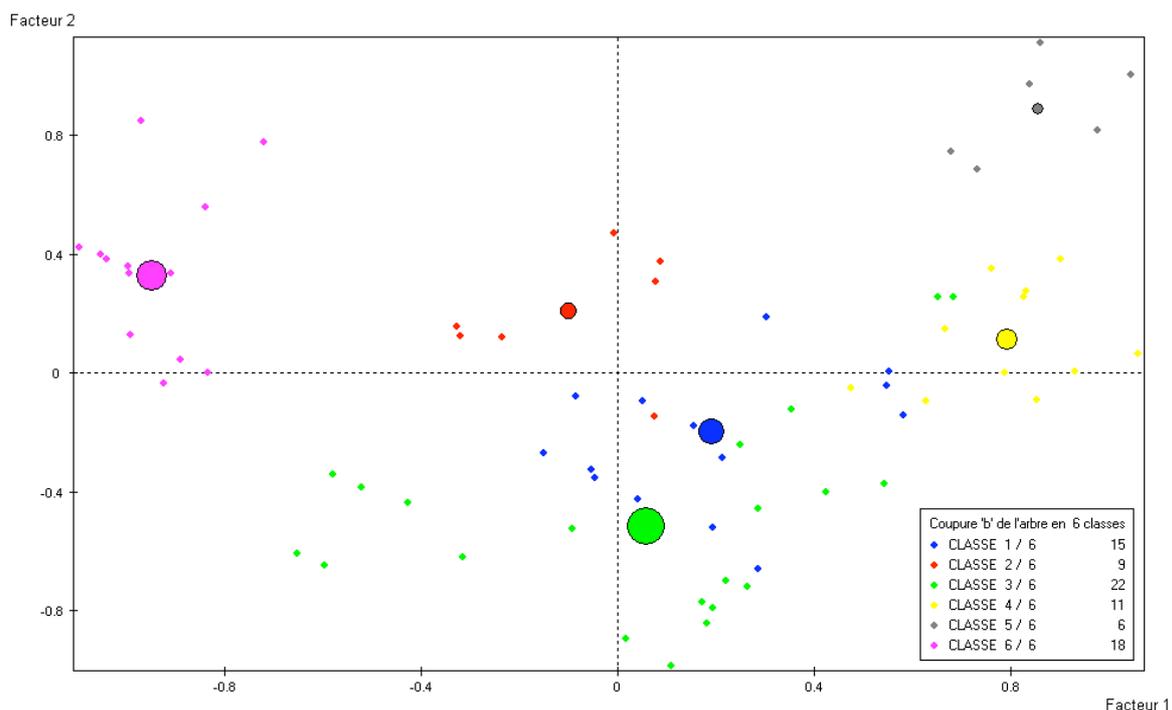


Figure 12 – Répartition en 6 classes projetée dans les deux premiers axes factoriels

Il apparaît donc que la partition en 6 classes est la plus pertinente pour notre étude, bien qu'il reste un groupe hétérogène. De plus, on note que les classes 4 et 5 sont assez proches, et se différencient surtout par la modalité « Pourcentage de poids lourds », ce qui n'est pas très intéressant, d'autant que la fiabilité de cette donnée n'est pas assurée.

En regroupant ces classes, on obtient finalement la typologie de sites de la figure 13.

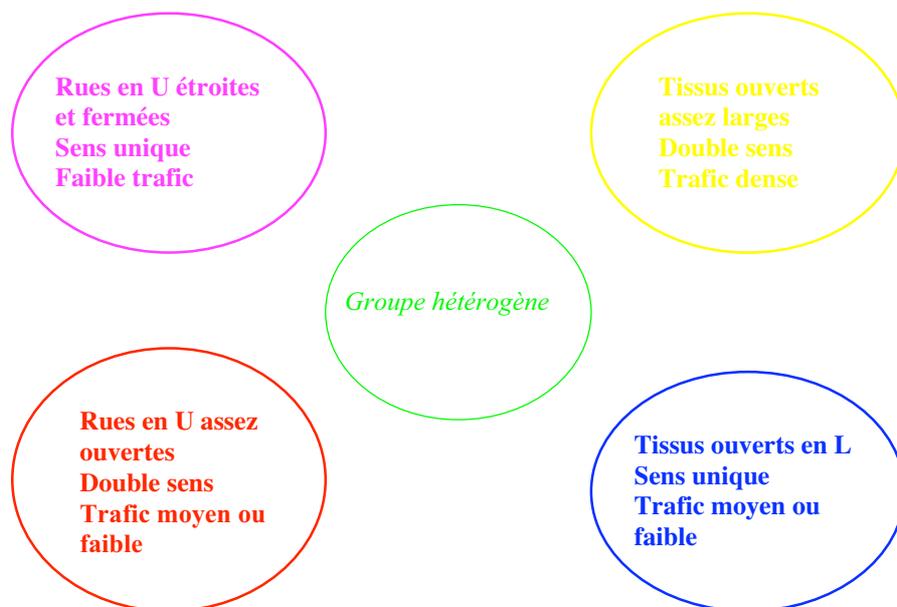


Figure 13 – Diagramme 5 classes retenues pour la typologie de sites lyonnais.

### 3.4 analyse factorielle et classification des autres sites

#### 3.4.1 Analyse factorielle des correspondances multiples

Les 4 premiers axes factoriels expliquent 54% de la variance et suffisent à expliquer la répartition des sites. L'analyse montre également que les axes suivants ne décrivent plus qu'une seule modalité spécifique correspondant à certaines types de rues. Nous retenons donc 4 facteurs, qui sont présentés sur la table 5.

Table 5 – Description des 4 axes factoriels retenus

Axe factoriel	Variables caractéristiques
Axe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sens unique</li> <li>- 1 voie</li> <li>- TJMA &lt; 5000 véh.</li> <li>- Largeur &lt; 20 m</li> </ul>
Axe 2	Oppose : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Très larges, 3 voies ou +, fort trafic</li> <li>- 2 voies, trafic moyen</li> </ul>
Axe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rues plutôt larges</li> <li>- Plusieurs voies</li> </ul>
Axe 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible largeur</li> <li>- Trafic moyen</li> </ul>

Le tableau 6 récapitule les résultats. Nous observons 5 groupes qui ne permettent pas de décrire tous les sites. De plus, nous remarquons que certains résultats tombent sous le sens :

- plus le nombre de voies augmente, plus le trafic est important,
- plus la largeur entre façade est grande, plus le nombre de voies est important.

Cependant, les rues qui possèdent le plus de voies ne sont pas forcément les plus larges.

Table 6 – Classification selon les modalités

Variables	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
TMJA	5 à 10 000 véhicules	> 25 000 véhicules		<5000 véhicules	15 à 20 000 véhicules
<b>Sens</b>				Plutôt U	
<b>Largeur façade</b>		> 80 mètres	entre 40 et 60 mètres	<20 mètres	entre 20 et 40 mètres
<b>Type de Tissu</b>	Plutôt double	Plutôt double	Plutôt double	UNIQUE	
<b>Nombre de voies</b>	2 voies	3 et 4 voies	>4 voies	1 voie	

Il faut cependant vérifier si cette classification résiste à la classification automatique.

#### 3.4.2 Analyse typologique

Si l'on regarde les individus dans le plan des facteurs 1 et 2, une division apparaît très clairement sur la figure 14, marquée par le trait rouge. Elle délimite les rues en sens unique, à droite, et les rues en sens double, à gauche. Mais à l'intérieur de ces deux classes principales,

d'autres subdivisions apparaissent. Dans l'ensemble des rues à sens unique, les grands boulevards (groupe A) s'opposent aux petites artères (groupe B), tandis que dans l'ensemble des rues à double sens, il n'y a pas vraiment de groupe qui se distingue mais plutôt une continuité dans l'augmentation du trafic et du nombre de voies, représentée par la flèche à gauche de la figure 14. Nous avons cependant défini 5 groupes, repérés sur le tableau 7 par leur couleur sur la figure 14.

Table 7 – Les grandes classes de voies

Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	Groupe E
Sens Unique Tissu en U	Sens Unique Tissu en U	Double Sens 2 voies	Double Sens Entre 2 et 4 voies	Double Sens > 3 voies
Largeur <40 m.	Largeur < 40 m.	10 000 <TMJA< 20 000 véh.	15 000 <TMJA< 25 000 véh.	TMJA > 25 000 véh.
15 000 véh.<TMJA	TMJA < 10 000 véh.			Tissu ouvert
3 et 4 voies	1 à 2 voies			

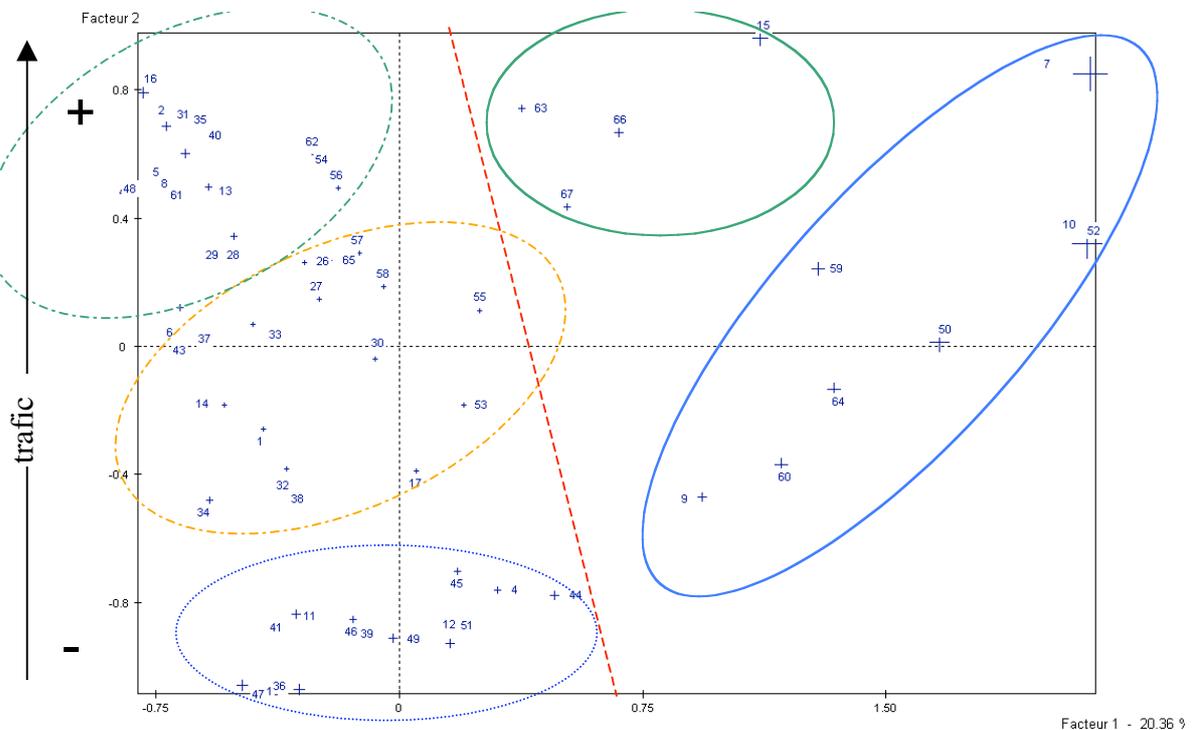


Figure 14 – Représentation des individus en fonction des facteurs 1 et 2

La classification hiérarchique ascendante permet de définir 3 ou 7 classes. Dans ce dernier cas, plusieurs classes sont caractérisées par un nombre de modalités inférieur à deux. Nous retenons donc la classification en 3 classes du tableau. Les groupes A et E précédents fusionnent pour former la classe des "boulevards", le groupe C précédent forme la classe "double" des petites rues à trafic moyen et à double sens, et le groupe B forme la classe "unique" des rues à faible trafic en sens unique. Remarquons que les classes des boulevards sont fusionnées sans faire de distinction entre sens unique ou double et tissu ouvert ou rue

en U. Vu le faible nombre d'individus (4) du groupe A – sens uniques à plus de 2 voies et fort trafic –, cela fait effectivement sens de le regrouper avec un autre.

Table 8 – Classification en 3 classes

<b>CLASSE "boulevards"</b>	<b>CLASSE "double"</b>	<b>CLASSE "unique"</b>
Fort traffic	Trafic moyen	Faible trafic
Plusieurs voies	2 voies	1 voie
	Double sens	Sens unique
		Petite largeur
		Tissu en U

### 3.5 Variables acoustiques

Lors du premier cas d'étude, nous avons constaté que le niveau sonore LAeq(6h-22h) intervient peu dans la typologie, ce qui renforce l'idée que cet indicateur est insuffisant pour décrire les ambiances sonores urbaines. C'est pourquoi nous avons choisi de pas introduire les indicateurs acoustiques en tant que variables actives pour la typologie, mais de les définir comme variables illustratives. Ainsi les indicateurs ne perturbent pas la construction de la typologie des sites urbains, mais sont présents pour l'interprétation des classes, ce qui permet d'éprouver leur pertinence vis-à-vis des différents groupes constitués sans modifier ces groupes.

Il existe beaucoup de problèmes d'interprétation quand nous représentons les variables illustratives sur le même plan que les individus. La méthode de représentation est de placer les modalités au barycentre des individus. Une modalité peut être tirée par deux groupes et donc se trouver dans une position qui n'est pas forcément interprétable. Pour cette raison, nous utiliserons la méthode de classification, que nous appliquons aux trois classes trouvées précédemment.

#### □ Classe "boulevards"

Elle est caractérisée par des indices acoustiques élevés pour toutes périodes, même le soir et la nuit (LAeq diurne et nocturne). Par contraste, et de manière prévisible, l'indicateur "Impulsion maximum", qui décrit l'émergence des pics d'intensité, est faible pour toutes les périodes de la journée. Plus contrastée est la série statistique : si le L10 reste élevé pour toutes les périodes, le L50 ne l'est que pour les périodes 6h-7h et 20h-23h.

Enfin, en ce qui concerne le bruit de fond, il est également élevé puisque le pourcentage de temps où le niveau est inférieur à 50 dB(A) est faible pour toutes les périodes, sauf de 10h-11h. Il reste faible. Mais il dépasse rarement 55 dB(A) puisque le pourcentage de temps où le niveau est supérieur à 55 dB(A) est faible pour toutes les périodes.

#### □ Classe "double"

Elle est caractérisée par des indices acoustiques plutôt faibles, sauf pour le L10 pour les périodes 10h-11h et 21h-24h. En particulier, le L50 est faible pour la période pour la période 21h-24h, et le pourcentage de temps où le niveau est supérieur à 70 dB(A) est faible pour les périodes 6h-7h et 10h-11h.

Cependant, le pourcentage de temps où le niveau est supérieur à 55 dB(A) reste élevé la période 21h-24h.

#### □ Classe "unique"

Elle est caractérisée par la modalité "aucune présence de bus", et par des indices acoustiques faibles pour la période du matin 6h-7h : LAeq, L90, L50, et L10. De manière prévisible, pour cette même période, le pourcentage de temps où le niveau est inférieur à 50 dB(A) est relativement élevé et le pourcentage de temps où le niveau est supérieur à 65 dB(A) reste faible.

Pour les rues de la classe "unique", le LAeq est faible pour la période du matin (6h-7h).

Enfin, la variable "nombre d'occurrence supérieure à 10" prend une valeur élevée pour la période 10h-11h.

### 3.6 Discussion et conclusion

L'analyse qui vient d'être faite peut être améliorée ou complétée par des analyses ultérieures. En effet, certaines données sont issues de modèles qui ne sont pas toujours très fiables (pourcentage de poids lourd, certaines données acoustiques). Il vaut mieux utiliser des comptages pour les données de trafic, et des relevés de mesures pour les données acoustiques. De plus, se pose le problème du nombre de sites par rapport aux nombres de variables : si ces dernières sont plus nombreuses que le nombre de sites, l'analyse statistique perd toute précision. C'est l'une des raisons qui nous ont conduit à considérer les variables acoustiques comme des variables illustratives.

Nous avons constaté par ailleurs que le niveau sonore LAeq(6h-22h) intervient peu dans la typologie, ce qui renforce l'idée que cet indicateur est insuffisant pour décrire les ambiances sonores urbaines. C'est la deuxième raison pour laquelle nous avons défini les indicateurs acoustiques comme variables illustratives. Ainsi, ils ne perturbent pas la construction de la typologie des sites urbains, mais restent présents pour l'interprétation des classes, permettant d'en éprouver la pertinence vis-à-vis des différents groupes constitués sans modifier ces groupes. L'avantage, c'est que la classification ainsi obtenue est uniquement typologique, et que nous pourrions donc plus facilement en vérifier la pertinence subjective dans le chapitre suivant.

Concernant les variables à retenir pour caractériser les sites, on peut faire plusieurs remarques. Tout d'abord, la variable « Degré d'ouverture » semble être assez pertinente pour décrire les sites urbains, et il peut être intéressant de la conserver au côté des variables « Largeur de voie » et « Sens de circulation » auxquelles on pourrait également rajouter une variable « Nombre de voies ». Les variables « Pente » et « Courbure » sont également intéressantes bien qu'elles ne soient pas beaucoup intervenues dans la classification présentée précédemment. Mais aucun site de pente supérieure à 2% n'était présent dans notre base de données. La variable « Pente » pourrait alors être déclinée en deux modalités : « < 2% » et « > 2% ».

En ce qui concerne la description du trafic, la variable « Trafic de bus » n'est pas évidente à interpréter. Pour la garder, il faudrait réduire le nombre de ses modalités. Par contre, la variable « Pourcentage de poids lourds » est peu intéressante et peut être éliminée. Mais dans notre base de données, ces variables ne tenaient pas compte des périodes sensibles du petit matin (6h-7h) et de la soirée d'autre part (20h-22h ou 23h). C'est un point à améliorer.

Pour toutes ces raisons, et principalement celle de la mauvaise représentativité de certaines classes de site décrites par trop peu d'individus dans notre base de données, nous modifions la typologie en 3 classes obtenues dans ce chapitre, et considérerons pour la suite la typologie en

4 classes de la figure 15, c'est-à-dire que nous dédoublons la classe "boulevards" pour considérer séparément les boulevards à sens uniques et les boulevards à double sens. Les boulevards à trafic moyen se retrouvent alors à l'intersection des boulevards à double sens et des rues "double" à 2 voies. Il est à noter que cette typologie est uniquement morphologique, ne s'appuyant sur aucune variable acoustique, conformément à notre choix des variables acoustiques comme variables illustratives. C'est cette typologie morphologique qui est utilisée au chapitre suivant pour établir des catégories perceptives.

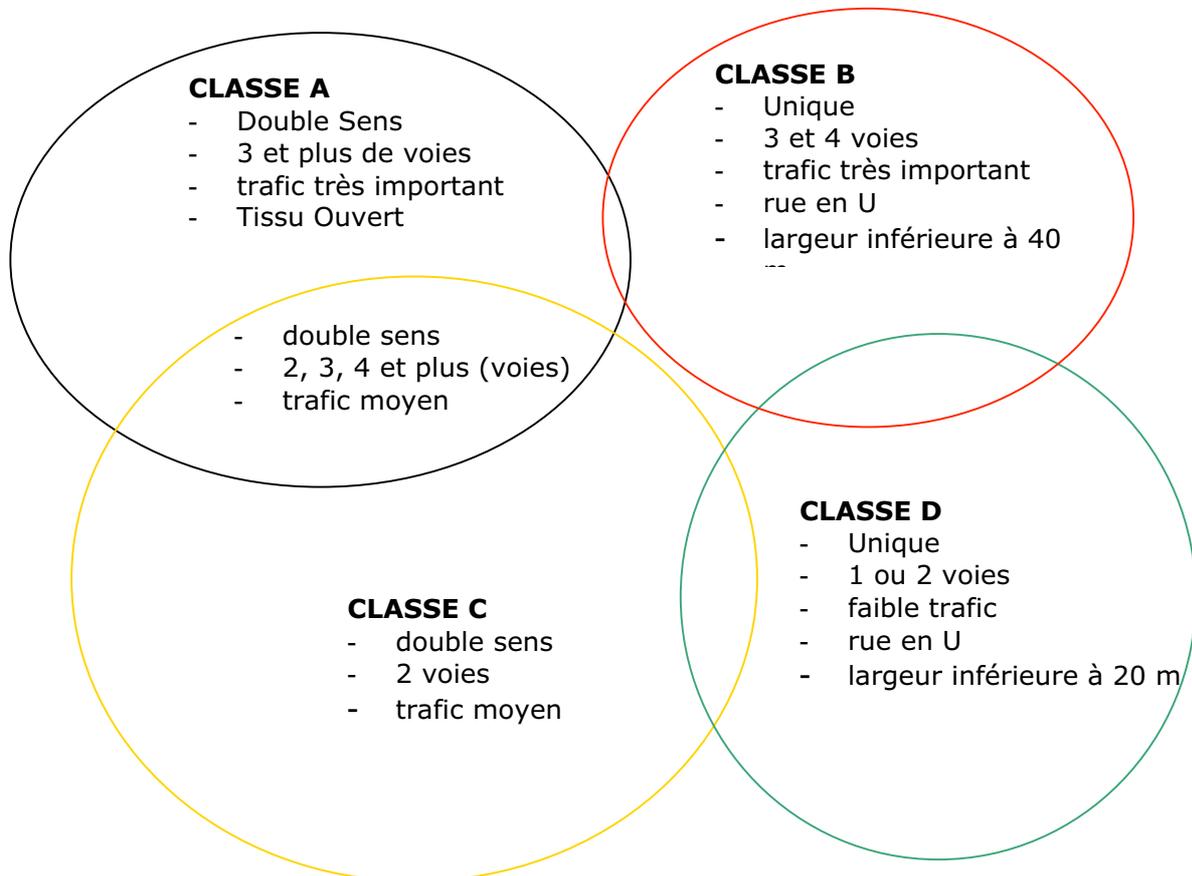


Figure 15 – Typologie morphologique des sites en 4 classes



## Chapitre 4 : Catégorisation perceptive des zones urbaines

Pour tester la pertinence perceptive de la typologie morphologique établie au chapitre précédent, nous avons donc procédé à des enregistrements sonores sur une série de sites sélectionnés parmi les 4 classes retenues à la fin du chapitre précédent. Plus précisément, il s'agit de vérifier si les sujets sont capables de reconnaître les lieux et le moment de la journée où les enregistrements ont été effectués, et si les séquences sonores sont représentatives de la diversité des situations vécues par les sujets. A minima, nous voulons vérifier si le regroupement libre de ces séquences sonores par les sujets suit une logique de site ou d'instant de la journée. La méthode retenue est celle de la catégorisation libre, complétée par l'analyse linguistique des verbalisations des sujets. En particulier, nous voulons vérifier si les catégories perceptives de l'environnement sonore urbain, déterminées dans le cadre d'un précédent programme PREDIT, sont conservées dans le cas d'un corpus de séquences sélectionnées selon des critères morphologiques.

### 4.1 Principe général des prises de son réalisées et choix du système de reproduction

Ces expérimentations se situent dans la continuité de celles réalisées au Laboratoire d'Acoustique Musicale ces précédentes années. Le choix de la méthode d'enregistrement et de restitution se base donc sur ces travaux (Guastavino 2003, Maffiolo 1999, Polack 2004, Vogel 1999). Différentes configurations d'enregistrement stéréophoniques ont été testées pour des bruits de circulation. Ces enregistrements ont été réalisés avec des microphones de directivités différentes (omnidirectionnels, cardioïdes et infracardioïdes) pour différentes configurations d'écartement et d'angles physiques d'ouverture entre les microphones.

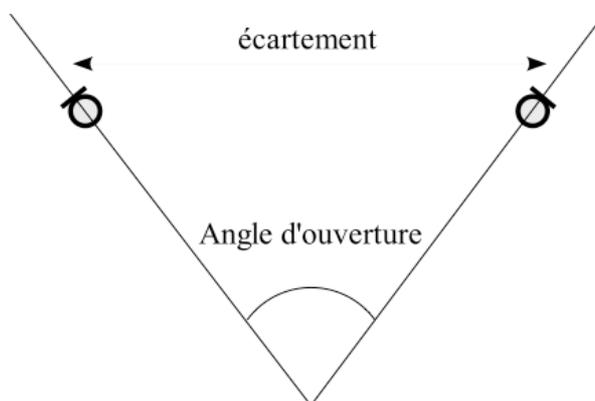


Figure 16 – Prise de son stéréophonique

Les tests préliminaires, de détermination des écartements optimaux entre microphones pour des angles physiques d'ouverture donnés, ont été réalisés sur douze séquences de circulation. La consigne donnée aux auditeurs était de sélectionner la séquence la plus réaliste pour chaque directivité. Les résultats montrent que, pour un écartement inférieur à 50 cm, l'image stéréophonique est perçue comme étant "étriquée", et qu'un "trou" au centre de l'image stéréophonique apparaît pour un écartement supérieur à 70 cm. L'écartement préféré par les auditeurs, pour les trois directivités de microphones testées, est d'environ 60 cm. Un second test a été réalisé en prenant des enregistrements stéréophoniques réalisés avec les configurations précédemment retenues comme étant pertinentes (omnidirectionnels avec un écartement de 70 cm, infra-cardioïdes espacés de 70 cm et formant un angle de 100° et cardioïdes espacés de 60 cm avec un angle de 100°), ainsi qu'une prise de son ORTF. Il en ressort que la configuration avec deux microphones omnidirectionnels n'est pas appropriée, ainsi que la prise de son ORTF qui n'est pas adaptée aux bruits de circulation (sources en mouvement). Dans le cas d'une prise de son stéréophonique de bruits de circulation, la configuration retenue sera celle à deux microphones cardioïdes espacés de 60 cm et formant un angle physique d'ouverture de 100°.

Les travaux de C. Guastavino (2003) ont permis de mettre en place une méthodologie pour évaluer la perception des basses fréquences liées aux transports dans l'environnement urbain. Elle a confirmé que l'environnement sonore est constitué de sources identifiables et que celles-ci se détachent d'un fond sonore, souvent appelé bruit de fond. La prise et restitution stéréophonique s'est avérée incapable de respecter la "validité écologique" du bruit de fond urbain (Maffiolo 1999, Vogel 1999). C'est donc la restitution du bruit de fond qui a poussé le choix vers un système *Ambisonics*, afin de reproduire les aspects "enveloppants" du bruit de fond. Cette méthode de prise de son et de restitution sonore consiste à décomposer le champ sonore sur les premières harmoniques sphériques grâce à un microphone adapté (microphone *Soundfield*), puis à recomposer ce champ sonore en salle d'écoute avec un grand nombre de haut-parleurs. Au microphone *Soundfield* on ajoutera un microphone omnidirectionnel pour l'enregistrement des basses fréquences. Le système *Ambisonics* permet de reproduire l'aspect spatial du bruit de fond mais il manque de précision concernant la position et la localisation des sources. Cette restriction n'est pas problématique dans notre cas puisque l'objectif de ces enregistrements n'est pas de reproduire à l'identique le champ acoustique mais que les sujets réagissent comme s'ils se trouvaient en situation réelle. On parle de validité écologique des enregistrements et de la restitution sonore.

Ces enregistrements sonores permettront de réaliser des tests de catégorisation en salle d'écoute et seront analysés, en parallèle, pour en extraire les données pertinentes à l'aide notamment de méthodes d'analyse temps-fréquence.

#### 4.1.1 Le système *Ambisonics*

L'objectif du système *Ambisonics* est d'offrir une approche hiérarchique complète pour la captation, l'enregistrement, la transmission et la reproduction d'informations sonores multicanales. Ce système est orienté vers une écoute individuelle ou pour une zone de réception restreinte. La technique *Ambisonics* utilise un microphone à quatre capsules cardioïdes orientées selon les sommets d'un tétraèdre régulier.



Figure 17 – Microphone Soundfield ST250

Cette disposition permet de décomposer le champ sonore selon les quatre harmoniques d'ordre 0 et 1, puis de le reproduire sur plusieurs haut-parleurs par matricage. La directivité dans l'espace de tous les phénomènes d'émission ou de réception d'ondes peut donc être décomposée en constituantes primaires que sont les harmoniques sphériques. L'harmonique sphérique simple d'ordre 0 correspond à une directivité omnidirectionnelle et celle d'ordre 1 à une directivité bidirectionnelle.

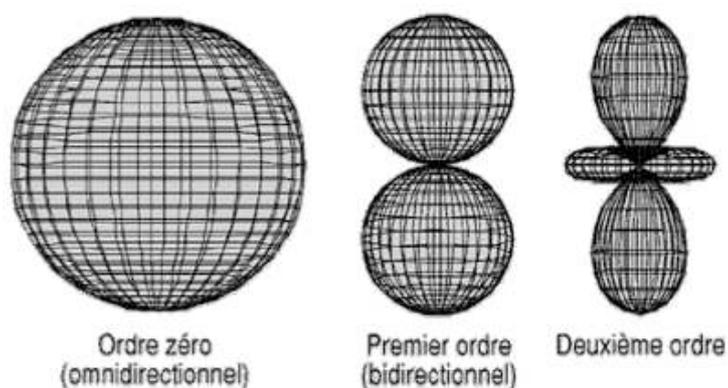


Figure 18 – Harmoniques sphériques d'ordre 0, 1 et 2

Les signaux issus du système *Ambisonics* se présentent sous plusieurs formats :

- le format A destiné à la captation (codage de la prise de son microphonique)
- le format B destiné à la postproduction (format de manipulation et de traitement)
- le format C destiné à la transmission ou à l'inscription sur un support donné
- le format D destiné au décodage et à la reproduction (signal combiné servant à alimenter l'installation d'enceintes acoustiques)

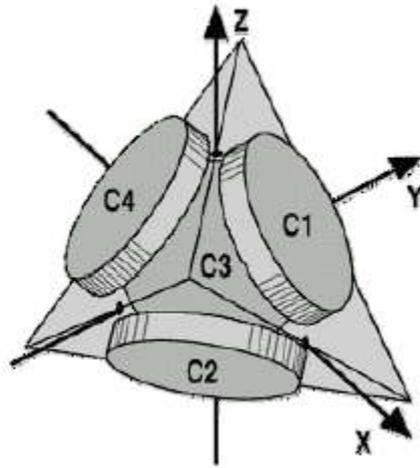


Figure 19 – Format A

Le format B permet de choisir l'orientation et la directivité du microphone après la prise de son. En additionnant et soustrayant les signaux des quatre capsules, il est possible d'obtenir quatre nouveaux signaux de microphones "virtuels", correspondant à trois harmoniques sphériques simples du premier ordre. Ces microphones ont tous le même centre de gravité et les signaux de premier ordre correspondent aux trois axes X, Y et Z, définissant l'espace 3D. Le format B peut être vu comme une extension tridimensionnelle d'une captation M-S.

Les composantes X, Y et Z du format B présentent des diagrammes en huit, représentant les positions latérales et zénithales d'une source dans l'image stéréo. Elles sont obtenues à partir du format A par des opérations de sommes et de différences. W est une composante omnidirectionnelle obtenue en ajoutant en phase les signaux délivrés par les capsules du format A.

$$X = C_1 + C_2 - C_3 - C_4 \quad (7)$$

$$Y = C_1 - C_2 + C_3 - C_4 \quad (8)$$

$$Z = C_1 - C_2 - C_3 + C_4 \quad (9)$$

$$W = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (10)$$

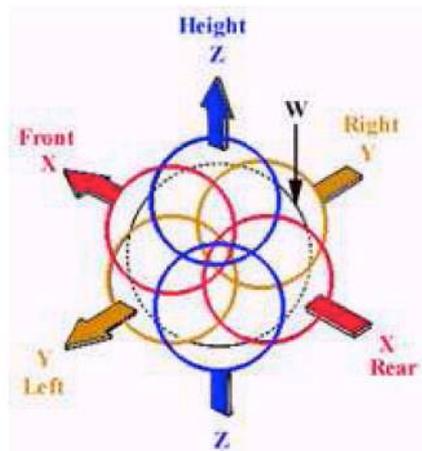


Figure 20 – Format B

Le format B permet donc de créer n'importe quel microphone correspondant à une harmonique sphérique simple ou complexe du premier ordre et pointant dans n'importe quelle direction.

En considérant l'angle d'incidence plane et l'angle d'élévation, les composantes du codage du format B peuvent s'écrire :

$$X = g_{\theta} \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\eta) \quad (11)$$

$$Y = g_{\theta} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\eta) \quad (12)$$

$$Z = g_{\theta} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\eta) \quad (13)$$

$$W = g_{\theta} \quad (14)$$

Dans le cas d'une restitution en deux dimensions, on ne considère pas l'information relative à Z et à l'angle d'élévation.

$$X = g_{\theta} \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\theta) \quad (15)$$

$$Y = g_{\theta} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \theta \quad (16)$$

$$W = g_{\theta} \quad (17)$$

Le gain en racine de 2 est utilisé pour rendre compatible l'énergie contenue dans X, Y, Z par rapport à W:  $2W^2 = X^2 + Y^2$ . A partir des trois signaux W, X, Y, on calcule les gains  $g_i$  à  $g_n$  des haut-parleurs, de telle sorte que le champ acoustique produit soit le plus proche possible du champ acoustique d'origine. On peut donc écrire les signaux W, X, Y en fonction de la contribution en gain de tous les haut-parleurs (n étant le nombre de haut-parleurs utilisés) :

$$\begin{pmatrix} W \\ X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \sqrt{2} \cdot \cos(\theta_1) & \dots & \sqrt{2} \cdot \cos(\theta_n) \\ \sqrt{2} \cdot \sin(\theta_1) & \dots & \sqrt{2} \cdot \sin(\theta_n) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} g_1 \\ \dots \\ g_n \end{pmatrix} \quad (18)$$

#### 4.1.2 Ecoute de contrôle stéréophonique à partir du format B

Les enregistrements sont réalisés sur un enregistreur numérique, sur support cassette Hi8. Ces enregistrements représentent un nombre d'heures important par site et représente donc un temps de transfert vers l'ordinateur extrêmement conséquent. De plus il n'est pas possible de réaliser des fichiers .wav supérieur à environ 1 Go, ce qui veut dire qu'il serait aussi indispensable de segmenter les fichiers transférés. Pour éviter de transférer l'ensemble des enregistrements sur ordinateur et, ensuite, de sélectionner les séquences que nous voudrions garder, nous avons décidé de faire une écoute stéréophonique directement à partir de l'enregistreur et de ne transférer ainsi sur ordinateur que les séquences choisies.

Le format d'enregistrement est le format B, composé de 4 canaux (W, X, Y, Z). En utilisant le canal omnidirectionnel W et le canal bidirectionnel horizontal Y, nous pouvons donc recréer une captation MS.

Le signal envoyé sur l'enceinte gauche est la somme du canal omnidirectionnel W et du canal Y, et le signal envoyé sur l'enceinte droite est la somme du canal omnidirectionnel W et du canal Y déphasé :

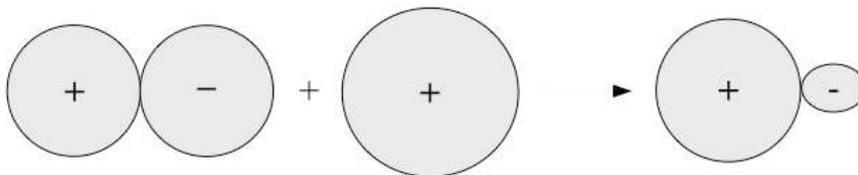


Figure 21 – Signal envoyé sur le canal gauche

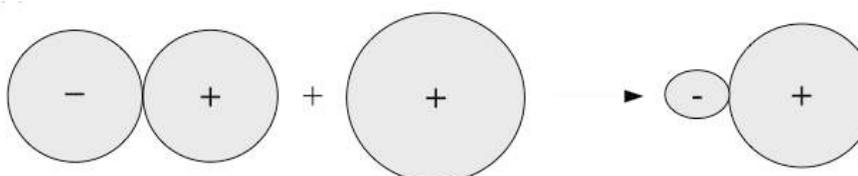


Figure 22 – Signal envoyé sur le canal droit

### 4.2.3 La restitution en salle d'écoute

L'objectif est de reproduire des ambiances sonores complexes, enregistrées au préalable, en donnant l'illusion d'un environnement sonore connu. La restitution des enregistrements sonores se fera dans la chambre d'écoute (semi-anéchoïque) du Laboratoire d'Acoustique Musicale. Par souci de validité écologique, on utilisera une méthode de diffusion sur haut-parleurs qui laisse à l'auditeur une liberté de mouvement de tête comme en situation réelle, ce qui n'est pas le cas de la diffusion sur écouteurs.

Le principe de réalisation de cette salle d'écoute a été de supprimer tout indice visuel en créant un environnement aussi neutre que possible. Les sujets ne voient pas les haut-parleurs et ne peuvent donc pas en déduire la configuration de reproduction. De plus, les réflexions sur les parois de la pièce sont atténuées le plus possible.

La salle d'écoute est une construction flottante de petite dimension : 2,77 x 3,24 x 3,62 m. L'espace d'écoute est délimité par un plancher flottant, des panneaux de tissu tendu sur des armatures de bois sur les murs et un faux plafond suspendu. L'isolation acoustique est réalisée par des panneaux de contreplaqué sur lesquels sont collées des bandes de laine de verre. Deux pièges à son (labyrinthes acoustiques) sont situés au plafond au niveau des bouches d'aération. La porte est recouverte de deux couches de cônes de mousse isolante à base carrée de 10cm de côté. Le temps de réverbération est inférieur à 0,05 s jusqu'à 200 Hz, et inférieur à 0,2 s en dessous de 200 Hz.

Pour faciliter le processus d'abstraction de la salle d'écoute, l'aménagement visuel de la salle a été conçu de manière à minimiser les références visuelles. Le design est basé sur une forme hexagonale. En dehors de l'entrée, la salle n'indique aucun cadre de référence et le sujet est libre d'écouter dans toutes les directions sans se voir imposer une direction privilégiée dans l'espace. Les frontières visuelles de la salle intérieure sont délimitées par des panneaux de tissu visuellement opaques et acoustiquement transparents, qui permettent de placer le matériel de diffusion hors de vue des sujets. Ainsi, l'auditeur ne peut pas voir la configuration de restitution utilisée.

Plusieurs configurations de haut-parleurs ont été testées dans cette salle d'écoute :

- la stéréophonie classique
- 6 haut-parleurs disposés dans un plan horizontal au niveau des oreilles de l'auditeur (reproduction 2D)
- 12 haut-parleurs dans l'espace (reproduction 3D)

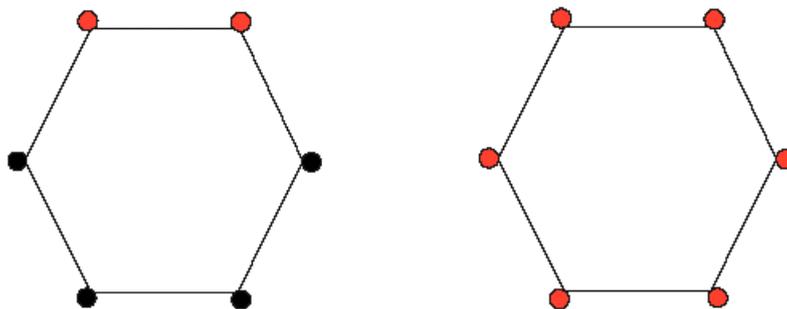


Figure 23 – Restitution stéréophonique et Ambisonics 2D

Un caisson de basses peut être ajouté à ces configurations pour un meilleur rendu des basses fréquences.

Les résultats montrent que la méthode de restitution dépend fortement du contexte. La stéréophonie est préférée pour la musique classique, la reproduction 2D pour la majorité des séquences sonores urbaines et la reproduction 3D très peu souvent (concert d'orgue, intérieur de TGV).

## 4.2 Protocole expérimental : prises de son en milieu urbain

### 4.2.1 Choix des sites étudiés

Comme nous l'avons montré précédemment, l'analyse factorielle des correspondances multiples, réalisée sur une base de données de sites urbains, a permis de mettre en évidence quatre classes de sites urbains (figure 15) :

- Voie à double sens, trafic important, plusieurs voies de circulation (classe A)
- Voie à sens unique, trafic important, plusieurs voies de circulation (classe B)
- Voie à double sens, trafic peu important, 2 voies de circulation (classe C)
- Voie à sens unique, trafic peu important, 1 voie de circulation (classe D)

Nous avons donc réalisé des enregistrements sonores sur 6 sites urbains correspondant à ces quatre type de sites : deux pour la classe A, un pour la classe B, un pour la classe C et deux pour la classe D.

### 4.2.2 Choix des périodes étudiés

On s'intéresse dans cette étude aux périodes sensibles, qui correspondent aux périodes d'endormissement et de réveil. Les périodes pendant lesquelles nous avons réalisé des enregistrements sonores sont donc le matin, entre 6h et 9h, et le soir entre 20h et minuit. Une période "test" entre 10h et 11h, période a priori l'une des plus calmes de la journée, a été enregistrée dans un unique but d'écoute et de contrôle.

### 4.2.3 Choix des séquences sonores pour le test d'écoute

Nous disposons donc de sept d'heures d'enregistrements audionumériques pour chacun des sites étudiés, ce qui représente au total quarante-deux heures de bandes numériques. Nous avons extrait des séquences sonores représentatives de chacun des sites et des différentes temporalités étudiées. Nous avons choisi quatre séquences par site, deux pour le matin entre 6h et 9h, et deux le soir entre 20h et minuit, sauf pour le site de la classe B où des problèmes météorologiques ont restreint la durée d'enregistrements exploitables à une séquence le matin et une le soir.

La durée d'une séquence a été fixée à un minimum de 20 secondes, afin que le sujet puisse bien s'immerger dans la situation sonore, et à un maximum de 40 secondes, afin que l'écoute de l'ensemble des séquences ne soient pas trop fastidieuses. Vingt-deux séquences sonores ont donc été extraites des enregistrements réalisés sur les quatre types de sites urbains mis en évidence par l'analyse factorielle. Ces séquences ont été numérotées aléatoirement pour la réalisation du test perceptif. La liste de ces séquences, avec les types de sites correspondants et les heures d'enregistrement, est donnée dans l'annexe 5.

## 4.3 Test de catégorisation des enregistrements sonores

### 4.3.1 Sémantique et objets sonores : des événements porteurs de sens

Il s'agit du problème classique qui consiste à tenter de relier (ou d'expliquer) une description "qualitative" d'un phénomène, comme une ambiance sonore, à une description physique de signaux que sont les stimuli.

L'environnement sonore est constitué de sources identifiables qui sont décrites par l'effet qu'elles produisent sur le sujet. Ce n'est que lorsque la scène sonore est dépourvue de sources (ou tout du moins qu'elles ne sont pas perçues) que les sujets la décrivent par des paramètres physiques (temps, durée, hauteur, intensité par exemple) et parlent alors de sons.

D'après D. Dubois et al. (2004), l'évaluation humaine procède par catégorisation (comparaison différences, ressemblances, changements et invariances). La problématique de cette recherche vise à identifier les catégories de bruits urbains pertinentes à la fois au niveau

sensible individuel et au niveau des représentations collectives en mettant l'accent sur la signification donnée au(x) bruit(s). Les tests de catégorisation de paysages sonores urbains ont permis d'identifier, à partir d'une analyse linguistique et cognitive, les structures catégorielles de l'espace sonore urbain. Le caractère de nuisance de l'environnement sonore dépend du type de sources qui produisent les bruits et de la nature des activités humaines qui leur sont associées. Ainsi, l'identification de présence d'activités humaines, telles que les commerces, tend à susciter des jugements davantage positifs que les bruits mécaniques de circulation considérés comme la principale nuisance sonore de l'espace urbain.

Dans le cadre de test de catégorisation de bruits, l'approche est prioritairement centrée sur les valeurs sémantiques des stimulations acoustiques, avant d'en donner des descriptions en termes de paramètres physiques. Dans la psychophysique, l'attention est portée d'abord sur les objets (stimuli), et ces stimuli sont décrits et définis a priori par les sciences de la nature (domaine de la physique pour ce qui est de l'acoustique et de la vision, chimie pour l'olfaction), avant d'être présentés au sujet. Le sujet va introduire sa subjectivité dans le jugement porté sur l'objet, alors évalué comme écart en regard de la description objective qu'en donnent les sciences de la nature. Les méthodes psychophysiques sont donc le plus fréquemment fermées et mettent en oeuvre des jugements dans des cadres prescrits, des procédures fermées quant aux possibilités de réponse. Ces méthodes permettent des traitements quantitatifs des données subjectives (statistiques etc.). Cette approche apporte des données précieuses mais concerne principalement des mesures de seuils de sensibilité, ou des mesures de discrimination perceptive.

L'approche cognitiviste s'attache à construire une description objective de phénomènes subjectifs, en tant qu'effets suscités par des stimulations physiques, et qui, intégrés au fonctionnement psychologique, conduisent à l'émergence de représentations cognitives spécifiques. Les objets sonores complexes, tels que les ambiances ou paysages sonores, peuvent donc être évalués subjectivement à partir des concepts élaborés par les théories cognitives de la catégorisation.

L'objectif est d'identifier comment les habitants attribuent des significations aux espaces urbains dans lesquels ils effectuent leurs activités quotidiennes et comment les expériences individuelles se trouvent collectivement partagées à travers leur expression en langue. Les catégories cognitives se trouvent à l'interface des catégories perceptives individuelles et des représentations collectives. C'est l'analyse sémantique des données langagières, produites par des individus utilisant une langue commune, qui est au centre de la problématique du repérage des catégories à la fois individuelles et partagées.

#### 4.3.2 Catégories cognitives en acoustique

Un résultat établi à partir de seules données verbales conduit à identifier deux constructions cognitives susceptibles d'être élaborées à partir d'un même phénomène acoustique. Une même stimulation acoustique, décrite de manière univoque par des termes physiques, peut susciter soit une interprétation en tant que "bruit", soit en tant que "son".

La mise au point de ces outils méthodologiques et sa généralisation au domaine acoustique ont été réalisées par F. Guyot (1996). Cette procédure de questionnement était précédemment utilisée dans la recherche sur les catégories visuelles et olfactives. Les tests de catégorisation libre ont été réalisés avec comme stimuli des bruits domestiques. Les résultats montrent que les catégories de bruits peuvent être identifiées à deux niveaux. A un premier niveau, le plus générique, les bruits sont agrégés à partir de la similitude des sources productrices des bruits ou de la similitude de fonction. A un second niveau de classification, les classes sont structurées à partir de la similitude de mouvement ou d'action génératrice de bruit, sans que

soit spécifiée la source (percussion, grattement, claquement). Le même phénomène acoustique peut donc être catégorisé selon deux critères sémantiques, dont les corrélats physiques ne sont pas équivalents. Par exemple, un grincement de porte peut être regroupé soit avec les bruits de portes, soit avec les grincements. Les propriétés considérées comme intrinsèques des stimuli, décrites de manière univoque par la physique, peuvent susciter différentes interprétations.

Cette problématique a été par la suite étendue aux ambiances et environnements sonores (Maffiolo 1999, Vogel 1999, Guastavino 2003. La thèse de V. Maffiolo (1999), centrée sur les bruits représentatifs de Paris, a permis de montrer que la seule dimension d'intensité ne peut expliquer à elle seule les classements. Les résultats des tests réalisés montrent que les sujets partitionnent dans la même classe des stimuli de valeurs moyennes d'intensité très différentes et les commentaires qui justifient leurs classements ne se réfèrent guère à l'intensité. Un premier niveau de classification a permis d'identifier des séquences qualifiées d'évènementielles, qui incluent des événements spécifiques et des séquences dites amorphes, dans lesquelles aucun événement caractéristique n'a pu être identifié ("bruit de fond"). Une catégorisation à un niveau plus fin permet d'identifier des sous-classes. Pour les séquences évènementielles, les sous-classes sont constituées en rapport avec les sources responsables du bruit (telles que les véhicules motorisés, les bruits humains comme les voix et les bruits de pas). Les séquences amorphes sont sous-catégorisées tantôt à partir de critères de jugements d'agrément ou de gêne, ou sur des paramètres acoustiques tels que le contenu spectral ou la structure temporelle (signaux continus ou discontinus par exemple).

L'analyse linguistique des descriptions verbales des catégories, produites par chaque sujet, suggère que les ambiances urbaines sont structurées dans des catégories sémantiques complexes qui intègrent non seulement des paramètres ou des propriétés physiques présentes dans le signal, mais également des critères de temps (moments de la journée par exemple), de lieux et d'activités (usages des lieux à ces moments). Les sujets décrivent des éléments reconnus dans le signal à partir de connaissances préalablement acquises dans l'expérience de ces espaces sonores et mémorisées. L'identification de la présence d'une activité humaine (commerce, école) conduit à des jugements davantage positifs, alors que les bruits de circulation sont décrits comme désagréables, sans corrélation directe avec le niveau sonore. L'évaluation de l'exposition aux bruits de circulation dépend du jugement de valeur attribuée à la source, d'où une opposition entre transport individuel et collectif. Les séquences sonores catégorisées en fonction de l'activité humaine intègrent le niveau sonore à la signification de l'activité (marché, terrasse de café, etc.) ou de la tranquillité (parcs et jardins), à des lieux, ou à quelques sources sonores caractéristiques (vendeurs, musique, oiseaux). A un niveau plus fin de catégorisation, des attributs spatiaux de la morphologie urbaine ont été repérés et donnés comme critères de classification des échantillons sonores. Un tiers des sujets a distingué les espaces réverbérants des espaces ouverts (Maffiolo 1999). Dans la description des séquences amorphes, peu de références sont faites aux sources, et les adjectifs sont des termes physiques référant aux propriétés du signal acoustique (structure temporelle, timbre, fréquence), ce qui confirme que le bruit de fond est considéré comme un objet sonore en soi.

Les stimuli acoustiques peuvent être traités cognitivement soit comme éléments d'un événement porteur de signification, soit de manière plus analytique, comme paramètres physiques, lorsque le processus d'identification de sources ou d'attribution de signification à l'évènement font défaut de la part du sujet. Les phénomènes acoustiques sont alors considérés comme bruits ("bruits de...") et donc comme effet du monde sur le sujet. Lorsque ce processus échoue, ces mêmes stimuli sont alors traités comme sons, et peuvent être adéquatement caractérisés comme dimensions ou paramètres et pertinemment décrits par la physique.

Les catégories cognitives construites naturellement sont individuelles, donc soumises à de grandes variations en fonction de la diversité des expériences sensibles vécues et des connaissances intériorisées par les différents sujets. A la différence des instruments de mesure physique dont la fiabilité exige la répétabilité des mesures, les représentations cognitives manifestent des effets de mémoire. Les jugements humains sont essentiellement dépendants des perceptions précédentes (apprentissage), cette mémoire étant à la fois individuelle et collective.

#### 4.3.3 Consignes et déroulement du test perceptif

Les enregistrements sonores réalisés ont donc servi de base à la réalisation d'un test d'écoute. Ce test perceptif doit respecter la validité écologique, qui exige que, dans un contexte de simulation, les sujets réagissent comme dans la réalité. L'accent n'est donc pas porté sur la conformité du champ sonore reconstitué à l'original, mais sur la qualité de l'illusion qu'il produit.

Les consignes données aux sujets sont, dans un premier temps, d'écouter les vingt-deux séquences sonores les unes après les autres et de répondre à trois questions pour chacune des séquences :

- Avez-vous l'impression de vous retrouver dans une situation de tous les jours ?
- Pouvez-vous indiquer le type de lieu dans lequel vous imaginez être et où vous situez-vous dans ce lieu ?
- Pouvez-vous préciser à quelle période de la journée ces séquences sonores peuvent se produire ?

La deuxième partie du test consiste en une tâche de catégorisation libre des séquences sonores. Il est demandé aux sujets de regrouper ensemble les séquences sonores qui selon eux se ressemblent, en autant de catégories qu'ils le souhaitent. Ils doivent ensuite indiquer la séquence sonore qui représente le mieux chaque groupe et indiquer son degré de représentativité (séquence prototypique), représenté par un entier entre 1 et 7 (1 correspondant à "peu représentatif" et 7 à "très représentatif"). Ce degré de représentativité permet de voir si le groupe formé est plutôt de nature hétérogène ou homogène. Les sujets décrivent les principales caractéristiques de chacun des groupes et expliquent leurs choix.

A la fin du test, il est demandé aux sujets de choisir la séquence qu'ils trouvent la plus gênante et la moins gênante, en expliquant leur choix, ainsi que de décrire le lieu dans lequel ils habitent, et ses particularités sonores, et si une (ou plusieurs) séquence leur rappelle leur lieu d'habitation.

#### 4.3.4 Analyses des réponses des sujets

Nous présentons ici les résultats obtenus pour douze sujets, presque exclusivement masculins, dont les âges s'échelonnent de 25 à 55 ans. Par suite de la défaillance de l'un des collaborateurs de l'étude, il n'a pas été possible de faire passer ce test perceptif à un plus grand nombre de sujets. Il est cependant prévu de d'achever ces tests dès que les conditions seront réunies.

##### 4.3.4.1 Reconnaissance du type de lieu et de la période de la journée

La consigne donnée aux sujets était de décrire le type de lieu dans lequel ils imaginaient être. Le traitement des réponses à cette question ont été réalisés de la manière suivante. Si le sujet a reconnu le type de lieu dans lequel la séquence a été enregistrée, on lui attribue le terme "O" (pour oui), sinon "N" (pour non). Cependant, certaines réponses ne décrivent que partiellement le lieu, ou alors comportent certaines erreurs (comme par exemple "petit parc au

bord d'un boulevard" alors qu'il s'agit de quelques arbres avec des chants d'oiseaux au bord d'un boulevard) ; Dans ce cas-là, ces réponses ne peuvent être comptabilisées ni comme juste, ni comme fausse. On lui attribue donc un troisième terme "P" (comme partiel). Le dernier cas de figure correspond au cas où le sujet ne répond pas, car il n'arrive pas à décrire le type de lieu. Dans ce cas, on lui attribue le terme "NSP" (ne se prononce pas), qui peut aussi être comptabilisé comme une non-reconnaissance du lieu. Le même type de traitement a été réalisé sur les réponses correspondant à la période horaire.

Table 9 – Reconnaissance du lieu d'enregistrement des séquences sonores

Oui	35,6 %
Non	38,6 %
Non + NSP	48,1 %
Partiel	16,3 %

Table 10 – Reconnaissance de la période de la journée

Oui	16,3 %
Non	45,8 %
Non + NSP	81,1 %
Partiel	2,6 %

Dans l'ensemble, les sujets ne semblent pas avoir eu de problème pour associer les séquences à un lieu, comme le montre le faible nombre de réponses "NSP" (9,5%), qui proviennent essentiellement des mêmes sujets. Par contre, ils ne reconnaissent le type de site qu'une fois sur trois, et se trompent complètement dans la même proportion. Nous verrons que l'association d'une séquence à un site est « naturelle » lorsque nous analyserons les classes de la tâche de catégorisation.

La situation se détériore pour la période de la journée, tâche beaucoup plus difficile puisque la moitié des réponses sont erronées, et le faible taux de réponse exacte (1 sur 6 environ). La difficulté de cette tâche est confirmée par la forte proportion de réponses "NSP" (35,3%). Un sujet n'a systématiquement pas répondu, et un autre a systématiquement répondu par la saison à laquelle il pense que l'enregistrement a été effectué (le printemps dans tous les cas).

#### 4.3.4.2 Catégorisation libre des séquences sonores

L'objectif est, dans un premier temps, de comprendre à partir de quels critères les sujets ont réalisé leur tâche de catégorisation, puis dans un deuxième temps, de vérifier ces critères par l'analyse linguistique des réponses des sujets. Une première synthèse des catégories et des verbalisations réalisées par les sujets a permis de mettre en évidence certains critères.

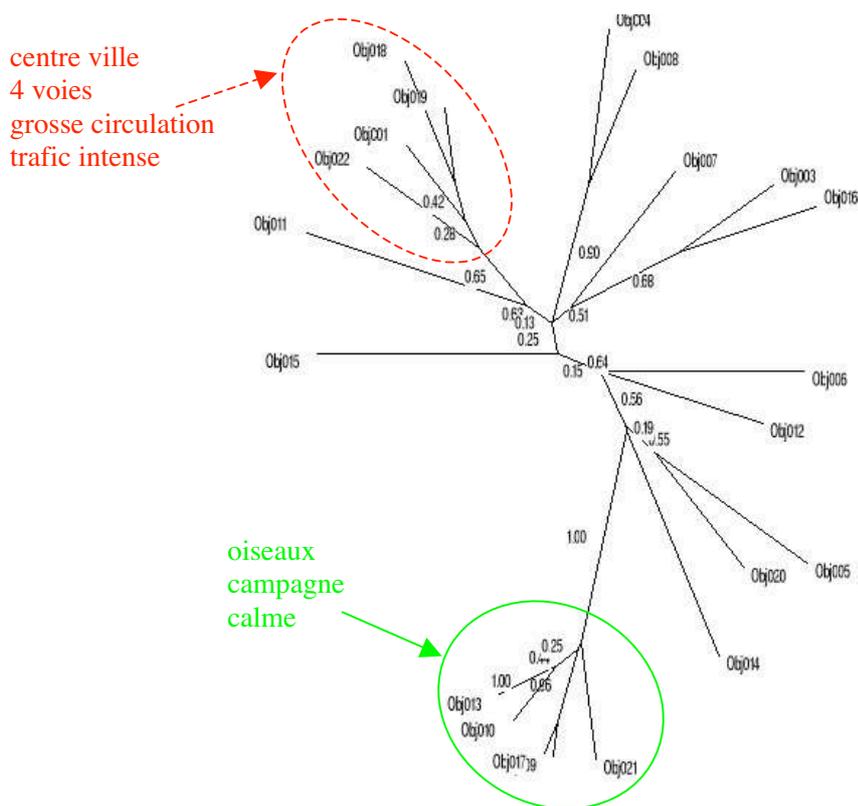


Figure 24 – Arbre de classification ; la séquence 2 est confondue avec la séquence 13.

L'analyse arborescente (figure 24) fait ressortir une classe formée des séquences 2, 9, 10, 13, 17 et 21, discriminée par tous les sujets. Cette classe s'oppose à toutes les autres séquences d'où aucun autre groupe ne se détache réellement : il existe bien des regroupements, comme celui de la séquence 4 et 8, mais ils restent formés de séquences contrastées, soulignant ainsi la richesse d'une tâche de catégorisation libre qui tient compte des *dissemblances* – tout comme l'analyse multidimensionnelle – mais aussi des *ressemblances*. Toutes ces autres séquences se regroupent donc autour d'un même nœud, ce qui confirme d'une part qu'elles sont bien différenciées par les auditeurs, mais surtout *confirme le bien fondé de notre sélection basée sur la typologie morphologique*.

En ce qui concerne la dénomination des classes, nous observons une grande variabilité de termes. Mais ils se regroupent principalement en trois catégories :

- des lieux (*petite ville, rue, parc, de l'intérieur, etc.*)
- des activités (*circulation, trafic*)
- des sources (*oiseaux, présence humaine*).

Exceptionnellement, un jugement est utilisé (*pas mal, cool, calme*). C'est ainsi que la seule classe discriminée est quasi-unanimement décrite par la prédominance d'une seule source : les *oiseaux*.

Nous avons également vérifié la pertinence de l'analyse par arbre par une analyse multidimensionnelle classique (MDS non-métrique). Trois dimensions expliquent 93% de la variance, et le plan correspondant aux deux premières dimensions est présenté sur la figure 25. Nous retrouvons la classe des *oiseaux*, qui s'oppose à l'autre bout de l'axe 1 aux séquences 1, 18, 19 et 22, qui sont effectivement situées à l'autre extrémité de l'arbre de la figure 24, sans s'en détacher complètement. L'analyse des dénominations montre que ces

séquences correspondent à une forte circulation, avec des termes comme *centre ville*, *4 voies*, *grosse circulation*, *trafic intense*. La dimension 1 peut donc s'interpréter comme celle de l'intensité sonore, ce qui est conforme à tous les travaux sur les ambiances sonores urbaines.

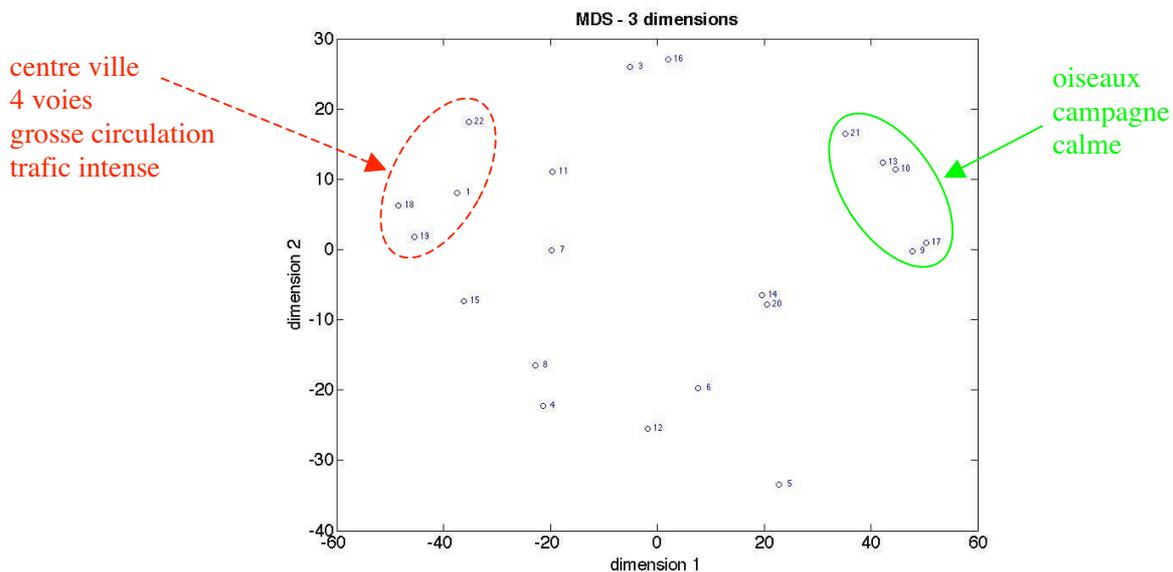


Figure 25 – Analyse multidimensionnelle : les deux premières dimensions.

Enfin, si l'on s'intéresse aux lieux, il est remarquable que la moitié de séquences de la classe des *oiseaux* proviennent du même site (classe C : double sens, trafic peu important, 2 voies), et les deux tiers de sites à trafic peu important. En ce qui concerne le temps, une moitié des séquences a été enregistrée pendant la même période de la journée, tôt le matin avant que la circulation ne s'installe : parmi celles-ci, deux proviennent de sites de la classe A (double sens, trafic important, plusieurs voies). Parmi les autres regroupements, le lieu ne semble pas discriminant, sauf pour le groupe *centre-ville* où trois séquences sur quatre proviennent de sites de la classe A. La période de la journée l'est davantage : elle est commune aux séquences 3 et 16 (tôt le matin), et à trois séquences sur quatre du groupe *centre-ville* (fin du matin).

Les limites de la classification typo-morphologique apparaissent avec les séquences 1, 4, 11, et 16. Ces quatre séquences proviennent du même site, qui appartient à la classe D (sens unique, trafic peu important, 1 voie). Or elles sont systématiquement regroupées avec des séquences issues de la classe A (18, 19, 22 ; 8 ; 3), souvent de la même période (1,18, 19 ; 3,16). L'autre site de la classe D (2, 6, 14, 20) est par contre préférentiellement regroupé avec les séquences calmes, ou avec d'autres séquences à trafic peu important, comme attendu. Il se peut que dans une rue étroite à faible circulation, le moindre véhicule devienne extrêmement gênant. Nous reviendrons sur ce point plus bas.

#### 4.3.4.3 Analyse linguistique des classes

L'analyse linguistique des explications associées par les sujets à chaque classe fait ressortir les principaux critères de classification. Tout d'abord, la densité de circulation et le type de trafic semblent être des critères importants. En effet, les sujets utilisent différents termes pour juger du caractère continu, pulsé/discontinu ou évènementiel du trafic : "circulation continue", "circulation très dense", "bruit de circulation intense et régulier", "rythme constant", "trafic sans reprise", "circulation et démarrages", "bruits routiers discontinus",

”début calme et circulation de plus en plus forte”, ”irrégularité des bruits de circulation”, ”changement de vitesse/trafic sans reprise”, ”circulation peu intense”, ”peu de trafic”. On retrouve un peu ce qui a été démontré dans de précédents travaux de recherche, c’est à dire une opposition entre situation amorphe (”tous les sons de véhiculent s’entremêlent”) et événementiel (passages de véhicules isolés). Un autre paramètre parfois exprimé est la vitesse du trafic (ou des véhicules), certains parlent de circulation lente ou rapide, vitesse élevée.

Un autre critère ressortant fréquemment des réponses des sujets concerne les sources sonores composant la situation sonore. La présence, proche ou lointaine, d’oiseaux, d’espaces verts et de voix humaines est un paramètre discriminant dans la réalisation des catégories. Les chants d’oiseaux sont très présents en milieu urbain, et sont dans ce test souvent assimilés à un espace vert de type parc ou jardin public, alors qu’aucun enregistrement n’a été réalisé dans ce type de lieu. La présence de certaines sources sonores d’origine mécanique, telles que les ”véhicules”, ”camions”, ”klaxon” ou ”scooter”, sont citées mais ne semblent pas être un paramètre discriminant dans la réalisation des catégories.

La prédominance ou non de la circulation (ou du bruit de circulation) sur les autres sons de l’environnement semble aussi être un paramètre important. Les sujets parlent notamment de ”calme perturbé par la circulation”, ”on entend absolument aucun autre bruit que celui de la circulation”, ”chants d’oiseaux recouverts à l’arrivée des voitures”, ou encore ”on entend le bruit de voix humaines mais le bruit des voitures prend le dessus”. Lorsqu’elle n’est pas prédominante, ils parlent de ”circulation en fond”, ”bruit de fond de circulation”, ”prédominance des oiseaux sur la circulation”.

De plus, il est intéressant d’observer l’aspect qualitatif associé aux différents types de sources et de trafics. En effet, les adjectifs déverbaux *bruyant* et *fatigant* sont associés aux trafics dense et continus, alors que l’adjectif *calme* est plus naturellement associés aux espaces verts, aux oiseaux et aux séquences contenant uniquement des événements sonores (liés aux transports) isolés. Nous retrouvons également la différence de registre entre les adjectifs qualifiant les sources, souvent construits sur des verbes et exprimant un jugement, et les adjectifs qualifiant le bruit de fond – circulation et trafic – en plus petit nombre, qui sont des descripteurs physiques (*dense, basse, grave, continu, immergé, etc.*). Là encore, nous retrouvons les résultats de C. Guastavino, mais cette fois-ci sur une base de donnée contrôlée, issue d’une analyse typo-morphologique de la ville.

En ce qui concerne les verbes, outre les verbes *être* et *entendre* auxquels nous nous attendions, nous avons relevé une série de verbes de mouvement lié au trafic, et plus particulièrement à l’idée de *passage de véhicules*. Cette expression se retrouve d’ailleurs parmi les sources, et la vitesse de ce passage est aussi utilisée par quelques sujets pour dénommer certaines classes. Mis à part le cas d’un sujet qui a voulu faire de l’humour, le *passage* est la seule "activité" indiquée par les sujets. Elle s’oppose d’ailleurs au caractère continu du bruit de fond et de la circulation, qui caractérise les sons les plus gênants, comme nous le verrons plus bas.

Enfin, l’usage des pronoms personnels est très restreint, se réduisant pratiquement au seul pronom *on*.

Il est à noter cependant que, si les sujets citent souvent un lieu, ou le décrivent, dans leur explication des classes, ils ne citent jamais de période de la journée. Ceci confirme l’incapacité des sujets à reconnaître l’instant de la journée la période, que nous avons mis en évidence précédemment.

#### 4.3.4.4 La gêne

Deux questions s'adressaient directement à la gêne, en demandant aux sujets de choisir la séquence qu'ils trouvent la plus gênante et la moins gênante, en expliquant leur choix.

En ce qui concerne la séquence la plus gênante, les sujets ne s'accordent pas. Mais la majorité des sujets citent l'une des séquences du groupe 1, 18, 19 et 22, associé aux termes *centre ville*, *4 voies*, *grosse circulation*, *trafic intense* dans le test de catégorisation. Dans les explications, nous retrouvons le registre physique propre au bruit de fond, associé à la circulation : *dense*, *continu*, *intervalles répétés*, *fort*, *trop aigu*, *intensité*, *permanence*, etc. Aucune source n'est citée, sauf associée au déterminant *aucun* : *aucune voix*, *aucun oiseau*, *aucune vie*. Bref, c'est quand la circulation devient *envahissante* qu'elle est la plus gênante, et l'un des sujets cite le mot *stress*. Les séquences les plus gênantes sont donc des séquences holistiques, caractérisées par la permanence du bruit.

Par contre, cinq sujets s'accordent à considérer la séquence 17 comme la moins gênante, l'une des séquences de la classe des *oiseaux*. Les explications insistent sur la *variété dans le temps*, *l'intensité et la nature* du bruit, et citent les *oiseaux* et les *animaux*, ainsi que *l'éloignement de la route* : *une seule voiture*. Bref, *la nature est présente et est associée à des activités relaxantes*. Les séquences les moins gênantes sont donc des séquences événementielles, qui font sens pour les sujets.

Nous retrouvons donc le premier axe de l'analyse multidimensionnelle (figure 25), ou les deux extrémités de l'arbre de la figure 24, qui opposent la nature et les oiseaux aux centres-villes et leur trafic intense.

Une dernière remarque concerne la séquence 1 : elle est citée 3 fois parmi les 8 réponses comme la séquence la plus gênante. Or elle provient d'un site de la classe D (sens unique, trafic peu important, 1 voie). Ce classement confirme que, dans une rue étroite à faible circulation, le moindre véhicule devient extrêmement gênant.

## 4.4 Conclusion

A l'issue de ce projet, nous disposons donc d'une base de données de 42 heures d'enregistrements sonores urbain, sur des sites repérés par la classification typomorphologique du chapitre précédent, et tenant compte des différentes périodes de la journée, en particulier des périodes sensibles du matin et du soir. Malheureusement, nous avons sous-estimé le temps nécessaire à l'enregistrement et l'indexation de cette base de donnée, ce qui a limité l'utilisation que nous avons pu en faire.

Nous avons également sous-estimé la difficulté de réaliser un test perceptif qui tienne compte de l'évolution de l'environnement sonore au cours des périodes sensibles, c'est-à-dire sur des périodes de 2 heures. La salle d'écoute du Laboratoire d'Acoustique Musicale et les procédures de test mise au point lors des travaux précédents ne permettent pas en effet d'utiliser des séquences d'une durée de plus de 1 minute. Lors d'une étude précédente où la question de l'évolution temporelle s'était posée (Mzali), nous avons d'ailleurs choisi la solution du train d'essai. Cette solution est difficilement transposable aux environnements sonores urbains, même s'il existe des tentatives dans ce sens (Botteldooren et al.).

Quelqu'imparfait qu'il soit – notre test ne comprenait pas non plus de séquences enregistrées pendant la période de référence du milieu de journée pour ne pas l'alourdir – notre test confirme tout d'abord les résultats de V. Maffiolo et C. Guastavino sur la différence entre séquences holistiques et séquences événementielles, ainsi que sur la différence de traitement sémantique des sources et du bruit de fond, et ce sur un corpus sélectionné selon des critères rigoureux, basés sur l'analyse typomorphologique des sites urbains. Il montre que cette classification typomorphologique est pertinente, car les sujets n'ont pas vraiment réussi à y

discriminer des classes - si ce n'est l'unique classe des *oiseaux* sur la base de l'absence de bruit de circulation et de la présence de sources de la nature. Il confirme également que la nature est jugée comme agréable et *relaxante*, à l'opposé des la circulation intense jugée comme envahissante et gênante, voire stressante. En d'autres termes, c'est la variété des sources sonores, la présence humaine ou de sources de la nature, et l'éloignement de la circulation, qui sont préférés par nos sujets. Il se trouve que ces conditions sont réunies préférentiellement le matin, et parfois tard le soir, mais les sujets ne sont pas capable de reconnaître la période de la journée où l'enregistrement est effectué.

Notre analyse montre également les limites de la classification typo-morphologique. En effet, les rues étroites à sens unique et faible circulation ne sont pas toujours groupées avec les autres rues à faible circulation. Bien au contraire, ces sites sont parmi les plus gênants, et l'analyse verbale montre que c'est la répétition de passages très bruyants de véhicules qui gêne nos sujets. Ce résultat est à rapprocher de ceux de l'analyse de variance du chapitre 2, où les rues en U étaient plus bruyantes que les rues ouvertes, vraisemblablement à cause de la réverbération plus importante qui amplifie les événements sonores (passages de véhicules). Cette importance de la réverbération est apparemment confirmée par les deux sites à trafic important classés parmi les séquences calmes, mais pour une période de la journée où la circulation n'est pas encore établie (tôt le matin).

Enfin, il est à regretter que des problèmes météorologiques n'aient pas permis d'exploiter le site de la classe B (sens unique, trafic important, plusieurs voies) pour les périodes de fin du matin et de début de soirée, car nous ne pouvons pas confirmer la pertinence de cette classe, réintroduite à la fin de l'analyse typo-morphologique du chapitre 3 pour des raisons de complétude des critères retenus.

## Chapitre 5 : Indices sonores adaptés

L'un des buts de la présente étude était la mise au point d'indices acoustiques représentatifs de la diversité perceptive, c'est-à-dire traduisant les caractéristiques de la perception ou du vécu sonore des populations, plus particulièrement pendant les périodes sensibles correspondant aux périodes d'endormissement (soirées) et de réveil (matin). Quelques pistes ont été explorées lors de cette recherche, mais n'ont malheureusement pas pu être exploitées à fond pour des raisons qui sont expliquées ci-dessous.

### 5.1 Les passages de véhicules

#### 5.1.1 statistiques de passages

Dès la mise en place de la présente étude, nous avons prévu de travailler sur la statistique des passages de véhicules. Pour ce faire, un modèle théorique a été développé : il est reproduit en annexe 5.

Le point de vue adopté par le modèle retenu n'est pas celui de l'émergence par rapport au bruit de fond des événements sonores correspondant aux passages de chaque véhicule, mais celui des statistiques de files d'attente, qui cherchent à déterminer la probabilité de passage pendant un intervalle de temps donné. En d'autres termes, le modèle fournit une estimation du nombre de passages de véhicules pendant chaque intervalle de temps, ce qui correspond dans les faits à un comptage de véhicule.

L'hypothèse de départ retenue pour ce modèle est celle de flot Poissonien, c'est-à-dire l'indépendance des passages survenant pendant des intervalles de temps disjoints. En considérant séparément les passages simples, doubles, ou multiples, on arrive à la notion de flot Poissonien composé, développée dans l'annexe 5.

Ce modèle a été étudié dans le cas des passages de train par E. Walker. Dans sa thèse qui se déroulait en parallèle de la présente étude, elle a montré que le modèle n'était pas entièrement correct, et qu'il valait mieux tenir compte des variations cycliques (diurnes, hebdomadaires, etc.) du nombre moyen de passages dans le modèle simple de Poisson, plutôt que de considérer un modèle composé : l'accord avec les données expérimentales est alors meilleur. Les difficultés rencontrées par E. Walker nous ont fait ajourner l'application de ce modèle qu trafic routier.

L'idée de variations cycliques à différentes échelles n'est pas sans rappeler l'indice de « musicalité » proposé par D. Botteldooren pour caractériser les zones calmes. Il y a certainement là une piste de recherche intéressante à développer.

### 5.1.2 signature des passages

En milieu urbain, le passage d'un véhicule ne se produit pas en champ libre, mais dans un milieu réverbérant particulier : la rue. Une analyse de la réverbération dans les rues, telle que J. Picaut l'a effectuée il y a quelques années, montre en effet que la réverbération n'y suit pas la loi de Sabine, comme dans les locaux fermés, mais une loi de diffusion. En conséquence, le champ réverbéré n'est pas uniforme dans une rue, contrairement au cas des salles fermées, mais il décroît linéairement avec la distance à la source.

Si l'on applique cette théorie au passage d'un véhicule, la distance entre la source et le récepteur n'est pas constante, mais varie avec le temps proportionnellement à la vitesse de la source. Une analyse détaillée montre alors que cette proportion est exacte en phase d'éloignement de la source, mais doit être corrigée par un facteur lié à la diffusion en phase d'approche. Il en résulte donc une dissymétrie de la signature acoustique des véhicules en mouvement, qui pourrait être utilisée pour évaluer la vitesse des véhicules. Ce modèle nécessite la mesure du niveau sonore instantané sur des périodes de temps très courtes – de l'ordre de quelques dizaines de millisecondes – et n'est donc pas compatible avec les normes actuelles concernant le  $L_{eq}$ . Il plaide donc pour l'évaluation du  $L_{eq}$  sur des durées bien inférieures à la seconde lors de campagnes de mesures acoustiques.

Le manque de temps ne nous a pas permis de poursuivre cette piste, qui n'est réalisable qu'à partir de notre base de donnée d'enregistrements sonores.

## 5.2 Les sources sonores

La notion de passage est intimement liée à celle de véhicule, et plus généralement à celle de source sonore. Or, le principal résultat de notre étude perceptive, qui confirme les études antérieures, c'est l'importance de ces dernières pour le sujet humain. A ce propos, il est intéressant de noter que l'administration des Parcs Nationaux américains a beaucoup travaillé sur l'identification des sources sonores dans le but de qualifier la qualité sonore des parcs (InterNoise). D'autre part, l'identification des sources, sous le vocable d'*indice sémantique*, est ressortie de l'étude de M. Mzali sur la qualité sonore dans les trains.

Nous n'avions pas prévu de travailler sur l'identification automatique des sources dans le présent projet. Mais l'opportunité s'en est présentée avec le stage post-doctoral de Marcela Morvidone, financé par la Ville de Paris. C'est une recherche en cours, qui constitue l'une des retombées du présent travail puisqu'elle utilise notre base de donnée d'enregistrement.

## 5.3 Le modèle systémique

A l'issue de ce travail, nous pouvons proposer un modèle systémique pour construire les indices acoustiques pertinents. Ceux-ci doivent prendre en compte des sources sonores différentes réparties dans l'espace et suivant des cycles temporels qui traduisent les rythmes d'activité des populations. C'est ce qu'exprime le diagramme suivant.

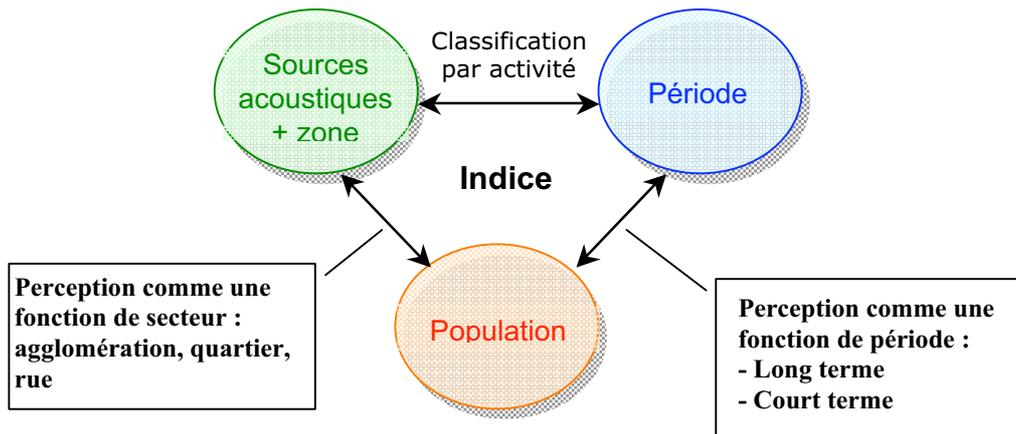


Figure 26 – Modèle systémique d'indicateurs acoustiques.

Or les indicateurs acoustiques actuels, comme le montre le tableau 11, ne sont capables de traduire les différentes échelles spatiales et temporelles que de manière imparfaite, par le biais de moyennes. De ce fait, toute notion de rythme et de biodiversité acoustique – et il s'agit effectivement de *biodiversité*, au sens étymologique du terme, puisqu'elle traduit la *vie* des habitants – est bannie de nos territoires urbains. L'indicateur acoustique idéal doit donc traduire cette biodiversité et l'inscrire dans l'espace et le temps vécus par les populations. Nous renvoyons sur ce point à la monographie des bruits du transport, dont deux des auteurs de ce rapport sont coauteurs (Faburel et al.).

Table 11 – Classification des indicateurs acoustiques actuels

	Court terme (seconde, minute)	Moyen terme (heures)	Long terme (jour, semaine...)
Agglomération	$L_{max}$	$L_D, L_N, L_E$	$L_{DEN}, L_N$
Quartier	$\Delta LA_{eq}(1s), L_x, L_{max}$ TEL	$Leq(1h), L_x...$ $L_D, L_N, L_E$	$L_{DEN}, L_N$
Rue	$L_{max},$ $\Delta LA_{eq}(1s),$ TEL, NNE	$Leq(1h), L_x,$ $L_D, L_N, L_{max},$ NNE	$L_{DEN}, L_N, NNE$

Croisement  
des activités

Outre cette incapacité de prendre en compte l'inscription spatiale et temporelle de la notion de territoire, les indicateurs acoustiques actuels rendent également fort mal compte de la réverbération urbaine, déjà mentionnée ci-dessus à la section 4.1.2, et dont un autre effet est d'amplifier, dans les rues étroites à faible circulation, le niveau sonore créé par le moindre passage de véhicule au point de les rendre très gênants (cf. conclusions des chapitres 2 et 4). Pour cette raison, le bruit de fond est plus faible dans les rues larges ou en L, et l'émergence y prend un relief particulier, non encore pris en compte par les indicateurs. C'est une quatrième voie de recherche sur les indicateurs, que le manque de temps nous a également empêché de développer.



## Conclusion

A l'issue de ce projet, nous sommes en mesure d'en tirer des enseignements, et de dégager des perspectives pour des études ultérieures ou complémentaires.

### Les principaux résultats

Tout d'abord, il importe de se rendre compte que la présente étude constitue une première. En effet, à notre connaissance, il n'existe aucune antériorité d'étude comparative des trois méthodes que nous avons utilisées pour évaluer l'environnement sonore urbain qui ait été réalisée sur une même base de données, ou plus précisément sur des bases de données équivalentes construites par approximation successives au fur et à mesure que les analyses tombaient. A partir d'une première base de données italienne et des corrélations qu'elle mettait en évidence, deux autres bases de données françaises ont été successivement constituées et ont conduit à la classification typo-morphologique des sites où effectuer des enregistrements. Ceux-ci ont donc constitué une quatrième base de données, ou plutôt un corpus, pour l'analyse perceptive. Nous sommes donc assurés d'une cohérence entre les bases de données, ce qui nous autorise à comparer les différentes méthodes d'analyse qui leur sont associées.

De cette comparaison, nous pouvons donc déduire les avantages et inconvénients des trois méthodes que nous avons utilisées. L'analyse de la variance, utilisée pour la base de données italienne, nous a permis de mettre en évidence les corrélations entre facteurs d'explication des mesures acoustiques, mais également les *anomalies* de corrélation. C'est ainsi que nous avons constaté que, si les niveaux de bruit augmentent en moyenne avec le taux de circulation, les rues très larges constituent une exception du fait que les événements sonores, liés aux passages des véhicules, restent détachés et d'un niveau maximum constant. Par contre, dans les rues très étroites, la réverbération superpose les événements sonores et le niveau de bruit est supérieur à ce que prédit le taux de circulation. Cependant, l'analyse de variance ne permet pas de mettre en évidence des classes de sites pour les indicateurs acoustiques.

C'est en recourant à l'analyse factorielle des deux bases de données françaises que nous avons pu obtenir plusieurs classifications des sites, selon le degré de finesse voulu. Cependant, ces classifications sont tributaires de la représentativité des échantillons constituant les bases de données. La comparaison critique de ces classifications et de ces bases nous a conduit finalement à retenir une classification en quatre classes, caractérisées par un sens unique ou non et le nombre de voies – équivalent à l'intensité du trafic. Nous n'avons par contre pas retrouvé le cas particulier des rues en U étroites à une voie, ce qui montre que l'analyse factorielle construit ses classes au détriment de la finesse d'analyse qui caractérise l'analyse de variance.

La catégorisation libre nous a permis de valider la pertinence perceptive de la classification morphotypologique. Mais c'est l'analyse linguistique des verbalisations associées aux catégories qui nous donne accès aux représentations mentales qui sous-tendent les catégories, et de comprendre sur quelle base les sujets humains classent les séquences sonores. Nous avons ainsi retrouvé certaines des anomalies mises en évidence par l'analyse de variance. Malheureusement, la mise en œuvre de cette méthode est longue et restreint son utilisation à des corpus réduits.

Le principal résultat de cette triple analyse est que catégorisation et verbalisation confirment les résultats de V. Maffiolo et C. Guastavino. Sur notre corpus contrôlé par les analyses statistiques préalables, nous retrouvons l'opposition sémantique entre sources et bruit de fond, équivalente à celle entre séquences événementielles et séquences holistiques. Mieux, nous mettons en évidence que la gêne est contrôlée par l'absence ou la présence de sources humaines ou liées à la nature, retrouvant ainsi les résultats d'une autre étude du PREDIT (Guyot et al.). Ce résultat confirme la pertinence d'une reconnaissance automatique de sources pour évaluer l'environnement sonore, comme l'ont proposé Defreville et al. Enfin, la catégorisation confirme la pertinence des anomalies acoustiques relevées par l'analyse de variance, d'une part pour les rues en U étroites même à faible trafic dès que celui-ci prend une certaine ampleur, et d'autre part pour les rues larges quand les événements sonores sont intermittents.

#### Les problèmes rencontrés.

Cette triple analyse n'a pas été sans rencontrer quelques problèmes. D'abord, nous avons vite été confronté à la question de l'abondances des variables relativement à la pénurie des points de mesure dans nos bases de données françaises. Cette pénurie s'explique en partie par l'inconsistance des bases de données acoustiques. Nous nous sommes vite rendu compte, en effet, que les nombreuses mesures sur site effectués par le bureau d'étude partenaire et mis à notre disposition pour cette étude ne répondaient que très partiellement à nos besoins. Elles répondaient à un cahier des charges différents, et donc ne contiennent pas tous les relevés nécessaires. La logique de répartition des sites était également différente, si bien que l'échantillonnage ne couvrait pas complètement nos besoins. Mais nous nous sommes surtout heurté à un problème imprévu, le fait que ces mesures n'avaient pas été destinées à un archivage pérenne, rendant leur relecture très aléatoire par manque d'une indexation adéquate. Ce problème pose la question d'un protocole rigoureux de mesure, d'indexation et d'archivages pour toutes les études d'impact acoustique exigée par la réglementation.

Nous avons également sous-estimé le temps nécessaire aux enregistrements sur site, et surtout à leur indexation. Ceci a considérablement ralenti la sélection des séquences sonores pour le test de catégorisation. C'est alors que nous nous sommes rendu compte que sélectionner 22 séquences ne permet pas de rendre compte de l'évolution temporelle de l'environnement sonore pendant les périodes sensibles, mais nous n'avons pas trouvé de solution à ce dilemme: c'est le premier point sur lequel notre travail s'écarte du projet initial. Cependant, nous considérons que les résultats perceptifs obtenus répondent également à la question des périodes sensibles parce que nos sujets ont été incapables de reconnaître la période de la journée où les séquences sont enregistrées. De plus, nos résultats sont cohérents avec les travaux antérieurs, et la préférence majoritairement accordées par nos sujets aux séquences calmes, c'est-à-dire contenant des oiseaux et où la circulation est éloignée, permet de comprendre en quoi les périodes du matin et du soir sont sensibles : il suffit que la circulation augmente pour basculer du calme au trafic continu.

La conséquence de cette sous-estimation du temps d'enregistrement et d'indexation des séquences est que nous n'avons pas eu le temps d'exploiter le corpus des enregistrements

pour en extraire les indices acoustiques associés : c'est le deuxième point sur lequel notre travail s'écarte du projet initial. Nous sommes cependant confiants dans nos résultats car ils sont conformes aux études antérieures, ainsi qu'aux analyses statistiques sur lesquelles repose la sélection des sites d'enregistrements.

### Les perspectives.

Le corpus de 42h d'enregistrement sonore nous sert d'ores et déjà à travailler sur la reconnaissance automatique des sources dans le cadre d'un post-doctorat financé par la ville de Paris. Nous avons l'intention de développer ce travail, en nous appuyant sur les avancées récentes obtenues en traitement du signal. La détection des sources sonores liées à la nature et à l'homme, et l'évaluation de leur nombre, fournira des indicateurs de type sémantique dont l'importance et la pertinence ont déjà été signalées pour d'autres applications (Mzali).

Une deuxième piste de développement concerne l'étude de la statistique des passages de véhicules. Elle était initialement prévue dans le projet, mais a été laissée de côté suite aux difficultés rencontrées dans un travail parallèle sur les circulations ferroviaires (Walker). Une autre piste pour caractériser les événements sonores a récemment été proposée par D. Botteldooren, avec un indice de *musicalité* lié à la pente du spectre de modulation du signal d'intensité sonore. Une troisième piste est l'étude de l'asymétrie temporelle des signatures de passages, asymétrie liée à la vitesse des véhicules et à un paramètre caractérisant la diffusion spatiale du son. Il serait théoriquement possible d'en déduire l'intensité du trafic par une mesure acoustique.

Une troisième piste de développement concerne les difficultés que nous avons rencontrées pour utiliser les bases de données des bureaux d'étude. Il faudrait définir une procédure "normalisée" d'enregistrement et d'indexation de ces mesures, réalisées pour les études d'impact dans le cadre de la réglementation, ainsi qu'une procédure de "dépôt légal" comme il en existe pour les publications. Cette mesure résoudrait à la fois les problèmes d'archivages et ceux de confidentialité de ces mesures.

### Valorisation

Le présent travail a été présenté dans le cadre du séminaire « Bruit des transports » du PREDIT. Il sera également présenté en 2008 lors d'une conférence internationale à définir.

Outre le présent rapport final, nous prévoyons de publier l'étude comparative des méthodes d'analyse de données dans une revue internationale, en apportant éventuellement des compléments aux tests subjectifs.

Enfin, l'une des valorisations de ce projet est le post-doctorat au LAM de Marcela Morvidone, qui utilise notre base de données sonores pour mettre au point des algorithmes de reconnaissance automatique d'événements sonores.

## Références générales

- Botteldooren D., De Coensel B., De Muer T., *The temporal structure of urban soundscapes*, J. Sound Vib 292, p. 105-123, 2006
- De Coensel B., Botteldooren D., *1/f noise in rural and soundscape*, Acta Acustica united with Acustica 89, p. 287-295, 2003
- Defréville B., Lavandier C., Laniray M., *Activity of urban sound sources*, in CD-Rom proceedings of the 18th International Congress in Acoustics, Kyoto, avril 2004.
- Dubois D., Guastavino C., Raimbault M., *Les catégories cognitives du bruit : des discours aux indicateurs physiques*, Acoustique & Techniques n° 39, quatrième trimestre 2004.
- Dumas J., *L'analyse temps-fréquence*, 01 dB-Stell, février 2001.
- Faburel G., Polack J.D., Beaumont J., *Bruit des transports : état et perspectives scientifiques*, La Documentation Française, Paris, 2007
- Flahaut S., *Détection automatique des bruits urbains émergeant du bruit de fond*, mémoire de DEA ENTPE-INRETS, septembre 1996.
- Flandrin P., *Temps-fréquence*, éd. Hermès, 1998.
- Fristrup K., LEE C., Analysis of ambient data in support of the National Parks Air Tour Management Act, Internoise 2006, Honolulu, Paper 739
- Gade S., Herlufsen H., *Signals and units*, Brüel & Kjaer technical review n° 3, 1987.
- Gade S., Gram-Hansen K., *The analysis of nonstationary signals*, Sound and vibration, volume 31/number 1, janvier 1997.
- Gaulin D., *Caractérisation physique des sources sonores en milieu urbain*, thèse de doctorat de l'Université du Maine, mars 2000.
- GRECO-ERAC, INRETS-LTE, SCHS de Bordeaux, 01dB-Stell, *A l'écoute d'une ville : évaluation de la qualité du confort urbain vis-à-vis du bruit des transports*, Acoustique & Techniques n° 26, septembre 2001.
- Guastavino C., *Etude sémantique et acoustique de la perception des basses fréquences dans l'environnement sonore urbain*, thèse de doctorat de l'Université Paris 6, janvier 2003.
- Guyot F., Etude de la perception sonore en termes de reconnaissance et d'appréciation qualitative : une approche par catégorisation, Thèse de doctorat de l'Université Paris 6, 1996
- Hamet J.-F., Lambert J., Lelong J., *Caractériser et modéliser le bruit des transports en milieu urbain*, journée spécialisée du 28 mai 1998, Actes INRETS n° 66.
- Lavandier C., Barbot B., *Influence of the temporal scale on the relevance of acoustic parameters selected to characterize urban sound environments*, in CD-Rom Proceedings of 5th congress Euronoise, Naples, mai 2003.
- Leclercq L., *Modélisation dynamique du trafic et application à l'estimation du bruit routier*, thèse de doctorat de l'INSA de Lyon, novembre 2002.

- Léobon A., Sapaly J., *Identité sonore et qualité de vie en centre-ville, les ambiances sonores du quartier Graslin (Nantes)*, Laboratoire de mécanique physique, Université Paris 6, mai 1994.
- Lévy P., *Calcul des probabilités*, éd. Gauthier-Villars, Paris, 1925.
- Lévy P., *Théorie de l'addition des variables aléatoires*, deuxième édition, éd. Gauthier-Villars, Paris, 1925.
- Liénard P., *Décibels et indices de bruit*, éd. Masson, 1978.
- Maffiolo V., *De la caractérisation sémantique et acoustique de la qualité sonore de l'environnement urbain*, thèse de doctorat de l'Université du Maine, octobre 1999.
- Maffiolo V., Castellengo M., Dubois D., *Qualité sonore de l'environnement urbain : sémantique et intensité*, Acoustique & Techniques n° 16, décembre 1998.
- Mallat S., *Une exploration des signaux en ondelettes*, éd. de l'Ecole Polytechnique, 2000.
- Massol F., *La prévision du bruit de trafic en milieu urbain : réflexion sur l'apport d'une modélisation dynamique pour le calcul d'indicateurs de bruit en milieu urbain*, Travail de fin d'études de l'ENTPE, Grand Lyon, 2004.
- Maurin M., *Les indicateurs d'impact autour des aéroports*, journée spécialisée du 12 décembre 2002, Actes INRETS "Réduction des bruits des avions commerciaux au voisinage des aéroports civils, 2002.
- Maurin M., *Une analyse structurelle et morphologique des indicateurs d'impact sur l'environnement*, rapport INRETS-LTE 0301, 2003.
- Maurin M., *Logarithme, niveaux, décibels et "logique des niveaux"*, rapport INRETS-LTE 0304, février 2003.
- Migneron J.-G., *Acoustique urbaine*, éd. Masson, 1980.
- Mzali M., *Perception de l'ambiance sonore et évaluation du confort acoustique dans les trains*, thèse de doctorat de l'Université Paris 6, janvier 2002.
- Picaut J., Simon L., Hardy J., *Sound field modeling in streets with a diffusion equation*, J. Acoust. Soc. Am. 106, p. 2638-2645, 1999
- Polack J-D., Castellengo M., Maffiolo V., Guastavino C., Katz B., *Soundfield reproduction : the limits of the physical approach*, CFA/DAGA'04, Strasbourg, 2004.
- Raimbault M., *Simulation des ambiances sonores urbaines : intégration des aspects qualitatifs*, thèse de doctorat de l'Université de Nantes, mars 2002.
- Raimbault M., Lavandier C., Bérengier M., *Ambient sound assessment of urban environments: field studies in two french cities*, Applied acoustics 64, p. 1241-1256, 2003.
- Robin B., *Utilisation d'une méthode temps-fréquence pour la construction d'un indice sonore en site urbain : application aux bruits des transports collectifs*, mémoire de DEA Université du Maine/INRETS-LTE, septembre 2003.
- Rodrigues C., Beaumont J., Maurin M., Levy J., *Analyse et synthèse bibliographiques des différents systèmes d'indicateurs environnement et transport*, rapport INRETS-LTE 0215, 2002.
- Saporta G., *Probabilités, analyse des données et statistique*, éd. Technip, 1990.

Schomer P.D., *On the use of loudness weighted sound levels to assess community noise*, Internoise, 1999.

Schulte-Fortkamp B., Fiebig A., *Soundscape analysis in a residential area: an evaluation of noise and people mind*, Acta Acustica united with Acustica 92, p. 875-880, 2006

Simon L., *Introduction à l'analyse des signaux non-stationnaires*, cours de DEA d'acoustique appliquée, Université du Maine, 2003.

Vogel C., *Etude sémiotique et acoustique de l'identification des signaux sonores d'avertissement en contexte urbain*, thèse de doctorat, de l'Université Paris 6, octobre 1999.

Walker E., *Effets temporels du trafic ferroviaire : application à la multexposition pour l'évaluation des critères qualitatifs de la gêne*, thèse de doctorat, de l'Université Paris 6, décembre 2006.

Une liste de références supplémentaires est donnée en fin d'annexe A p. 133

## Annexe A : Classification from physical variables

### A.1 Introduction

It is quite strange, but not difficult to be understood, that there is not considered any noise variable in the models predicting road supply. The reasons are mainly two. The former is that the major number of studies on induced traffic have been done in USA, where a high increase in road construction has been occurred in the past decades and a lot of data are available, but also where the ONAC (Office of Noise Abatement and Control) was closed in 1981 and the noise studies are not so stressed as that on air pollution. The second is that the health effects of noise are less evident than air pollution ones, and so considered less damaging.

Anyway, the problem of environmental noise is as great, or possibly even greater, than it was a decade ago and a new consciousness is increasing. For example, in USA, a bill to restore funding for Office of Noise Abatement and Control (ONAC) was presented to Congress in 1997. It was stated that noise from vehicular traffic, aircraft, and a variety of other sources is a source of serious disturbance. In fact, it is estimated that nearly 20 million Americans are exposed to noise levels that can lead to psychological and physiological damage, and another 40 million are exposed to noise levels likely to cause disruption to sleep or work (Quiet Communities Act, 1997).

Regarding Europe, the most complete information was collected by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) in 1993 for some 14 European countries. Other more recent studies show that 17-22% of the population of the European Union (EU) (about 80 million people) are exposed daily to traffic noise exceeding the tolerance limit of 65 dBA (Institute National de Recherche et leur Sécurité – INRETS, 1994, von Meier 1994, INFRAS and Institut für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung - IWW, 1995). Another 170 million citizens live in so-called “gray zones” where noise levels within the range 55 to 65 dBA cause serious disturbance, especially at night-time. Road traffic is by far the greatest source of noise (of the European population exposed to noise levels over 65 dBA, around 90% is caused by road traffic, 1.7% rail traffic and 1% air traffic).

Recent European policy regarding noise pollution is to work towards the harmonization of data analysis methods. The aim is to draw up “noise maps” and define threshold values. As far as the railways are concerned, a regulation on admissible noise levels was presented in 1993. The proposal was approved by the European Parliament but then withdrawn by the Commission in the same year. One of the reasons was that rail vehicles from non EU countries which are not subject to the Community’s threshold noise emission values have unrestricted access to the EU network (European Commission, 1996).

In the meanwhile, several European countries have decided to establish domestic control procedures on noise emissions from rail traffic.

On the basis of the principles mentioned above, an approach to define appropriate noise indicators, useful in transport and environmental planning, either strategic or tactical, could be the study of the effect of mobility in a “certain” area.

This area has a twofold shape:

1. the vicinity of the noise source (transport system: road, tramway, railway) where the effect at the project level can be envisaged. In this case the “shape” of the site as the result of combination of the characteristics of the “transport system” (infrastructure and vehicle) and the surroundings (distance of buildings, height, skyline, etc.) is fundamental to calculate the effect, that should be “weighted” in function of the “human factors” (density, people typology, activity typology, etc.).

In this context the clusterization of the territory is needed to individuate some important variables characterizing it and significative in the impacts' calculation;

2. the wider area in which the effects of planning decision (e.g. road investment) can occur, to really take into account all the people involved in such a decision. This means to well provide the elements for a correct calculation of mobility effects induced by the decision, because the eventual sprawl effect of mobility generates land-use changes and creates new sites with noise problems. The real impact of decisions is either at short or long term, in the most related vicinity and in other vicinities, far from the intervention.

As the characterisation of the only noise source is not sufficient to well describe the noise event, the focus is to individuate some standard sites that are “recurrent” (either in urban or interurban context) and that are characterised by a precise combination of variables characterising the infrastructure, the vehicles and the surrounding environment (including also the meteorological conditions, also if they are not so significant in the vicinity, but much more at greater distances).

Hence, the area has to be characterized in term of “shape”, density (or land-use intensity) and of the categories of people living there: percentage of children, elderly people, etc. Only to know how many people are affected by certain impacts is important but not sufficient, because the degree of risk is different, and the same impact can cause more damages to children or elderly people than to the others one.

This means, finally, that the noise indicators should allow for the evaluation/forecast of the noise and disturbance due to urban noise sources and they will be defined in function of the combination of variables characterising each site (noise sources, surroundings, population).

To reach such a result the research has to follow different phases in which the “urban system” (fig. A.1) is analysed:

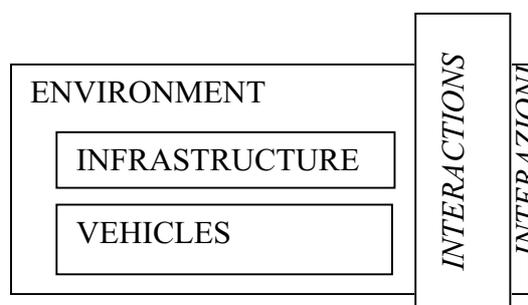


Figure A.1 – Schematic of the system environment in function of the transport system's noise.

## A.2 Methodology and site selection

### A.2.1 Introduction

The methodology has been defined to analyze the urban system as a whole, and examine the interactions between the variables involved in noise production and dispersion, in order to:

- identify the variables influencing the noise produced by urban activities (transport, humans, etc.);
- define the “standard sites” in which to carry out the measurements.

The identification of the characteristics of the “standard sites” for the measurements is fundamental because the characterization of the noise source, by itself, it is not sufficient to really understand the noise event; this event, really, causes a different effect in function of the location and environmental conditions in which it happens. This means that two subsystems are present and interact in the environment: the infrastructure and the vehicles (Pronello, 2003; Pronello and Iannelli, 2002).

### A.2.2 Methodology

For the system and the subsystems mentioned, the following variables have been singled out:

- a. **the vehicles**, which are characterised by (fig. A.2a, A.2b):
  - their characteristics:
    - the typology: motorcycles, cars, light duty vehicles, heavy duty vehicles, buses, trolleybuses, trams, trains;
    - the length, number and typology of the carriages (for trams and trains);
    - the characteristics of the rolling stock: typology of the bogies and braking system (disk, drum or shoe);
    - the age (e.g. pre-ECE, ECE, Euro 0, 1, 2 3, 4);
    - the displacement (< 1400 cc, ≥ 1400 cc and < 2000 cc, ≥ 2000 cc);
    - the type of traction: electric, gasoline, diesel, gpl, methane, hydrogen;
    - the maintenance conditions;
  - their cinematic driving characterisation (driving cycles), greatly influenced by driving attitude and behaviour;
  - their composition in term of traffic flow: continuous, discontinuous, flow’s intervals, influenced by the road/rail typology and by the presence of interruptions (traffic lights, cross-roads, etc.; see infrastructure);

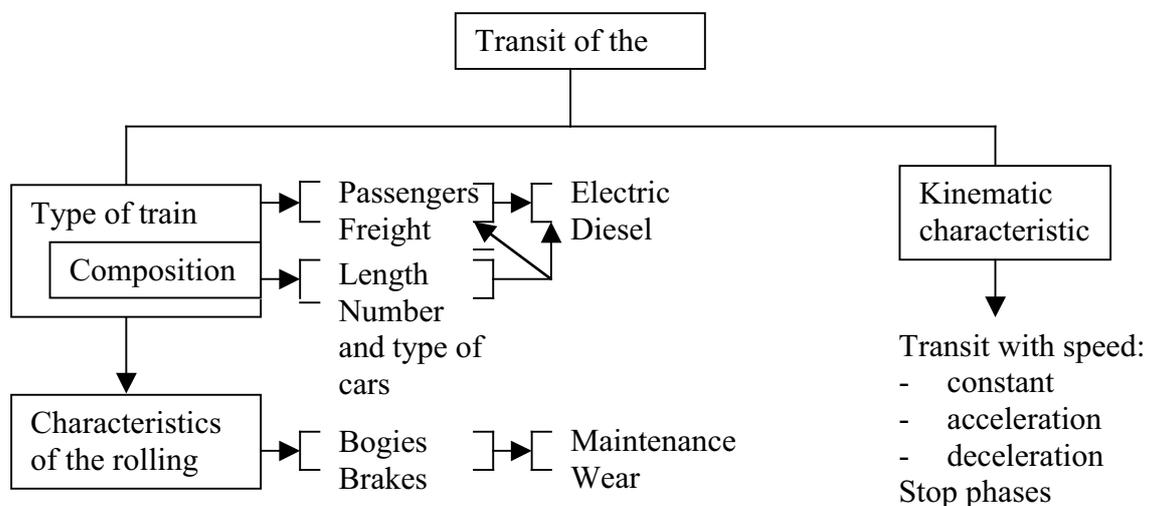


Figure A.2a - The variables pertaining to the train/tram vehicles

b. **the infrastructure.** The variables regarding the infrastructure are (fig. A.3a, A.3b):

- the geometrical characteristics of the line:
  - the plane altimetry of the road/track route (straight, bend, flat slope);
  - the constructive typology (ground level, trench, elevated), the number of tracks/lanes and the presence of artifacts (bridges, viaducts, tunnels);
- the power: electrified line or not (for trams, trolleybuses and trains);
- the typology of the track equipment, characterised by the type of ballast (traditional ballast or reinforced concrete platform), of sleepers (wood or reinforced concrete) and of junction (welded or joined), the type of rail (rack, grooved, etc.); and the paving typology: asphalt, porphyry, stones, etc.;
- the track/paving maintenance conditions;
- the ordinary interruptions: traffic lights, cross-roads, roundabout, etc., and the extraordinary hold up as restrictions due to works, accidents, etc..

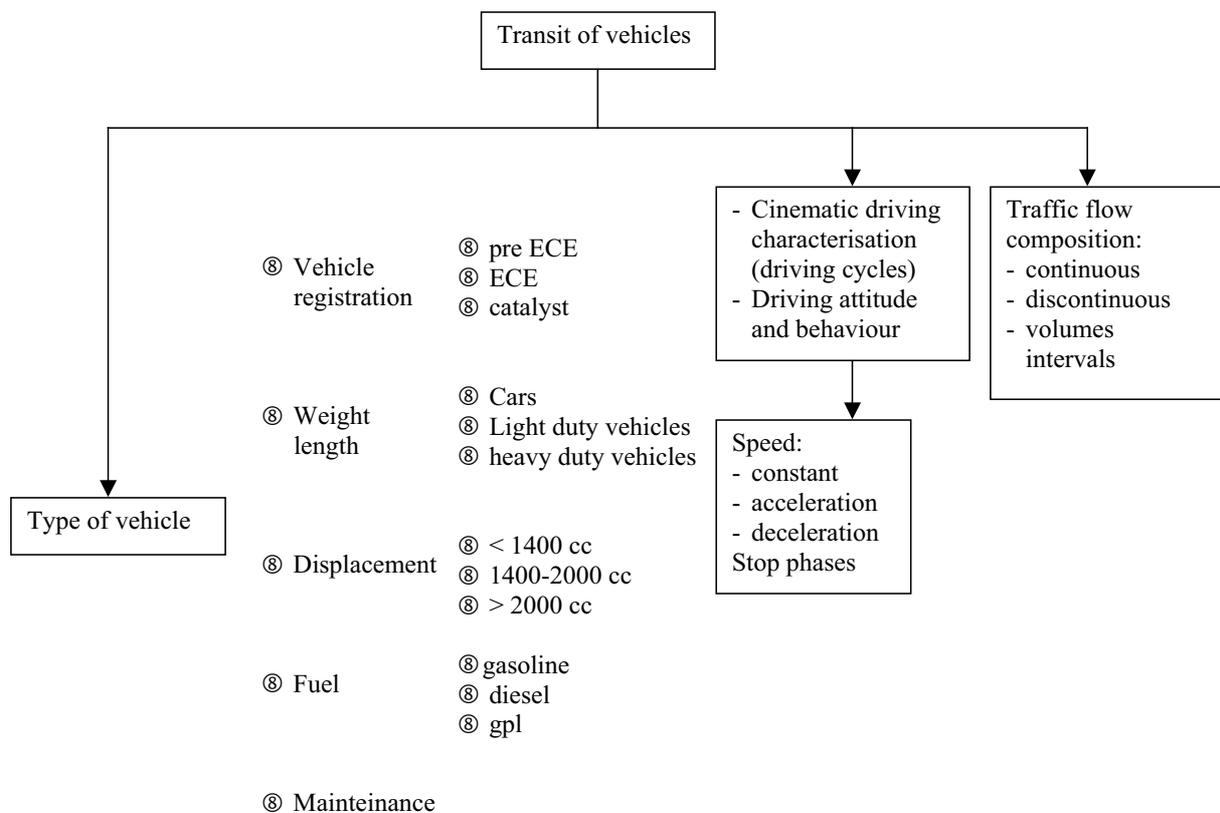


Figure A.2b - The variables pertaining to the road vehicles

c. **the environment.** The variables regarding the environment surrounding the noise sources are (fig. A.4):

- the presence of obstacles: the vegetation, characterised by its typology (trees or bushes), by the height and distance from the line; the buildings, characterised by the continuity or not of the skyline, by the height and distance from the line; the man made artifacts and the natural hills. The man made artifacts can be fencing of different types and materials (walls, wooden or metal fences, etc.) or barriers. The natural hills are knolls covered with bushy trees, earth, grass, etc.;
- the lack of obstacles: free field condition. The propagation of sound waves is influenced by the type of ground (vegetal or artificial, absorbing or reflecting);

- the meteorological conditions during which the noise source occurs: lack or presence of wind and, in this last case, its intensity and direction ; air temperature, pressure and humidity; degree of sky cover; rain, snow (Berengier, 1998). Recent studies have shown that the meteorological conditions become more important as the distance between source and receptor increases (De Vita, 1997). Close to the road/railway the most relevant effects are due to the geometrical spreading and to the ground effect; the air absorption as well as the temperature gradient are not significant, (Makarewicz, 1996);
- the quality of life in term of:
  - visual aspects:
    - green areas;
    - shape of buildings;
    - road conformation and urban equipment (e.g. bus stop decor, gardens, etc.) and road visual impact
  - social and economical aspects:
    - human density, people tipology, building typology (popular, middle or high level);
    - density and vicinity (attraction area of influence) of shops, social structures, schools, restaurants, loisir;
    - buildings' quality (comfort, noise isolation, maintenance conditions) ;
    - accessibility for private transport (parkings, cycle paths) and transit (stop locations, frequency) and their location on urban land (good insertion or cut causing divisions between areas);
    - safety for transport users and pedestrians;
    - people perception,
  - political aspects:
    - authorities (e.g. public actions and municipality's change);
    - quartier's associations, spectacles, events, etc.

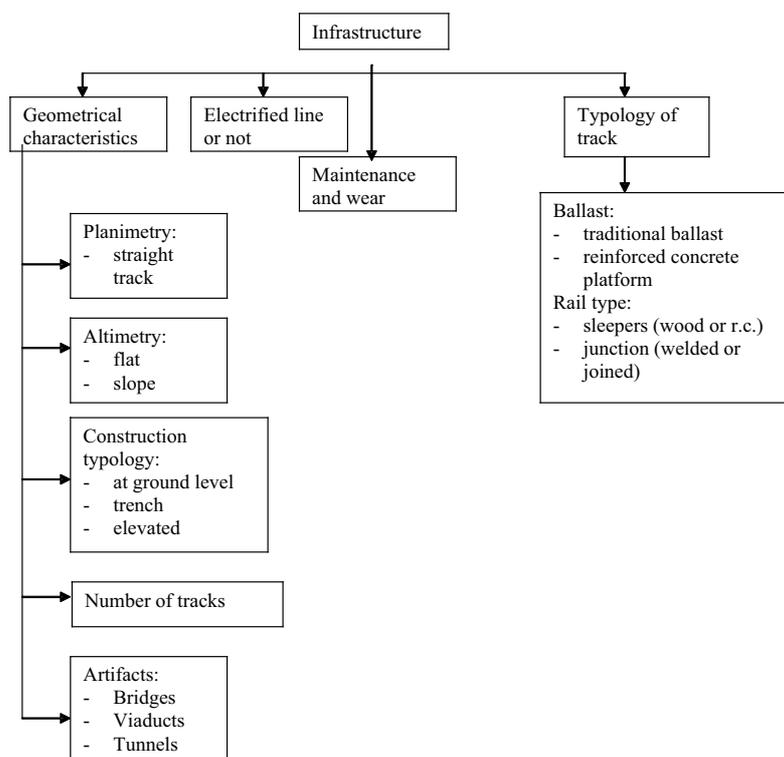


Figure A.3a - Variables pertaining to the rail infrastructure

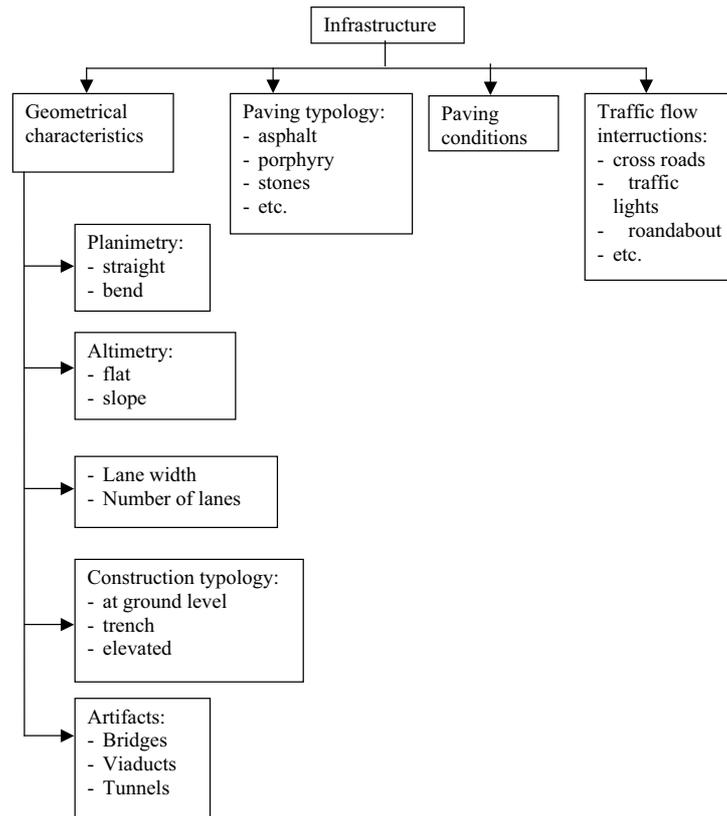


Figure A.3b - Variables pertaining to the road infrastructure

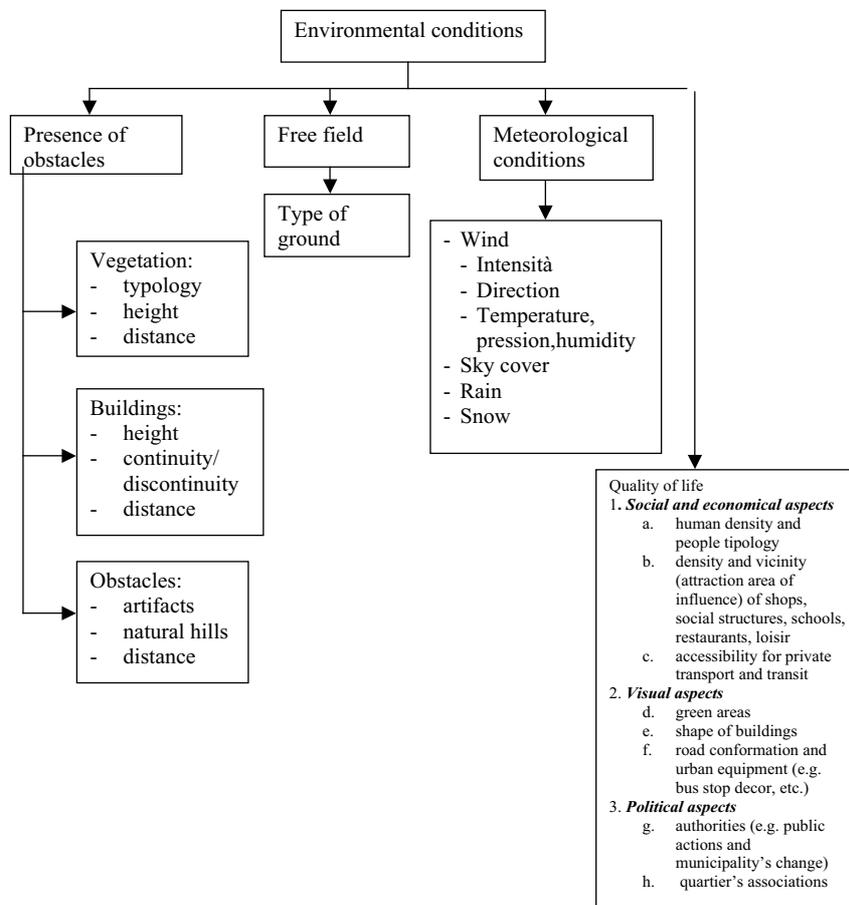


Figure A.4 - The variables pertaining to the environment conditions

From these variables can be built a long number of combinations that can characterize different sites and produce certain noise levels. The design of experiments (DOE) allows for the definition of the optimal number and typology of combinations of the variables that will form the sites in which to carry out the measurements (Fowlkes and Creveling, 1995).

DOE is a multivariate statistical technique designing a set of experiments, and it allows for the individuation of the factors able to influence the mean and the variance of an examined characteristic (in our case the noise level). DOE allows to study simultaneously the factors changing the levels of the factors in a suitable way and analyzing the results of the combinations of the tests.

The analysis of all the combinations, at all the levels, for an high number of factors, needs too many tests, but there are the orthogonal matrixes allowing to select a fraction of all the combinations, maintaining the efficiency of the experiment.

An example of design of experiment in which the factors have two levels is depicted in table A.1. Twenty three factors are envisaged with two level each.

Table A.1 – Example of factors characterising noise event and relative levels

n.	Factors	Levels	
1	Running conditions	double way	one way
2	Number of lanes	≤ 2 lanes	> 2 lanes
3	Road width	≤ 8 meters	> 8 meters
4	Traffic divisor	yes	no
5	Tramway	yes	no
6	Road on the side of central avenue	yes	no
7	Road on the side of central avenue	yes	no
8	Buildings (side 1)	yes	no
9	Buildings (side 2)	yes	no
10	Trees (side 1)	yes	no
11	Trees (side 2)	yes	no
12	Pavement typology	asphalt	other
13	Pavement conditions	good	very bad
14	Number of light duty vehicles	≤ 5 veic./5 min.	> 5 veic./5 min.
15	Number of cars	≤ 44 veic./ 5 min.	> 44 veic./ 5
16	Number of heavy duty vehicles	≤ 4 veic./ 5 min.	> 4 veic./ 5 min.
17	Speed of light duty vehicles	≤ 40 km/h	> 40 km/h
18	Speed of cars	≤ 60 km/h	> 60 km/h
19	Speed of heavy duty vehicles	≤ 50 km/h	> 50 km/h
20	Temperature	≤ 30 °C	> 30 °C
21	Relative humidity	≤ 50 %	> 50 %
22	Sky conditions	clear	other
23	Wind	absent	present

Really, after the definition of factors (or variables) and their levels (ways in which they can occur) an experiment can be designed, using the orthogonal matrixes. The factors are put into

the matrix by the use of interaction table of the matrix and the empty columns can be used for the study of the interactions between the factors. From the table A.1 an experiment can be designed, using the matrix L32 (fig. A.5)

The definition of the matrix and its factors and levels allows for the individuation of the number of sites in which to carry out the measurements (or the experiments), and that represent the sites characterised by different combinations of the factors (or variables) and levels. For example, the experiment n° 23 in the matrix L32 is represented by a site as depicted in figure A.6.

Run	Factors																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
5	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2					
6	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1					
7	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1					
8	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2					
9	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2				
10	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1				
11	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1				
12	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1				
13	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2			
14	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2			
15	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2			
16	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1			
17	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2			
18	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1		
19	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1		
20	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2		
21	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2		
22	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2		
23	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
24	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	
25	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	
26	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	
27	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	
28	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	
29	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1
30	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2
31	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1
32	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2
Levels	Factors																																				
	Running conditions	N. lanes	Sky conditions	width	wind	Pavement tipolov	Traffic divisor	Pavement conditions	N. light duty vehicles	N. cars	Road side avenue (side 2)	Tramway	N. heavy duty vehicles	Speed light duty vehicles	Speed cars	buildings (side 1)	Speed heavy duty vehicles	Temperature	buildings (side 2)	Relative humidity	trees (side 1)	trees (side 2)	Road side avenue (side 1)														
One way > 2 lanes	other	> 8 meters	Present	other	No	Very bad	> 5 veic./5 min.	> 44 veic./5 min.	No	No	> 4 vehicles/5 min.	> 40 km/h	> 60 km/h	No	> 50 km/h	> 30 °C	No	> 50 %	No	No	No	No															
Double way ≤ 2 lanes	Clear	≤ 8 meters	Absent	Asphalt	yes	good	≤ 5 veic./5 min.	≤ 44 veic./5 min.	yes	yes	≤ 4 vehicles/5 min.	≤ 40 km/h	≤ 60 km/h	yes	≤ 50 km/h	≤ 30 °C	yes	≤ 50 %	yes	yes	yes	yes															

Figure A.5 – Matrix L<sub>32</sub> relative to the factors contained in Table A.1

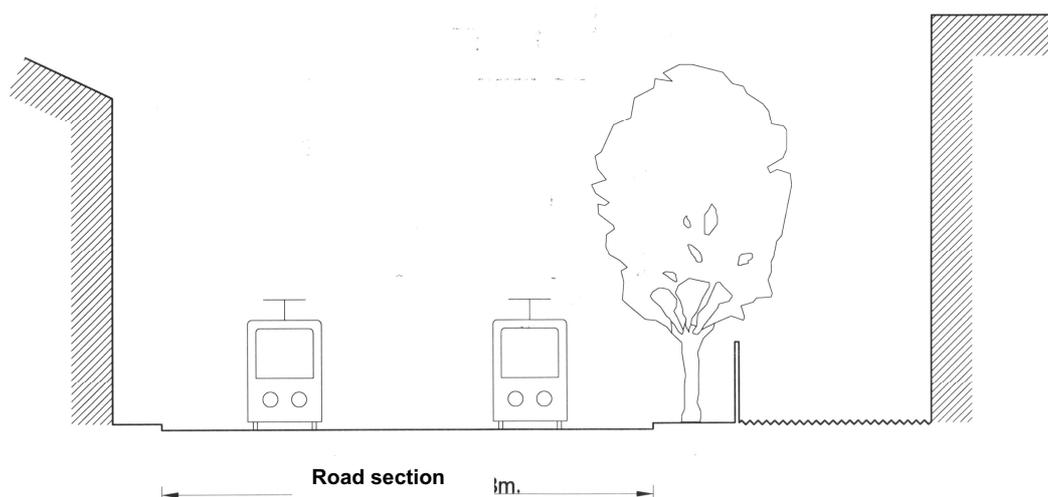


Figure A.6 – Site relative to experiment n° 23 of the matrix  $L_{32}$  depicted in figure A.5

### A.2.3 A first screening in two towns following the methodology

Analysing the road network in two Italian cities, Torino and Vercelli, a first classification based on some of the variables mentioned above was attempted and in some of the sites individuated thanks to such a classification noise measurements were carried out along the years.

In table A.2 the list of the roads where measurements were done is depicted. Twenty eight sites are listed in table A.2 which are already available in term of traffic and noise measurements.

Table A.2 – Sites in which noise measurements were available

Town and year of measurement	Road name	One way: Yes = 1 No = 0	Number of central main lanes	Number of tram lanes	Number of lateral lanes	Building on both sides + trees = 3 Building on both sides = 2 Building on only one side = 1 free field = 0	Trees on both sides = 2 in the middle = 1	Road pavement asphalt = 1 porphyry = 2	Roads ID
	Corso Agnelli	0	4	2	2	2	2	1	1
	Corso IV Novembre	0	4	2	2	1	2	1	2
Torino 2000	Corso Unione Sovietica	0	4	2	2	2	2	1	3
	Via San Donato	0	2	0	0	2	0	1	4
	Corso Monte Cucco	0	2	0	0	2	1	1	5
	Corso Racconigi	0	2	0	0	2	1	1	6
	Via XX Settembre	0	2	0	0	3	0	1	7
	Via Thaon de Revel position 2	0	2	0	0	2	0	1	8
	Corso Indipendenza position 3	0	2	0	0		0	1	9
Vercelli 1998-1999-2000	Corso Prestinari	0	2	0	0	1	0	2	10
	Via Torino	0	2	0	0	1	0	1	11
	Via Thaon de Revel position 1	0	2	0	0	1	0	1	12
	Via Thaon de Revel position 3	0	2	0	0	0	0	1	13
	Corso Indipendenza position 2	0	2	0	0	0	0	1	14
	Corso Italia position 1	0	2	0	1	2	1	1	15
	Corso Italia position 2	0	2	0	1	2	1	1	16
Vercelli 2001	Corso Tanaro position 1	0	2	0	0	2	1	1	17
	Corso Tanaro position 2	0	2	0	0	0	1	1	18
	Via Cibrario	0	2	2	0	2	0	1	19
	Corso Sommeiller	0	2	2	0	2	0	1	20
Torino 2000	Corso Toscana	0	2	2	0	2	0	1	21
	Via Valperga Caluso	0	2	1	0	2	0	1	22
	Via San Secondo	1	1	1	0	2	0	1	23
	Via San Francesco da Paola	1	1	0	0	2	0	1	24
	Via Dante	1	1	0	0	2	0	1	25
Vercelli 1998-1999-2000	Via Gioberti	1	1	0	0	2	0	1	26
	Corso Indipendenza position 1	0	2	0	0	0	0	1	27
	Corso Indipendenza position 4	0	2	0	0	2	0	1	28

The first comparison between the sections in which measurements were done (table A.2) and the sections envisaged by the DOE revealed that the variables chosen (and listed in figures from A.2 to A.4) were too many, giving combinations not existing in the reality. Thus, a simplification was done following three principles:

- some factors, as the number of lanes, were divided in two groups: 1-2 lanes and 2-4 lanes, and, for each group a classification using the other remaining factors has been done (figs. A.7,A.8);
- some factors have been used as proxy for other factors; for example the number of lanes gives an indirect information about the road width and, for the urban context where the buildings are on the side of the roads, also about the distance from the road axis and the buildings on the sides. Generally, the number of lanes determines the road typology and, hence, the traffic that can flow on it.
- a first statistical analysis of variance on the already available sites was carried out to highlight the effects on noise of the different variables and has allowed to disregard some factors. For example, the speed (in the sites where it was known) has not revealed any important effect in the most part of the urban roads. In Vercelli, a constant narrow range was envisaged (40-50 km/h) in some roads. This means that in certain day periods (above all in the peak hour period) the traffic is quite constant and intense so that its speed is usually ranging in a very short interval as the case of Vercelli mentioned above.

Thus, some factors as traffic quantity and speed have not been considered in the first classification, due to the lack of homogeneous information in the available sites. These factors will be considered later, in the statistical analysis that will be done after the new set of measurements that will allow to obtain a new classification with more factors considered.

The first screening emphasized that the number of lanes (and, hence, the road width), the presence of tram, and the shape of the surrounding elements (presence or not of buildings: U or L section or free field) were the most important elements in determining a certain noise levels and were chosen as the first factors to be used in the determination of the factorial plan. On the basis of these few factors, at two levels each, in one case (roads having 1-2 lanes and asphalt pavement) a full factorial plan has been built instead to use the orthogonal matrixes, no more necessary due to the strong decrease of the factors (fig. A.7), and, in the other case (roads having 2-4 lanes and asphalt pavement), a fractional factorial plan has been built adopting a  $L_4$  matrix (fig. A.8).

As it is possible to see, analysing the figures A.7 and A.8, the factorial plans have allowed to individuate the road sections in which to carry out the measurements, characterised by certain combinations of the factors. In the last column, where the “Roads ID” is contained, it is possible to see that a certain number of sites are the same contained in table A.2 (same ID number) and, hence, already well known, while other sites (highlighted in yellow) are “missing” yet and, to have a complete factorial plan, the relative data (traffic and noise) have to be measured yet.

Thus, the sites corresponding to the missing defined combinations have been looked for and the noise and traffic measurements have been carried out.

The missing sites were so individuated:

- for the figure A.7, the missing sites are:
  - Via Milano (at the City Hall square) for the site number 1
  - Via Susa (at the Piazza Benefica square) for the site number 4
  - Via Cigna (at the Sassari gardens) for the site number 7;
- for the figure A.8, the missing sites are:
  - Corso Massimo d’Azeglio (close to the Valentino Park) for the site number 1

- o Corso Trapani (at the Ruffini Park) for the site number 4.

After the measurements in these “missing” sites, having the traffic and noise levels, a new statistical analysis will be carried out to verify if the classification of the sites firstly defined is reliable or not in term of the noise produced by the sources and the dispersion allowed by the “geometric characteristics” of the site.

ASPHALT 1-2 LANES						
Typology of section	A	B	C	Roads ID		
1	1	1	1	Missing		
2	1	1	2	23		
3	1	2	2	24-25-26		
4	1	2	1	Missing		
5	2	2	2	4-5-8-9-15-16-17-28		
6	2	2	1	6-7-11-12		
7	2	1	1	Missing		
8	2	1	2	19-20-21-22		
	Number of lanes		Presence of tram	Road section	Roads ID	
	One	Two			L	U
	1	2	Yes	1	2	
			No	2		

Figure A.7 – Full factorial experiment using three factors at two levels ( $2^3 = 8$  combinations) for the group of roads having 1-2 lanes

ASPHALT 2-4 LANES						
Typology of section	A	B	C	Roads ID		
1	1	1	1	Missing		
2	1	2	2	15-16		
3	2	1	2	1-3		
4	2	2	1	Missing		
	Number of lanes		Presence of tram	Road section	Roads ID	
	Two with side lanes	Four with side lanes			L	U
	1	2	Yes	1	2	
			No	2		

Figure A.8 – Fractional factorial experiment using three factors at two levels ( $2^3 = 8$  combinations) for the group of roads having 2-4 lanes

## A.3 The measurement campaign and the survey

### A.3.1 The measurement campaign

In the sites individuated thanks to the DOE, further the same variables already measured in the previous sites, a survey to the people living in the buildings lining the section has been carried out to investigate the degree of disturbance of the people exposed to noise.

The aim is to build a data base containing all the factors influencing the noise level and the people annoyance, useful to carry out the statistical analysis allowing the precise characterization of the site and finding the cause-effect principle in the noise production and perception.

The framework of the data base for the already available sites is presented in table A.3.

The data contained in the data base are so classified:

- location of the site: in which Province;
- road name (es. Indipendenza);
- road typology (es. via or corso);
- date of measurement;
- link to data: an hypertext link goes to the numerical data base (complete traffic and noise data on the different time intervals: 1, 5, 10, 15, 30 minutes or more) (see an example for one of the new sites in tab. A.4);
- location of measurement; an hypertext link goes to different maps and figures:
  - geographical map (e.g. raster)
  - vectorl map (e.g. autocad map);
  - notes: scheme of the section and photos (figs. A.9, A.10);
- time of measurement: time interval on which the data are available (e.g. 1, 5, 10, 20, 30 minutes or 1 hour);
- noise levels: Leq, Lmin, Lmax, L95, L90, L50, L10, L5 ;
- section typology : U (with n° of floors), L, free field;
- road width;
- pavement typology (asphalt, porphyry, etc.);
- distance between microphone and road axis (m);
- height of microphone (m);
- traffic measurements:
  - time interval (data available in different time interval as 1, 5, 10, 20, 30 minutes or 1 hour);
  - tool of measurement (for traffic: video camera or magnetic traffic counters, etc.);
- temperature;
- relative humidity.

Concerning the geometric characteristic of the site, it is possible to observe from table 3 that the main characteristics are present:

- road width, number of lanes
- road section: U, L, free field

and concerning data, the following are resent:

- traffic data (see an example in tab. A.4):
  - number of vehicles on different time range (5, 10, 15, 30 minutes and 1 hour)
  - classification of vehicles in three classes: motorbikes, cars and heavy vehicles
  - average speed for each time range (5, 10, 15, 30 minutes and 1 hour);
- noise data: the most traditional ones are included in the example of table 3, but the following are available from the measurements carried out using the instrumentation Symphonie (01 dB company):

- traditional indexes:
  - ✓ energetic indexes:
    - $L_{Aeq(6h-22h)}$ ,  $L_{Aeq(22h-6h)}$ ,  $L_{Aeq(6h-18h)}$ ,  $L_{Aeq(18h-22h)}$  (only in two sites);
    - $L_{den}$  (only in two sites);
    - $L_{Aeq(hourly)}$  calculated on an hourly basis or a shorter period (e.g. 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min);
    - $L_{eq}$  relative to the extraordinary events highlighting the difference in respect to pre-determined threshold values;
  - ✓ statistical indexes:
    - $L_1$ ;  $L_{50}$ ;  $L_{90}$ ;  $L_{95}$  for the traditional diurnal, night and evening periods and also hourly;
    - $L_{50}$ ;  $L_{90}$ ;  $L_{95}$  for 10, 20 and 30 minutes' period;
  - ✓ event indexes:
    - SEL;  $L_{max}$ ; partial  $L_{eq}$  relative to single events (vehicles' passage, etc.);
    - the number of events exceeding pre-determined threshold values during traditional periods and also during shorter periods as one hour, 30, 20, 15, 10 minutes, the thresholds can be fixed or changeable during the day;
  - ✓ frequency indexes:
    - average spectrum of the event and the spectrum relative to the event's maximum noise level;
    - sonogram of the event;
- qualitative indexes:
  - ✓ rhythm indexes:
    - masking indexes in respect to pre-determined threshold values (e.g. 70 dBA) or statistical values (e.g.  $L_1$ )
    - stop periods in respect to 55 dBA;
    - the noise waking and sleeping hours;
    - the dominant time frequency of  $L_{Aeq}$ ;
    - the quietest and noisiest periods for the day, evening and night;

Table A.3 – Data base framework

Province	Road	Road typology	Date of measurement	Link to data	Location of the measurement			Time of measurement (min)	Leq	Lmin	Lmax	L95
					Map	Cad	Notes					
VC	INDIPENDENZA	CORSO	05/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	07/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	10/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	12/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	13/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	14/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	17/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	18/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	19/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	20/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	05/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	07/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	10/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	12/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	13/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	14/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	17/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	18/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	19/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	20/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	05/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	07/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	10/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	12/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	13/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	14/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	17/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	18/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	19/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	INDIPENDENZA	CORSO	20/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	07/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	15/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	16/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	17/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	20/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	07/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	15/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	16/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	17/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes

L90	L50	L10	L5	Section typology	Road width	Pavement typology	Distance between microphone and road axis (m)	Height of microphone (m)	Traffic measurements		Temperature	Relative humidity
									Time interval	Tool of measurement		
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	13,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	23,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	23,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	M U 2floors		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	13,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	23,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	23,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	M U 2p		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	13,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	23,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		asphalt	23,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	M U 2p		asphalt	5,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	
Yes	Yes	Yes	Yes	L < 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	
Yes	Yes	Yes	Yes	L < 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	
Yes	Yes	Yes	Yes	L < 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	
Yes	Yes	Yes	Yes	L < 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	
Yes	Yes	Yes	Yes	L < 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'	Yes	Yes	

Province	Road	Road typology	Date of measurement	Link to data	Location of the measurement			Time of measurement (min)	Leq	Lmin	Lmax	L95
					Map	Cad	Notes					
VC	PRESTINARI	CORSO	20/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	07/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	15/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	16/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	17/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	PRESTINARI	CORSO	20/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	22/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	23/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	27/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	28/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	29/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	30/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	31/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	27/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	28/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	29/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	30/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	22/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	23/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	27/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	28/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	29/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	30/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	31/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	27/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	28/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	29/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	22/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	23/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	27/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	28/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	29/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	30/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	31/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	27/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	28/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	29/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	THAON DE RAVEL	VIA	30/08/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	25/06/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes

L90	L50	L10	L5	Section typology	Road width	Pavement typology	Distance between microphone and road axis (m)	Height of microphone (m)	Traffic measurements		Temperature	Relative humidity
									Time interval	Tool of measurement		
Yes	Yes	Yes	Yes	L< 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		porphyry	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		porphyry	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L< 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L< 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	L< 2floors		porphyry	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	?		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		stones+asphalt	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		stones+asphalt	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		stones+asphalt	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		stones+asphalt	7,0	1,5	no		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	no		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	?		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	?		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	?		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		stones+asphalt	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		stones+asphalt	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		stones+asphalt	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	1'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		stones+asphalt	7,0	1,5	no		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	no		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	?		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	?		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		stones+asphalt	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		stones+asphalt	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		stones+asphalt	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	1'			
Yes	Yes	Yes	Yes	free field		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	?		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	?		stones+asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes

Province	Road	Road typology	Date of measurement	Link to data	Location of the measurement			Time of measurement (min)	Leq	Lmin	Lmax	L95
					Map	Cad	Notes					
VC	TORINO	VIA	01/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	02/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	06/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	14/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	21/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	29/09/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	06/10/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	25/06/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	01/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	02/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	06/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	14/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	21/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	29/09/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	06/10/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	25/06/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	01/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	02/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	06/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	14/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	21/07/1998	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	29/09/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	TORINO	VIA	06/10/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos		<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	XX SETTEMBRE	VIA	22/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	XX SETTEMBRE	VIA	29/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	1'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	XX SETTEMBRE	VIA	29/09/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	No	No	No
VC	XX SETTEMBRE	VIA	22/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	XX SETTEMBRE	VIA	29/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	XX SETTEMBRE	VIA	29/09/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	XX SETTEMBRE	VIA	22/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	XX SETTEMBRE	VIA	29/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	Yes	Yes	Yes
VC	GIOBERTI	VIA	29/09/1999	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	No	No	No
VC	GIOBERTI	VIA	22/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	No	No	No
VC	GIOBERTI	VIA	29/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	No	No	No
VC	GIOBERTI	VIA	22/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	No	No	No
VC	GIOBERTI	VIA	29/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	No	No	No
VC	DANTE	VIA	22/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	No	No	No
VC	DANTE	VIA	29/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	5'	Yes	No	No	No
VC	DANTE	VIA	22/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	No	No	No

L90	L50	L10	L5	Section typology	Road width	Pavement typology	Distance between microphone and road axis (m)	Height of microphone (m)	Traffic measurements		Temperature	Relative humidity
									Time interval	Tool of measurement		
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	5'		Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	5'	videocamera	Yes	Yes
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L		asphalt	7,0	1,5	no			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors (mic) free field		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors (mic) free field		asphalt	7,0	1,5	5'			
No	No	No	No	2floors L free field (mic)		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L free field (mic)		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L free field (mic)		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors L free field (mic)		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors (mic) free field		asphalt	7,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	2floors (mic) free field		asphalt	7,0	1,5	5'			
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	10'			
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	10'			
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	7,0	1,5	5'			
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	5,0	1,5	no			
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	5,0	1,5	5'			
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	5,0	1,5	no			

Province	Road	Road typology	Date of measurement	Link to data	Location of the measurement			Time of measurement (min)	Leq	Lmin	Lmax	L95
					Map	Cad	Notes					
VC	DANTE	VIA	29/09/2000	<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_RASTER	<a href="#">Scheme and Photo</a>	10'	Yes	No	No	No
TO	AGNELLI Giovanni	CORSO		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	CIBRARIO Luigi	VIA		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	MONTE CUCCO	CORSO		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	QUATTRO NOVEMBRE	CORSO		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	RACCONIGI	CORSO		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	SAN DONATO	VIA		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	SAN FRANCESCO DA PAOLA	VIA		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	SAN SECONDO	VIA		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	SOMMEILLER Germano	CORSO		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	TOSCANA	CORSO		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	UNIONE SOVIETICA	CORSO		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes
TO	VALPERGA CALUSO	VIA		<a href="#">DATA</a>	Pos	GIS_VETTOR	<a href="#">Scheme and Photo</a>	60'	Yes	Yes	Yes	Yes

L90	L50	L10	L5	Section typology	Road width	Pavement typology	Distance between microphone and road axis (m)	Height of microphone (m)	Traffic measurements		Temperature	Relative humidity
									Time interval	Tool of measurement		
No	No	No	No	2floors U 2floors		asphalt	5,0	1,5	5'			
Yes	Yes	Yes	Yes	9floors U 9floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	6floors U 6floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	9floors U 9floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	5floors L free field		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	6floors U 6floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	6floors U 6floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	4floors U 4floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	4floors U 4floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	6floors U 6floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	6floors U 6floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	9floors U 9floors		asphalt		1,5	15'	manual count		
Yes	Yes	Yes	Yes	4floors U 4floors		asphalt		1,5	15'	manual count		

Table A.4 – Link to data: example of data available through the hypertext link on the data base

Corso Massimo: measurements of 09/02/2005															
HOUR	Lane 1				Lane 2			Lane 3 - magnetic traffic counters				Lane 4 - magnetic traffic counters			
	Cars per minute	Trucks per minute	motorbikes per minute	Bus per minute	Cars per minute	Trucks per minute	motorbikes per minute	average speed in the minute (km/h)	Cars per minute	Trucks per minute	motorbikes per minute	average speed in the minute (km/h)	Cars per minute	Trucks per minute	motorbikes per minute
12.46.00	2	0	0	0	1	0	0								
12.47.00	15	0	1	0	19	0	0								
12.48.00	7	0	0	1	4	0	0								
12.49.00	11	1	0	0	10	2	0								
12.50.00	5	0	0	0	1	0	1								
12.51.00	15	1	1	0	11	1	3								
12.52.00	7	0	0	0	0	0	0								
12.53.00	12	1	0	1	24	1	0								
12.54.00	7	1	1	0	2	1	0								
12.55.00	15	0	1	0	7	1	2								
12.56.00	12	0	1	1	10	0	3								
12.57.00	8	1	1	0	13	0	0								
12.58.00	5	1	0	0	9	0	0								
12.59.00	12	1	2	0	23	0	0								
13.00.00	8	1	1	0	2	0	0								
13.01.00	12	0	1	0	10	0	0								
13.02.00	10	1	0	0	4	0	0								
13.03.00	21	1	0	0	16	0	0								
13.04.00	10	1	0	0	7	0	0								
13.05.00	19	1	1	0	16	1	1								
13.06.00	3	0	0	0	4	0	0								
13.07.00	13	4	1	0	17	1	0								
13.08.00	7	3	1	0	9	0	0								
13.09.00	14	0	2	0	14	1	0								
13.10.00	10	0	1	0	6	0	0								
13.11.00	6	0	0	1	8	0	0								
13.12.00	8	1	0	0	7	1	0								
13.13.00	15	0	1	0	8	1	0								
13.14.00	14	1	0	0	5	0	0								
13.15.00	9	1	0	0	8	1	0	68	4	2	0	55	11	0	0
13.16.00	7	1	0	0	2	2	0	57	6	2	0	61	14	0	0
13.17.00	14	1	0	0	13	0	0	37	2	2	0	58	9	0	0
13.18.00	9	0	0	0	3	0	0	54	6	1	0	63	8	0	0
13.19.00	7	0	1	1	10	0	0	89	2	0	0	75	5	0	0

		Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 4	Direction left to right Lane 1 and 2	Direction left to right Lane 3 and 4	Total vehicles in the road	Total trams in the road	Noise data per minute (dBA)							
Tram 16 left to right	Tram 16 right to left	Total vehicles per minute	Total vehicles per minute	Total vehicles per minute	Total vehicles per minute	Total vehicles per minute	Total vehicles per minute	Vehicles per minute	Trams per minute	Leq	Lmin	Lmax	L95	L90	L50	L10	L5
0	0	2	1			3	0	3	0								
0	1	16	19			35	0	35	1								
0	0	8	4			12	0	12	0	75,2	60,8	83,5	65,1	70	75	77,2	77,8
0	0	12	12			24	0	24	0	71,1	62,2	80,9	64,8	65,9	70,5	73,9	74,5
1	0	5	2			7	0	7	1	73,6	60,1	82,2	63,1	65,2	72,8	75,8	78
0	0	17	15			32	0	32	0	72,9	49,1	82,4	53,6	56,1	70,9	76,5	78
0	0	7	0			7	0	7	0	75,7	59,3	94,7	62,6	65,8	73	76,2	77,7
0	0	14	25			39	0	39	0	68,4	53	82,7	54,4	55,2	62,6	71,6	74,9
0	0	9	3			12	0	12	0	75,4	67,3	83,6	69,4	70,8	74,8	77,8	78,5
0	0	16	10			26	0	26	0	72,3	60,6	82,9	64,2	65,9	70,3	75,9	77,1
0	0	14	13			27	0	27	0	71,7	62	79	64,1	65,7	70,4	74,8	75,8
0	1	10	13			23	0	23	1	75,4	63,4	83,8	68,7	70,9	74,2	78,3	79,1
0	0	6	9			15	0	15	0	73,9	61,9	81,8	66,5	69,1	72,1	77,2	78,2
0	0	15	23			38	0	38	0	70,6	50,2	80,1	51,5	53,4	66,2	75,1	76
0	0	10	2			12	0	12	0	74	55,9	81	58,5	62,5	73,5	76,6	77,4
0	0	13	10			23	0	23	0	71	57,9	80,9	61	63,2	69,2	74,1	75,8
1	0	11	4			15	0	15	1	74,3	61,3	80,8	65,1	66,8	73,9	76,6	77,3
0	0	22	16			38	0	38	0	71,8	58,8	81,1	60,4	63,6	69,1	75,6	77,7
0	0	11	7			18	0	18	0	74,5	64,2	86,4	67,9	69,2	72,9	75,7	76,8
0	1	21	18			39	0	39	1	73,1	57,7	82,5	59,1	63,7	71,4	76,5	78
0	0	3	4			7	0	7	0	76,3	64,8	90,7	68,7	69,9	73,9	77,2	79,7
0	0	18	18			36	0	36	0	71,9	61,7	80,4	64,7	66	70,7	75	76,3
0	0	11	9			20	0	20	0	75,9	66	87	68,1	69	73,8	79,1	81,8
1	0	16	15			31	0	31	1	72,7	62	82,7	64,8	66,3	71	75,7	76,8
0	0	11	6			17	0	17	0	72,7	65,3	79	67,2	67,8	71,2	75,6	76,4
0	0	7	8			15	0	15	0	72,5	53	80,9	54,9	59,7	70,9	76,2	77,3
0	0	9	8			17	0	17	0	72,6	62,3	88,2	64	65,7	71,1	74,8	75,5
0	0	16	9			25	0	25	0	73	59	83,8	62	63,8	71,6	76,4	77,1
1	0	15	5			20	0	20	1	73,1	65,6	82,2	66,7	67,4	71,6	76,3	76,9
0	1	10	9	6	11	19	17	36	1	74	64,6	81,9	66,9	68,7	72,8	76,5	77,5
0	0	8	4	8	14	12	22	34	0	73,8	63,9	82,3	66	67,3	72,8	75,9	78,1
0	0	15	13	4	9	28	13	41	0	69,5	53,4	85,4	54,6	55,6	64,2	72,7	74,8
0	0	9	3	7	8	12	15	27	0	74,7	59,8	83,4	69,5	70,4	73,7	77,7	78,1
0	0	9	10	2	5	19	7	26	0								

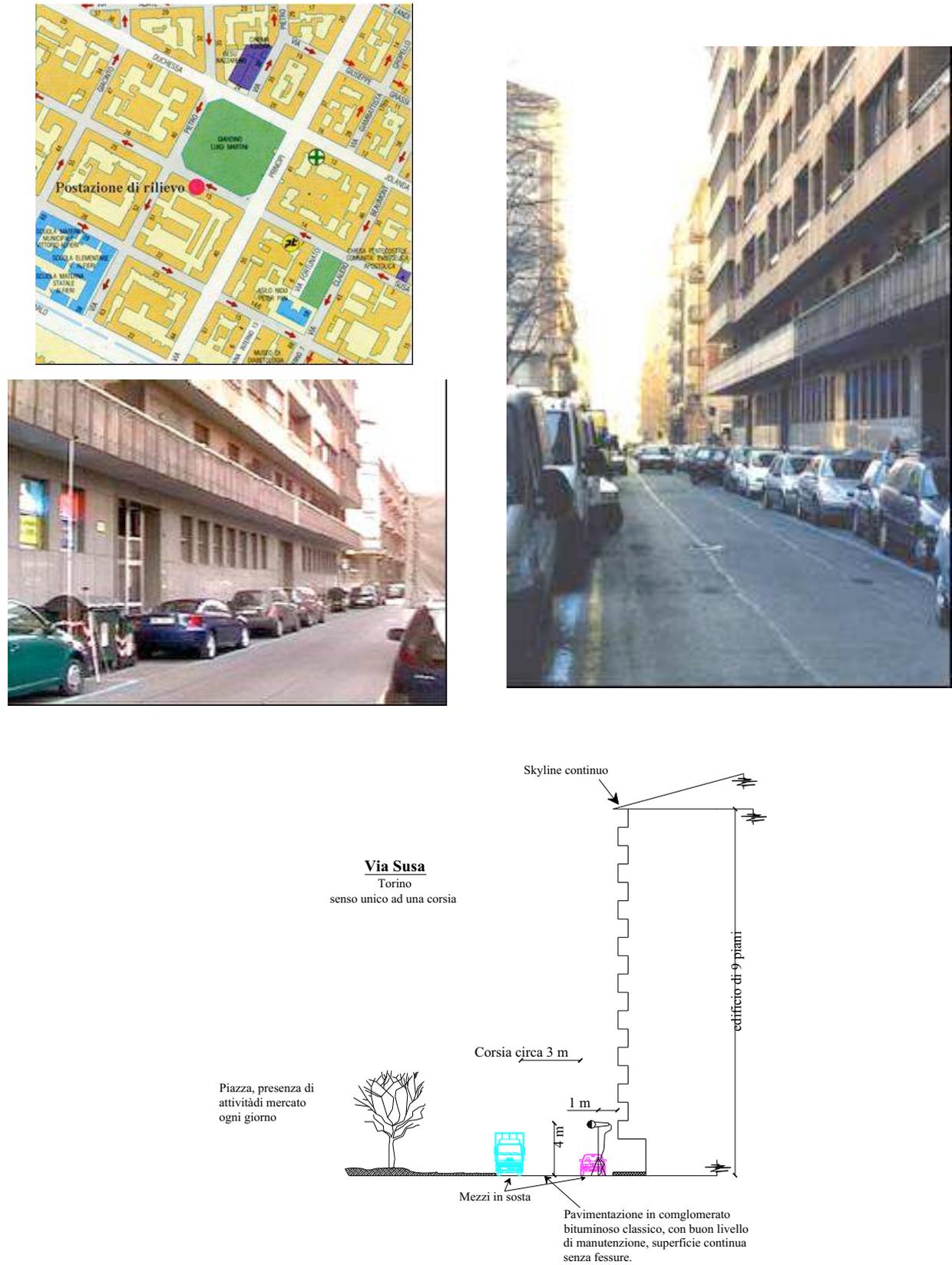


Figure A.9 – Site of Via Susa: map location, photos, and section of measurements available through the hypertext link on the data base



Figure A.10 – Site of Via Milano: map location and photos of the section of measurements available through the hypertext link on the data base

### A.3.2 The epidemiological survey

In addition to noise indexes, the variables relative to the disturbance (e.g. the degree of disturbance, the number of times the people is disturbed, etc.) obtained by the survey carried out in the defined sites are listed to be used in the data analysis.

The survey is composed by different sections:

- the first section concerns the individual data and the family data:
  - birth-date;
  - sex;
  - occupation;
  - educational qualification;
  - role in the family;
  - composition of the family;
- the second section concerns the working place and house:
  - noise at the working place;
  - work shifts;
  - duration of living in the house (since how many years/months/... people live in their house);
  - at which floor is the flat;
  - how many floors the building has got;
  - layout of the flat (position of the rooms on the road, etc.);
  - windows typology of the flat;
  - if there are special windows in which rooms they are installed;

- degree of disturbance either with open or closed windows;
- how many hours people spend at home;
- degree of disturbance perceived in the house for each hourly range (6.00-8.00, 8.00-10.00, 10.00-12.00, 12.00-14.00, 14.00-16.00, 16.00-18.00, 18.00-20.00, 20.00-22.00, 22.00-24.00, 0.00-3.00, 3.00-6.00) using the Likert scale (from 1 – not disturbed at all – to 7 – very much disturbed);
- presence of yards causing disturbance inside the house;
- specification of the typology of noise causing annoyance inside the house and definition of it (sharp or low);
- if the noise causes problems in falling asleep;
- if the noise causes sudden awakenings;
- definition of the acoustical quality of the road in which people are living (using the Likert scale from 1 to 7: quiet to very noisy);
- ownership of the house/flat;
- interest to install special windows if there are not yet;
- judgment on who should pay these special windows (owner or other);
- the third section concerns the attitude and behaviour towards the noise:
  - sensitivity to noise;
  - judgment on the responsibility of people for the noise;
  - judgment on the influence of own behaviour on the noise;
  - discussion of the problems due to noise with members of the family or others;
  - need to organize groups of complaint or sensitization for the noise problems;
  - reading pamphlet, articles or other on noise before today;
  - belief in solutions to noise;
  - belief on technology to solve the noise problems;
- the fourth section concerns the health of people:
  - presence of problems concerning the ears;
  - general health conditions (good or not);
  - presence of stress;
  - presence of insomnia;
  - difficulty in concentration;
  - problem of depression.

This could allow to relate the measured noise values to the disturbance effects recorded during the noise survey and to cross the available data to from different classification of the sites.

## A.4 The data analysis

After having set up the methodology and individuated the sites where to carry out the measurements and the epidemiological survey, the next step has been to verify the theoretical classification designed in the methodology through the analysis of the measured data. The first step is the in depth analysis within each site to verify which are the variables influencing under the classification point of view and verify if the designed variables were properly defined.

The analysis has been focused on testing the relationships between noise and geometrical and traffic flow characteristics. This is necessary to verify if the geometrical characteristics are good proxy of the traffic flow. This allows for avoiding to classify the roads on a difficult and time and money consuming variable like the traffic flow.

Firstly, an analysis within each site has been carried out to evaluate the change of noise in function of the time integration intervals and the traffic flows.

Secondly, an analysis of comparison among the site has been carried out.

### A.4.1. Analysis within each sites

The analyses within each site are focused to evaluate the relationships between the traffic data (especially the flow) and the noise levels calculated on different time intervals. The aim is to observe eventual relationships between traffic and noise, varying the time integration.

The analyses have put in relation the traffic flows measured on different time intervals (1, 2, 5, 15, 20, and 30 minutes) with the noise indexes in the same time intervals. In particular, the following relationships have been investigated;

- $L_{eq}$  – traffic flow
- $L_{90}$  – traffic flow
- $L_{10}$  – traffic flow
- $L_{50}$  – traffic flow.

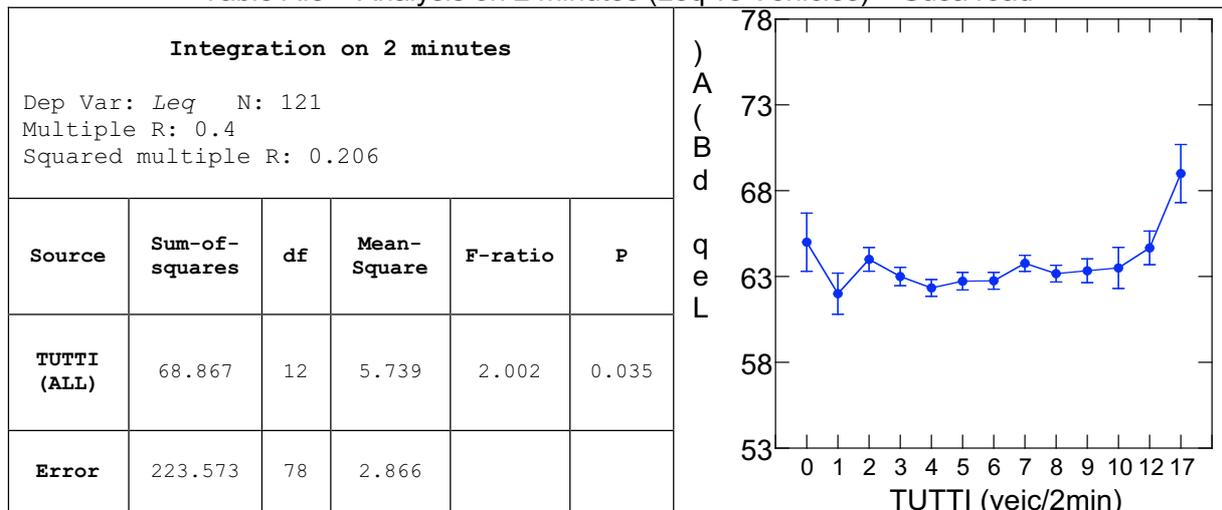
The analyses show as there is not a linear correlation between the  $L_{eq}$  and the traffic volumes. Only for low time integration – 1, 2 or 5 minutes – a certain link is evident: when the number of vehicles increases, also the noise grows, as depicted in table A.5 showing the analyses on 2 minutes time interval in Susa road ( $p=0.035$   $F=2.002$   $R=0.255$ ), and in table A.6 showing the analyses on 2 minutes time interval in Town Hall Square ( $p=0.018$   $F=2.130$   $R=0.296$ ).

Concerning the statistical noise indexes, a correlation between the background noise level ( $L_{90}$ ) and the number of vehicles passing through the site section has been envisaged. The trend shows the increase of the background noise with the increase of number of vehicles, for almost all the time integration intervals. This first result has induced to make analyses of linear correlation for all the sites and all the time integration intervals. The result of this analysis shows a growing trend related to the increase of number of vehicles where the correlation coefficients range from 0.3 to 0.6 for time integration intervals till to 20 minutes; beyond this interval no more trend has been found.

Concerning the index  $L_{10}$ , this one is influenced from the number of vehicles only when the analysis is done on low time integration intervals and in only two sites: Susa road and Town Hall Square, as depicted in tables A.7 ( $p=0.001$   $F=3.306$   $R=0.25$ ), and A.8 ( $p<1\%$   $F=3.803$   $R=0.273$ ). In the above mentioned tables, we can observe that when the time intervals increase, the number of vehicles is less important in explaining the difference of the average values. In addition, in these sites the traffic flow is less constant in respect to other sites, in fact in the other sites the mentioned correlation has not been envisaged.

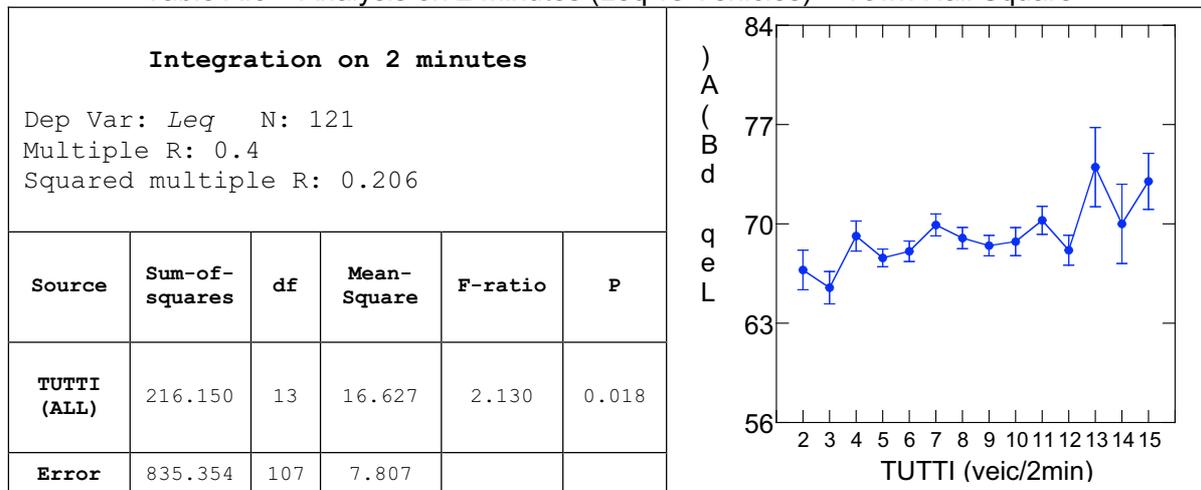
The  $L_{10}$  indicator changes in function of the noise within the integration time: generally, considering integration time of 2 minutes,  $L_{10}$  is higher of the  $L_{eq}$ , but has a similar trend.

Table A.5 – Analysis on 2 minutes (Leq vs Vehicles) – Susa road



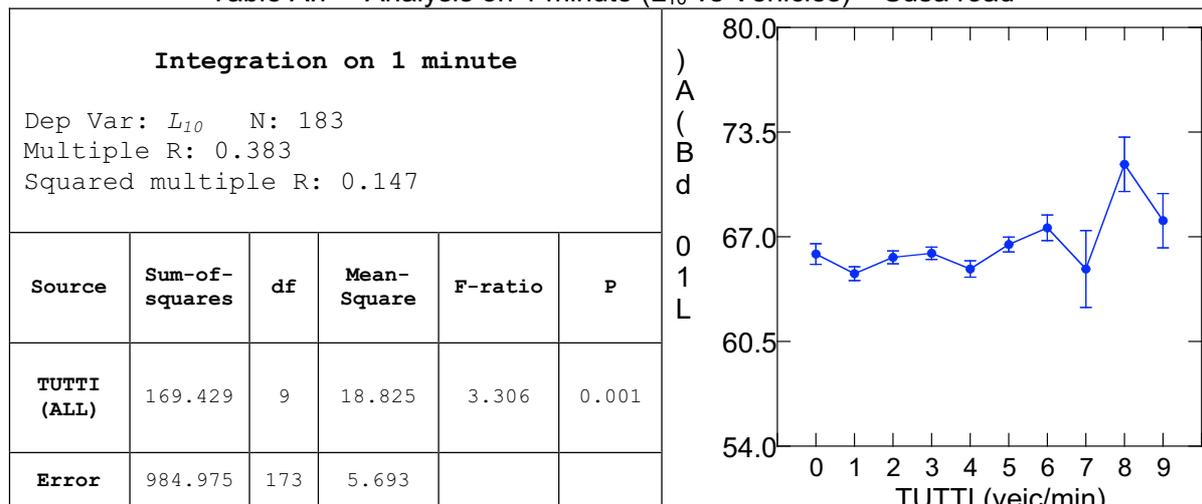
Linear regression on 2 minutes data						
Dep Var: LEQ Multiple R: 0.255 Squared multiple R: 0.065						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	62.238	0.428	0.000	.	145.379	0.000
TOT	0.164	0.066	0.255	1.000	2.483	0.015

Table A.6 – Analysis on 2 minutes (Leq vs Vehicles) – Town Hall Square



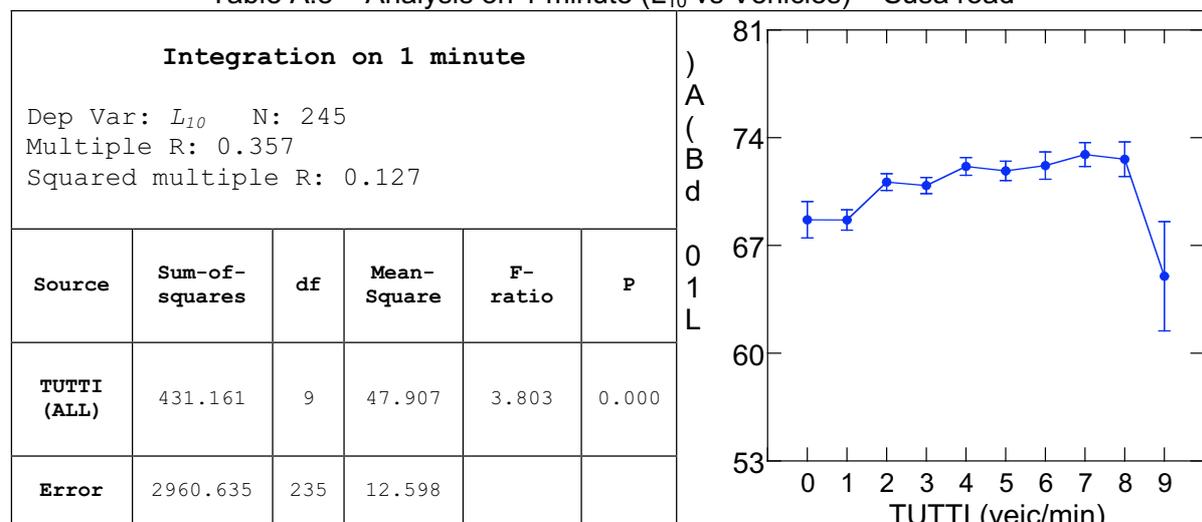
Linear regression on 2 minutes data						
Dep Var: LEQ Multiple R: 0.296 Squared multiple R: 0.088						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	66.343	0.710	0.000	.	93.472	0.000
TOT	0.304	0.090	0.296	1.000	3.381	0.001

Table A.7 – Analysis on 1 minute ( $L_{10}$  vs Vehicles) – Susa road



Linear regression on 1 minute data						
Dep Var: $L_{10}$						
Multiple R: 0.250 Squared multiple R: 0.063						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	64.833	0.338	0.000	.	191.907	0.000
TOT	0.337	0.097	0.250	1.000	3.476	0.001

Table A.8 – Analysis on 1 minute ( $L_{10}$  vs Vehicles) – Susa road

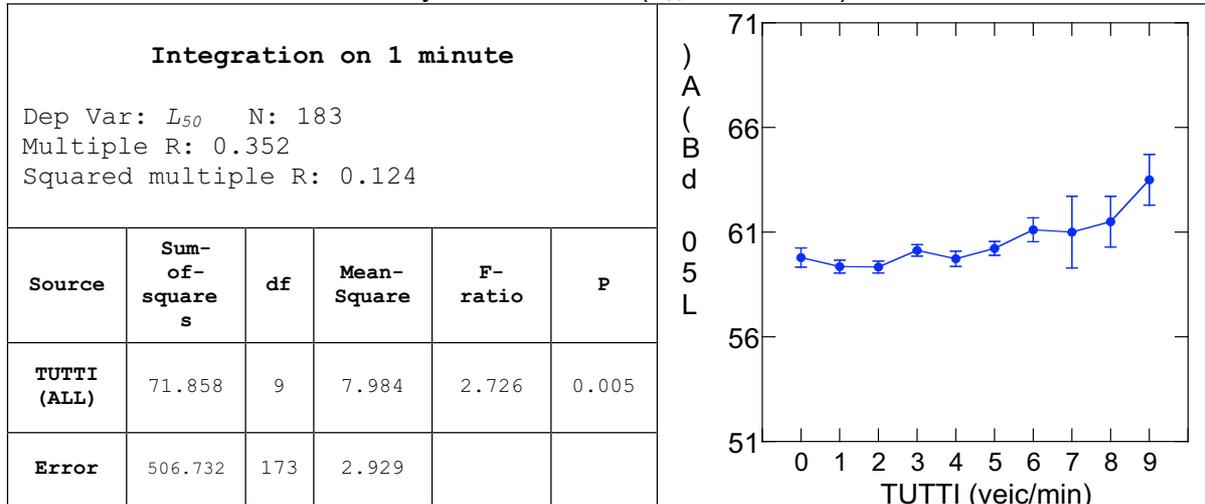


Linear regression on 1 minute data						
Dep Var: $L_{10}$						
Multiple R: 0.273 Squared multiple R: 0.075						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	69.420	0.464	0.000	.	149.602	0.000
TOT	0.487	0.110	0.273	1.000	4.425	0.000

The correlation between  $L_{50}$  and the traffic flow is recordable only on short integration periods, from 1 to 10 minutes, as depicted in table A.9 on 1 minute ( $p=0.005$   $F=2.726$   $R=0.279$ ), table A.10 on 1 minute ( $p<1\%$   $F=3.954$   $R=0.337$ ), table A.11 on 2 minutes ( $p=0.001$   $F=3.008$   $R=0.475$ ), table A.12 on 5 minutes ( $p<1\%$   $F=4.360$   $R=0.703$ ), table A.13 on 10 minutes ( $p=0.033$   $F=4.116$   $R=0.715$ ), table A.14 on 1 minute ( $p<1\%$   $F=2.916$   $R=0.51$ ), table A.15 on 2 minutes ( $p<1\%$   $F=2.916$   $R=0.582$ ), table A.16 on 1 minute ( $p<1\%$   $F=2.850$

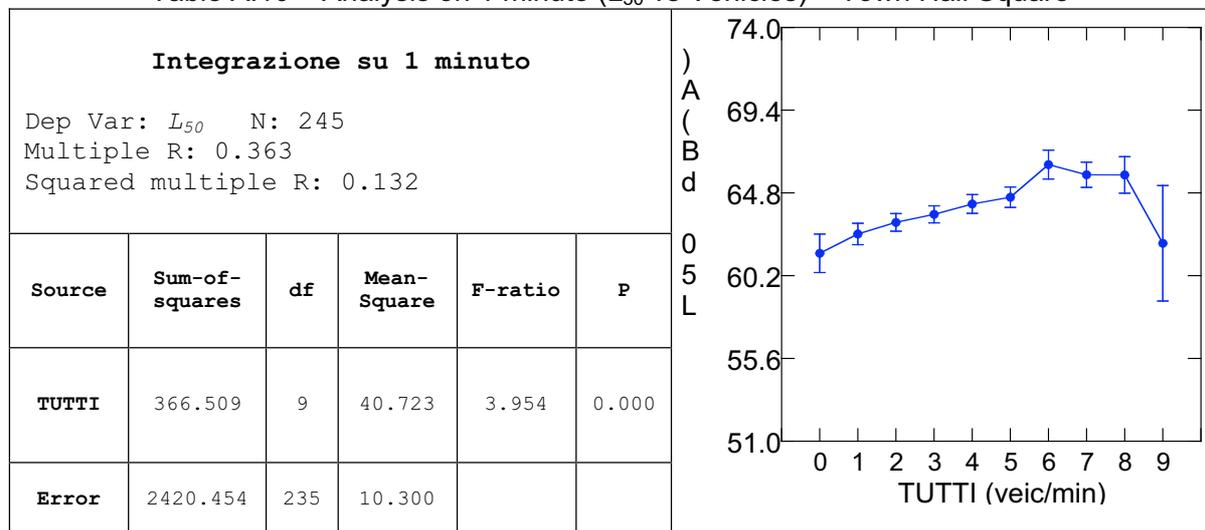
R=0.524). For higher integration times, the average values are not related to the change of the number of vehicles.

Table A.9 – Analysis on 1 minute (L<sub>50</sub> vs Vehicles) – Susa road



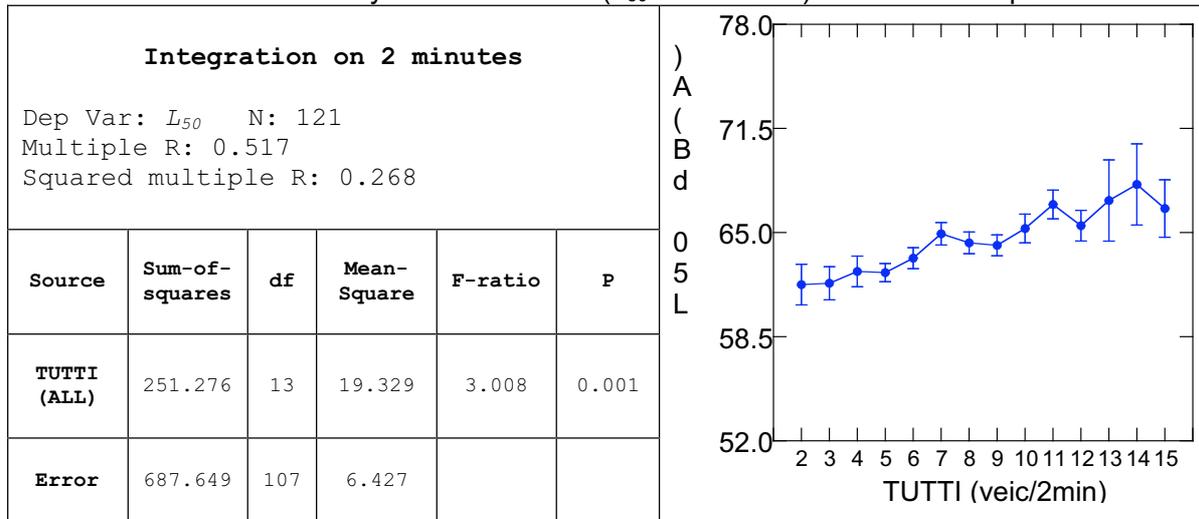
<b>Linear regression on 1 minute data</b>						
Dep Var: L <sub>50</sub> Multiple R: 0.279 Squared multiple R: 0.078						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	59.103	0.237	0.000	.	249.116	0.000
TOT	0.266	0.068	0.279	1.000	3.902	0.000

Table A.10 – Analysis on 1 minute (L<sub>50</sub> vs Vehicles) – Town Hall Square



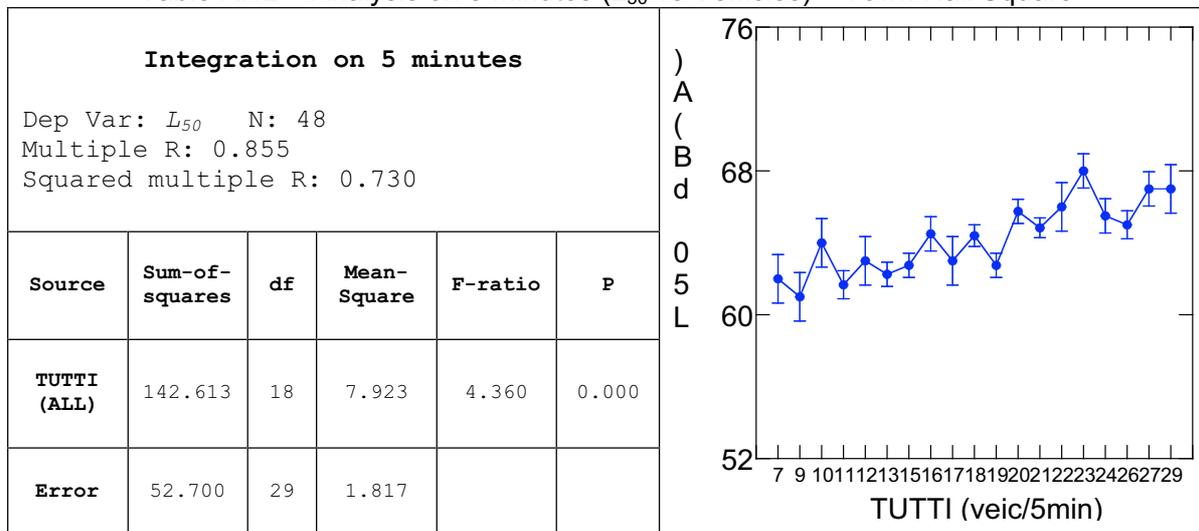
<b>Linear regression on 1 minute data</b>						
Dep Var: L <sub>50</sub> Multiple R: 0.337 Squared multiple R: 0.113						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	61.994	0.412	0.000	.	150.573	0.000
TOT	0.545	0.098	0.337	1.000	5.573	0.000

Table A.11 – Analysis on 2 minutes ( $L_{50}$  vs Vehicles) – Town Hall Square



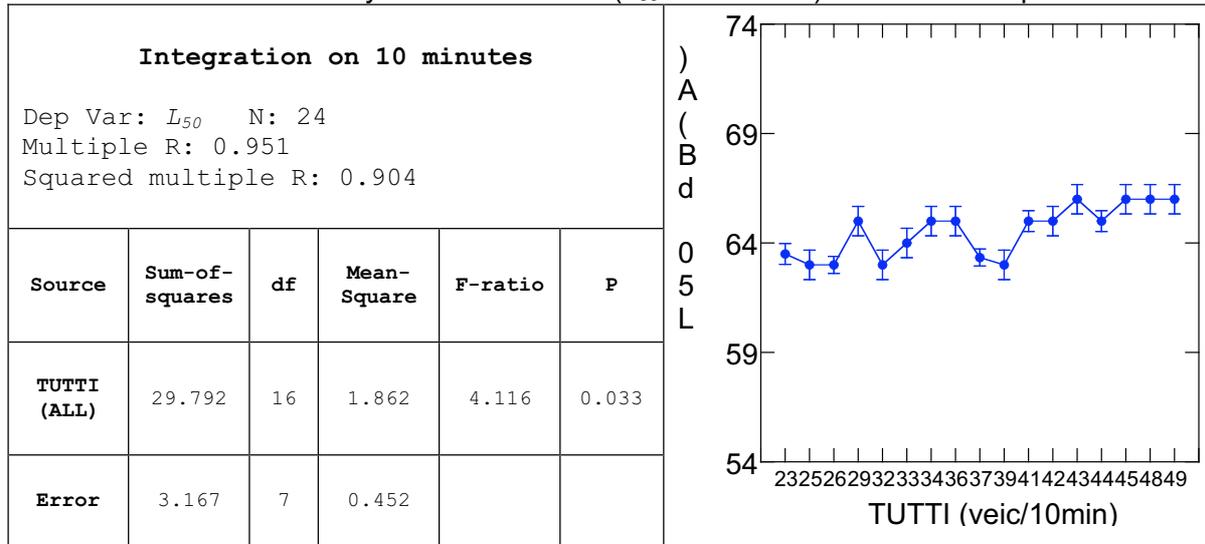
<b>Linear regression on 2 minutes data</b>						
Dep Var: $L_{50}$ Multiple R: 0.475 Squared multiple R: 0.225						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	60.638	0.618	0.000	.	98.115	0.000
TOT	0.460	0.078	0.475	1.000	5.882	0.000

Table A.12 – Analysis on 5 minutes ( $L_{50}$  vs Vehicles) – Town Hall Square



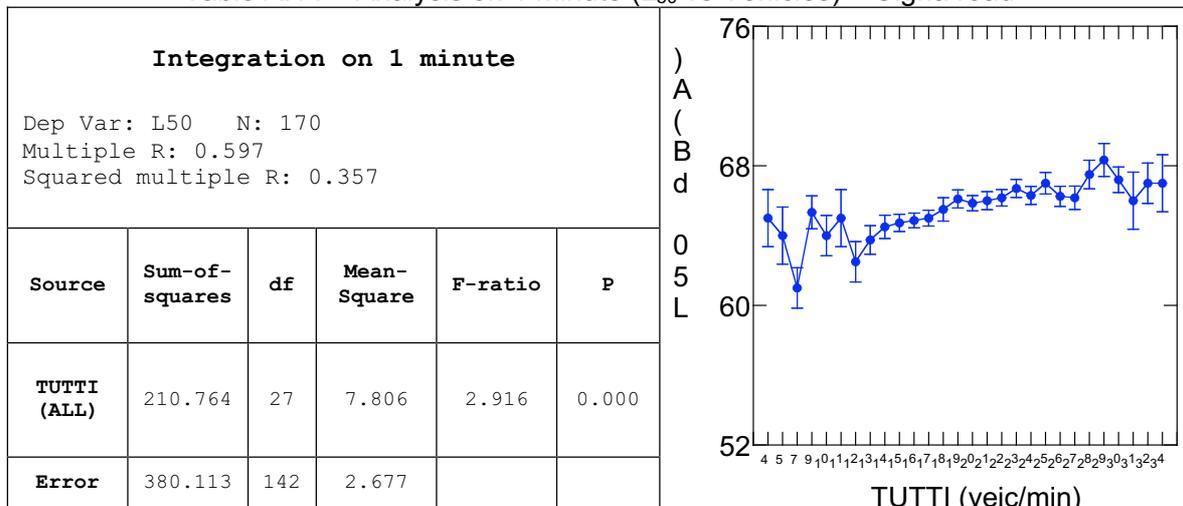
<b>Linear regression on 5 minutes data</b>						
Dep Var: $L_{50}$ Multiple R: 0.703 Squared multiple R: 0.494						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	59.137	0.782	0.000	.	75.584	0.000
TOT	0.275	0.041	0.703	1.000	6.704	0.000

Table A.13 – Analysis on 10 minutes (L<sub>50</sub> vs Vehicles) – Town Hall Square



<b>Linear regression on 10 minutes data</b>						
Dep Var: L50 Multiple R: 0.715 Squared multiple R: 0.511						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	60.503	0.810	0.000	.	74.707	0.000
TOT	0.106	0.022	0.715	1.000	4.791	0.000

Table A.14 – Analysis on 1 minute (L<sub>50</sub> vs Vehicles) – Cigna road



<b>Linear regression on 1 minute data</b>						
Dep Var: L50 Multiple R: 0.510 Squared multiple R: 0.260						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	62.307	0.460	0.000	.	135.399	0.000
TOT VEIC	0.170	0.022	0.510	1.000	7.682	0.000

Table A.15 – Analysis on 2 minutes (L<sub>50</sub> vs Vehicles) – Cigna road

Integration on 2 minutes					
Dep Var: L50 N: 85 Multiple R: 0.743 Squared multiple R: 0.553					
Source	Sum-of-squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
TUTTI (ALL)	88.333	25	3.533	2.916	0.000
Error	71.479	59	1.212		

Linear regression on 2 minutes data						
Dep Var: L50 Multiple R: 0.582 Squared multiple R: 0.338						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	61.233	0.705	0.000	.	86.882	0.000
TOT VEIC	0.113	0.017	0.582	1.000	6.513	0.000

Table A.16 – Analysis on 1 minute (L<sub>50</sub> vs Vehicles) – Massimo Avenue

Integration on 1 minute					
Dep Var: L50 N: 240 Multiple R: 0.714 Squared multiple R: 0.510					
Source	Sum-of-squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
TUTTI (ALL)	433.850	64	6.779	2.850	0.000
Error	416.212	175	2.378		

Linear regression on 1 minute data						
Dep Var: L50 Multiple R: 0.524 Squared multiple R: 0.274						
Effect	Coefficien	Std Error	Std Coef	Tolerance	t	P(2)
CONSTANT	67.624	0.365	0.000	.	185.427	0.000
TOT VEIC	0.062	0.007	0.524	1.000	9.479	0.000

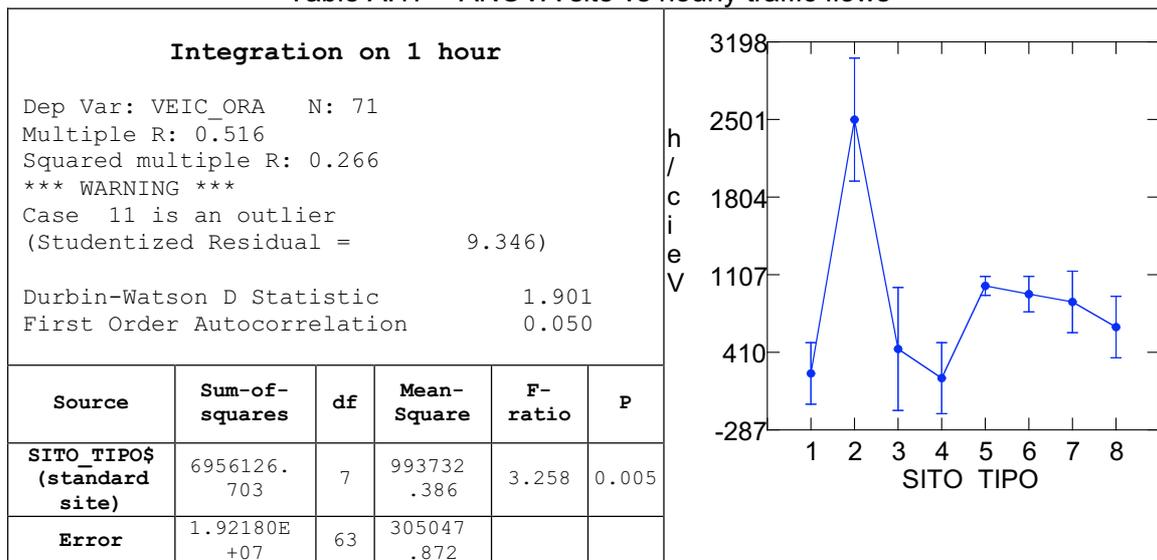
### A.4.2 Analysis of comparison among the sites (full factorial matrix)

#### A.4.2.1 Analysis of the hourly flow vs standard site

The data base is formed by data measured in different days and in different hourly ranges. Thus, a first analysis to evaluate the dispersion of the data has been carried out.

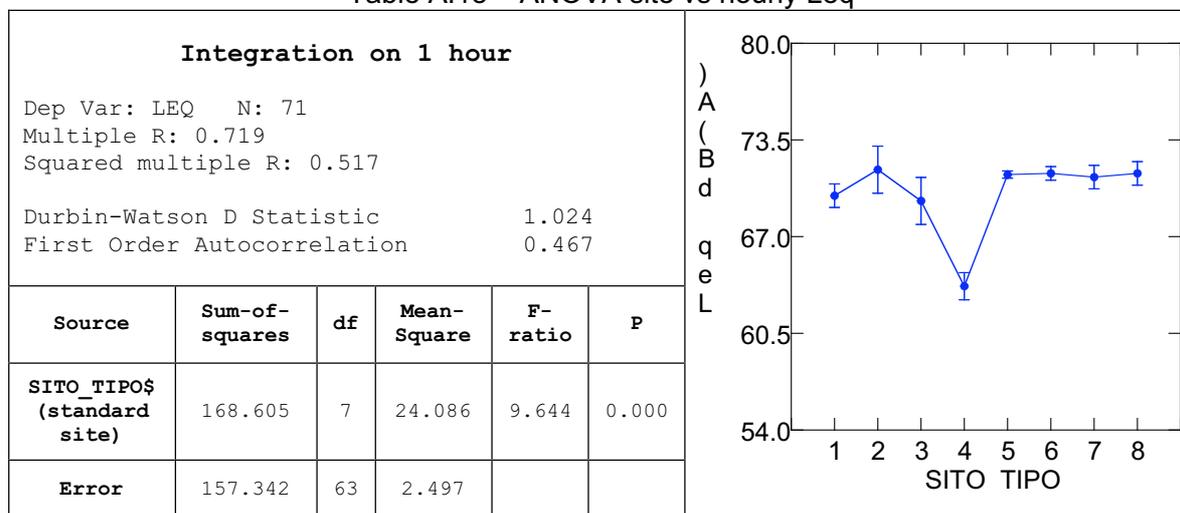
As depicted in table A.17, the ANOVA shows that the sites are different in respect to the hourly traffic flow.

Table A.17 – ANOVA site vs hourly traffic flows



Then, the ANOVA is carried out to investigate the influence of the site on the Leq, as depicted in table A.18; the noise levels are statistically different in the different sites and the trend is similar to that envisaged for the site vs traffic flow (table A.17). But, we can see how a strong change of the hourly traffic flow among the sites 1, 2, and 3 does not correspond to a similar strong change of the Leq. These dissimilarities emphasize the difference of the data which cannot be assigned to the standard sites because the data used in the analysis were measured in different hourly ranges.

Table A.18 – ANOVA site vs hourly Leq



To evaluate if the aforementioned differences depend on the standard site or on the hourly range of measurement, analyses on homogeneous time intervals have been carried out: from 7.00 to 9.00 a.m. and from 5.00 to 8.00 p.m.

Hourly range 5.00 – 8.00 p.m.

As we have only three hours, we have used the measurement referred to time intervals of ten minutes. Five of the eight standard sites provided in the full factorial matrix have been used (where the data were complete). The ANOVA carried out in these sites has shown that the five considered sites are different, not only under the point of view of the geometrical characteristics, but also from the traffic side (average traffic on ten minutes). On the same

data base an analysis concerning the Leq has been done, and, also in this case, the five sites are different in respect to the short Leq integrated on ten minutes. The results of the analyses are depicted in the figures A.11 and A.12.

Dep Var: Vehicle/10min N: 185  
 Multiple R: 0.784 Squared multiple R: 0.614

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Type_Site	751651.105	4	187912.776	71.664	0.000
Error	471983.901	180	2622.133		

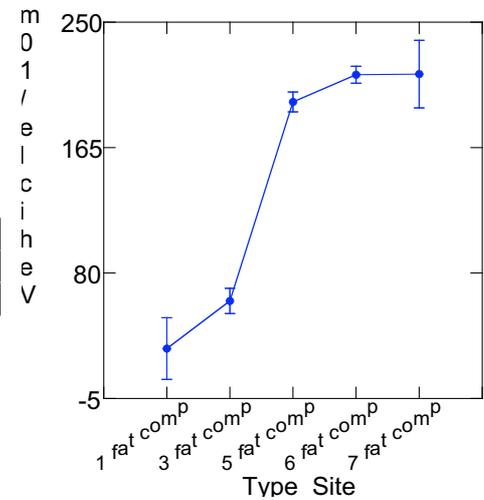


Figure A.11 –ANOVA standard site vs traffic flow (ten minutes) – afternoon period

Dep Var: Leq N: 185  
 Multiple R: 0.349 Squared multiple R: 0.122

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Type_Site	148.620	4	37.155	6.236	0.000
Error	1072.515	180	5.958		

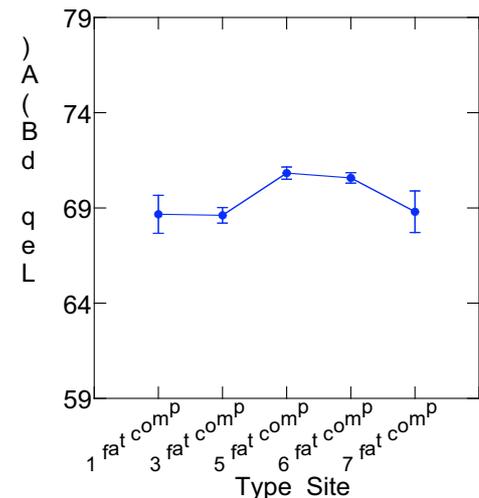


Figure A.12 –ANOVA standard site vs short Leq (ten minutes) – afternoon period

Hourly range 7.00 – 9.00 a.m.

Also in the morning time range the traffic flow data on ten minutes are used. In this case the sites where we have complete data were three out of eight. The analysis shows that the three sites are different in respect to the average traffic flow on ten minutes (figure A.13) as also in respect to the relative short Leq (ten minutes).

**The results of the analyses show that the geometrical variables, more simple to use than the traffic variables, are appropriate to carry out the site classification. The classes obtained using the geometrical characteristics allow to obtain typologies of road sections which are different also in respect to the traffic levels; thus the traffic flow is a variable dependent on the geometrical factors we used in the DOE in the chapter A.2.**

**This fact confirms the goodness of the methodology for the site classification.**

Dep Var: Vehicle/10min N: 93  
 Multiple R: 0.783 Squared multiple R: 0.613

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Type_Site	255190.523	2	127595.261	71.178	0.000
Error	161337.047	90	1792.634		

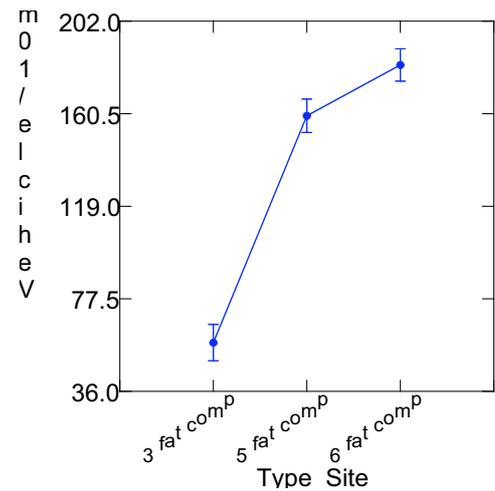


Figure A.13 –ANOVA standard site vs traffic flow (ten minutes) – morning period

Dep Var: Leq N: 93  
 Multiple R: 0.499 Squared multiple R: 0.249

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Type_Site	108.427	2	54.213	14.944	0.000
Error	326.498	90	3.628		

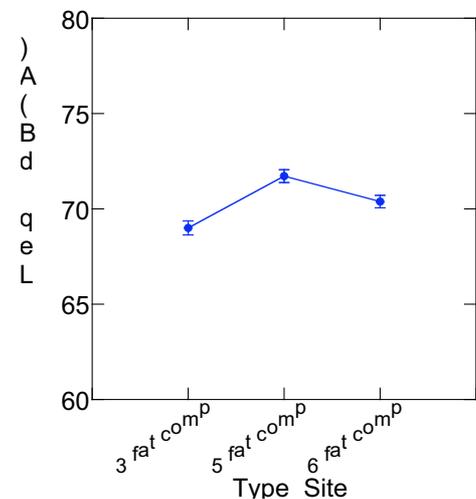


Figure A.14 –ANOVA standard site vs Leq (ten minutes) – morning period

A.4.2.2 Pair comparison of the sites of the full factorial matrix

Sites 1 and 7

The sites 1 and 7 differs for the number of lanes – one lane in the Town Hall Square and two lanes in Cigna road – while they have both a “L” shape and one tramway lane.

The data have been ordered in function of the hourly Leq and the data having the same Leq values have been used; in table A.19 we see how the same Leq is produced from two very different traffic “compositions”. In Cigna road the traffic flow is congested and the speeds are very low due to the numerous traffic flights; this implies that the noise is not so high as thought related to the high number of vehicles. Looking at the background noise, we see that the traffic flow influence  $L_{90}$ , as already seen in other sites and, Leq being equal, in Cigna road the background noise is higher because the traffic quantity is higher.

Sites 3 and 4

The sites 3 and 4 are both formed by one lane without tramway, but they differ for the section typology: the site 3 has a “U” shape and the site 4 has a “L” shape.

Table A.19 – Comparison between the sites 1 and 7 in terms of number of lanes (one hour data)

Standard site	Site name	Veic/h	Leq	Lmin	Lmax	L95	L90	L50	L10	L5	Average speed (km/h)
1	Town Hall Square	194	69	50	94	56	57	63	71	74	estimated
1	Town Hall Square	196	69	50	100	55	56	64	72	74	estimated
7	Cigna road	1140	69	55	94	60	61	66	72	74	estimated
7	Cigna road	1226	69	57	94	61	62	66	71	74	estimated

As in these sites we have few hourly Leq data, in table A.20 the value are reported without carrying out statistical analyses; simply observing the values we can observe that in the site 3 (U shape) the Leq is higher than in site 4 (L shape), but this increase cannot be influenced only by the section shape as the traffic flow is higher in the first site in respect to the second one.

Table A.20 – Comparison between the sites 3 and 4 in terms of number of lanes (one hour data)

Standard site	Site name	Veic/h	Leq	Lmin	Lmax	L95	L90	L50	L10	L5	Average speed (km/h)
3	S.Francesco da Paola road	440	69	51	96	58	60	65	71	74	estimated
4	Susa road	182	63	51	86	55	56	59	66	68	estimated
4	Susa road	128	64	50	88	55	56	60	67	69	estimated
4	Susa road	224	64	53	89	56	57	60	66	68	estimated

Due to the few hourly data, the pair comparison has been done on the 10 minutes basis where the traffic flow is known; thus the traffic flow has been classified in three groups:

1. less than 20 vehicles per 10 minutes;
2. from 20 to 40 vehicles per 10 minutes;
3. more than 40 vehicles per 10 minutes.

The ANOVA has been carried out considering the Leq as dependent variable and the section typology and the classes of vehicles as parameters. The results are depicted in the table A.21 and in the figures A.15 and A.16.

Table A.21 – Two-way ANOVA ten minutes values

Dep Var: LEQ N: 176 Multiple R: 0.484 Squared multiple R: 0.235

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
SEZIONE\$	169.838	1	169.838	16.151	0.000
GRUP_VEICOL\$	16.161	2	8.080	0.768	0.465
SEZIONE\$*GRUP_VEICOL\$	13.196	2	6.598	0.627	0.535
Error	1787.702	170	10.516		

WARNING \*\*\*

Case 129 is an outlier (Studentized Residual = 3.769)

Case 143 is an outlier (Studentized Residual = 5.234)

Durbin-Watson D Statistic 1.297

First Order Autocorrelation 0.351

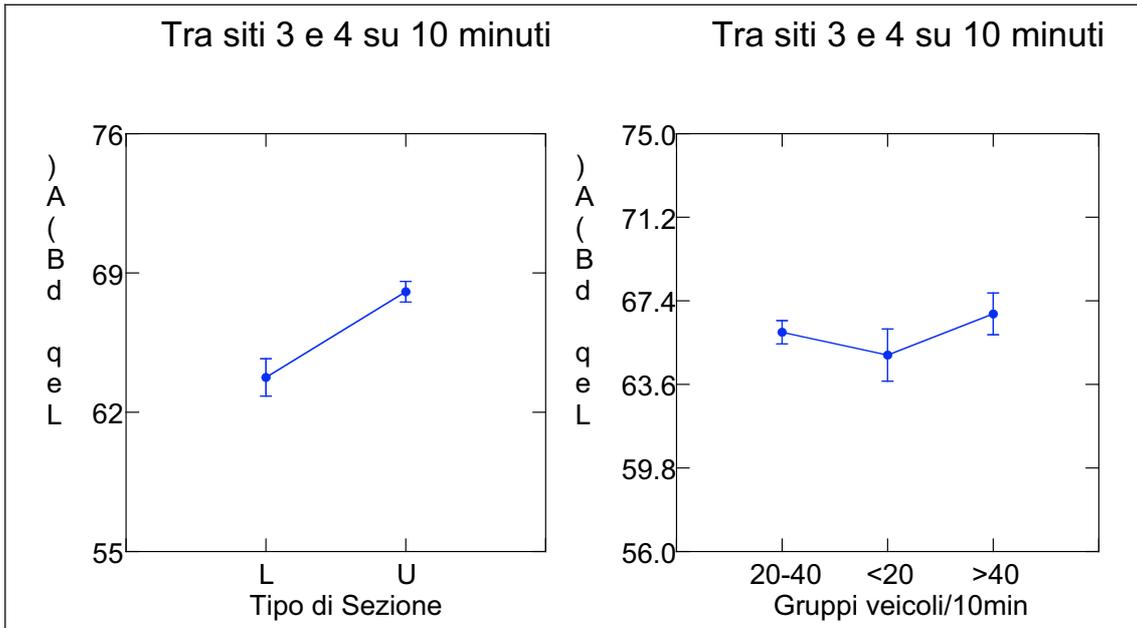


Figure A.15 –ANOVA standard site and groups of vehicles vs Leq (ten minutes) – sites 3 and 4

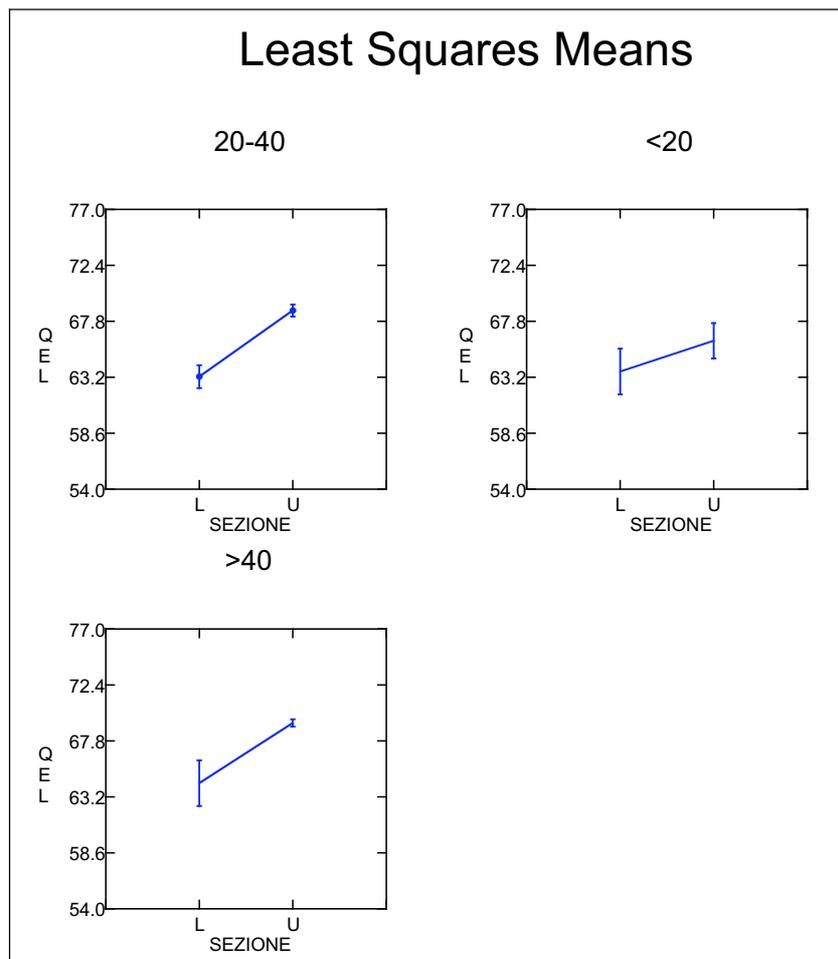


Figure A.16 –ANOVA standard site vs Leq (ten minutes) keeping constant the group of vehicles – sites 3 and 4

The analysis shows that in the sites having one lane without tramway, generally the “U” sections are noisier than the “L” sections, being the number of vehicles equal; in fact, observing the figure A.16, we can see that, for each group/class of vehicles during the ten minutes period, the “U” sections have a Leq higher of about 4 dBA. In this case the noise level is influenced by the site typology and not by the traffic quantity.

### Sites 5 and 6

The sites 5 and 6 have two lanes without tramway and differ for the section typology: the site 5 has the “U” shape and the site 6 has the “L” shape; they are similar to sections 3 and 4, but they are larger.

In table A.22 the data in terms of noise levels and traffic variables are shown.

Table A.22 – Comparison between the sites 5 and 6 in terms of section typology (one hour data)

Standard site	Site name	Veic/h	Leq	Lmin	Lmax	L95	L90	L50	L10	L5	Average speed (km/h)
5	Tanaro p.1 road	500	69	46	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	548	69	44	87	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	807	69	49	91	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	974	69	49	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	45
6	Thaon p.1 road	379	69	32	91	43	46	60	73	75	55
5	Thaon p.2 road	374	70	37	91	44	46	60	74	76	60
5	Thaon p.2 road	441	70	34	94	43	46	61	74	77	56
5	Tanaro p.1 road	508	70	47	97	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	588	70	47	89	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	697	70	48	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	45
5	Tanaro p.1 road	778	70	49	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	953	70	50	89	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	45
5	Racconigi road	1166	70	56	92	61	62	67	74	76	60
5	Italia avenue p.1	1516	70	50	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
6	Torino road	321	70	35	91	44	46	60	74	76	51
6	Torino road	573	70	36	90	47	50	63	74	76	51
6	Torino road	573	70	36	90	47	50	63	74	76	51

The analysis of variance has been carried out only on the measures having a Leq equal to 70 dBA, so that, being Leq equal, the influence of the other variables have been evaluated. We can observe that, in the sites 5, the Leq (70 dBA) in some cases corresponds to higher traffic flows in respect to the site 6. In table A.23 the results of ANOVA are presented. Some apparently incoherent results are simply due to the different width of the sections: the U shape sections are very large and the reflection effect is strongly weakened. The same analysis has been done on data integrated on ten minutes; the traffic flows have been so classified

1. less than 50 vehicles per 10 minutes;
2. from 50 to 150 vehicles per 10 minutes;
3. from 150 to 200 vehicles per 10 minutes;
4. more than 250 vehicles per 10 minutes.

In table A.24 and in figures A.17 and A.18 the results are depicted.

Table A.23 – Two-way ANOVA standard site vs vehicles/hour, being Leq equal to 70 dBA

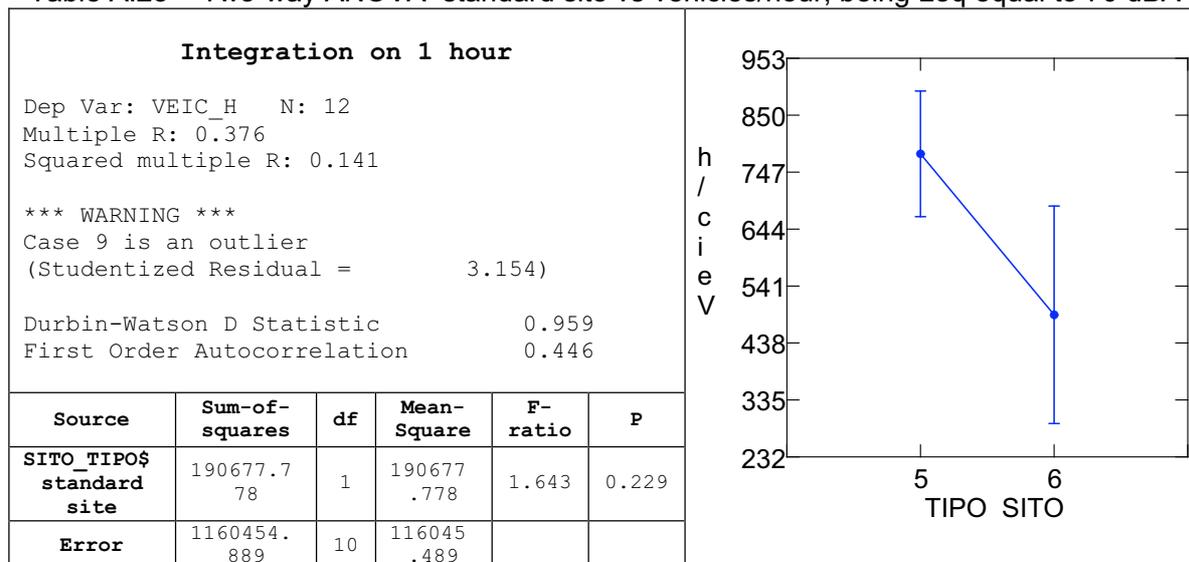
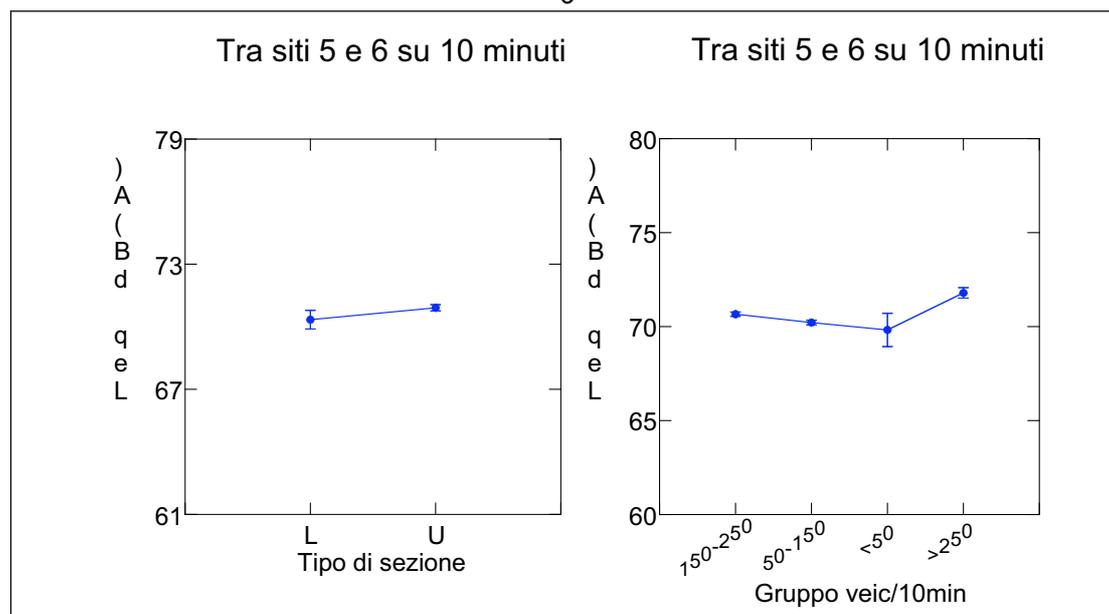


Table A.24 – Two-way ANOVA standard site and group of vehicles vs Leq – sites 5 and 6 (ten minutes values)

Dep Var: LEQ N: 520 Multiple R: 0.417 Squared multiple R: 0.174  
 \*\*\* WARNING \*\*\*  
 Case 329 is an outlier (Studentized Residual = 4.797)  
 Durbin-Watson D Statistic 0.685  
 First Order Autocorrelation 0.657

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
SEZIONE\$	4.279	1	4.279	1.462	0.227
GRUP_VEICOL\$	83.895	3	27.965	9.559	0.000
SEZIONE\$*GRUP_VEICOL\$	38.003	3	12.668	4.330	0.005
Error	1497.885	512	2.926		

Figure A.17 – ANOVA standard site and groups of vehicles vs Leq (ten minutes) – sites 5 and 6



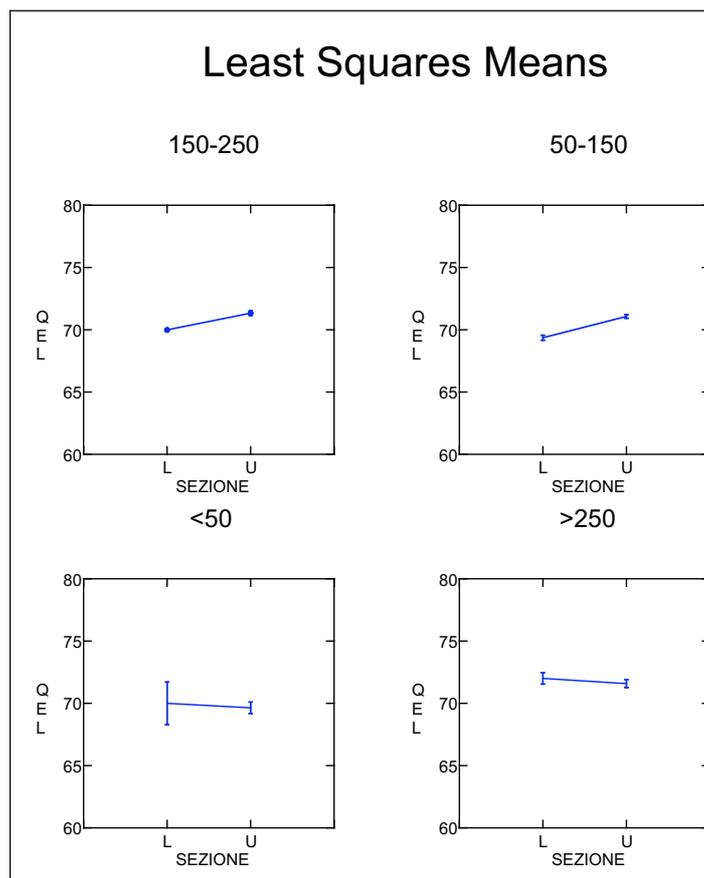


Figure A.18 –ANOVA standard site vs Leq (ten minutes) keeping constant the group of vehicles – sites 5 and 6

The analyses show that, in this case with two lanes and no tramway, the sections having “U” shape are noisier than the “L” shape sections; the difference is about 3 dBA for the traffic flows range from 50 to 250 vehicles/10 minutes while for traffic flows less than 50 vehicles/10 minutes and greater than 250 vehicles/10 minutes an inversion of trend occurs in respect to the sites having only one lane: when the road width increases, the difference between the two section typologies decreases.

The same analysis has been done for the data referred to five minutes time interval; in this case the traffic flow has been so classified:

1. less than 50 vehicles per 5 minutes;
2. from 50 to 100 vehicles per 5 minutes;
3. from 100 to 150 vehicles per 5 minutes.

The data are depicted in table A.25 and in figures A.19 and A.20. The results show that the evaluation of the noise on the five minutes time basis does not give a substantial difference of the level in the two section typologies.

**Table A.25 – Two-way ANOVA standard site and group of vehicles vs Leq – sites 5 and 6 (five minutes values)**

Dep Var: LEQ N: 669 Multiple R: 0.396 Squared multiple R: 0.157  
 Durbin-Watson D Statistic 1.147  
 First Order Autocorrelation 0.426

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
SEZ_L_U_§	3.238	1	3.238	0.935	0.334
GRU_VEIC5M§	344.993	2	172.497	49.799	0.000
SEZ_L_U_§*GRU_VEIC5M§	29.413	2	14.706	4.246	0.015
Error	2296.537	663	3.464		

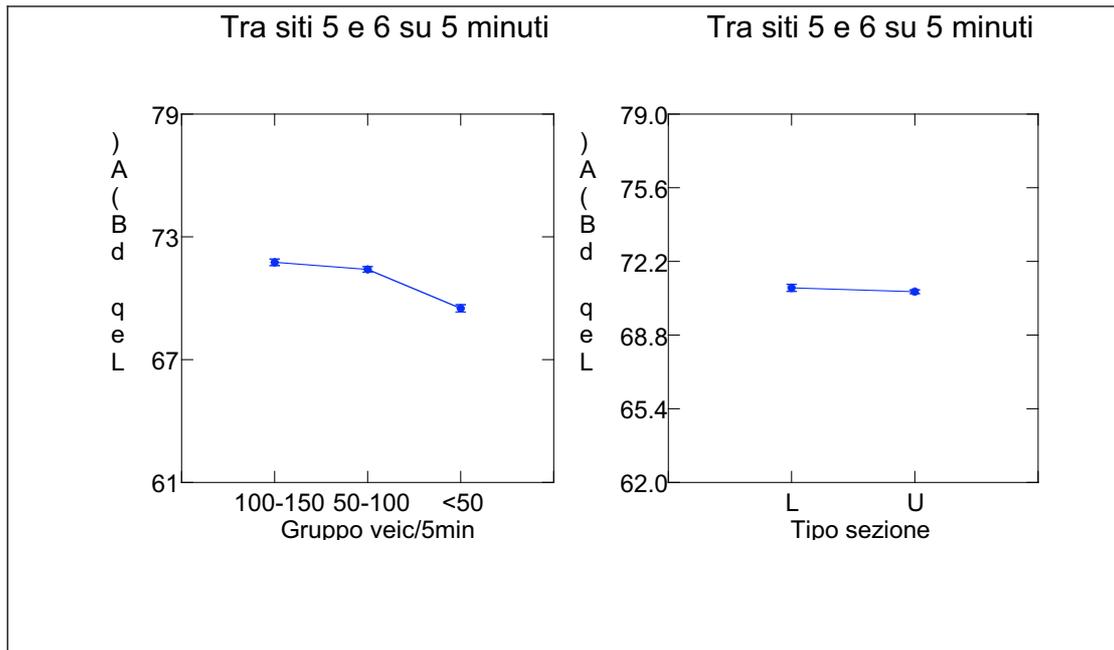


Figure A.19 –ANOVA standard site and groups of vehicles vs Leq (five minutes) – sites 5 and 6

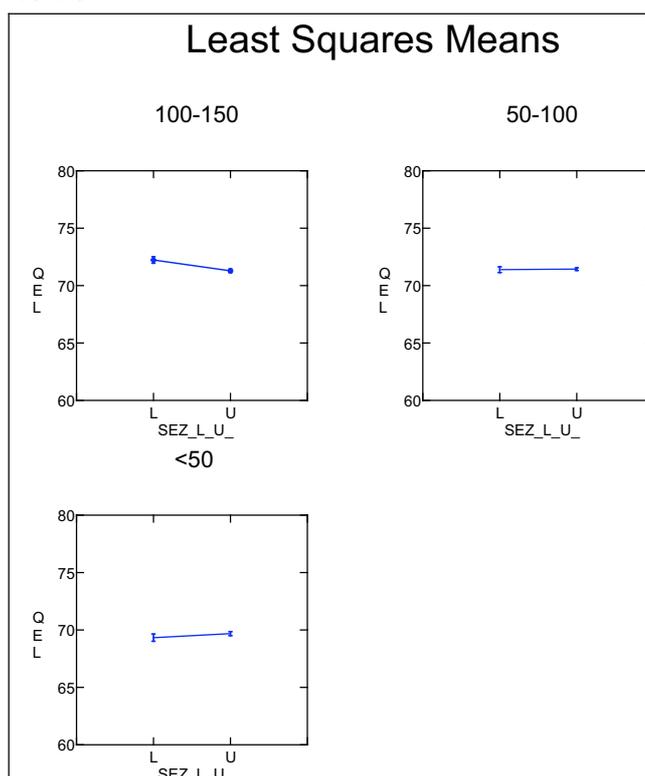


Figure A.20 –ANOVA standard site vs Leq (five minutes) keeping constant the group of vehicles – sites 5 and 6

### Sites 3 and 5

The sites 3 and 5 have a “U” shape, without tramway. The difference lays in the number of lanes and, hence, in the road width: one lane in the site 3 and two lane sin the site 5. The site characteristics are shown in table A.26

Table A.26 – Comparison between the sites 3 and 5 in terms of road width/number of lanes (one hour data)

Standard site	Site name	Veic/h	Leq	Lmin	Lmax	L95	L90	L50	L10	L5	Average speed (km/h)
3	S. Francesco da Paola road	440	69	51	96	58	60	65	71	74	estimated
5	Tanaro p.1 road	500	69	46	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	548	69	44	87	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	807	69	49	91	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
5	Tanaro p.1 road	974	69	49	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	45

Making the analysis on the data integrated on 10 minutes time basis, the traffic flow is classified in two groups:

1. less than 50 vehicles per 10 minutes;
2. from 50 to 100 vehicles per 10 minutes.

The results from ANOVA, depicted in table A.27 and figures A.21 and A.22, show that the considered variables do not influence the noise, considering the ten minutes time basis.

**Table A.27 – Two-way ANOVA number of lanes and group of vehicles vs Leq – sites 3 and 5 (ten minutes values)**

Dep Var: LEQ N: 218 Multiple R: 0.191 Squared multiple R: 0.036  
 Case 154 is an outlier (Studentized Residual = 3.961)  
 Case 168 is an outlier (Studentized Residual = 5.509)  
 Durbin-Watson D Statistic 1.318 First Order Autocorrelation 0.340

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
NUMCORS	20.256	1	20.256	2.230	0.137
GRUP_VEICOL\$	14.225	1	14.225	1.566	0.212
NUMCORS*GRUP_VEICOL\$	6.667	1	6.667	0.734	0.393
Error	1944.197	214	9.085		

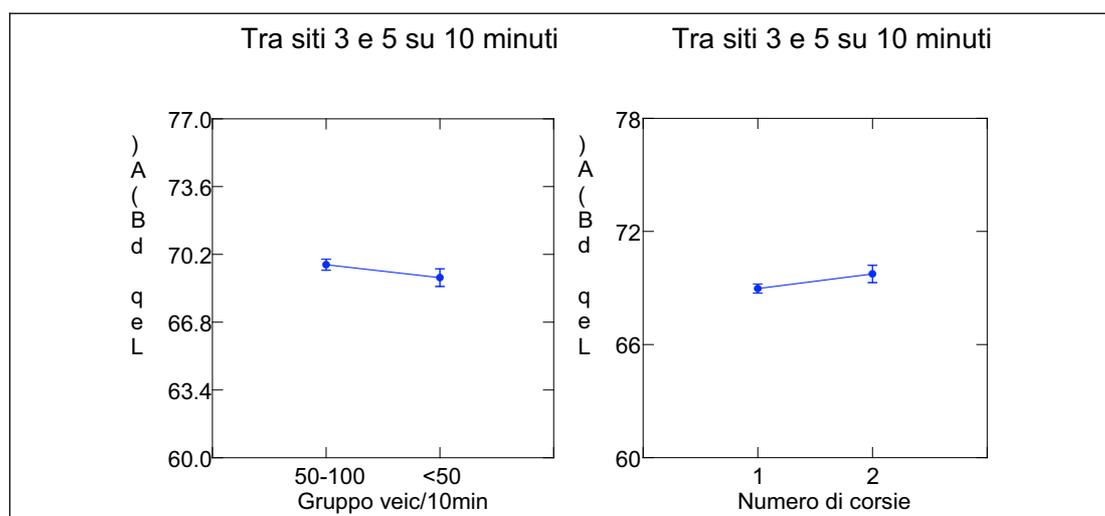


Figure A.21 –ANOVA lanes number and groups of vehicles vs Leq (ten minutes) – sites 3 and 5

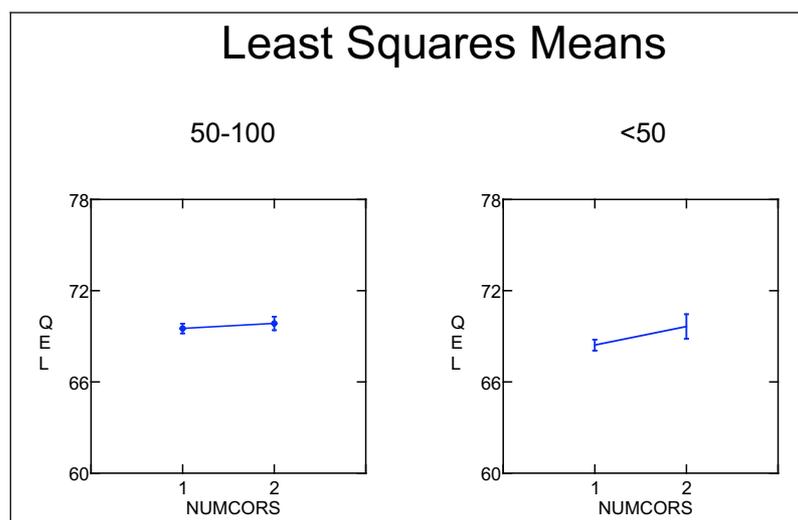


Figure A.22 – ANOVA lanes number vs Leq (ten minutes) keeping constant the group of vehicles – sites 3 and 5

Considering the five minutes time basis, the analysis is carried out classifying the traffic in two groups:

1. less than 50 vehicles per 5 minutes;
2. from 50 and 100 vehicles per 5 minutes.

To analyse the influence of traffic on noise, it is necessary that a similar traffic quantity is present in all the analysed sites; thus, the traffic flow has been divided in two classes because in the sites 3 the flow is quite modest while in the sites 5 there are some time intervals where the traffic reaches 150 vehicles/5 minutes (not observable in the sites 3).

In table A.28 and in figures A.23 and A.24 the results are presented.

Table A.28 – Two-way ANOVA number of lanes and group of vehicles vs Leq – sites 3 and 5 (five minutes values)

Dep Var: LEQ N: 842 Multiple R: 0.473 Squared multiple R: 0.224  
 Case 157 is an outlier (Studentized Residual = -5.530)  
 Case 211 is an outlier (Studentized Residual = 4.561)  
 Case 398 is an outlier (Studentized Residual = 4.779)  
 Case 425 is an outlier (Studentized Residual = 6.075)  
 Durbin-Watson D Statistic 1.038  
 First Order Autocorrelation 0.480

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
NUM_CORSIE\$	103.835	1	103.835	9.348	0.002
GRUP_VEIC\$	46.410	1	46.410	4.178	0.041
NUM_CORSIE\$*GRUP_VEIC\$	0.550	1	0.550	0.050	0.824
Error	9308.782	838	11.108		

The results show that the “U” sections having two lanes and without tramway are noisier of about 4 dBA in respect to those having one lane.

Sites 1 and 4

The sites 1 and 4 have the “L” shape and one lane; they differ for the presence of tramway in the sites 1. The ANOVA has been carried out on the hourly data and to keep into account the traffic this has been divided in two classes:

1. less than 200 vehicles per hour;
2. more than 200 vehicles per hour.

The results are depicted in table A.29 and in figures A.25 and A.26.

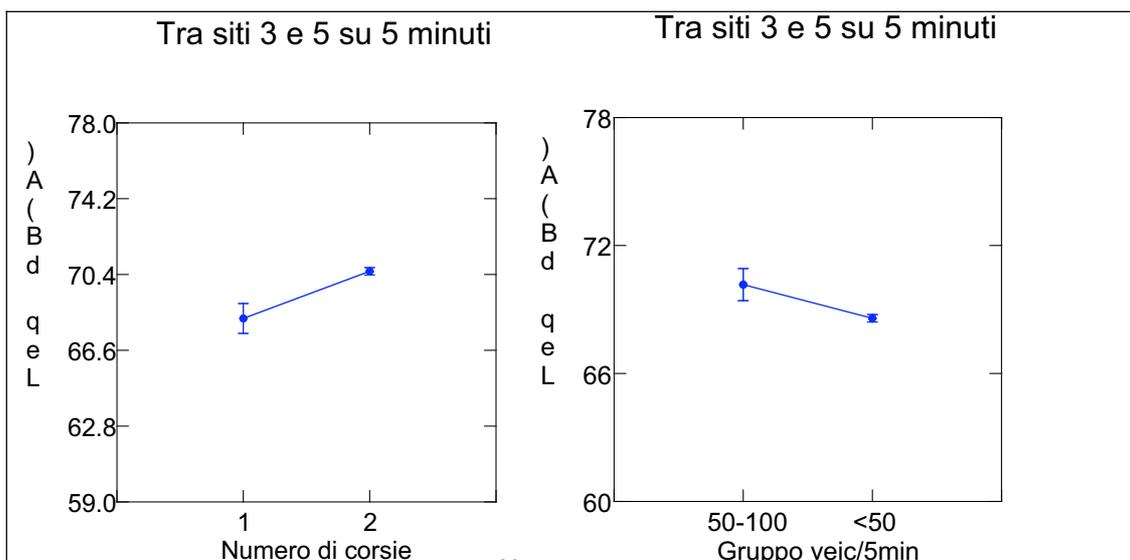


Figure A.23–ANOVA lanes number and groups of vehicles vs Leq (five minutes) – sites 3 and 5

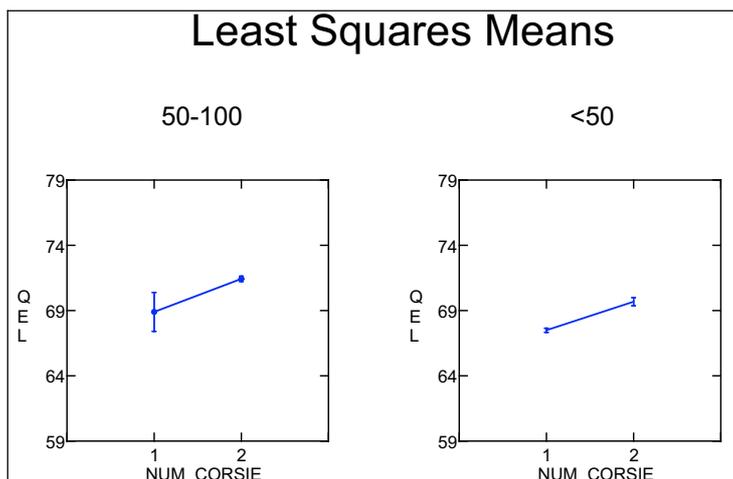


Figure A.24 –ANOVA lanes number vs Leq (five minutes) keeping constant the group of vehicles – sites 3 and 5

Table A.29 – Two-way ANOVA standard site and group of vehicles vs Leq – sites 1 and 4 (five minutes values)

Dep Var: LEQ N: 7 Multiple R: 0.992 Squared multiple R: 0.985  
 Case 1 is an outlier (Studentized Residual = 1.414)  
 Case 2 is an outlier (Studentized Residual = -1.414)  
 Case 6 is an outlier (Studentized Residual = -1.414)  
 Case 7 is an outlier (Studentized Residual = 1.414)  
 Durbin-Watson D Statistic 2.500  
 First Order Autocorrelation -0.500

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
SITO_TIPO\$	57.600	1	57.600	172.800	0.001
GRUP_VEIC\$	1.600	1	1.600	4.800	0.116
SITO_TIPO\$*GRUP_VEIC\$	0.400	1	0.400	1.200	0.353
Error	1.000	3	0.333		

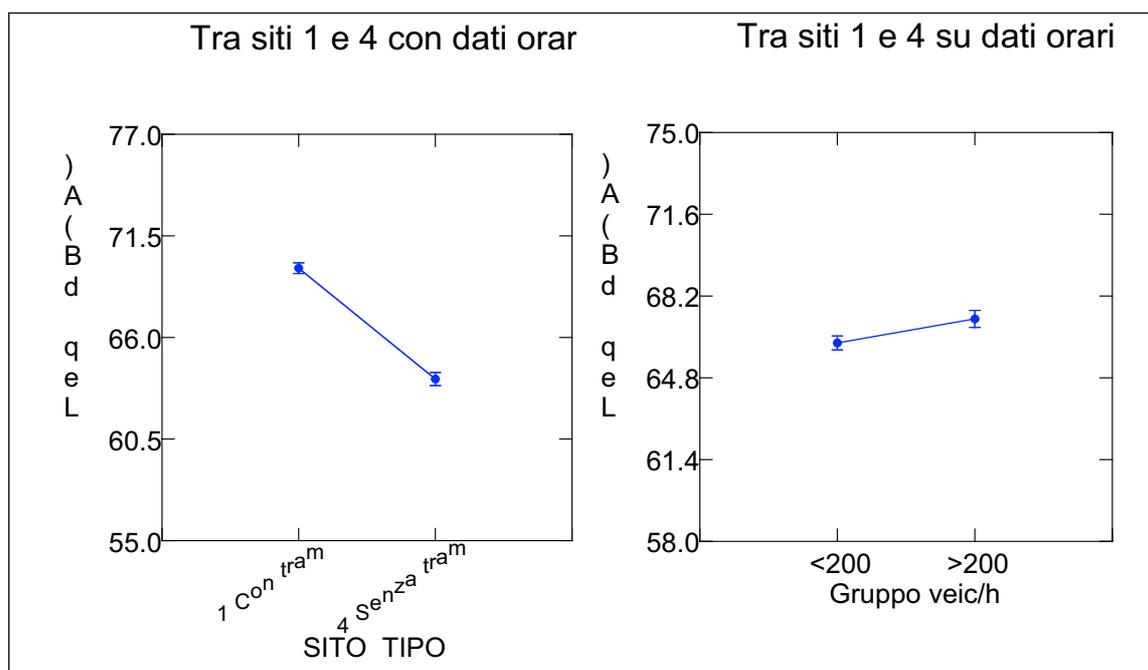


Figure A.25–ANOVA standard site and groups of vehicles vs Leq (one hour) – sites 1 and 4

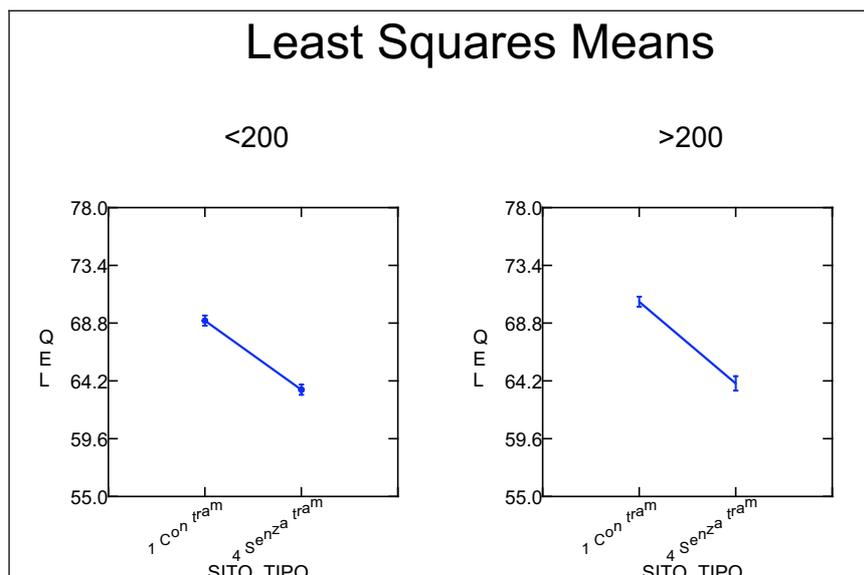


Figure A.26 –ANOVA standard site vs Leq one hour) keeping constant the group of vehicles – sites 1 and 4

The results show an important difference between the average values of the hourly Leq. Being the traffic equal, the site with the tramway is noisier of about 5 dBA in respect to the sites not having the tramway. The same analysis has been done using the ten minutes time basis, to have more data and the traffic flow is divided in two classes:

1. less than 30 vehicles per 10 minutes;
2. from 30 to 50 vehicles per 10 minutes (in the analysis this group is labelled as “> 30”).

The results are depicted in table A.30 and in figures A.27 and A.28.

Table A.30 – Two-way ANOVA tramway and group of vehicles vs Leq – sites 1 and 4 (ten minutes values)

Dep Var: LEQ N: 42 Multiple R: 0.923 Squared multiple R: 0.852  
 Durbin-Watson D Statistic 2.258  
 First Order Autocorrelation -0.205

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
TRAM\$	309.479	1	309.479	178.392	0.000
GRUP_VEIC\$	4.770	1	4.770	2.750	0.106
TRAM\$*GRUP_VEIC\$	3.396	1	3.396	1.958	0.170
Error	65.923	38	1.735		

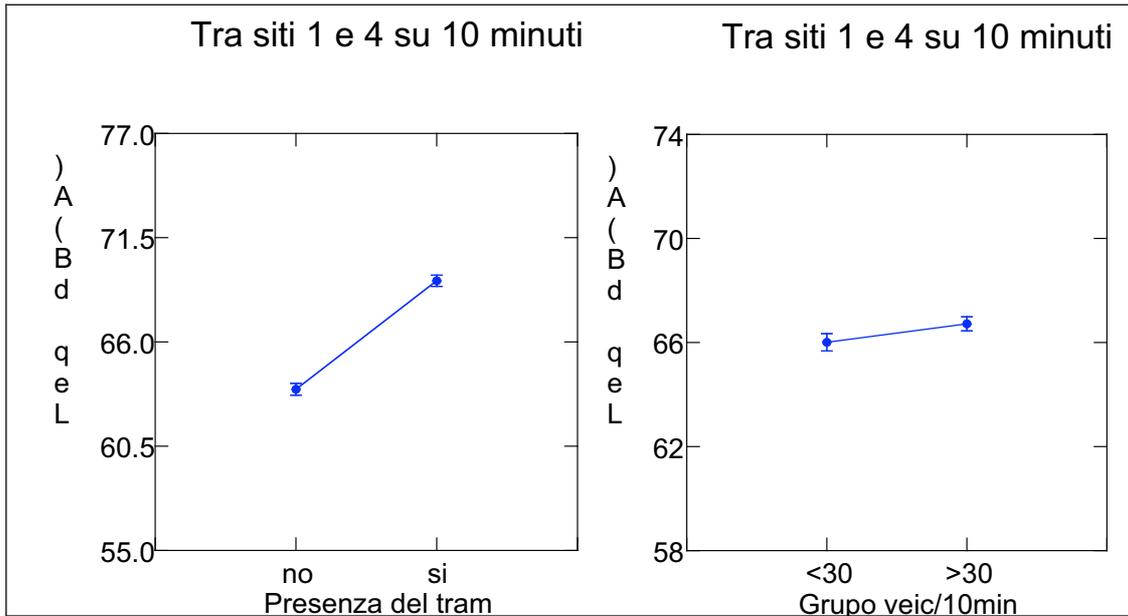


Figure A.27–ANOVA tramway and groups of vehicles vs Leq (ten minutes) – sites 1 and 4

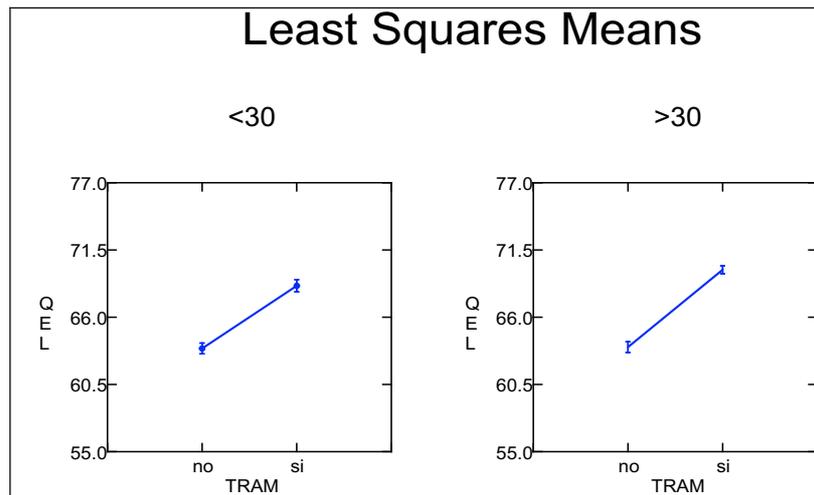


Figure A.28 –ANOVA tramway vs Leq (ten minutes) keeping constant the group of vehicles – sites 1 and 4

The results show the same trend observed in the analysis having one hour time basis: the section having the tramway is noisier than that without it; also being the traffic flow equal, the difference is about 5-6 dBA, as already seen in the previous case.

Using the five minutes time basis, the traffic flow has been divided in two groups:

1. less than 15 vehicles per 5 minutes;
2. from 15 to 30 vehicles per 5 minutes.

The results are depicted in table A.31 and in figures A.29 and A.30.

Table A.31 – Two-way ANOVA tramway and group of vehicles vs Leq – sites 1 and 4 (five minutes values)

Dep Var: LEQ N: 84 Multiple R: 0.849 Squared multiple R: 0.720  
 Durbin-Watson D Statistic 2.301  
 First Order Autocorrelation -0.155

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
TRAM\$	458.934	1	458.934	134.059	0.000
GRO_VEIC\$	13.783	1	13.783	4.026	0.048
TRAM\$*GRO_VEIC\$	24.564	1	24.564	7.175	0.009
Error	273.871	80	3.423		

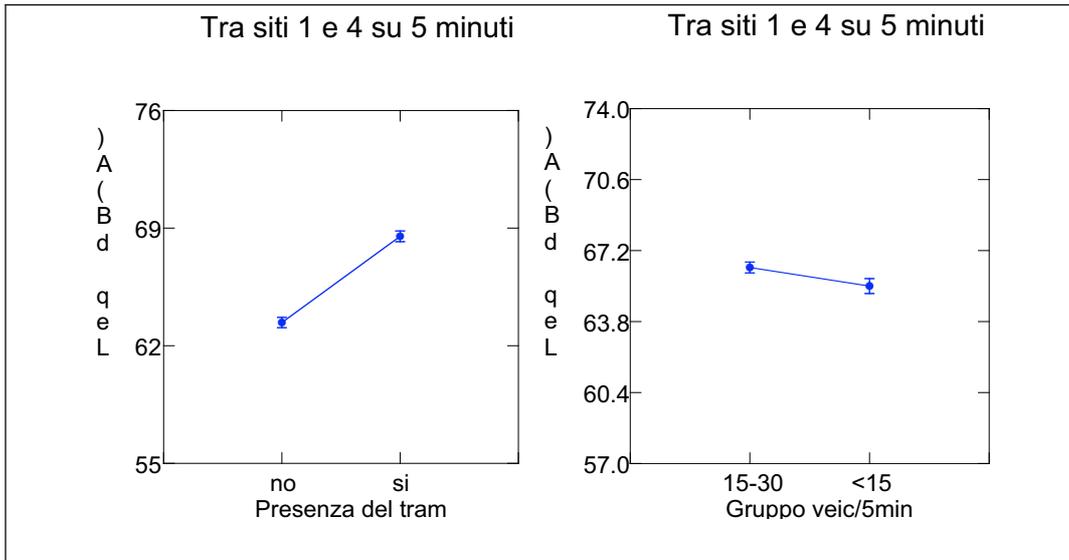


Figure A.29–ANOVA tramway and groups of vehicles vs Leq (five minutes) – sites 1 and 4

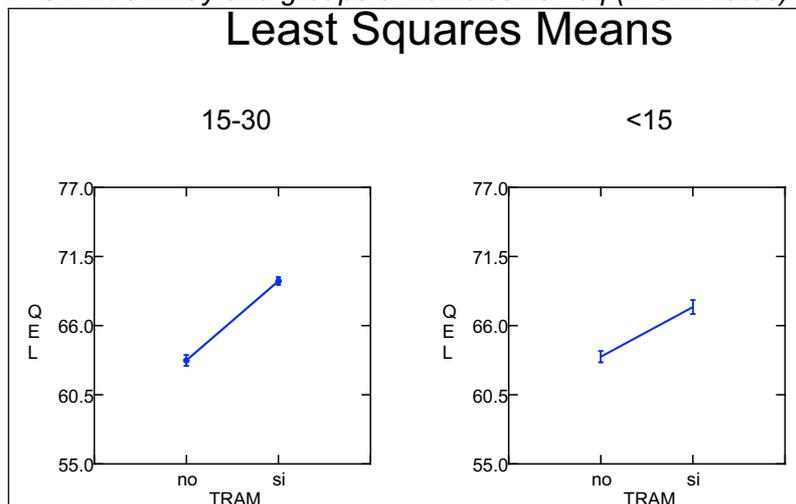


Figure A.30 –ANOVA tramway vs Leq (five minutes) keeping constant the group of vehicles – sites 1 and 4

The analysis on the five minutes time basis show that the sites having one lane and the “L” shape are noisier than those without tramway of about 5-6 dBA, as already seen.

Sites 7 and 8

The sites 7 and 8 have both two lanes without tramway, but the sites 7 have the “L” shape while the sites 8 have the “U” shape. The hourly data are reported in table A.32.

Table A.32 – Comparison between the sites 7 and 8 in terms of road width/number of lanes (one hour data)

Standard site	Site name	Veic/h	Leq	Lmin	Lmax	L95	L90	L50	L10	L5	Average speed (km/h)
7	Cigna road	1140	69	55	94	60	61	66	72	74	estimated
7	Cigna road	1226	69	57	94	61	62	66	71	74	estimated
8	Toscana avenue	645	69	48	87	56	57	64	73	76	45

We can observe that, in the “L” sections, the traffic causing 69 dBA is double in respect to that in the “U” sections. As there are not enough data referred both to one hour and ten minutes, not any ANOVA has been carried out.

#### A.4.2.2.1 Matrix $L_4$

The analyses on the orthogonal matrix  $L_4$  have been carried out.

The one-way Anova has been done in respect to the  $Leq$ , using all the available data referred to one hour in the different sites. This means that a measurements in a site having a four hour duration gives four hourly values of noise and traffic flow and, in the matrix, that site has four data. The analysed data are referred to measurements done in different hourly intervals (tab. A.33) during the day. The result shows that, among the sites, the average noise values are similar ( $p = 13\%$ ), but we cannot say that the sites are similar in respect to noise due the different time periods (morning or afternoon ranges) in which the measurements have been done.

Table A.33 – Standard site data used in the analysis

ID	Standard site	Site name	Veic/h	Leq	Lmin	Lmax	L95	L90	L50	L10	L5	Average speed (km/h)
1	1	Massimo avenue	3480	72	52	94	63	65	71	75	76	42
2	1	Massimo avenue	3591	72	50	94	63	66	71	75	76	42
3	1	Massimo avenue	3312	72	54	90	63	66	71	75	76	45
4	1	Massimo avenue	2448	73	50	94	59	62	71	76	77	51
5	3	Agnelli avenue	3682	73	54	96	62	64	71	76	77	65
6	3	Unione Sov. av.	4005	72	52	87	60	62	71	76	77	60
7	4	Trapani avenue	2960	73	52	94	60	61	70	75	77	60
8	4	Trapani avenue	3239	72	55	89	60	62	69	75	76	57
9	4	Trapani avenue	3301	71	52	91	60	61	69	74	75	56
10	4	Trapani avenue	3665	72	54	101	61	63	70	75	76	55
11	2	Italia avenue p.1	1674	71	55	89	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
12	2	Italia avenue p.1	1516	70	50	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	estimated
13	2	Italia avenue p.1	1281	72	53	88	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	42
14	2	Italia avenue p.1	1330	71	52	91	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	41
15	2	Italia avenue p.1	1385	72	47	93	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	42
16	2	Italia avenue p.1	1422	71	44	89	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	43
17	2	Italia avenue p.1	1009	72	46	99	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	48
18	2	Italia avenue p.1	1287	71	53	89	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	43
19	2	Italia avenue p.1	1290	71	53	89	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	41
20	2	Italia avenue p.1	1398	71	53	87	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	40
21	2	Italia avenue p.1	1739	73	55	95	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	36
22	2	Italia avenue p.1	1750	73	57	97	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	37

The same consideration can be done when the Anova is carried out in respect to the traffic flow; the results show that the hourly traffic volumes are statistically different ( $p < 1\%$ ) among the sites, but this difference cannot be attributed to the standard site as the hourly ranges used in the analysis are referred some to peak-hour periods and others to non peak-hour period. These analyses confirm the importance of having the same time period when the different sites are compared if we want to be sure that the difference is statistically significant. In this case the geometric characteristics are a good proxy of the traffic flow.

### **Cluster analysis in respect to Leq**

The next step is to carry out a cluster analysis of the sites in respect to the hourly Leq so that we can obtain another classification of the sites considering the measured noise. The cluster analysis using the method of complete linkage gives the results depicted in fig. A.31 where we can observe four groups of sites:

- group 1 sites ID: 12;
- group 2 sites ID: 19,16,11,9,14,18,20;
- group 3 sites ID: 17,13,8,2,1,3,10,15;
- group 4 sites ID: 6,5,21,4,7,22.

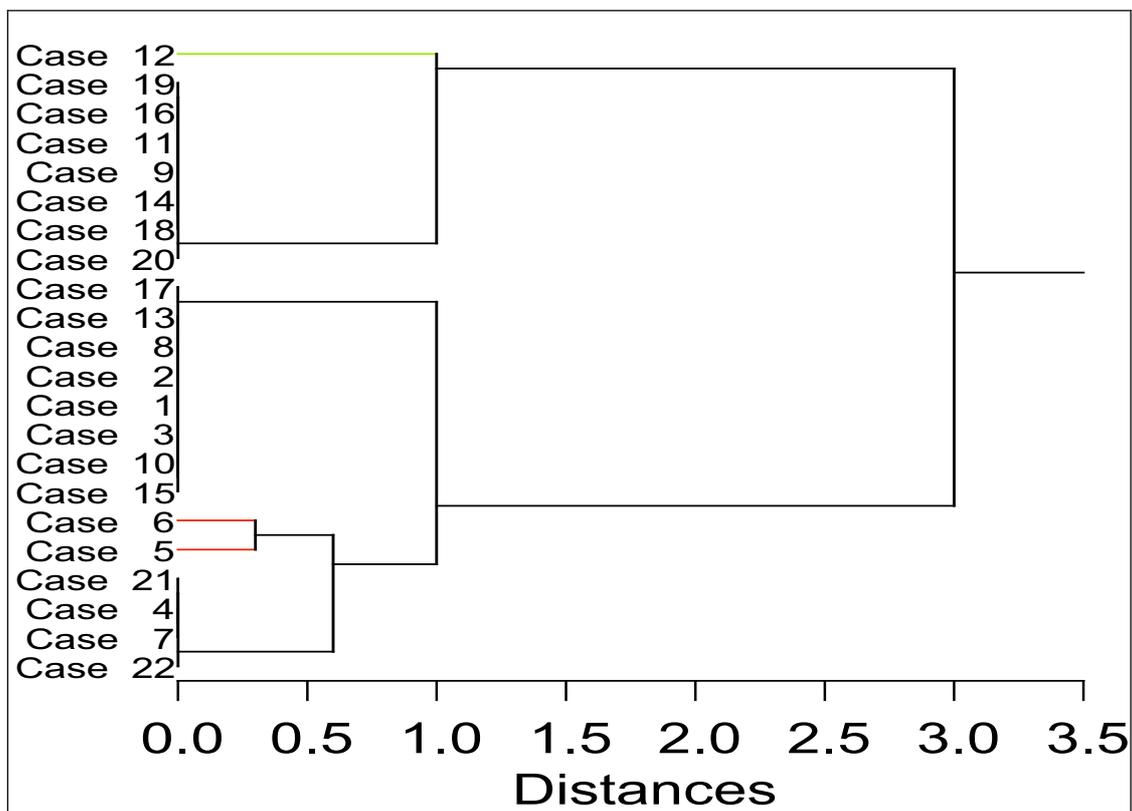


Figure A.31 – Cluster analysis in respect to Leq

The table A.34 highlights the effect of the groupment. The classification of the sites through the cluster analysis emphasizes that the same Leq in Italia Avenue and Trapani or Massimo avenue is produced by very different traffic flows (in Italia avenue the traffic flow is the half of that in Trapani or Massimo avenue).

The analyses show also that the group having the highest Leq is formed by the sites where the measured traffic flow is not the maximum, but the average speed is the highest (the case of Massimo and Trapani avenue), while in Italia avenue, having the narrowest section, to the highest flow corresponds the highest Leq.

Table A.34 – Results of the site classification obtained through the cluster analysis

Group	Progr. Num.	Standard site	Site name	Veic/h	Leq	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	L95	L90	L50	L10	L5	Velocità media
1	12	2	Italia p.1 avenue	1516	70	50	88	.	.	.	.	.	.
2	9	4	Trapani avenue	3301	71	52	91	60	61	69	74	75	56
	11	2	Italia p.1 avenue	1674	71	55	89	.	.	.	.	.	.
	14	2	Italia p.1 avenue	1330	71	52	91	.	.	.	.	.	41
	16	2	Italia p.1 avenue	1422	71	44	89	.	.	.	.	.	43
	18	2	Italia p.1 avenue	1287	71	53	89	.	.	.	.	.	43
	19	2	Italia p.1 avenue	1290	71	53	89	.	.	.	.	.	41
	20	2	Italia p.1 avenue	1398	71	53	87	.	.	.	.	.	40
3	1	1	Massimo avenue	3480	72	52	94	63	65	71	75	76	42
	2	1	Massimo avenue	3591	72	50	94	63	66	71	75	76	42
	3	1	Massimo avenue	3312	72	54	90	63	66	71	75	76	45
	8	4	Trapani avenue	3239	72	55	89	60	62	69	75	76	57
	10	4	Trapani avenue	3665	72	54	101	61	63	70	75	76	55
	13	2	Italia p.1 avenue	1281	72	53	88	.	.	.	.	.	42
	15	2	Italia p.1 avenue	1385	72	47	93	.	.	.	.	.	42
	17	2	Italia p.1 avenue	1009	72	46	99	.	.	.	.	.	48
4	4	1	Massimo avenue	2448	73	50	94	59	62	71	76	77	51
	5	3	Agnelli avenue	3682	73	54	96	62	64	71	76	77	65
	6	3	Unione sovietica avenue	4005	72	52	87	60	62	71	76	77	60
	7	4	Trapani avenue	2960	73	52	94	60	61	70	75	77	60
	21	2	Italia p.1 avenue	1739	73	55	95	.	.	.	.	.	36
	22	2	Italia p.1 avenue	1750	73	57	97	.	.	.	.	.	37

### ***ANOVA in function of road width***

Crossing the data from the matrix  $L_4$  with those from the full factorial matrix, we can analyse the influence of the road width on the noise.

#### *“L” section with tramway, variable width*

The sections used in this analysis have “L” shape and the tramway line; the variable factor is the road width, and, hence, the number of lanes:

- one lane road;
- two lanes roads;
- two lanes roads with service road.

The data are hourly values.

The ANOVA has been firstly carried out on the hourly flows; the three site typologies differ in terms of the traffic flows (tab. A.35).

If we analyse the road width in function of Leq, we can see that the three sites have similar noise values, thus the Leq seems not to be influenced by the road width (tab. A.36). We can observe that to have the same Leq in a four lanes road, in a one lane road, and in a two lanes road, we need:

- a traffic flow ten times higher in the four lanes road in respect to the one lane road;
- a traffic flow four times higher in the four lanes road in respect to the two lane road.

#### *“L” section without tramway, variable width*

The analysed sections have the “L” shape without the tramway line; the variable factor is the road width, and, hence, the number of lanes:

- one lane road;

- two lanes roads;
- four lanes roads with service road.

The data are hourly values.

The ANOVA has been firstly carried out on the hourly flows; the three site typologies differ in terms of the traffic flows (tab. A.37).

Table A.35 –ANOVA number of lanes vs vehicles/hour

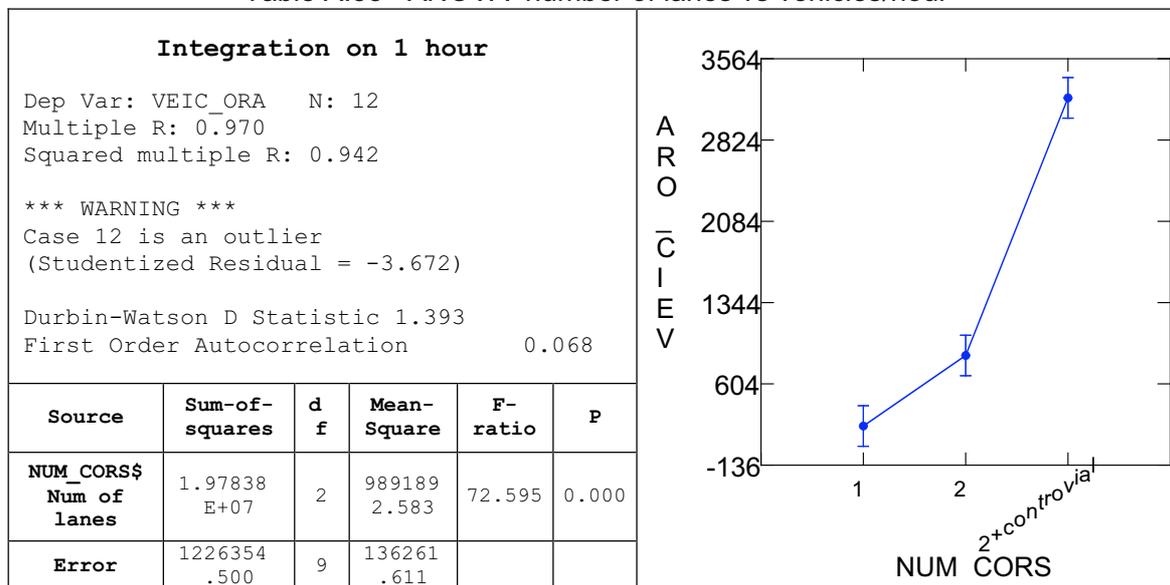
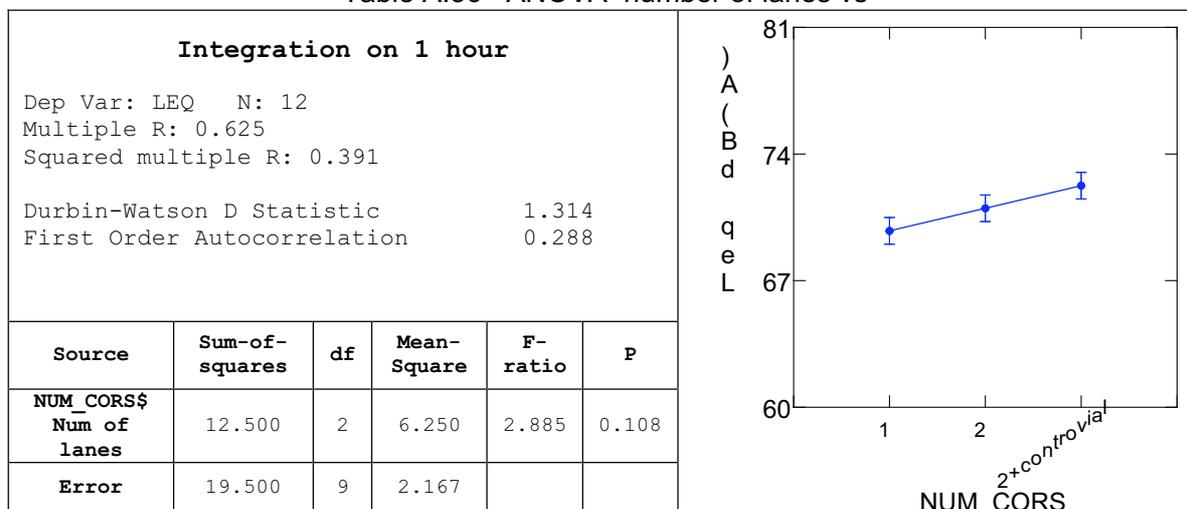


Table A.36 –ANOVA number of lanes vs



If we analyse the road width in function of the Leq, we can see the same trend above, but, in this case, the noise values are more influenced by the road width. The traffic flow is similar to that of the previous analysis, but the noise levels are 5-6 dBA less than the sections with the tramway, in the case of one and two lanes roads. In the four lanes sections with the service road the noise levels are close to that of two lanes with service road. The explanation could be that in the larger sections the tram noise is masked by the noise level due to the high traffic. In table A.38 these results are shown.

Table A.37 –ANOVA number of lanes vs vehicles/hour

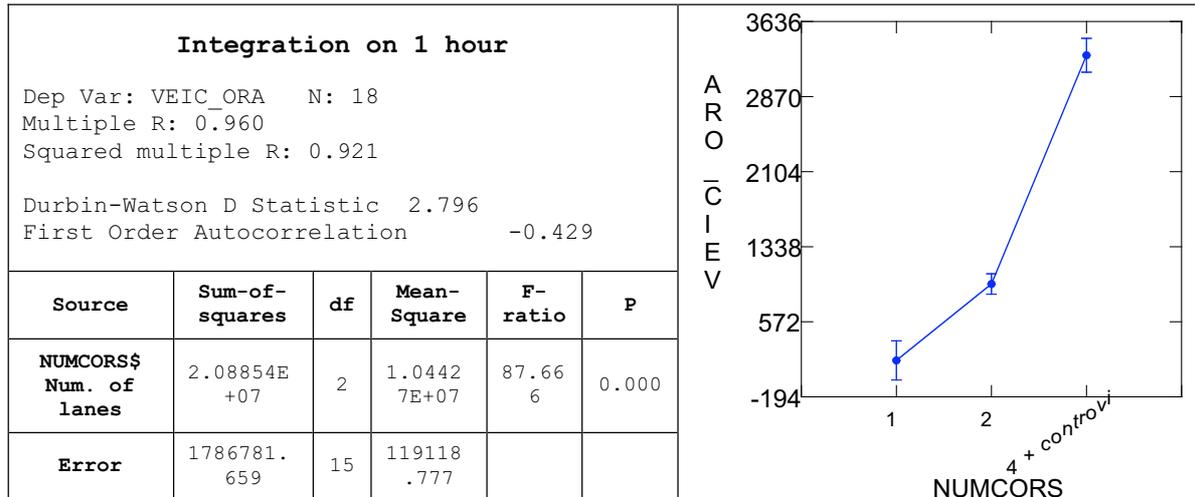
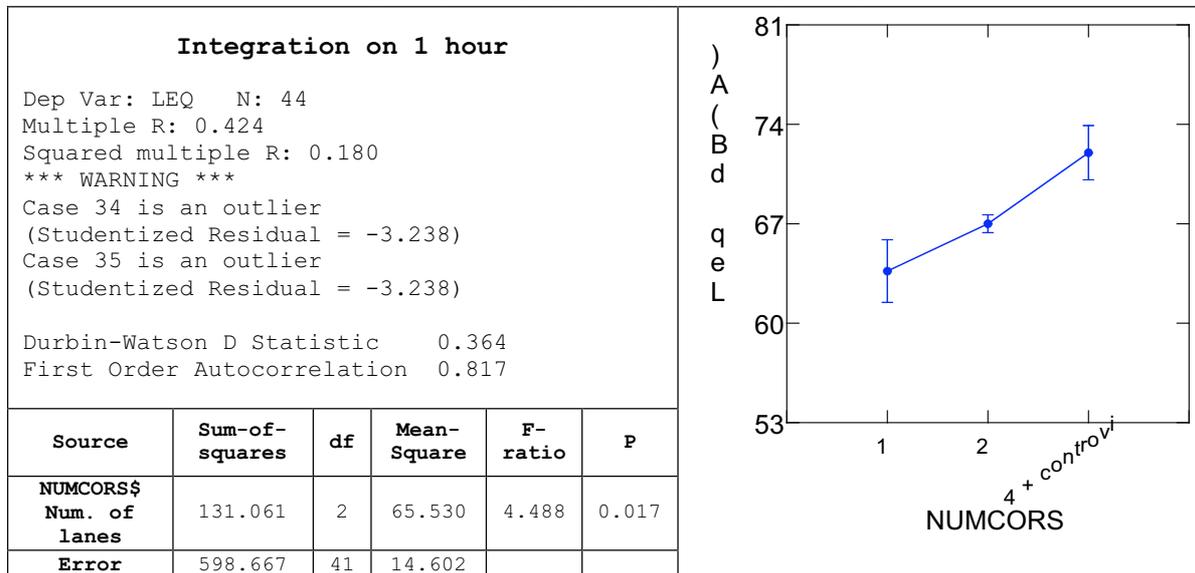


Table A.38 –ANOVA number of lanes vs



“U” section with tramway, variable width

The analysed sections have the “U” shape with the tramway line; the variable factor is the road width, and, hence, the number of lanes:

- one lane road;
- two lanes roads;
- four lanes roads with service road.

The data are hourly values.

The ANOVA has been firstly carried out on the hourly flows; the three site typologies differ in terms of the traffic flows (tab. A.39).

If we analyse the road width in function of the Leq, we can see that the sections have similar noise values also having very different traffic flows. In fact, in the narrow roads, also a low traffic produces high noise levels. In table A.40 these results are shown.

“U” section without tramway, variable width

The analysed sections have the “U” shape without the tramway line; the variable factor is the road width, and, hence, the number of lanes:

- one lane road;

- two lanes roads;
- two lanes roads with service road.

The data are hourly values.

The ANOVA has been firstly carried out on the hourly flows; the three site typologies differ in terms of the traffic flows (tab. A.41).

If we analyse the road width in function of the Leq, we can see a similarity among the sites; comparing the results with the previous case, the traffic flow in the “U” shape roads seems to less influence the noise level in respect to that in the “L” shape sections. In table A.42 these results are shown.

Table A.39 –ANOVA number of lanes vs vehicles/hour

Integration on 1 hour					
Dep Var: VEIC_ORA N: 7					
Multiple R: 0.992					
Squared multiple R: 0.983					
*** WARNING ***					
Case 5 is an outlier (Studentized Residual = -1.986)					
Durbin-Watson D Statistic 2.908					
First Order Autocorrelation -0.508					
Source	Sum-of-squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
NUMCORS\$ Num. of lanes	1.42542E+07	2	7127093.250	117.477	0.000
Error	242671.500	4	60667.875		

NUMCORS	AROT (Average)
1	2800
2	4000

Table A.40 –ANOVA number of lanes vs

Integration on 1 hour					
Dep Var: LEQ N: 7					
Multiple R: 0.434					
Squared multiple R: 0.189					
*** WARNING ***					
Case 6 is an outlier (Studentized Residual = -2.250)					
Case 7 is an outlier (Studentized Residual = 2.570)					
Durbin-Watson D Statistic 2.546					
First Order Autocorrelation -0.532					
Source	Sum-of-squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
NUMCORS\$ Num. of lanes	2.282	2	1.141	0.465	0.658
Error	9.815	4	2.454		

NUMCORS	Leq (L)
1	71
2	72

Table A.41 –ANOVA number of lanes vs vehicles/hour

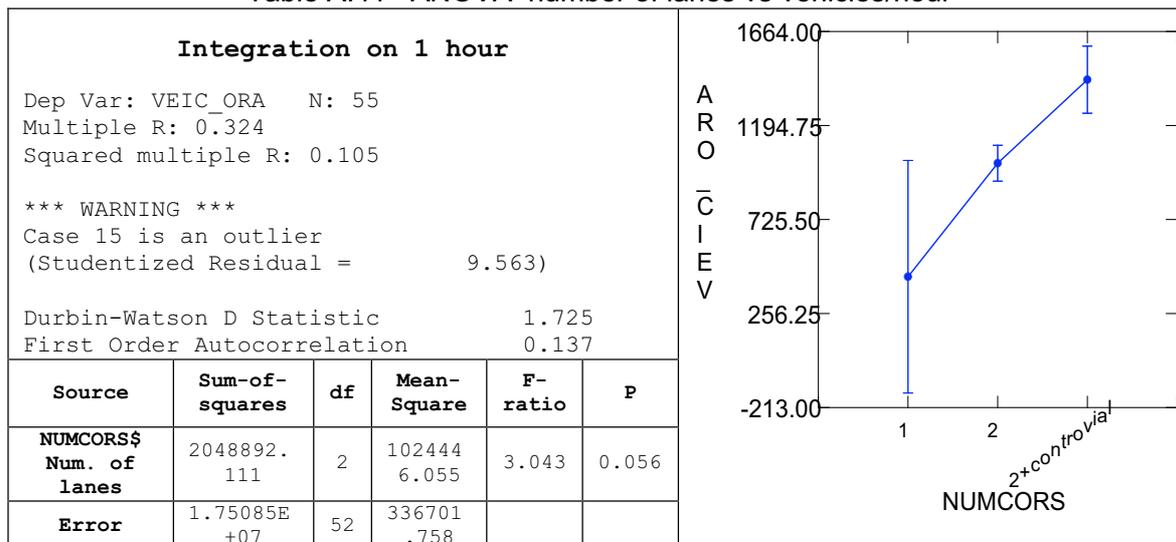
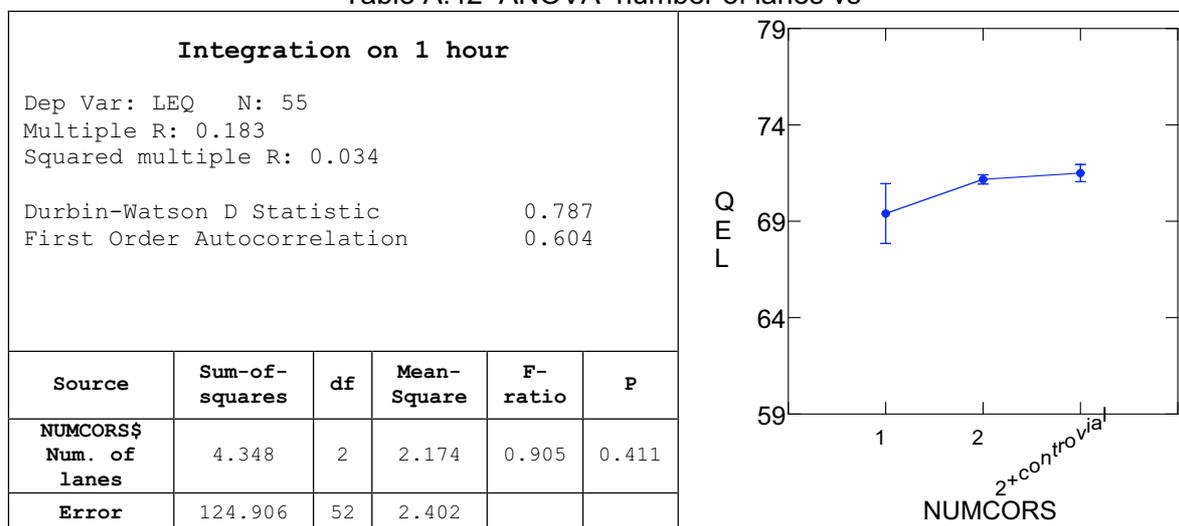


Table A.42–ANOVA number of lanes vs



A.4.2.3 Summary and findings on the analysis of the variables

Comparing the sections 3 and 4 (fig. A.32), the findings are:

- the analysis on the ten minutes data shows that the sites 3 are noisier than sites 4 of about 4 dBA, also the traffic flow being equal. Thus, the “U” shape sections have a higher Leq of about 4 dBA for every traffic flow.

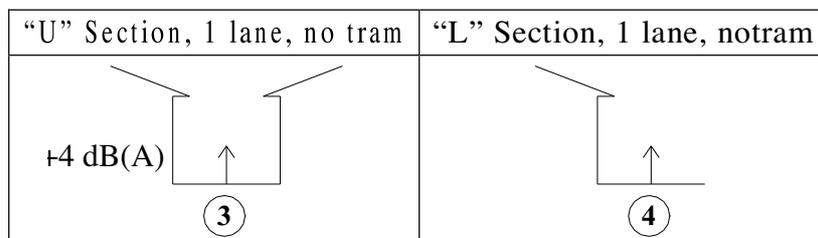


Figure A.32 – Geometrical comparisons between sites 3 and 4

In the case of two lanes road without tramway (sites 5 and 6, fig. A.33), the “U” shape sections are noisier than the “L” shape sections. The variation is about 3 dBA for traffic flows

from 50 to 250 vehicles/10 minutes; for flows less than 50 veh/10 min. and greater than 250 veh/10 min. the sections 6 are noisier.

In respect to the sites having one lane (fig. A.32) we observe a decrease of the difference between the two road typologies increasing with road width.

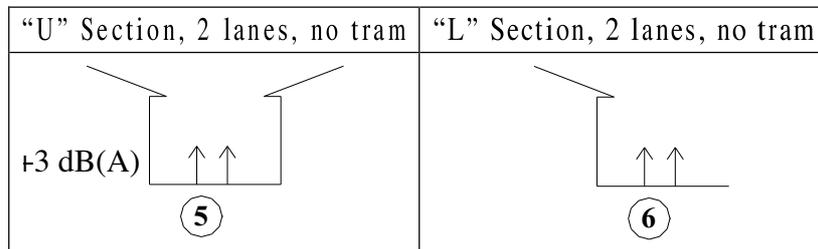


Figure A.33 – Geometrical comparisons between sites 5 and 6

The comparison between sites 5 and 3 (fig. A.34) needs the five minutes data. In these time intervals the “U” sections with two lanes and without tram are noisier of about 3-4 dBA than those having one lane, also being the traffic flow equal.

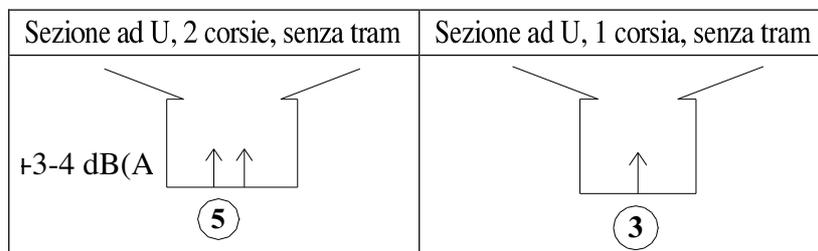


Figure A.34 – Geometrical comparisons between sites 5 and 3

The comparison between the sites 1 and 4 (fig. A.35), following the analysis on 5 and 10 minutes time basis, shows that one lane roads having “L” shape and with tram are noisier than those without tram by about 5-6 dBA. Precisely, the traffic flow does not influence the noise level for narrow sections with moderate traffic volumes, while the presence of tramway is discriminant.

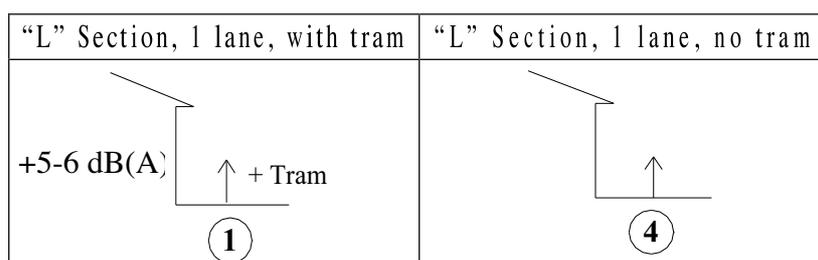


Figure A.35 – Geometrical comparisons between sites 1 and 4

Regarding road width in general, the “L” sections having 1-2 lanes and the tramway (sites 1 and 2) are noisier than the same without the tramway (4 and 6) by about 4 dBA. However, in the “L” sections having two lanes and the service road, the tramway does not influence the noise level. This could highlight that in the roads having more than two lanes plus the service roads (quite large) the tramway does not contribute to increase the noise level because the road infrastructure (and hence the traffic) becomes the unique noise source.

## A.5 The noise indicators

In this chapter the focus is the evaluation of the epidemiological survey in respect to the measured physical variables (traffic and noise). The survey, as already explained in the chapter A.3 (§ A.3.2), has been focused to understand the degree of disturbance perceived by the people living in the buildings in the selects standard sites.

To this scope, some questions have been put to the interviewed using the Likert scale to describe the annoyance in the different hourly ranges and, thus, to evaluate the link between the noise levels and the disturbance in the same hourly intervals.

### A.5.1 The analysis of the disturbance in respect to the measured noise

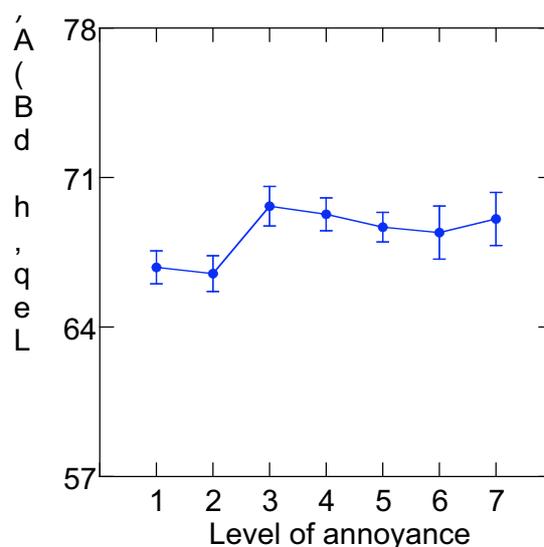
The ANOVA has been used to put in relation the seven levels of disturbance in the Likert scale with several noise indicators (Leq, Lmin, Lmax, statistical levels, number of events) measured during the on site campaign. The independent variable is represented by the seven levels of disturbance (from 1 – not disturbed - to 7 highly disturbed) of the Likert scale and the dependent variable by the noise level (expresses in turn by the different indexes). In this way we can observe the dispersion of the noise levels at the difference degrees of disturbance.

The results show that at different degrees of disturbance correspond the same intervals of noise level; the only exception is the Lmax where we note that a same stimulus (noise level) can be perceived and interpreted through different degrees of disturbance.

In table A.43 and A.44 the relationships between the disturbance and, respectively, Leq and Lmax are depicted.

Table A.43 –ANOVA level of annoyance vs hourly Leq

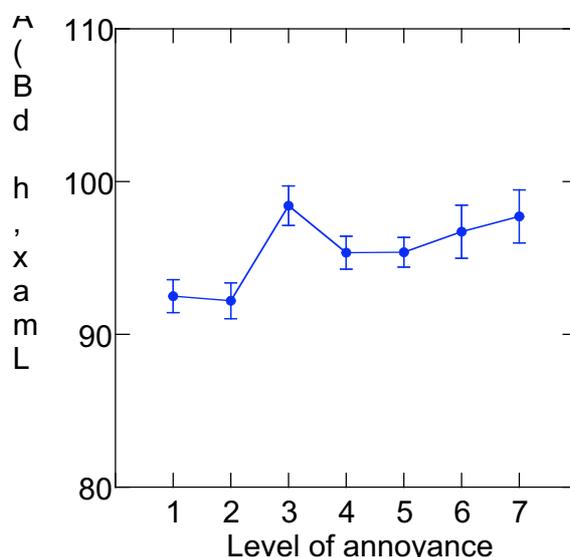
Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Level of annoyance	99.112	6	16.519	2.142	0.060
Error	501.285	65	7.712		



**Table A.44 –ANOVA level of annoyance vs hourly Lmax**

Dep Var: LMAX N: 72 Multiple R: 0.501 Squared multiple R: 0.251

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Level of annoyance	328.486	6	54.748	3.630	0.004
Error	980.454	65	15.084		

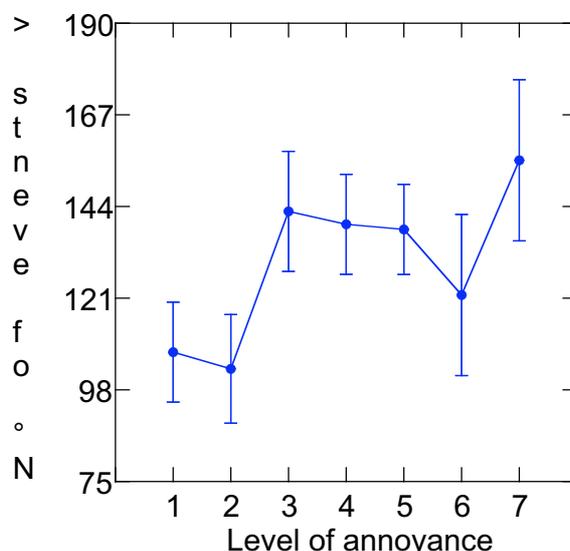


The number of events exceeding a determined noise threshold has been also considered as an additional noise indicator. We have individuated the events exceeding 70 and 75 dBA, evaluated on the time history integrated on the time basis of one second. Also in this case there is not any change among the disturbance degrees declared by the interviewed (tabs. A.45; A.46).

**Table A.45 –ANOVA level of annoyance vs number of events > 70 dBA**

Dep Var: EVENT 70 N: 72 Multiple R: 0.374 Squared multiple R: 0.140

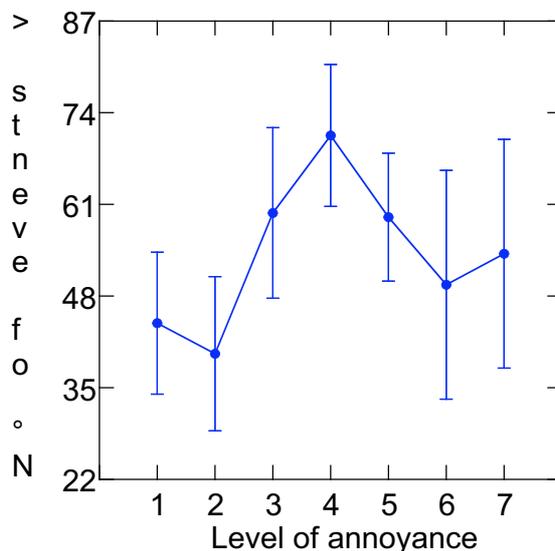
Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Level of annoyance	21584.676	6	3597.446	1.761	0.121
Error	132811.199	65	2043.249		



**Table A.46 –ANOVA level of annoyance vs number of events > 75 dBA**

Dep Var: EVENT\_75\_ N: 72 Multiple R: 0.291 Squared multiple R: 0.085

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
Level of annoyance	7925.490	6	1320.915	1.004	0.431
Error	85542.829	65	1316.044		



In the figures from A.36 to A.39 we can do a qualitative analysis observing the frequency of the respondents per each declared disturbance level (scores) going from 1 (not disturbed) to 7 (very disturbed) at the different hourly Leq.

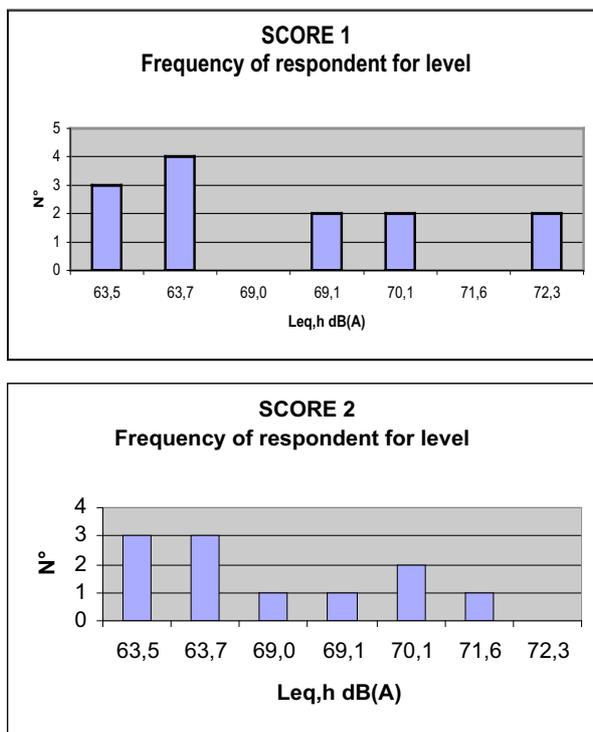


Figure A.36 – Frequency of respondents giving score 1 and 2

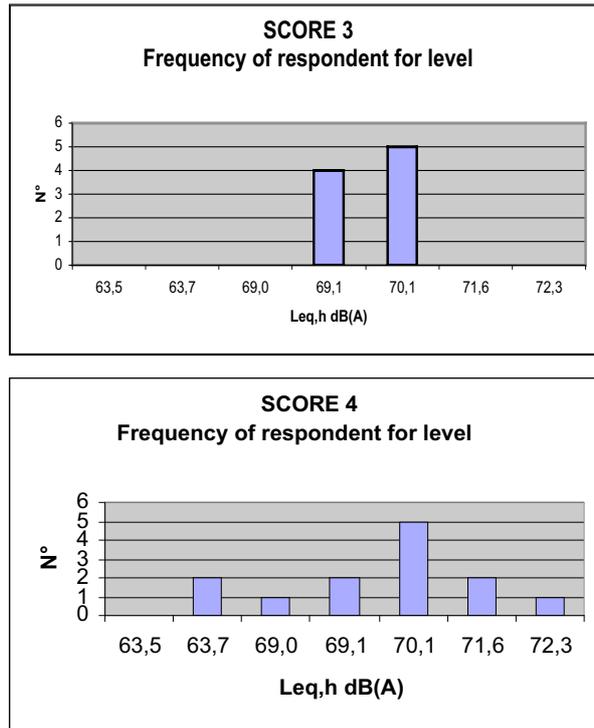


Figure A.37 – Frequency of respondents giving score 3 and 4

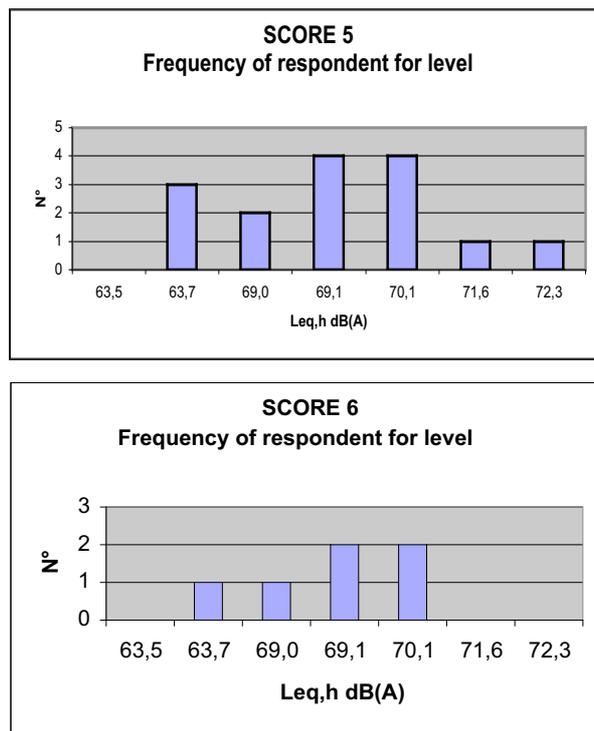


Figure A.38 – Frequency of respondents giving score 5 and 6

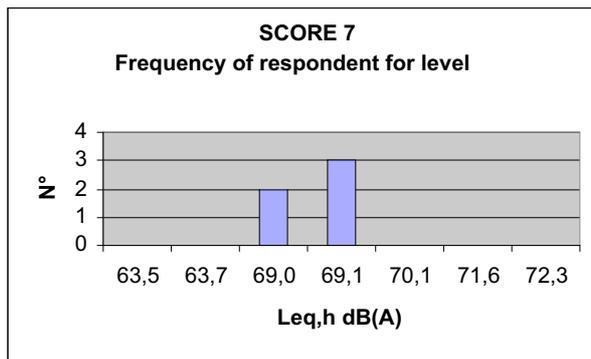


Figure A.39 – Frequency of respondents giving score 7

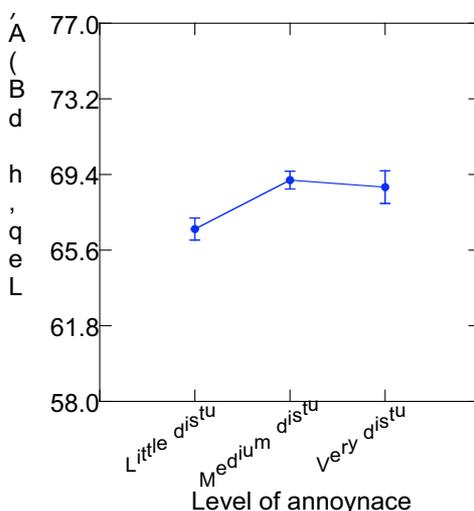
Observing the data dispersion we can observe that, in general, three groups of levels can be defined, presenting the same variation range, allowing to reduce the scale from seven to three values:

- $\leq 2$ : little disturbed;
- from 3 to 5: medium disturbed;
- $\geq 6$ : very disturbed.

The analyses follow the same approach of the aforementioned ones, but the results are more representative and show significant differences between the levels (tab. A.47).

Table A.47 –ANOVA level of annoyance vs hourly Leq

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	91.462	2	45.731	6.200	0.003
Error	508.934	69	7.376		



In the figures from A.40 to A.42 the new frequencies of respondent are shown, after the aggregation of the degrees of disturbance.

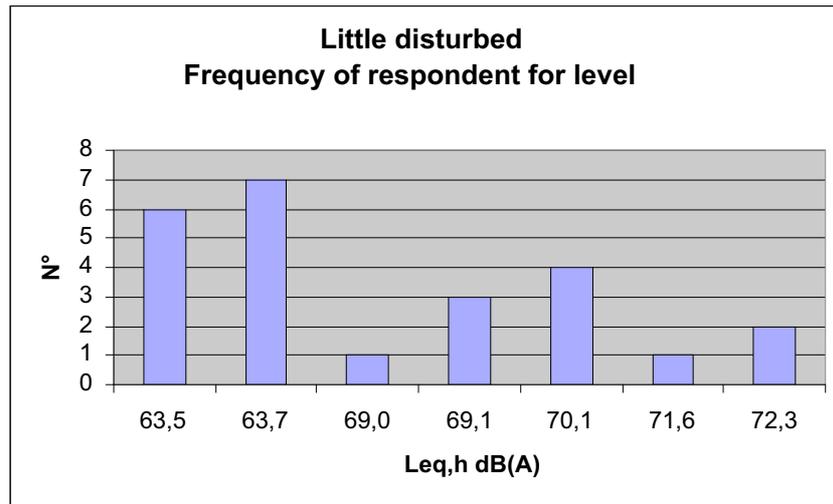


Figure A.40 – Frequency of respondents “little disturbed” (score  $\leq 2$ )

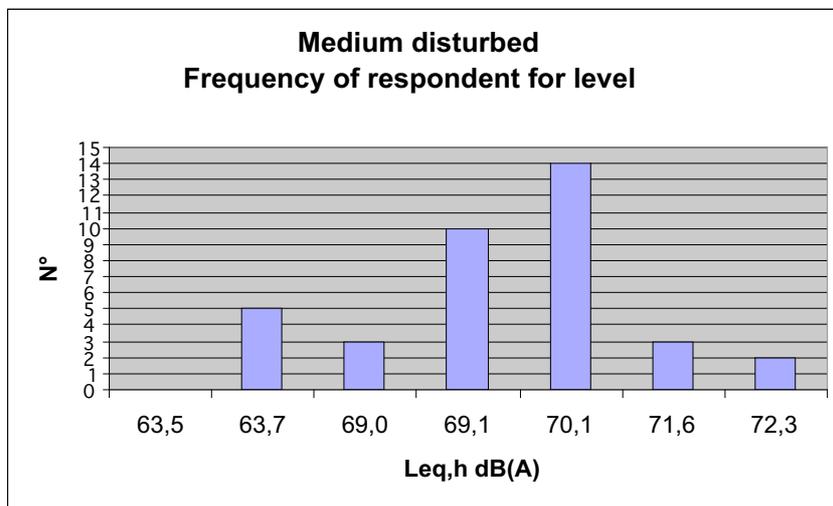


Figure A.41 – Frequency of respondents “medium disturbed” (score from 3 to 5)

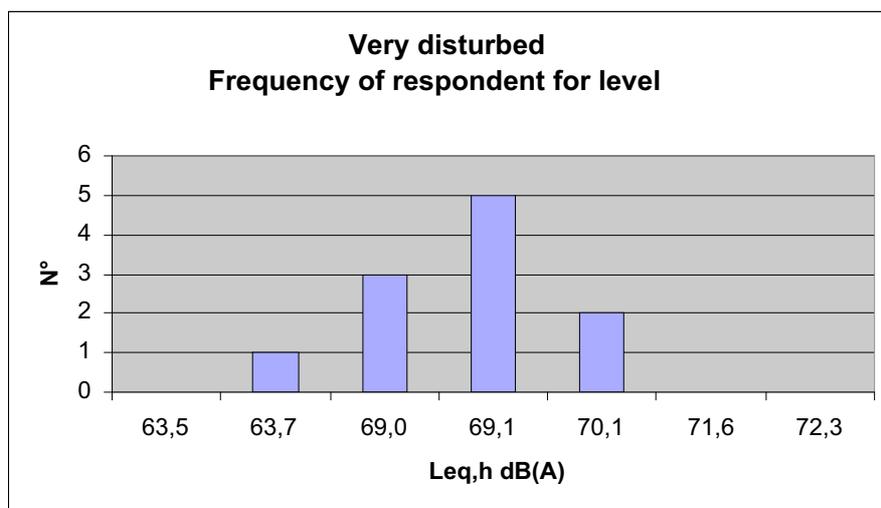


Figure A.42 – Frequency of respondents “very disturbed” (score  $\geq 6$ )

In the tables from A.48 to A.56 the relationships between the levels of disturbance and the noise indicators, through the use of ANOVA, are shown.

Table A.48 –ANOVA levels of annoyance vs hourly Lmin

Dep Var: LMIN N: 72 Multiple R: 0.130 Squared multiple R: 0.017

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	2.279	2	1.140	0.590	0.557
Error	133.305	69	1.932		

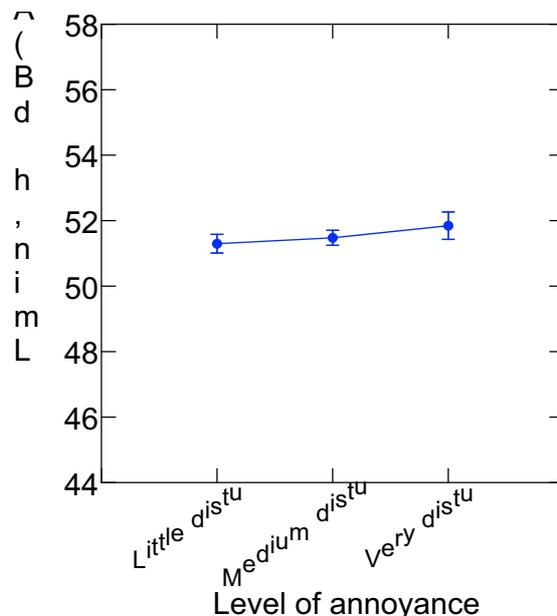


Table A.49 –ANOVA levels of annoyance vs hourly Lmax

Dep Var: LMAX N: 72 Multiple R: 0.442 Squared multiple R: 0.196

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	256.171	2	128.085	8.395	0.001
Error	1052.769	69	15.258		

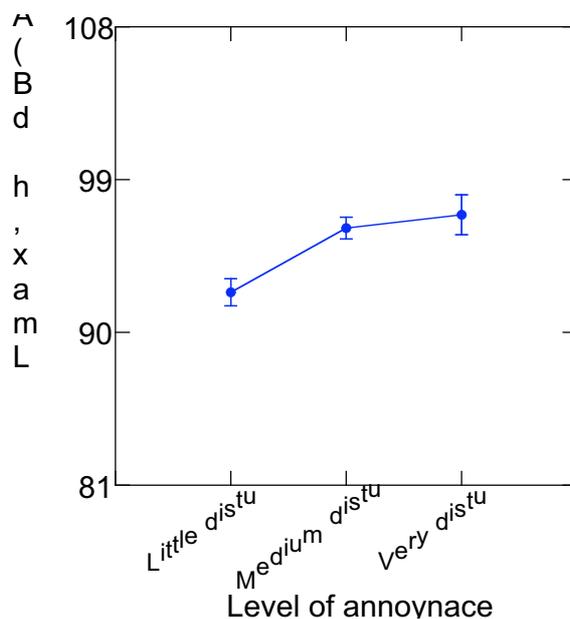


Table A.50 –ANOVA levels of annoyance vs hourly L<sub>95</sub>

Dep Var: L95 N: 72 Multiple R: 0.114 Squared multiple R: 0.013

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	4.628	2	2.314	0.457	0.635
Error	349.552	69	5.066		

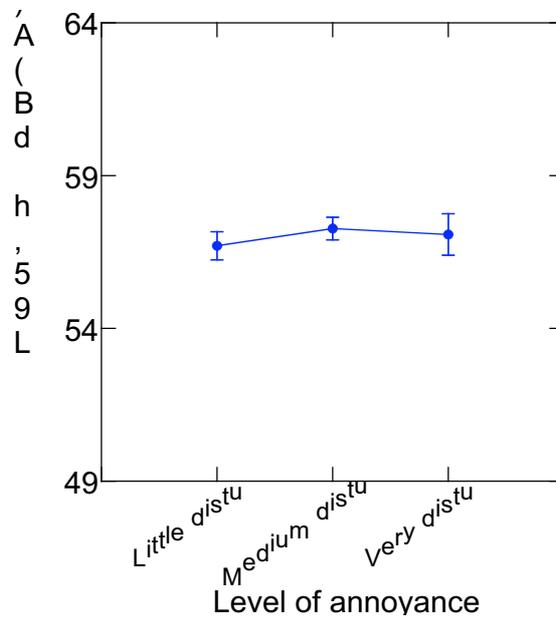


Table A.51 –ANOVA levels of annoyance vs hourly L<sub>90</sub>

Dep Var: L90 N: 72 Multiple R: 0.134 Squared multiple R: 0.018

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYAN	7.791	2	3.895	0.627	0.537
Error	428.929	69	6.216		

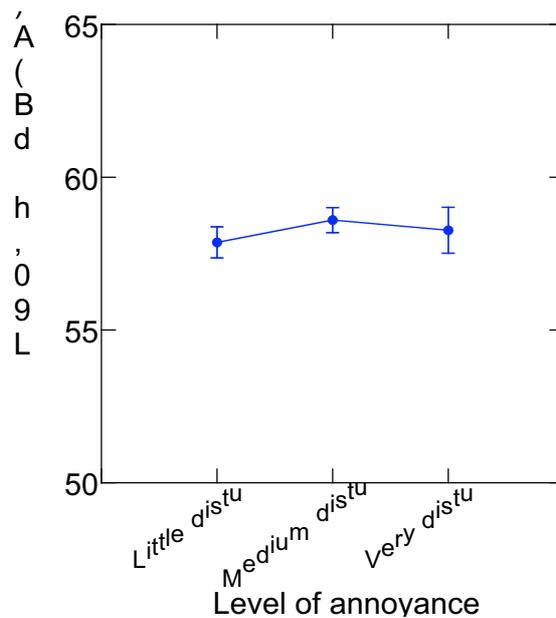


Table A.52 –ANOVA levels of annoyance vs hourly L<sub>50</sub>

Dep Var: L50 N: 72 Multiple R: 0.279 Squared multiple R: 0.078

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	52.170	2	26.085	2.913	0.061
Error	617.847	69	8.954		

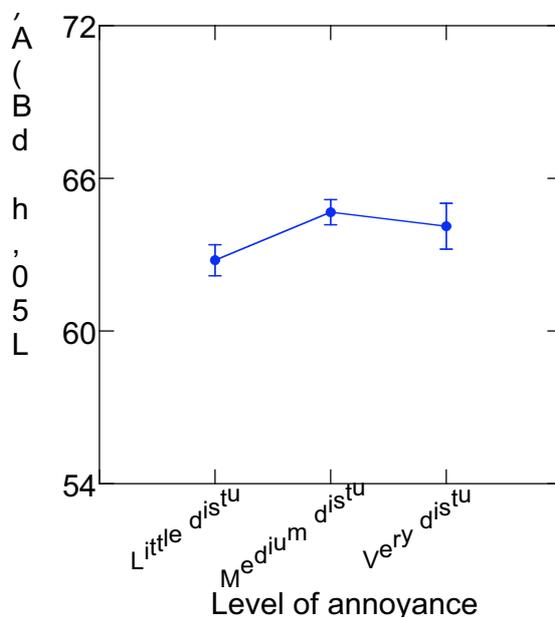


Table A.53 –ANOVA levels of annoyance vs hourly L<sub>10</sub>

Dep Var: L10 N: 72 Multiple R: 0.368 Squared multiple R: 0.135

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	83.450	2	41.725	5.396	0.007
Error	533.508	69	7.732		

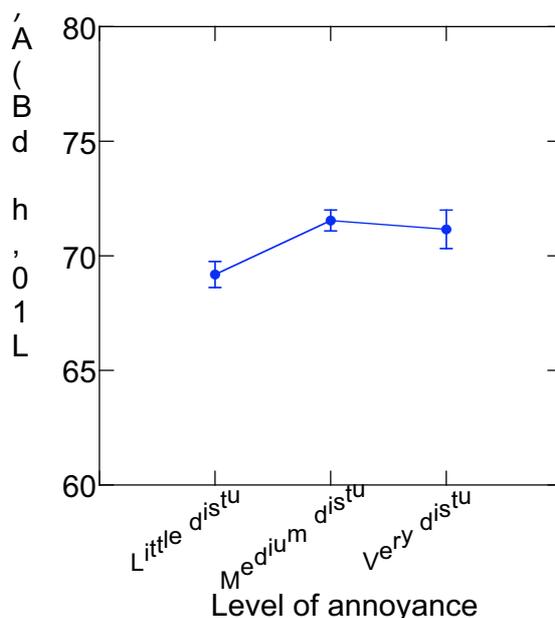


Table A.54 –ANOVA levels of annoyance vs hourly L<sub>5</sub>

Dep Var: L5 N: 72 Multiple R: 0.396 Squared multiple R: 0.157

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	96.094	2	48.047	6.430	0.003
Error	515.617	69	7.473		

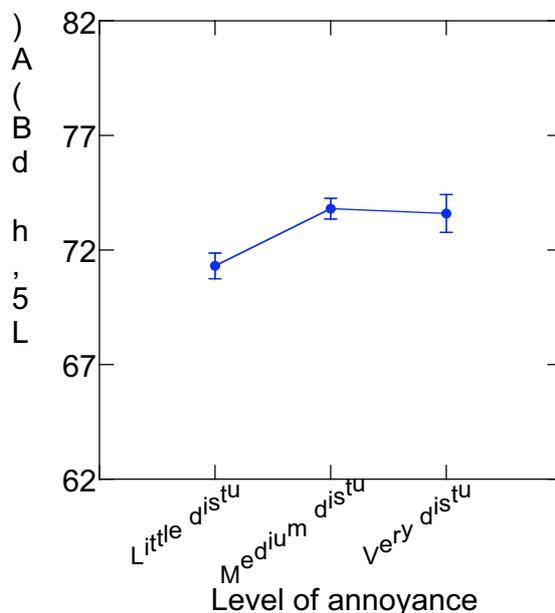


Table A.55 –ANOVA levels of annoyance vs number of events > 70 dBA

Durbin-Watson D Statistic 0.244 First Order Autocorrelation 0.826

Dep Var: V70 N: 72 Multiple R: 0.349 Squared multiple R: 0.122

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	18805.789	2	9402.894	4.784	0.011
Error	135608.505	69	1965.341		

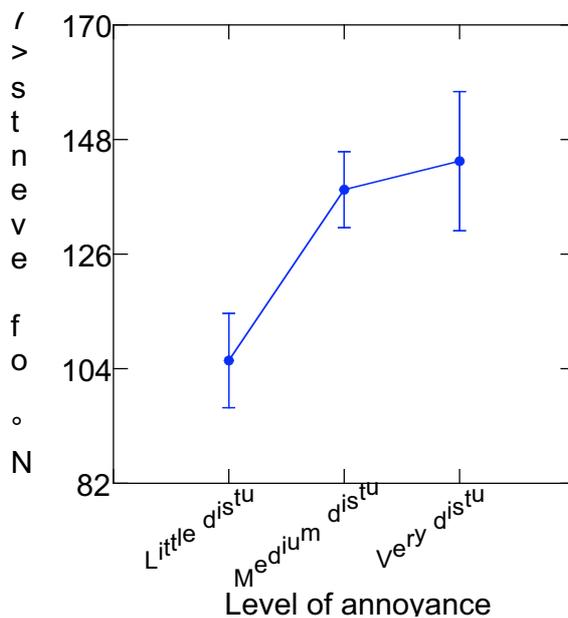
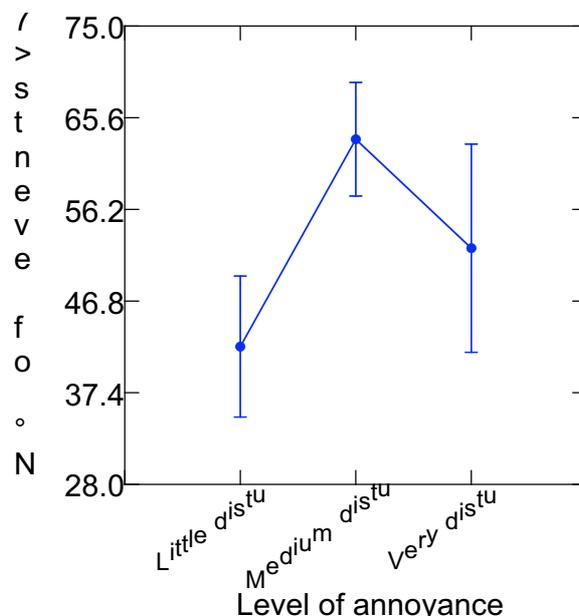


Table A.56 –ANOVA levels of annoyance vs number of events &gt; 75 dBA

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
ANNOYANCE_3\$	6651.330	2	3325.665	2.653	0.078
Error	86498.919	69	1253.608		



The tables above show some concepts that we can summarize:

- $L_{min}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{95}$ , and  $L_{50}$  are not significant in explaining the difference of the levels of disturbance. The first three indicators represents the background noise and the disturbance perceived by people can be low or high in function of the personal sensibility to the noise. This is the most subjective case. The real difference is envisageable between the little and the medium/high disturb.
- the number of events are significant only if the threshold is equal to 70 dBA, otherwise not. As above, the real difference is envisageable between the little and the medium/high disturb. For the people is easier to distinguish the quiet (little disturb) from the situations in which the perception is higher and here the statistical difference is evident;
- the best performance in terms of explanation of the indicator in respect to the people answers is given by the peak levels as  $L_{max}$ ,  $L_5$  and, after, by  $L_{10}$ .

This means that the very high level events are that disturbing more the people and that the number of events does not run well as the peak statistical levels.

If we analyse the data, we can see that the most disturbed people are living in Cigna road (hourly  $Leq$  about 69 dBA) and Trapani avenue (hourly  $Leq$  about 71-73 dBA). Cigna road is a “U” section with tramway while Trapani avenue is a “L” section (very large and with high traffic flow: more than 3,000 veh/h) without tramway. We can observe that the hourly  $Leq$  is not a good indicator in highlighting the variation of the annoyance, because 3-4 dBA are not enough to produce different people reactions. Instead, the road shape and the presence of tramway are the most important causes of the people annoyance, also being  $Leq$  equal (as in most of the analysed cases).

Thus, the worst situations envisaged that influence the people perception are:

- the narrow sections where there is a tramway lines producing several high noise peaks;
- the large section having a very high and high speed traffic flow producing very high noise peaks.

People are quite used to live with quite high noise background, but the very high noise levels (more than 90 dBA) are well perceived and are the main cause for the declaration of a high disturbance.

#### **A.5.2 The individuation of best indicators**

On the basis of the results of the previous point, the individuation of the best indicators for the different site typologies can be made, suggesting, so, the most appropriate indicators for the different and complex urban sites.

The followed approach allows to transfer the results to every sites having the same variable's combination. This means that a common approach has been defined, usable also at European level, and the transferability of the results has been guaranteed.

More investigation, instead, are needed in term of the annoyance. It is clear as the people are more disturbed by isolated and high events than by a high background level. The sites presenting certain geometrical configurations are more linked to the highest noise levels and are related to the highest levels of annoyance. In addition, the people express also very dispersed perceptions due to different sensibility and life style.

Our data base is not large enough to allow a statistical analysis on the different hourly range and the research has to continue with a new and larger campaign of measurements and a new and larger epidemiological survey, adding to the questionnaire some questions related to the health, life style, habits, etc. of the respondents.

## A.6 References

1. Berengier, M., 1998. Il rumore delle infrastrutture stradali - Il nuovo metodo francese di previsione del rumore da traffico che include gli effetti meteorologici sulla propagazione. In: Atti del XXVI Convegno Nazionale AIA, Turin, pp. 385-390.
2. De Vita, F., 1997. A global methodology for the acoustic assessment in correspondence of modern railway infrastructures. In: Proceedings of the World Congress on Railway Research WCCR '97 vol. E, Florence, pp. 251-257.
3. Fowlkes, W.Y., Creveling, C.M., 1995. Engineering Methods for Robust Product Design. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA.
4. Makarewicz, R., Yoshida, M., 1996. Railroad Noise in an Open Space, Applied Acoustics 49, 291-306.
5. Pronello C., (2003) The measurement of train noise: a case study in northern Italy, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 8, Issue 2, March, 2003, pp. 113-128.
6. Pronello C., Iannelli F., (2002) I modelli di previsione del rumore da traffico: variabili caratteristiche e modalità di rilevamento dei dati, in Rilievi e modellizzazione del traffico veicolare, Collana Trasporti, Editore Franco Angeli.



## Annexe B : Catégorisation de gêne sonore due au trafic routier

Cette annexe est extraite du mémoire de Master de recherche 2ème année (Acoustique physique) de Manuel LOPES.

### B.1. Choix des sites pour l'enregistrement

Afin d'effectuer nos enregistrements sonores, nous devons cibler des échantillons représentatifs de l'ensemble des rues d'une ville. Pour cela, nous possédons une base de données de rues. Elle nous servira, lors d'une analyse statistique, à déterminer des familles de rue ainsi que leurs caractéristiques. Les familles doivent se composer de rues similaires tout en restant très différentes.

Ce rapport présente l'avancement de l'analyse déterminant un ensemble de "classes urbaines". Les données viennent en majorité de villes françaises et quelques-unes d'Italie.

Avant d'attaquer l'étude, nous décrirons les variables utilisées pour la description des sites et nous présenterons brièvement l'analyse des correspondances multiples qui sera utilisée pour cette étude.

Puis, cette étude se décompose en 3 grandes parties: une analyse sur les différentes variables; une analyse sur l'ensemble des individus et une classification par hiérarchie ascendante. A partir d'une comparaison entre des résultats des différentes analyses, nous déterminerons les rues typiques d'une grande ville.

#### B.1.1. Introduction des variables et de l'analyse utilisée

##### B.1.1.1. Définition des variables

Notre étude porte sur une *population* composée de lieux urbains (*individus*). Les *variables* sont introduites pour caractériser chaque lieu urbain. Le tableau, de la page suivante, décrit ces variables.

Les variables peuvent être quantitatives (i.e. valeurs continues comme la largeur entre façades de la rue) ou qualitatives, nominales (valeurs non continues comme le sens de circulation). Elles peuvent prendre plusieurs valeurs nommées *modalités*.

Par exemple, la variable qualitative, "sens de circulation", peut valoir soit "UNIQUE ou DOUBLE.

Les variables numériques (à modalité continue) peuvent prendre la forme de variables qualitatives en formant des classes. La variable "trafic moyen journalier annuel" peut ainsi se décomposer en 3 modalités: < 5000 véhicules, de 5000 à 10 000 véh., de 10 000 à 15 000 véhicules, de 15 000 à 20 000 véhicules, de 20 000 à 25 000 véhicules et > 25 000 véhicules. Ces classes nous seront utiles dans notre analyse.

Annexe B

Remarques :

Il faut apporter quelques précisions. Nous possédons en tout 42 sites décrits par toutes les variables et 60 sites par certaines (elles ne sont pas décrites par les variables type de voirie, pourcentage de poids lourd et type de zone). Pour respecter l'analyse que nous devons effectuer, il faut avoir plus de lieux qu'il n'y a de variables qui sont, pour certaines, liées entre elles. Or nous possédons 68 variables, il paraît donc impensable de pouvoir toutes les utiliser dans l'analyse. Pour cette étape, nous ne conservons que les variables qui nous semblent les plus pertinentes et dans lesquelles nous avons un maximum d'individus décrits. De plus, nous n'analysons pas, pour le moment, les variables acoustiques.

Ainsi, l'étude se porte sur tous les individus et sur les variables suivantes : nombre de voies, sens, TMJA, type de tissu et largeur entre façade.

Rajoutons que les mesures sur la largeur entre les façades sur des rues plutôt larges ne sont pas forcément très pertinentes. Par exemple, si la rue est en tissu ouvert, comment mesurer la largeur entre façade? Où faut-il s'arrêter? Les conclusions que l'on peut porter sur la largeur entre façades ne peuvent s'appliquer que pour les rues en U.

Table B.1:Tableau des variables et de leurs modalités

Type de voirie	DESSERTE (rues interquartiers) ARTERIELLE (boulevards qui desservent une ville) DISTRIBUTION (rues à l'intérieur d'un quartier) TRANSIT (très grands boulevards)
Nombre de voies	Le nombre de voie que contient la chaussée
Sens	Le sens de circulation
TMJA	Trafic moyen journalier annuel
%PL	Pourcentage de Poids lourd qui passe dans la rue
Présence bus	Y a-t-il des bus qui passent par cette rue?
Proximité carrefour à feu	La mesure a-t-elle été faite à proximité d'un carrefour?
Proximité giratoire	La mesure a-t-elle été faite à proximité d'un rond-point?
Présence Tramway	Y a-t-il des tramways qui passent par cette rue?
Type de tissu	La rue en tissu ouvert est une rue avec des bâtiments que d'un seul côté de la voie (notamment lors de la mesure) La rue en U possède des bâtiments de deux cotés de la voie.
largeur entre façades	Pour les rues en tissu ouvert, la largeur est une moyenne sur la continuité du bâti.
Type de zone	Hypercentre (au centre-ville) Périphérie (périphérie de la ville, proche grandes voiries) Faubourg Résidentiel ( quartier résidentiel mais pas en périphérie) Faubourg mixte (quartier mixte)
hauteur moyenne sur bâti rez-de-chaussée +	La hauteur des bâtiments n'est pas mesurée en mètres à cause de l'incertitude de la mesure mais en nombre. Nous ne prenons pas en compte le rez-de-chaussée
Lden	Indicateur de la norme européenne, moyenne du niveau énergétique sur 3 créneaux horaires: 6-18h, 18-22h, 22h – 6h
LAeq diurne 6h-22h	Moyenne énergétique du niveau énergétique sur la période 6h – 22h
LAeq nocturne 22h- 6h	Moyenne énergétique du niveau énergétique sur la période 22h - 6h
LAeq	le LAeq est le niveau énergétique équivalent mesuré avec une pondération A et moyenné sur la durée des échantillons
L90	Niveau dépassé pendant 90% du temps (correspond au bruit de fond)

Annexe B

L50	Niveau dépassé pendant 50% du temps (correspond à un indicateur médian)
L10	Niveau dépassé pendant 10% du temps (correspond aux émergences)
Impulsion maximum	Le maximum d'écart entre 2 niveaux successifs. Rend compte du maximum d'émergence
Nombre d'occurrence >10	Nombre de fois où l'écart entre 2 niveaux successifs est supérieur à 10. Ce paramètre rend compte du nombre d'émergence qu'il y a pu avoir
% temps <50	% temps quand le niveau est inférieur à 50dB(A)
% temps <55	% temps quand le niveau est inférieur à 55dB(A)
% temps >65	% temps quand le niveau est supérieur à 65dB(A)
% temps >70	% temps quand le niveau est supérieur à 70dB(A)
s2	Variance
b1	Asymétrie (skewness) de la représentation graphique du LAeq
b2	Aplatissement (kurtosis) de la représentation graphique du LAeq

B.1.1.2. Description de l'analyse en composantes multiples

La difficulté dans cette étude est de voir la relation entre les variables sur une population. Chaque lieu urbain est décrit par ses modalités. Toutes les données sont regroupées dans un tableau de contingence. Le tableau représente, pour une paire de modalités, combien d'individus la possèdent, donc l'effectif pour ses deux modalités.

Par ailleurs, chaque lieu urbain peut être représenté par sa modalité sur un axe qui décrit une variable:



Donc, un individu peut être représenté dans un repère qui possède autant de dimensions qu'il ne possède de variables. La représentation est très compliquée.

Variable	Trafic total (trafic journalier moyen)					
	Modalité	5 000 - 10 000 véh	10 000 - 15 000 véh	15 000 - 20 000 véh	20 000 - 25 000 véh	> 25 000 véh
Configuration	Tissu ouvert	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
	En U	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>

L'analyse factorielle des correspondances multiples (AFCM) a pour objectif de connaître les relations entre les variables suivant une population, afin de structurer celle-ci en diminuant la complexité de représentation. Nous utiliserons l'AFCM car certaines des variables sont qualitatives (sens de circulation, type de tissu) et il n'est pas possible de les transformer en données quantitatives.

Ces analyses déterminent une relation entre les différentes variables et les lieux urbains en fonction de la redondance des modalités que possède chacun des lieux. A partir de ces effectifs, nous pouvons remplacer un grand nombre de variables par un plus petit nombre de variables explicatives regroupées en facteur. Autrement dit, chaque facteur représente un

groupe de variables qui viendra expliquer notre population et la création d'un facteur est due à la contribution de plusieurs modalités.

Ainsi, le premier facteur explique le mieux la variabilité de la population, puis le facteur suivant, orthogonal ou décorrélé au précédent, explique la variabilité du résidu non pris en compte par le précédent (le deuxième facteur explique ce que le premier n'a pas expliqué).

## B.1.2. Etude des modalités par l'AFCM sur plan factoriel

### B.1.2.1. Méthodologie

Pour effectuer l'analyse, nous utilisons le logiciel SPAD. Nous exécutons l'analyse que sur les variables conservées. Pour mieux analyser le résultat, le logiciel représente les modalités dans un plan factoriel. Pour cela, le logiciel édite des informations nécessaires à l'interprétation des résultats.

#### □ Choix des facteurs

Il est important de regarder l'inertie de chaque facteur:

Numéro	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
1	0,5701	20,36	20,36
2	0,3610	12,89	33,25
3	0,3064	10,94	44,19
4	0,2837	10,13	54,33
5	0,2182	7,79	62,12
6	0,2096	7,49	69,61
7	0,1970	7,04	76,64
8	0,1471	5,25	81,90
9	0,1292	4,61	86,51

Tableau des valeurs propres (inertie) de chaque facteur

Ce tableau résume l'importance de chaque facteur dans l'interprétation des résultats. Les quatre premiers facteurs résument 54,33% à eux trois de l'interprétation des sites. Les autres facteurs ne décrivent plus des groupes de modalités, mais juste une seule modalité spécifique à certain type de rues.

#### □ Représentation graphique des modalités

Le logiciel représente les modalités dans le plan factoriel choisi et le but est d'expliquer chaque facteur par des modalités qui s'oppose sur le plan. En B.6 et B.7, il est également fourni des informations sur la contribution de chacun des facteurs et l'erreur (s'il vaut 0, aucune erreur, s'il vaut 1, 100% d'erreur). Pour rendre la représentation plus claire, les modalités dont les contributions se détachent distinctement des autres ont été gardées dans la représentation. En effet, les modalités à petite contribution sont négligeables, puisque la somme de toutes ces petites contributions reste négligeable par rapport à la contribution des autres, vu le peu d'individus présents.

### B.1.2.2. Observation et analyse des résultats

La représentation graphique se trouve à la page suivante.

Dans les plans factoriels 1-2 et 1-3, nous retrouvons un groupe qui explique le facteur 1. Ce groupe est caractérisé par les modalités suivantes : *Sens Unique, 1 voie, le TMJA (Trafic moyen journalier annuel) < 5000 véhicules et une largeur inférieure à 20 mètres*. En effet

## Annexe B

ces modalités ne décrivent que quelques sites qui se distinguent clairement des autres même s'ils sont beaucoup moins nombreux que les autres.

Pour le facteur 2, deux groupes de modalités s'opposent sur le trafic et le nombre de voies de circulation. Nous trouvons donc *TMJA supérieur à 25000 véhicules, largeur entre façades supérieure à 80m et à 3-4 voies de circulation* d'un côté; *TMJA compris entre 5000 et 10 000 véhicules et à 2 voies* de l'autre.

Nous remarquons d'ailleurs que ces deux groupes s'opposent : ce sont plutôt d'un côté des rues larges, à plusieurs voies et un trafic très important et de l'autre des rues à trafic moyen et à 2 voies.

Pour le facteur 3, deux groupes s'opposent : *une largeur entre façade de 40 à 60 mètres et plus de 4 voies* et un autre groupe déjà présent dans le facteur 2. Nous trouvons, ici, un groupe est composé de rue plutôt large et à plusieurs voies.

Quant au facteur 4, on trouve des rues à largeur plutôt faible et trafic moyen.

Le groupe à une seule modalité a été écarté vu qu'il ne se distingue des autres groupes que sur une modalité.

*Remarque :* Pour comprendre la représentation graphique, il faut avoir en tête que les groupes de modalités ne peuvent expliquer qu'un seul facteur (à cause de leur erreur sur l'autre).

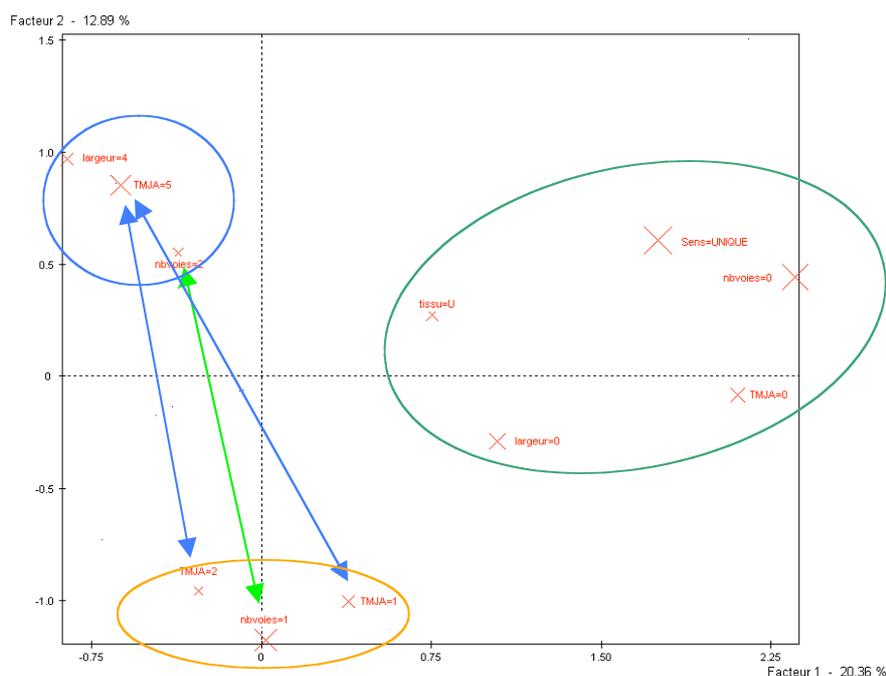


Figure B.1 Représentation des modalités en fonction des facteurs 1 et 2

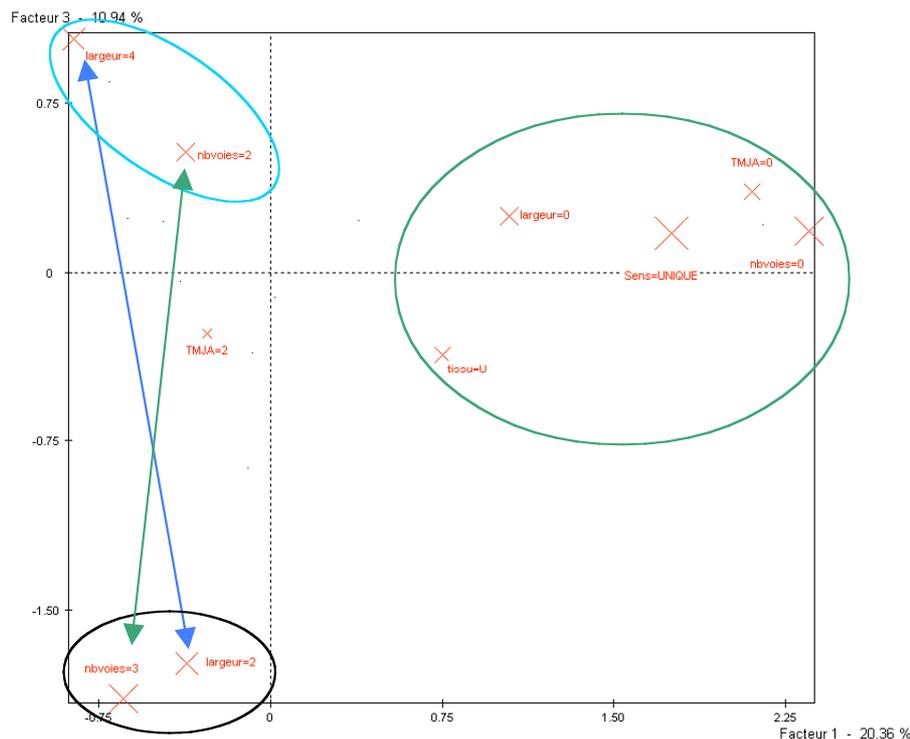


Figure B.2 Représentation des modalités en fonction des facteurs 1 et 3

Seules les modalités à forte contribution sont représentées dans les deux figures (les autres ont été effacées).

### B.1.2.3. Conclusion

Le tableau suivant permet de récapituler les analyses. Nous observons 4 groupes :

Variables	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
TJMA	entre 5 et 10 000 véhicules	> 25 000 véhicules		<5000 véhicules	entre 15 et 20 000 véhicules
Sens				Plutôt U	
Largeur façade		> 80 mètres	entre 40 et 60 mètres	<20 mètres	entre 20 et 40 mètres
Type de Tissu	Plutôt double	Plutôt double	Plutôt double	UNIQUE	
Nombre de voies	2 voies	3 et 4 voies	>4 voies	1 voie	

Nous observons déjà 5 groupes qui ne permettent pas de décrire tous les sites. De plus, nous remarquons que la plupart des résultats sont plutôt évident :

- plus le nombre de voies augmente, plus le trafic est important,
- plus la largeur entre façade est grande, plus le nombre de voies est important.

Mais sur ce dernier point, les rues qui possèdent le plus de voies ne sont pas forcément les plus larges.

A présent, il est intéressant de voir si on retrouve ces groupes dans une représentation des individus.

### B.1.3. Etude des individus par l'AFCM sur plan factorielle

#### B.1.3.1. Hypothèses de représentation

Les individus ne sont pas représentés en même temps que les modalités par souci de clarté. En plus, les individus ne sont pas dans le même plan que les modalités. Il faudrait pour cela faire une projection soit des individus, soit des modalités ce qui introduit une erreur de représentation due à la projection.

Par ailleurs, ils ne seront représentés qu'en fonction des facteurs 1 et 2. Les autres représentations ne décrivent pas mieux les classifications. Un individu se distingue, sur la représentation, que par son numéro d'identifiant. Il n'a pas de signification.

#### B.1.3.2. Observation et analyse des résultats

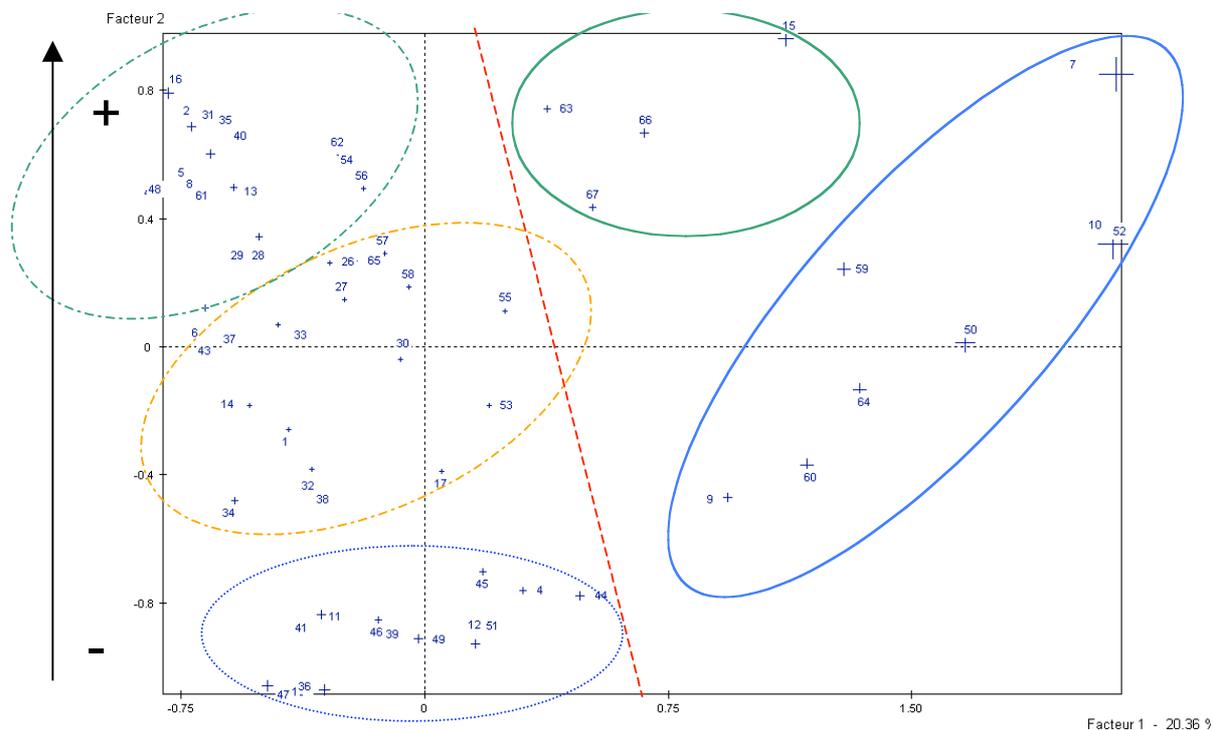


Figure B.3 Représentation des individus en fonction des facteurs 1 et 2

Deux divisions apparaissent très clairement (délimités par le trait rouge). Ce sont les rues en sens unique, à droite, et les rues en sens double, à gauche.

□ Rue en sens UNIQUE

Deux groupes se créent à l'intérieur :

- peu de voies
- faible trafic
- tissu en U
- de faible largeur entre façade

- entre 3 et 4 voies
- trafic assez fort
- tissu en U
- faible largeur entre façade

Certains sites sont plutôt atypiques et viennent troubler les résultats comme une rue à Lyon qui longe la voie ferrée (de la base de donnée). Ainsi toutes les rues à sens unique qui longent les quais d'un cours d'eau ou une voie ferrée sont des sites qui sont de type tissu ouvert donc ils ne rentrent pas vraiment dans ces groupes.

□ Rue en sens DOUBLE

Trois groupes pas vraiment distincts se créent. En fait nous pourrions dire que la deuxième division (voir le dessin ci-dessus), celle de gauche est plutôt continue avec une progression sur le nombre de voies (qui va de 2 voies à 3,4 voies et plus) et le trafic, représentée par la flèche.

Les rues possédant le plus de voies et à fort trafic sont plutôt en tissu ouvert.

Nous remarquons tout de même que la largeur entre façade n'influe pas clairement sur le trafic. En effet il existe plusieurs sites qui possèdent un trafic journalier supérieur à 25 000 véhicules par jour avec une largeur inférieure à 40 mètres (par ex: les individus, par largeur croissante, 66, 67, 62, 63, 56, 54, 28, 29). Par contre, la réciproque est fautive. En effet, les rues qui possèdent une largeur entre façade importante ont un trafic important et les rues à faible trafic ont une largeur faible. Donc une rue relativement large n'induit pas, forcément, un faible trafic.

*Remarque:* Il faut tout de même prendre garde à ce que nous entendons par "largeur relativement faible". La plus petite rue qui admet un trafic de 30 000 véhicules par jour possède tout de même une largeur de 16 mètres entre façade (site 66). Mais, cela reste relativement faible par rapport aux 35 000 véhicules par jour pour 70 mètres de large (site 43).

B.1.3.3. Conclusion

Cette étude nous apporte quelques précisions quant aux différents groupes (repérées par les couleurs sur le graphe).

Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	Groupe E
Sens Unique Tissu en U	Sens Unique Tissu en U	Double Sens 2 voies	Double Sens Entre 2 et 4 voies	Double Sens > 3 voies
Largeur <40 m.	Largeur < 40 m.	10 000 <TMJA< 20 000 véh.	15 000 <TMJA< 25 000 véh.	TMJA > 25 000 véh.
15 000 véh.<TMJA	TMJA < 10 000 véh.			Tissu ouvert
3 et 4 voies	1 à 2 voies			

Dans l'ensemble des rues à sens unique, l'étude permet d'opposer deux groupes :

- les grands boulevards : TMJA élevé, nombre de voies élevé, tissu en U, sens UNIQUE
- les petites artères : TMJA faible, 1 voie, tissu en U, sens UNIQUE

Dans l'ensemble des rues à double sens, il n'y pas vraiment de groupe qui se distingue sauf celui des grands boulevards à double sens, fort trafic à plusieurs voies. Les autres groupes sont plutôt une continuité dans l'augmentation du trafic et du nombre de voie (même si elles sont représentées différemment).

Les variables *TMJA* et *nombre de voies* sont intimement liées et les modalités *sens Unique* et *rue en U* le sont également. *A contrario*, la relation entre les variables *TMJA* et *largeur* est moins évidente.

#### B.1.4. Classification par hiérarchie ascendante

Par ailleurs, SPAD possède également une méthode de classification par hiérarchie ascendante. Cette méthode permet de voir si nos classes précédentes sont pertinentes, si cette méthode trouve d'autres classifications ou contredit totalement nos résultats.

Vu le peu d'individus que nous possédons, nous ne pouvons utiliser que cette méthode.

##### B.1.4.1. Description de la classification

La méthode de classification par hiérarchie ascendante (RECIP) utilise les résultats de l'analyse factorielle. En pratique, nous choisissons la moitié des axes factoriels pour la classification. Cette classification utilise la distance euclidienne pour calculer les ressemblances entre les individus et un seul critère d'agrégation, la perte d'inertie minimum (critère de Ward) est utilisée pour calculer l'écart entre deux sous-ensembles disjoints. Elle agrège les éléments de façon à minimiser la variance interne à chaque classe (inerties intra-classes) et à maximiser la variance entre les classes (inertie inter-classes). Les inerties sont calculées à partir des coordonnées des éléments à classer sur les axes factoriels sauvegardés pour la typologie. [Aide SPAD-2000]

La difficulté dans cette méthode de classification est d'obtenir des classes homogènes et donc de déterminer une coupure significative de l'arbre.

##### B.1.4.2. Observation et analyse des résultats

Le logiciel nous informe pour chaque nœud créé son indice de niveau (la perte d'inertie occasionnée par la formation du nœud). D'après l'histogramme suivant, nous observons deux sauts importants pour une coupure en 3 classes (deux dernières barres) et 7 classes (six dernières barres).

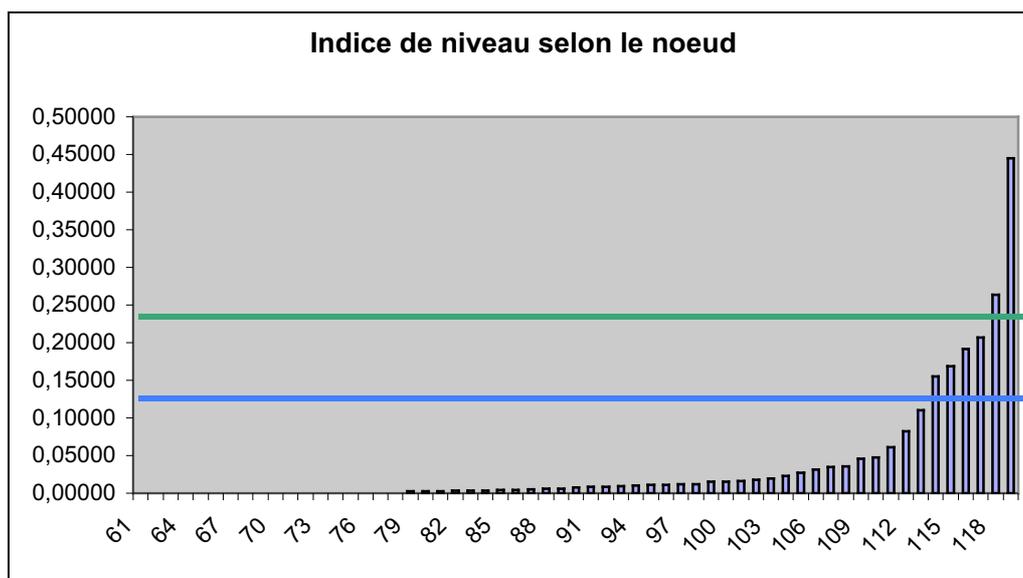


Figure B.4 Indice de niveau selon le nœud

La méthode suivante permettra de choisir entre une des deux classifications.

## B.1.5. Partition et description des classes

### B.1.5.1. Méthodologie

Cette procédure construit des partitions par coupure de l'arbre précédent. Le nombre de coupure est donné soit par la méthode précédente, soit par recherche automatique. Les deux méthodes seront utilisées pour les comparer.

### B.1.5.2. Observation et analyse des résultats

#### 1.5.2.1. Méthode par saut de niveau d'indice

Nous forçons la procédure à trouver 3 et 7 partitions. Deux tableaux sont accompagnés des partitions pour décrire autour de quelles modalités les partitions se sont créées.

□ Pour les 3 partitions

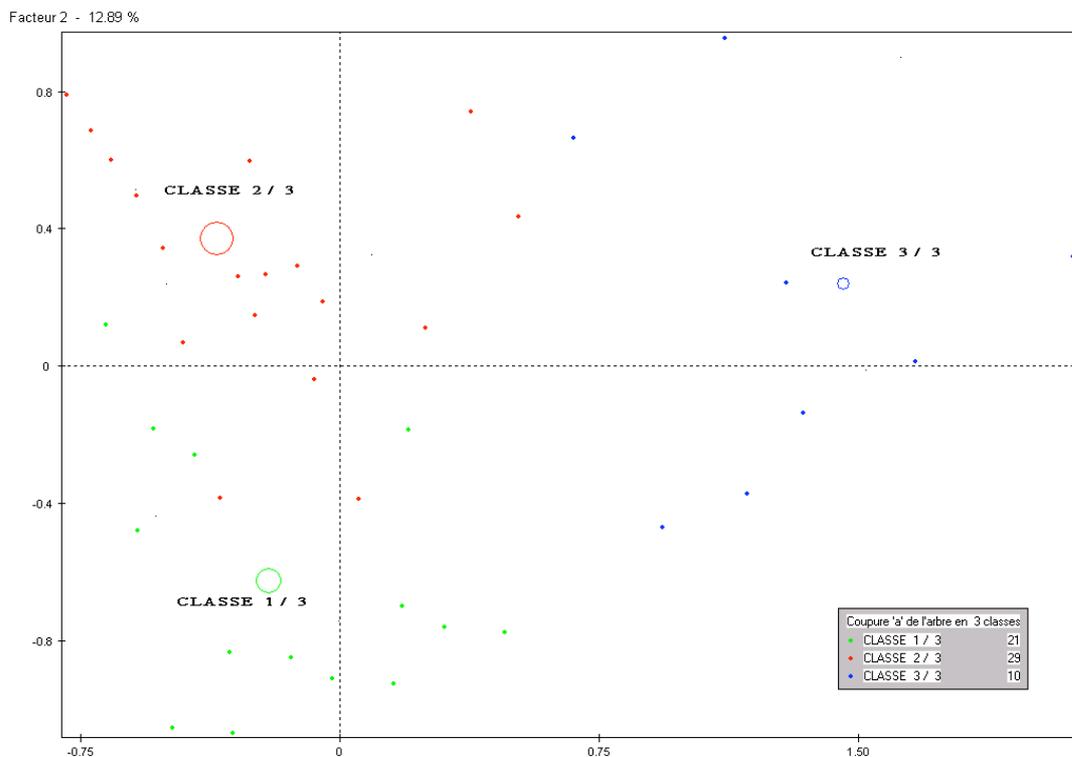


Figure B.5 Représentation graphique des trois classes sur les deux premiers facteurs

Visuellement, les 3 classes sont plutôt homogènes à part deux points de la classe 2 (de coordonnées sur le facteur 2 (-0,4;-0,5) et (-0,4;0,1)).

**Caractérisation par les modalités des classes de la partition****Coupure 'a' de l'arbre en 3 classes****Classe: CLASSE 1 / 3 (Effectif: 21 - Pourcentage: 35.00)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
largeur entre façade	largeur=3
Nb de voies	nbvoies=1
TMJA	TMJA=2
Sens	Sens=DOUBLE
TMJA	TMJA=1

**Classe: CLASSE 2 / 3 (Effectif: 29 - Pourcentage: 48.33)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
TMJA	TMJA=5
largeur entre façade	largeur=4
Nb de voies	nbvoies=3
TMJA	TMJA=3

**Classe: CLASSE 3 / 3 (Effectif: 10 - Pourcentage: 16.67)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
Sens	Sens=UNIQUE
Nb de voies	nbvoies=0
largeur entre façade	largeur=0
TMJA	TMJA=0
Type de tissu	tissu=U

Une fois que les classes sont créées à partir des individus, la méthode répertorie chaque individu dans sa classe puis détermine les modalités qui caractérisent la classe.

**La classe 3 traduit un type de sites bien connu : les rues à sens unique, tissu en U, ne possédant qu'une seule voie, à petite largeur entre façade et un peu de trafic.** Cette classe, précédemment mise en évidence, est confirmée.

La classe 1 représente les rues à double sens, trafic moyen, grande largeur entre façades, à 2 voies.

La classe 2 représente les rues à fort trafic, à plusieurs voies et d'une très grande largeur.

*Remarques:*

Quelques remarques sont à effectuer quant aux classes que propose le logiciel, surtout sur les classes 1 et 2.

La classe 2 est décrite par la modalité "largeur=4". Or, il est embarrassant de remarquer que 18 sites sur 29 possèdent la modalité "largeur<3" (3 sites à 0; 10 sites à 1 et 7 sites à 2) . Comme nous avons peu d'individus, cette contribution n'est pas assez important pour caractériser la classe. Par la même observation, on en déduit que le nombre de voies varie entre 2 et 3.

La classe 1 est décrite par la modalité "largeur=3". Mais nous observons le même embarras: en effet 13 sites sur 21 ont leur variable différente de 3 (6 l'ont à 0; 7 l'ont à 1). Pour les mêmes raisons, cette modalité sera exclue des modalités décrivant le groupe.

□ Pour les 7 partitions

Voici les résultats de la classification en 7 classes:

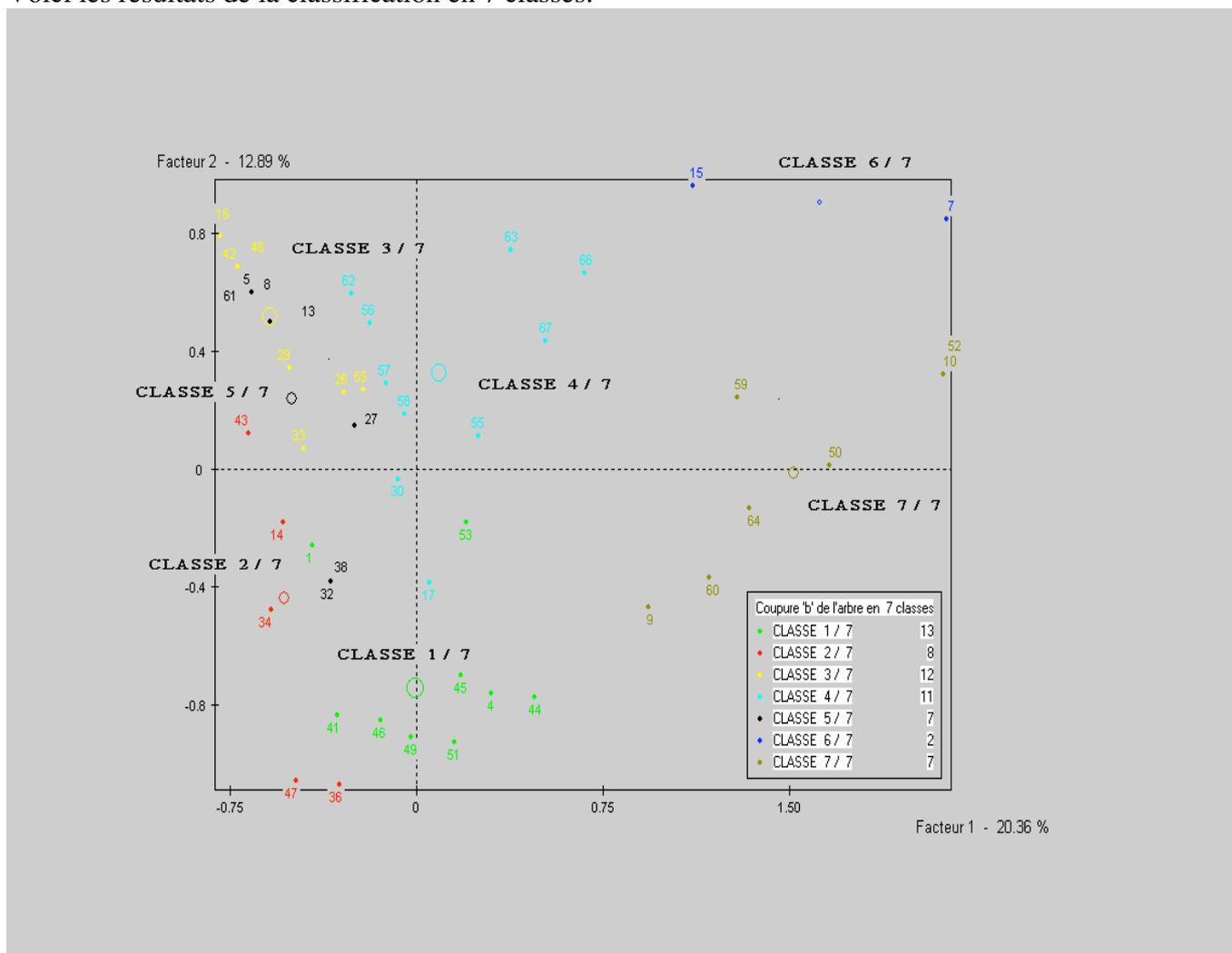


Figure B.6 Représentation graphique des 7 classes sur les 2 premiers facteurs

Visuellement, ce type ne permet pas de distinguer clairement les groupes. Par exemple, nous comprenons mal comment se sont créés les groupes 5 et 2. En effet, les sites de ces deux classes, au niveau du graphique, pourraient appartenir à d'autres classes. Par ailleurs, la classe 6 ne comprend que 2 sites. Cette dernière classe traduit un peu le problème qui se pose avec 7 classes: les classes sont trop précises, elles ne décrivent que les sites par deux voir une modalité.

**Caractérisation par les modalités des classes de la partition****Coupure 'a' de l'arbre en 7 classes****Classe: CLASSE 1 / 7 (Effectif: 13 - Pourcentage: 21.67)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
Nb de voies	nbvoies=1
TMJA	TMJA=2
TMJA	TMJA=1

**Classe: CLASSE 2 / 7 (Effectif: 8 - Pourcentage: 13.33)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
largeur entre façade	largeur=3

**Classe: CLASSE 3 / 7 (Effectif: 12 - Pourcentage: 20.00)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
largeur entre façade	largeur=4
TMJA	TMJA=5
Nb de voies	nbvoies=2

**Classe: CLASSE 4 / 7 (Effectif: 11 - Pourcentage: 18.33)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
Type de tissu	tissu=U
TMJA	TMJA=3
largeur entre façade	largeur=1

**Classe: CLASSE 5 / 7 (Effectif: 7 - Pourcentage: 11.67)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
largeur entre façade	largeur=2
Nb de voies	nbvoies=3

**Classe: CLASSE 6 / 7 (Effectif: 2 - Pourcentage: 3.33)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
TMJA	TMJA=4

**Classe: CLASSE 7 / 7 (Effectif: 7 - Pourcentage: 11.67)**

Libellés des variables	Modalités caractéristiques
Nb de voies	nbvoies=0
Sens	Sens=UNIQUE
TMJA	TMJA=0
largeur entre façade	largeur=0

En effet, nos soupçons se sont avérés exacts. Les classes 2 et 6 ne sont caractérisées que par une modalité, respectivement *largeur=3*, *TMJA=4*; tandis que la classe 5 n'est caractérisée que par deux modalités, *largeur=2* et *nombre de voies=3*. Les classes sont trop précises.

Attardons-nous sur ces deux variables, la largeur entre façades et le nombre de voies. Ainsi plus une rue possède de voies, plus la rue devra être large et il en va de même pour la réciproque. En effet la largeur entre façades est en grande partie dépendante du nombre de voies que possède la rue. Dans notre étude, cette relation n'est pas vraiment ressortie car les classes pour former les modalités de la variable *largeur entre façades* sont très grandes: <20m, 20-40m, 40-60m, 60-80m, >80m. Les pas de cette variable sont aussi pour d'un côté réduire le nombre de modalités afin d'utiliser l'analyse factorielle, d'un autre pour obtenir une homogénéisation de l'effectif dans chaque classe.

Fermons cette parenthèse et regardons les caractéristiques de chacune des autres classes.

La classe 1 regroupe les rues à 2 voies ayant un trafic compris entre 5000 et 15 000 véhicules. La classe 3 regroupe les rues à 3 et 4 voies, avec une très grande largeur entre façade et un trafic très important (les grands boulevards).

La classe 4 regroupe les rues à trafic important ayant une largeur entre façade moyennement importante et de type rue en U.

La classe 7 regroupe les rues en sens unique déjà tant évoquées.

<b>Classe1</b>	<b>Classe3</b>	<b>Classe4</b>	<b>Classe7</b>
nbvoies=1	largeur=4	tissu=U	nbvoies=0
TMJA=2	TMJA=5	TMJA=3	Sens=UNIQUE
TMJA=1	nbvoies=2	largeur=1	TMJA=0
			largeur=0

Les classes 3 et 4 marquent bien la contradiction qu'il peut exister entre les rues à large façade et fort trafic et les rues à trafic tout de même important ayant une largeur entre façades plus faible. La classification en 7 classes montre que le découpage est trop précis mais révèle tout de même que la classification en 3 classes peut être détaillée un peu plus.

#### B.1.5.2.2. Classification automatique

Pour la méthode de classification automatique, la procédure trouve 2 catégories: une classification avec 2 classes, pas assez précise et donc pas intéressante, et une autre de 3 catégories, qui semble être le meilleur découpage.

Nous retrouvons les mêmes résultats que la méthode par saut de niveau d'indice.

#### B.1.5.3. Conclusion sur la classification hiérarchique

Dans un premier temps, la classification hiérarchique nous a proposé, par la méthode de saut de niveau d'indice, deux partitions : une de 3 classes et une autre de sept classes. La méthode de classification automatique recoupe ses résultats avec la méthode précédente par la classification en trois classes. Donc, nous pouvons conclure au découpage en 3 classes dégagées des modalités qui nous semblaient aberrantes.

Tout de même le découpage en sept classes laisse supposer que la classification peut être encore plus précise. Pour cela comparons tous les résultats pour obtenir la classification la plus pertinente.

<b>CLASSE 1</b>	<b>CLASSE 2</b>	<b>CLASSE 3</b>
<b>Modalités caractéristiques</b>	<b>Modalités caractéristiques</b>	<b>Modalités caractéristiques</b>
Nombre voies=1	TMJA=5	Sens=UNIQUE
TMJA=2	Nombre voies=3	Nombre voies=0
Sens=DOUBLE	TMJA=3	largeur=0
TMJA=1		TMJA=0
		tissu=U

## B.1.6. Comparaison des résultats de chaque étude et conclusion sur une typologie

### B.1.6.1. Comparaison des résultats

Maintenant, dans cette partie nous allons confronter chaque résultat d'analyse. *Les risques d'interprétation sont très grands.*

Tous les résultats sont résumés dans les tableaux suivants.

#### Analyse factorielles des modalités

Variables	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
TMJA	entre 5 et 10 000 véhicules	> 25 000 véhicules		entre 15 et 20 000 véhicules	<5000 véhicules
Sens					UNIQUE
Largeur façade		> 80 mètres	entre 40 et 60 mètres	entre 20 et 40 mètres	<20 mètres
Type de Tissu	Plutôt double	Plutôt double	Plutôt double		Plutôt U
Nombre de voies	2 voies	3 et 4 voies	>4 voies		1 voie

#### Analyse factorielle des individus

Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D	Groupe E
Sens Unique Tissu en U	Sens Unique Tissu en U	Double Sens 2 voies	Double Sens Entre 2 et 4 voies	Double Sens > 3 voies
Largeur <40 m.	Largeur < 40 m.	10 000 <TMJA< 20 000 véh.	15 000 <TMJA< 25 000 véh.	TMJA > 25 000 véh.
15 000 véh.<TMJA 3 et 4 voies	TMJA < 10 000 véh. 1 à 2 voies			Tissu ouvert

#### Classification hiérarchique

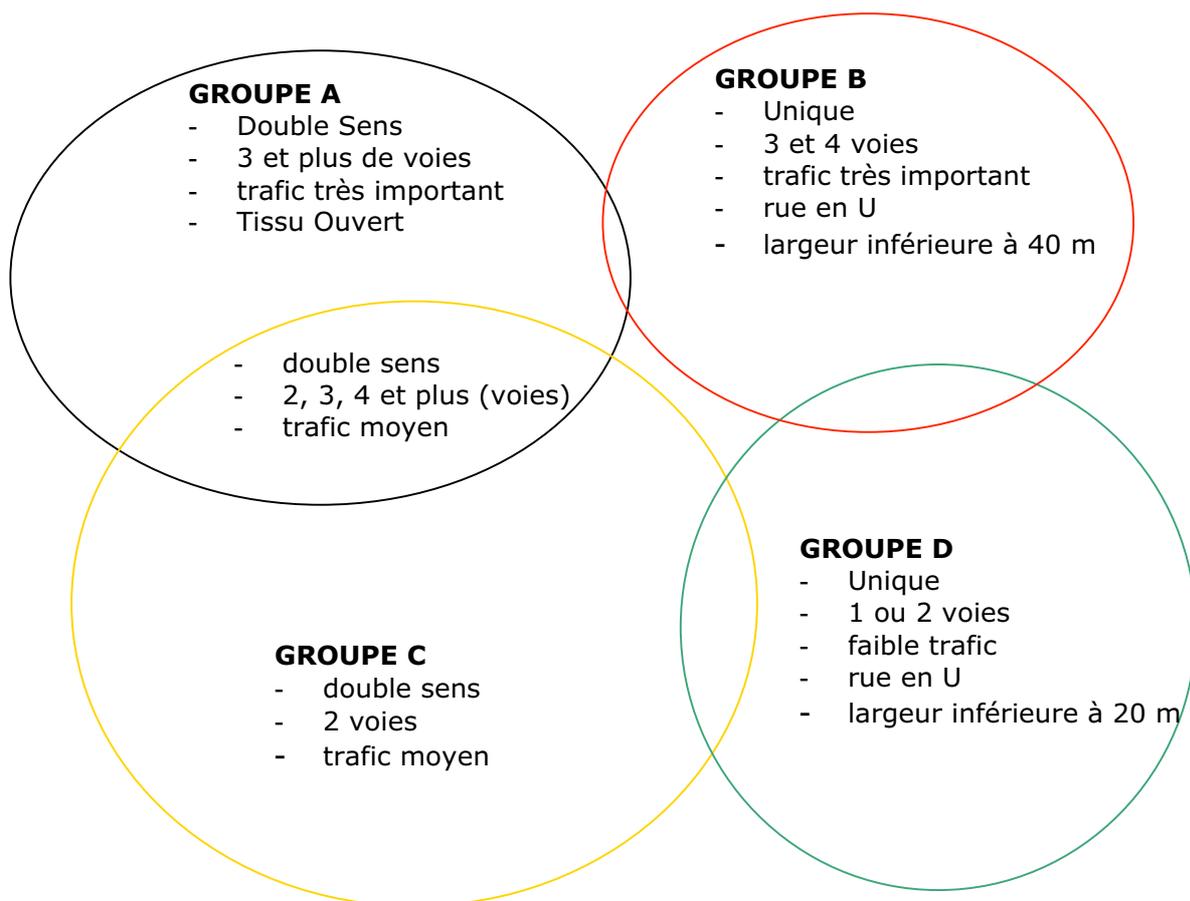
CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
<b>Modalités caractéristiques</b>	<b>Modalités caractéristiques</b>	<b>Modalités caractéristiques</b>
Nombre voies=1	TMJA=5	Sens=UNIQUE
TMJA=2	Nombre voies=3	Nombre voies=0
Sens=DOUBLE	TMJA=3	largeur=0
TMJA=1		TMJA=0
		tissu=U

Les trois tableaux montrent clairement une distinction entre les rues en sens unique avec un faible trafic et le reste du groupe.

La première étude ne permet pas de pouvoir vraiment déceler tous les groupes. Cette méthode n'est pas assez précise.

Des deux dernières études, nous observons que le groupe B correspond à la classe 3. Les groupes A et E correspondent à la classe 2 et le groupe C à la classe 1.

D'après la représentation graphique, il n'existe pas de groupe avec une frontière distincte. Certains sites peuvent appartenir à deux groupes suivant le critère de base. Par exemple, le site 9 est un site à 2 voies, à double sens, avec un trafic inférieur à 5000 véhicules par jour, rue en U et de largeur inférieure à 20 mètres. Bien que ce site soit en double sens, il appartiendrait tout de même au groupe des rues en sens unique.



Les domaines communs entre les groupes montrent bien que certains sites appartiennent à deux groupes. En effet, la différence entre ces sites, qui appartiennent à ces zones, peut se faire que sur une modalité (cf. le site 9.) Pour bien définir les groupes, nous introduisons le principe de prototype, c'est à dire le site typique du groupe. Plus un site aura des modalités communes à ce prototype plus il appartiendra au même groupe, sinon il s'en éloignera.

Pourtant, nous avons introduit un prototype dans une zone commune à deux groupes. Cette classe ressortait des différentes études mais à travers des groupes trop précis (classification en 7 classes). Nous ne l'avons pas considéré comme un groupe, car il possède tout de même de fortes ressemblances avec le groupe A (la différence ne se fait que sur la modalité trafic moyen).

#### B.1.6.2. Conclusion

A partir des sites, nous avons créé une classification des rues. Les résultats de chaque étude nous ont permis de créer différents groupes. En comparant les résultats et leurs remarques, nous avons finalement pu créer des catégories qui se recoupent. Chaque groupe est représenté par un prototype. Maintenant que ces groupes sont créés, il nous faut d'un côté commencer les enregistrements du bruit urbain et tester les indicateurs acoustiques et les autres (présence de bus, tramway...). En effet si certains sont pertinents, alors, suivant leurs valeurs, ils doivent décrire les groupes. Ou, au contraire, cette analyse nous permettra de voir si les indicateurs énergétiques (Lden et Lnight) sont vraiment pertinents.

### B.1.7. Indicateurs acoustiques

Maintenant les classes créées, nous les étudions pour tester les autres indicateurs. Ces indicateurs ont déjà été décrits dans la partie précédente. Elles sont incluses dans la méthode de classification par hiérarchie ascendante en tant que variables illustratives.

Une variable illustrative est une variable qui n'est pas utilisée pour le calcul des classes. Toutefois, celles-ci créées, elles sont utilisées pour décrire une classe.

Nous avons utilisé la méthode de classification car il existe beaucoup de problèmes d'interprétation quand nous représentons les variables illustratives sur le même plan que les individus. La méthode de représentation est de placer les modalités au barycentre des individus. Une modalité peut être tirée par deux groupes et donc se trouver dans une position qui n'est pas forcément interprétable.

Pour cette raison, nous utiliserons la méthode de classification et, par ailleurs, nous étudierons avec les trois classes trouvées automatiquement. Remarquons que les classes "grands boulevards" sont fusionnées sans faire de distinction entre sens unique ou double et tissu ouvert ou rue en U.

Remarque: on va appeler la classe des grands boulevards, la classe B (comme grands boulevards), la classe des petites rues à trafic moyen et à double sens, la classe d (comme double), et la classe des rues à faible trafic en sens unique, la classe u (comme unique) .

#### B.1.7.1 Classification automatique

Les classes caractérisées par leurs modalités sont décrites dans la table B.2.

Nous allons procéder par groupe de variable par souci de clarté, puis finaliser en concluant sur chaque groupe ce que nous apprennent les indicateurs.

##### B.1.7.1.1 Interprétation sur chaque variable

###### □ *Présence bus et tramway et proximité carrefour à feu et sens giratoire*

Pour les rues de la classe u, on trouve la modalité "aucune présence de bus". La modalité sur le tramway n'apparaît pas car cela est dû au manque de lieux où les tramways sont présents. On trouve naturellement qu'aucun bus ne passe dans les rues trop petites. Si nous avions plus de sites où des tramways étaient présents, nous aurions pu voir, que les tramways ne sont présents que dans les grands boulevards, du moins dans les rues (unique ou double) à plusieurs voies.

###### □ $L_{Aeq\ diurne}$ , $L_{Aeq\ nocturne}$ et $L_{den}$

Seuls la classe B est décrite par ces indices. Ils sont tous les trois élevés. Cela montre que les rues de la classe B sont, en moyenne, des rues bruyantes.

On remarque que ces descripteurs ne sont valables que pour les rues de la classe B et ne décrivent aucune situation de la classe u et d.

###### □ $L_{Aeq}$ , $L_{90}$ , $L_{50}$ et $L_{10}$ pour les 4 périodes : 6h à 7h, 20h à 23h, 21h à 24h et 10h à 11h

Pour les rues de la classe B, le  $L_{Aeq}$  est assez élevé pour toutes les périodes de la journée. Pour les rues de la classe u, le  $L_{Aeq}$  est faible pour la période du matin (6h-7h).

Le  $L_{90}$  est faible, pour la période 6h-7h, pour les rues de la classe u.

Le  $L_{50}$  décrit toutes les classes. Pour la classe u, il est faible pour la période 6h-7h et, pour la classe d, il est faible pour la période pour la période 21h-24h. Pour la dernière classe, la classe B, l'indicateur est élevé pour la période 6h-7h et 20h-23h.

Le  $L_{10}$  décrit la classe u par une valeur faible pour la période 6h-7h. Tandis que la classe d est décrite par des valeurs relativement élevé pour la période 10h-11h et 21h-24h. La classe B est décrite par des valeurs élevées pour toutes les périodes.

Tout comme les indicateurs précédents, le  $L_{Aeq}$  décrit assez bien les rues de la classe B. Par ailleurs, il décrit aussi le  $L_{Aeq}$  des rues de la classe u pendant l'horaire 6h-7h. Cela signifie que ces rues n'ont qu'en commun que le niveau moyen de la période 6h-7h. Les niveaux ne sont pas homogènes pour les autres périodes. Les rues de la classe d ne sont toujours pas décrites.

Comme le  $L_{Aeq}$ , le  $L_{90}$  est faible pour les rues de la classe u. Cela signifie qu'ils possèdent un bruit de fond faible et que c'est commun à toutes ces rues mais nous ne retrouvons pas cette conclusion pour les autres périodes. Nous ne retrouvons pas de telles conclusions pour les sites de la classe B.

Pour l'indicateur  $L_{50}$ , le

#### □ *Impulsion maximum et nombre d'occurrence supérieure à 10*

On ne trouve que la classe u décrite par la variable "nombre d'occurrence supérieure à 10" avec une valeur élevée pour la période 10h-11h.

Cet indicateur montre que les rues à sens unique possèdent énormément d'évènement qui se détache clairement du bruit de fond pendant l'horaire de la journée et c'est assez particulier des rues en sens unique. (Sûrement car moins de trafic, donc le bruit de fond est plus faible et donc chaque évènement particulier se détache assez bien).

Quant à la variable "Impulsion maximum", elle décrit la classe B. Cet indicateur est faible pour toutes les périodes de la journée.

Cette remarque montre clairement que dans les grands boulevards, les émergences des évènements par rapport au bruit de fond sont faibles par rapport aux autres types de rues. C'est à dire que les évènements se détachent moins que dans les autres classes de rues.

#### □ *Pourcentage de temps inférieur à 50 dB(A), 55 dB(A) et supérieur à 65 dB(A) et 70 dB(A)*

Le pourcentage de temps où le niveau est inférieur à 50 dB(A) est faible pour les rues de la classe B pour toutes les périodes (sauf celle de la journée 10h-11h) et relativement élevé pour la période 6h-7h pour la classe u.

Avec cet indicateur, on arrive, un peu, à opposer les petites rues à sens unique. On retrouve pour les rues à sens unique, un niveau de bruit plutôt faible pour les premières heures de la matinée tandis que l'autre classe, la classe B, ne possède pas un bruit faible.

Par rapport à 55 dB(A), il est élevé pendant la période 6h-7h pour la classe u et pendant la période 21h-24h pour la classe d. Pour la classe B, elle est faible pour toutes les périodes.

On retrouve la même conclusion pour la classe B. On trouve toujours que la classe u possède des rues calmes pour la période 6h-7h et, maintenant, on trouve également un niveau de bruit inférieur à 55 dB(A) pour la période de la fin de soirée (21h-24h) pour les rues de la classe d.

Le pourcentage de temps où le niveau est supérieur à 65 dB(A) est faible pour les rues de la classe d pendant les périodes de la nuit (20h-23h et 21h-24h) et pour les rues de la classe u pendant la période 6h-7h. Pour la classe B, cet indicateur est élevé pour toutes les périodes à part la période 21h-24h où il l'est moins.

*A contrario*, on trouve, que dans les classes u et d, pour à peu près les mêmes horaires des niveaux pas très forts, mais pl. Les rues de la classe B possèdent des niveaux

Par rapport à 70 dB(A), il est faible pour la classe d pour les périodes 6h-7h et 10h-11h. Il est élevé pendant la période 10h-11h pour les rues de la classe B.

On trouve les rues de la classe u avec des niveaux acoustiques faibles pour la période 6h-7h : le pourcentage de temps est élevé pour les niveaux inférieurs à 50 et 55 dB(A) et faibles pour les niveaux supérieurs à 65 dB(A).

Pour les rues de la classe d, le niveau est plus fort que les rues de la classe d et sur des périodes différentes, 21h-24h, mais reste relativement faible par rapport aux rues de la classe B.

Il est clair que cette dernière classe possède des rues avec des niveaux très élevés pour tous les horaires et plus particulièrement pour la période 10h-11h.

Ces différents indicateurs arrivent selon les horaires considérés à faire des différences entre les types de rues. Les rues à sens unique à une voie ont un niveau plutôt faible le matin, les rues à double sens ont leur niveau plutôt faible pour la fin de soirée (21h-24h).

#### B.1.7.1.2 Interprétation sur chaque classe

##### □ Classe B

$L_{Aeq\ diurne}$ ,  $L_{Aeq\ nocturne}$  et  $L_{den}$ : Seuls la classe B est décrite par ces indices. Ils sont tous les trois élevés.

Pour les rues de la classe B, le  $L_{Aeq}$  est assez élevé pour toutes les périodes de la journée.

Pour la dernière classe la classe B, l'indicateur, le  $L_{50}$ , est élevé pour la période 6h-7h et 20h-23h.

La classe B est décrite par des valeurs élevées de  $L_{10}$  pour toutes les périodes.

Quant à la variable "Impulsion maximum", elle décrit la classe B. Cet indicateur est faible pour toutes les périodes de la journée.

Le pourcentage de temps où le niveau est inférieur à 50 dB(A) est faible pour les rues de la classe B pour toutes les périodes (sauf celle de la journée 10h-11h)

Pour la classe B, elle est faible pour toutes les périodes pour  $>55$  dB(A).

Les sites sont très hétérogènes.

##### □ Classe d

Le  $L_{50}$ , pour la classe d, est faible pour la période pour la période 21h-24h.

Le  $L_{10}$  décrit par des valeurs relativement élevé pour la période 10h-11h et 21h-24h la classe d.

Le pourcentage de temps où le niveau à 55 dB(A), il est élevé pendant la période 6h-7h pour la classe u et pendant la période 21h-24h pour la classe d.

*Annexe B*

□ Classe u

Pour les rues de la classe u, on trouve la modalité "aucune présence de bus".

Pour les rues de la classe u, le  $L_{Aeq}$  est faible pour la période du matin (6h-7h).

Le  $L_{90}$  est faible, pour la période 6h-7h, pour les rues de la classe u.

Le  $L_{50}$  décrit toutes les classes. Pour la classe u, il est faible pour la période 6h-7h.

Le  $L_{10}$  décrit la classe u par une valeur faible pour la période 6h-7h.

On ne trouve que la classe u décrite par la variable "nombre d'occurrence supérieure à 10" avec une valeur élevée pour la période 10h-11h.

Le pourcentage de temps où le niveau est inférieur à 50 dB(A) et relativement élevé pour la période 6h-7h pour la classe u.

Par rapport à 55 dB(A), il est élevé pendant la période 6h-7h pour la classe

Le pourcentage de temps où le niveau est supérieur à 65 dB(A) est faible pour les rues de la classe u pendant la période 6h-7h.

Par rapport à 70 dB(A), il est faible pour la classe d pour les périodes 6h-7h et 10h-11h.

Table B.2 : modalités décrivant les classes

### Caractérisation par les modalités des classes de la partition

#### Coupure 'a' de l'arbre en 3 classes

Classe: CLASSE 1 / 3 (Effectif: 17 -

Pourcentage: 28.81)

Modalités caractéristiques	Classe: CLASSE 2 / 3 (Effectif: 34 - Pourcentage: 57.63)
Nombre de voies=1	Modalités caractéristiques
%t>65_2124h =0	TMJA=5
TMJA=2	%temps>65_1=3
L10 1011=3	%temps<50_67=0
TMJA=1	%temps>65_6=3
%temps>70_6=0	L10 1011=4
L50 2124=0	Nb de vo=2
L10 2124=2	%temps<55_20=0
%temps>70_1=0	L10 67h=4
%temps>65_2=0	%temps<50_21=0
%temps<55_21=3	Laeq67h=4
	L10 2023=4
	Lden=4
	Laeq2124=3
<b>Classe: CLASSE 3 / 3 (Effectif: 8 - Pourcentage: 13.56)</b>	
<b>Modalités caractéristiques</b>	%temps<55_10=0
Sens=UNIQUE	%temps<55_67=0
Nb de vo=0	%temps<50_20=0
%temps<55_67=3	Laeq noc=3
TMJA=0	Laeq1011=4
largeurf=0	Ipmax_67=0
Occ_101=3	L50 67h=3
Laeq67h=0	Laeq diu=4
L50 67h=0	L10 2124=4
L10 67h=0	%temps<55_21=0
bus=NON	TMJA=3
%temps>65_6=0	Laeq2023=3
%temps<50_67=2	Ipmax_21=0
L90 67h=0	%temps>65 dB(A) 2124h=1
	Ipmax_20=0
	%temps>70_1=3
	largeurf=4
	%temps>65_2=3
	L50 2023=3
	Ipmax_10=0

## B.2. Préparation au test perceptif : technique d'enregistrement et de restitution

Afin d'effectuer le test de perception, nous devons procéder aux enregistrements du bruit urbain. Le choix du système de restitution induira la méthode de prise de son. Une fois ce choix et les techniques de prise de son expliqué, nous aurons à choisir les séquences sonores pertinentes au test.

### B.2.1. Description du système de restitution : le système Ambisonics

Pour connaître la technique à utiliser pour enregistrer le bruit urbain, autant faut-il connaître la meilleure restitution de celui-ci. Dans ses travaux, C. Guastavino a comparé plusieurs techniques de spatialisation: l'Ambisonics, la technique transaurale et la stéréophonie. La technique transaurale consiste à présenter aux oreilles les informations sonores ou signaux binauraux que l'auditeur aurait perçus s'il avait pris place dans l'environnement naturel [Mol 1992]. La stéréophonie se base sur les principes psychoacoustiques de localisation en azimut et utilise les différences interaurales de temps, d'intensité ou de retard entre les canaux droit et gauche.

Mais le système Ambisonics est le système préféré pour la restitution du bruit urbain grâce à sa capacité à faciliter l'immersion dans l'ambiance sonore spatialisée en situant l'auditeur au cœur de la scène, proche des sources. Ce système sera choisi notre technique de restitution en salle d'écoute.

Le système Ambisonics est une technique de prise de son et de restitution. Il utilise un encodage directionnel du champ acoustique au voisinage d'un point que nous assimilerons au point de vue de l'auditeur. Cet encodage prend en compte une information omnidirectionnelle (marquée  $W$ ) et les trois directions de l'espace ( $X$ ,  $Y$  et  $Z$ ).

Ces quatre informations ( $W$ ,  $X$ ,  $Y$  et  $Z$ ) constituent le  $B$ -format. Une onde plane d'incidence  $\vec{u}$  portant un signal  $S$ , d'azimut  $\theta$  et de site  $\delta$ , s'écrit suivant le format  $B$ :

$$\begin{aligned} W &= S \\ X &= \sqrt{2} \vec{u} \cdot \vec{x} S = \sqrt{2} \cos\theta \cos\delta S \\ Y &= \sqrt{2} \vec{u} \cdot \vec{y} S = \sqrt{2} \sin\theta \cos\delta S \\ Z &= \sqrt{2} \vec{u} \cdot \vec{z} S = \sqrt{2} \sin\theta S \end{aligned}$$

Le facteur de normalisation  $\sqrt{2}$  est introduit pour équilibrer les puissances moyennes dans le cas d'un champ diffus "horizontal" ( $2W^2 = X^2 + Y^2$ ) [Daniel 2000].

Par ailleurs, dans ce système de restitution, il existe encore deux types: une restitution en trois dimensions et en deux dimensions (seulement sur le plan horizontal, donc la composante  $Z$  et l'angle de site  $\delta$  ne sont pas pris en compte). Dans le test de comparaison suivant, les auditeurs ont trouvé plus approprié une restitution en 2D d'une ambiance sonore qu'une restitution en 3D.

### B.2.2. le microphone Soundfield

Le microphone Soundfield permet de reproduire le  $B$ -Format. Le microphone Soundfield est constitué de quatre capsules cardioïdes orientées suivant les faces d'un tétraèdre régulier.

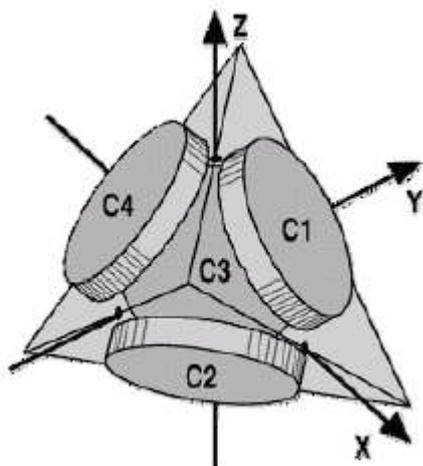


Figure B.7 : Les quatre capsules suivant les faces du tétraèdre et les trois directions (X, Y et Z)

Ces quatre capsules ou quatre voies constituent le format A. Un dématricieur externe permet de convertir le format A en format B grâce aux relations suivantes :

$$\begin{aligned} X &= C1 + C2 - C3 - C4 \\ Y &= C1 - C2 + C3 - C4 \\ Z &= C1 - C2 - C3 + C4 \\ W &= C1 + C2 + C3 + C4 \end{aligned}$$

Nous obtenons, donc, la configuration suivante.

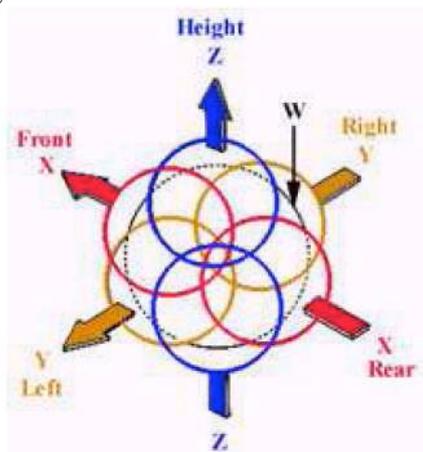


Figure B.8. Le format B

### B.2.3. Méthode de restitution sur haut-parleurs

Grâce à ce microphone, nous avons maintenant les moyens de reproduire une ambiance sonore dans une salle d'écoute en respectant la validité écologique (cf. 5.1.4.). En effet à partir des signaux W, X et Y, nous pouvons déterminons les signaux à envoyer par chacun des haut-parleurs (n est le nombre de haut-parleur que contient la salle,  $\theta_n$  est l'angle azimut du nième haut-parleur).

$$\begin{pmatrix} W \\ X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \sqrt{2} \cos \theta_1 & \dots & \sqrt{2} \cos \theta_n \\ \sqrt{2} \sin \theta_1 & \dots & \sqrt{2} \sin \theta_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} S_1 \\ \dots \\ S_n \end{pmatrix}$$

Le test perceptif se déroulera dans la salle d'écoute du Laboratoire d'Acoustique Musicale.

#### B.2.4. Description des caractéristiques de la salle d'écoute

La salle est une construction flottante de petite dimension (2,77 x 3,24 x 3,62m). A l'intérieur de cette salle, l'espace d'écoute est délimité par un plancher flottant, une armature de bois sur les murs et un faux plafond suspendu. La salle est isolée acoustiquement par des panneaux de contreplaqué sur lesquels sont collées des bandes de laine de verre. Les murs extérieurs sont recouverts de laine de roche. Deux labyrinthes acoustiques sont situés au plafond au niveau des bouches d'aération. La salle est coupée de toute information qui peut venir de l'extérieur pour un maximum de confort.

La courbe de réponse est plane à partir de 200 Hz et le temps de réverbération est inférieur à 0,05 secondes jusqu'à 200 Hz et inférieur à 0,2 secondes en dessous de 200 Hz.

Afin d'éviter toute interférence visuelle, la salle doit être la plus neutre possible pour être dans les meilleures conditions afin de s'imaginer être dans un environnement urbain. En effet, le fait de voir le caisson de basse influe sur la perception sonore [Guastavino 2003]. La couleur et la forme de la salle peuvent aussi corrompre le test. Pour toutes ces raisons, les haut-parleurs et le caisson de basse sont cachés derrière un tissu. La forme de la salle et la couleur du tissu ont été étudié en vue d'obtenir un environnement le plus neutre et le plus uni et de ne posséder aucun repère visuel.

Finalement, la pièce d'écoute est une chambre semi-anéchoïque et neutre. Elle est composée de douze haut-parleurs et d'un caisson de basse. Mais seuls six haut-parleurs et le caisson de basse sont nécessaires pour une restitution horizontale (en 2D). Les haut-parleurs sont placés à chaque sommet d'un hexagone et la tête de l'auditeur est placée au centre.

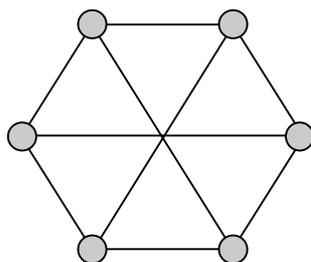


Figure B.9 Position des haut-parleurs et de la tête de l'auditeur à mi-hauteur par rapport au sol (vu du dessus)

Le caisson de basse est installé dans un coin de la salle pour exciter le maximum de modes de la salle. Cette position est recommandée par Griesinger [Griesinger 1997, Salava 1999]: elle procure un enveloppement optimal.

Quand nous sommes arrivés, les basses étaient trop présentes lors d'écoute d'environnement sonore. Pour régler le caisson de basse, un bruit blanc est envoyé à travers tous les haut-parleurs et le caisson de basse. Grâce à un microphone de mesure (B&K) situé à la place de la tête de l'auditeur, nous mesurons la puissance spectrale dans chaque bande d'octave. Nous réglons le niveau du caisson en vue d'obtenir une réponse plane dans l'ensemble des bandes de fréquence.

### B.2.5. Prise de son et calibrage

Pour percevoir la séquence sonore au même niveau qu'elle a été enregistrée, il est nécessaire de procéder à un calibrage.

Les gains sur chaque voie du préampli sont identiques. Ils sont réglés pour que le signal d'entrée ait le maximum de dynamique mais qu'aucun évènement ne le sature.

Il est donc nécessaire d'utiliser un sonomètre afin de mesurer un niveau de référence (un bref sifflement) qui nous permettra d'ajuster le gain général pour la restitution. De plus, le sonomètre permet d'enregistrer l'évolution du niveau acoustique, pondéré en A, en fonction du temps. Cette information nous permet de calculer le  $L_{Aeq}$  moyenné sur la période et de connaître les différents évènements sonores. Après le test, nous pourrons comparer les différents indicateurs, précédemment introduits, et les commentaires des auditeurs afin de conclure sur la validité de ces indicateurs.



Figure B.10 Sonomètre (à gauche) et microphone Soundfield (à droite)

Les différents matériels que nous avons utilisés pour les enregistrements sont :

- un microphone Soundfield ST250 avec 4 voies de sortie
- démultiplexeur pour travailler en B-format
- Enregistreur 8 voies sur bande magnétique TASCAM DA78-HR
- Cassettes Hi-8 (8 voies)
- sonomètre CEL-573

Les séquences ont été enregistrées à 44,1 kHz et 24 bits en quantification.

Une fois tous les enregistrements effectués, nous devons choisir les séquences sonores qui serviront au test de catégorisation.

### B.2.6. Choix des séquences sonores

Rappelons que le test doit déterminer comment la population est gênée par le bruit urbain pendant les heures sensibles de la journée. Les heures sensibles de la journée sont les heures

### *Annexe B*

de réveil (de 6h à 9h) et d'endormissement (de 20h à 00h). En plus, nous rajoutons une période témoin, en heure creuse de la journée, c'est-à-dire de 10h à 11h. Nous effectuons les enregistrements pendant ces trois périodes.

Enfin, nous avons vu précédemment que les quatre types de sites que nous avons choisis sont :

une rue à double sens, trafic très important et plusieurs voies de circulation

une rue à double sens, trafic faible à important et 2x1 voies de circulation

une rue à sens unique, trafic très important et plusieurs voies de circulation

une rue à sens unique, trafic faible à moyen et une seule voie de circulation

A partir des enregistrements, il faut trouver les séquences sonores représentatives des découpages de chacune des périodes suivant les différentes rues. Par exemple, avant 7h du matin, le trafic est très réduit. A partir de là, le trafic s'intensifie beaucoup. Il faut, donc, trouver, pour la période 6h-9h, deux séquences sonores : une représentative de la période 6h-7h et une autre de la période 7h-9h. Pour cela, il est nécessaire de demander à plusieurs personnes de s'accorder sur une séquence par cycle. Cette étape est importante et peut importer un biais au test. C'est le point faible de l'analyse avec le questionnaire, car si nous choisissons des séquences particulières, elles peuvent fermer le test.

#### **B.2.7. Conclusion sur les enregistrements.**

Le système Ambisonics en 2D est le meilleur système pour restituer les ambiances sonores complexes. Il est le plus apte à immerger l'auditeur pour ouvrir son imagination. Pour utiliser ce système, il faut utiliser le microphone Soundfield et une salle d'écoute des plus neutres aussi bien visuellement qu'acoustiquement. Par ailleurs, les enregistrements sont effectués pendant les heures de réveil et d'endormissement et suivant les sites obtenus par l'analyse de correspondances. Après étude de ces séquences, nous avons choisi les séquences sonores représentatives de chacune des rues à différents moments pendant ces périodes. Nous allons voir dans le chapitre suivant comment écrire le questionnaire nécessaire au test perceptif. Il faudra convenir d'un questionnaire qui ne biaise pas le test et des moyens disponibles pour étudier le ressenti des auditeurs face à ses environnements sonores.

## B.3. Catégorisation des séquences sonores suivant la gêne

### B.3.1. Etat de l'art

La thèse de Benjamin Robin s'inscrit dans l'étude des descripteurs sonores pour des sites urbains pendant les périodes sensibles (les premières heures du matin et du soir). Un descripteur est un élément décrivant les caractéristiques d'un bruit urbain spécifique à un lieu urbain par rapport à un autre. Pour les connaître, nous devons faire une étude perceptive: des échantillons sont enregistrés dans ces différents lieux. Ensuite ils sont restitués à des auditeurs et grâce à l'ensemble des réactions de chaque auditeur par rapport aux séquences sonores, nous pourrions déterminer les différents descripteurs. Pour pouvoir connaître les différentes méthodes d'analyse (méthode de questionnement et de catégorisation), il faut introduire en premier lieu les courants théoriques de la psychoacoustique (branche de la psychophysique<sup>1</sup> et de la psychologie<sup>1</sup>).

#### B.3.1.1. Le Béhaviorisme

Créé aux Etats-Unis par le J.B. Watson au début du XX<sup>ème</sup> siècle, ce courant part du postulat que les états de conscience de l'homme ne peuvent pas être mesurés. Ainsi une stimulation physique entraîne une stimulation sensorielle. La stimulation sensorielle est visible soit directement (par une expression écrite) soit par des méthodes d'instrumentations (accélération de la respiration pour l'étude avec les bébés). Pour cette approche, l'étude revient à exprimer, mathématiquement, les stimulations sensorielles en fonction des stimulations physiques (cela vient à calculer une fonction de transfert en mettant en relation les caractéristiques physiques des stimulations parvenant à l'individu avec les caractéristiques physiques des conduits). Le fait de ne pas prendre en compte les états de conscience de l'homme, qui influent sur la perception sensorielle, limite cette théorie. Par contre, on remarquera que la technique expérimentale est basée certaine fois sur le béhaviorisme.

#### B.3.1.2. Gestaltisme

Courant originaire d'Allemagne, il s'est développé parallèlement au béhaviorisme mais est fondamentalement opposé. "Le gestaltisme ne s'intéresse donc pas à la manière dont l'environnement agit sur le système humain, comme le fait le béhaviorisme, mais à la manière dont le système organise l'environnement". Il est également nommé "psychologie de la forme". Dans l'étude de la perception, c'est la conscience, et, plus particulièrement les états de conscience, qui sont les éléments les plus importants. Dans la perception d'un objet, il faut distinguer le fond qui correspond au produit d'associations cérébrales de la forme qui serait la résultante de l'activité du sujet ; la forme est structurante et non pas structurée.

Prenons un exemple commun à tout le monde: c'est le fait de pouvoir reconnaître une mélodie, forme que l'on reconnaît, même si elle est transposée dans un autre ton.

Ainsi que le développe P.Guillaume, l'un des principaux représentants de cette théorie, tous "les faits psychiques sont des *formes*, c'est-à-dire des *unités organiques qui s'individualisent et se limitent dans le champ spatial et temporel de perception ou de représentation*", le principe de base étant qu' "*une partie dans un tout est autre chose que cette partie isolée ou dans un autre tout*".

#### B.3.1.3. Cognitivism

Le cognitivism est l'étude scientifique de la structure et du fonctionnement du système cognitif, c'est-à-dire de l'ensemble de processus mentaux tels la perception, la mémorisation,

le raisonnement et la résolution de problèmes. La psychologie cognitive étudie les états de conscience de l'homme, rejetés par le béhaviorisme.

Le cognitivisme a pris sa source dans le gestaltisme. Le postulat de ce courant est que si le système cognitif e

#### B.3.1.4. Validité écologique

Cette théorie, pensée par J.J. Gibson, introduit le passage d'un test in situ au laboratoire. Il faut que le passage ne corrompe pas l'accès aux données sensorielles par la restitution d'une expérience en laboratoire. C'est-à-dire que la séquence reproduite doit comporter assez d'éléments pour que l'auditeur reconnaisse une activité quotidienne et que le mode de restitution soit le plus proche de la réalité. Plutôt, il faut que les "approximations" ou les "manques" dus à la restitution ne viennent pas empêcher l'auditeur d'atteindre les concepts mentaux auxquelles il aurait accédé s'il était sur place. Ce principe est important pour valider tout test en laboratoire.

#### B.3.1.5. Concept de la catégorisation prototypique

Les bases de la catégorisation ont été posées par Aristote. Dans l'époque plus contemporaine, des hypothèses relatives aux catégories cognitives suivent les traces de Goodnow et Austin.

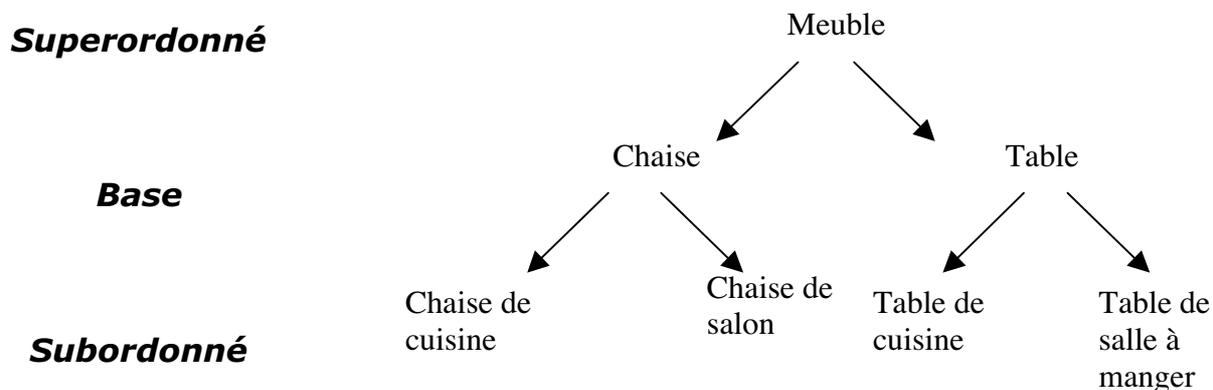
Les deux principes de base à la catégorisation sont :

1. L'économie cognitive est le fait d'accéder à un maximum d'information avec un minimum d'effort cognitif Elle se repose sur la propriété d'inférence: un objet est associé à une et une seule catégorie grâce à ses propriétés. Alors les catégories sont composées d'éléments semblables et se distinguent entre elles par leurs différences. Il faut jongler entre un codage maximum, i.e. les catégories possèdent le maximum d'éléments, et un minimum d'effort cognitif, i.e. elles possèdent le minimum de différences entre elles.
2. Les objets possèdent entre eux des structures corrélées qui réduisent le nombre de catégories. Cela est dû au fait qu'il existe une différence entre le monde perçu et le monde physique.

Grâce à ces deux principes, Rosch propose une organisation à deux dimensions.

##### B.3.1.5.1. Dimension verticale

La dimension verticale se compose du niveau nommé superordonné (en haut de la dimension), du niveau de base et ensuite le niveau subordonné.



Le niveau superordonné est le plus abstrait, le plus général et le plus inclusif. Les différentes catégories de ce niveau possèdent des différences très flagrantes. Ce niveau ne contient pas assez de similarité pour composer une bonne base de codage de l'information: elle n'est pas assez économique "cognitivement".

A contrario, le niveau subordonné se compose d'objets dont les similarités sont trop fortes. A tel point que les mots sont décrits par des groupes nominaux (table de cuisine / table de salle à manger).

Le niveau de base est le niveau qui permet de voir facilement la différence entre différents objets tout en étant dans une même famille (table, chaise de la famille "meuble"). C'est le niveau où le compromis entre les similitudes dans la catégorie (regroupe chaise de cuisine/ chaise de salon) et les différences entre chaque catégorie (chaise, table) est le mieux respecté. Par ailleurs il est important de noter qu'une étude sur la catégorisation d'objets ne peut avoir lieu que dans un contexte, i.e. un environnement et une activité finalisée et pour une classe d'individus de culture et d'expertise similaire. [Guyot-1996]

#### B.3.1.5.2. Dimension horizontale et prototype

Sur un même niveau de catégorisation, les catégories entre elles sont dites floues. En effet, dans certains cas, des objets peuvent aussi bien appartenir à une catégorie qu'à une autre suivant si elles possèdent des similitudes et des différences aussi bien avec l'une qu'avec l'autre. C'est pour cette raison que nous introduisons le principe de prototype. Il sert de référence pour sa catégorie, il possède le plus d'éléments communs avec les membres de sa catégorie et le plus de différences avec les autres. Nous comparons chaque objet à ce prototype pour savoir s'il appartient à cette catégorie. Nous pouvons dire par exemple qu'un canari est plus proche d'un oiseau qu'une autruche.

Mais nous ne parlerons pas de prototype dans notre étude, mais plutôt de modèle le plus représentatif d'une catégorie vue la complexité que peut contenir une catégorie. Ceci correspond à la catégorisation prototypique.

### B.3.2. Questionnaire

#### B.3.2.1. Méthode de la catégorisation libre

Cette méthode doit pouvoir atteindre les catégories qui permettent de discriminer les séquences sonores sans passer par un questionnaire fermé<sup>1</sup> ou sans passer par la valeur du langage. Cette catégorisation n'est fait que par des processus perceptifs.

L'auditeur écoute des séquences sonores. La restitution des séquences sonores doit respecter la validité écologique (cf. 5.1.4.). A la suite de l'écoute, l'auditeur doit créer des groupes avec les séquences sonores. Les séquences doivent appartenir à une et une seule catégorie (même si un groupe n'est formé que d'une seule séquence). Les différentes catégories sont décrites par le sujet et celui-ci doit décrire les caractéristiques, les spécificités de chaque catégorie formée. Une fois le groupe créé, le sujet doit choisir la séquence la plus représentative de cette catégorie qui correspondrait au prototype du groupe.

Nous pouvons donc déterminer une méthode qui découle de l'analyse des différents courants psychologiques cette méthode. Avec, nous pourrions connaître les différents descripteurs qui décrivent un lieu de la ville avec ses différentes variables.

En effet d'après la thèse d'A. Faure [Faure-00], il n'est pas possible de pouvoir décrire un son en fonction du langage, donc il faut faire abstraction du langage pour faire les catégorisations.

---

<sup>1</sup> voir Définitions

#### B.3.2.2 écriture du questionnaire

Pour le questionnaire il faut savoir le sexe, l'âge, si la personne vit en ville depuis longtemps (dans quel cas il n'aura pas forcément la même opinion qu'une personne qui a vécu dans le milieu rural).

Pour la suite il faut vérifier que l'auditeur se retrouve bien dans une ambiance quotidienne: ce qui correspond à une validation écologique.

Ensuite il doit créer des catégories dans lesquels il peut trier les sons. Il doit donner un nom à chaque catégorie et décrire les principales catégories.

Dans chaque catégorie, il choisit l'échantillon sonore le plus représentatif de chaque groupe (qui correspond au prototype). Pour chaque groupe, il faut constituer des nouvelles catégories plus fines selon des critères par rapport aux caractéristiques qui semblent les plus pertinents.

Ces descripteurs devront être validés suivant une étude temps-fréquences des échantillons et également les différentes catégories créées par les auditeurs. Pour cela, les auditeurs font appel à leur sens et la façon de percevoir le monde. Il faut donc nous pencher sur les différents moyens qu'il existe pour la perception sonore.

## B.4 Références

- Manon Raimbault *Simulation des ambiances sonores urbaines: intégration des aspects qualitatifs.*
- Corsin Vogel *Etude sémiotique et acoustique de l'identification des signaux sonores d'avertissement en contexte urbain*
- Catherine Guastavino *Simulation des ambiances sonores urbaines : intégration des aspects qualitatifs*
- Myriam Mzali : *Perception de l'ambiance sonore et évaluation du confort acoustique des trains.* Mémoire de thèse, LAM, janvier 2002.
- Annick Weil-Barais *L'homme cognitif*
- [Guyot 1996] Guyot, Frédérique *Etude de la perception sonore en termes de reconnaissance et d'appréciation qualitative : une approche par la catégorisation* (Thèse). ParisVI: Jussieu 1996.
- [Maffiolo 1999] Maffiolo V. *De la caractérisation sémantique et acoustique de la qualité sonore de l'environnement urbain* (Mémoire de thèse). Le Mans : Université du Maine 1999, 203.
- [Griesinger 1997] D. Griesinger. Spatial impression and envelopment in small rooms. In *Room Acoustics and Simulation Techniques*, New-York, 1977. 103<sup>rd</sup> Convention of the Audio Eng. Society, n°4638.
- [Salava 1999] T.Salava. Subwoofers in small listening rooms. *Room Acoustics*, 4940, Mars 1999. Convention of the Audio Eng. Society, Munich.

## B.5 Définitions

Cognition: la fonction psychique qui assure le recueil, le stockage, la transformation et le traitement des informations que nous recevons du monde extérieur, et à partir desquelles nous élaborons la connaissance du réel. (définition de la *La Philosophie de A à Z* – Hatier)

Paradigme:

Population: ensemble que composent les individus (dans notre cas lieux urbains) sur laquelle les observations se portent

Psychologie: étude scientifique des phénomènes de l'esprit.

Psychophysique: La psychophysique est une discipline qui vise à comparer la mesure d'objets ou de phénomènes, paramétrés par les sciences de la nature, à des réactions ou jugements qu'ils produisent et qui sont analysés selon une méthode de quantification des sensations.

Questionnaire fermé: Le questionnaire fermé est composé de questions qui dirigent les réponses du sujet. L'ordre et le contenu des réponses sont prévus.

## B.6 Contribution des modalités dans l'analyse des modalités.

### Contributions des modalités actives

Libellé	Poids relatif	Distance à l'origine	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
<b>Nb de voies</b>							
nbvoies=0	2,000	9,00000	19,45	1,10	0,22	5,52	1,31
nbvoies=1	6,667	2,00000	0,00	25,65	0,27	0,03	0,83
nbvoies=2	9,000	1,22222	2,16	7,56	8,38	6,44	1,75
nbvoies=3	2,333	7,57143	1,70	4,81	27,41	6,27	0,00
			23,30	39,11	36,28	18,27	3,89
<b>Sens</b>							
Sens=DOUBLE	16,333	0,22449	4,42	0,85	0,08	0,00	0,11
Sens=UNIQUE	3,667	4,45455	19,68	3,78	0,36	0,01	0,47
			24,10	4,63	0,45	0,01	0,58
<b>TMJA</b>							
TMJA=0	1,333	14,00000	10,34	0,03	0,56	5,40	18,56
TMJA=1	4,333	3,61538	1,12	12,09	0,76	2,67	35,15
TMJA=2	3,000	5,66667	0,41	7,61	0,73	0,86	18,07
TMJA=3	3,000	5,66667	0,05	0,04	7,49	11,69	1,88
TMJA=4	0,667	29,00000	5,40	4,16	0,10	6,09	6,22
TMJA=5	7,667	1,60870	5,22	15,40	1,41	1,56	0,01
			22,53	39,33	11,05	28,27	79,90
<b>Type de tissu</b>							
tissu=TO	12,333	0,62162	4,73	1,02	2,08	4,35	0,20
tissu=U	7,667	1,60870	7,60	1,64	3,35	6,99	0,32
			12,33	2,65	5,43	11,34	0,51
<b>largeur entre façade</b>							
largeur=0	5,667	2,52941	10,82	1,32	1,17	1,51	6,24
largeur=1	6,000	2,33333	0,07	0,07	2,51	24,86	5,15
largeur=2	2,667	6,50000	0,63	1,18	26,36	12,49	0,23
largeur=3	2,667	6,50000	2,32	3,92	6,22	0,07	2,16
largeur=4	3,000	5,66667	3,90	7,79	10,53	3,20	1,34
			17,73	14,28	46,79	42,12	15,12

## B.7. Contribution des modalités dans l'analyse des modalités.

### Cosinus carrés des modalités actives

Libellé	Poids relatif	Distance à l'origine	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
---------	---------------	----------------------	-------	-------	-------	-------	-------

#### Nb de voies

nbvoies=0	2,000	9,00000	0,62	0,02	0,00	0,09	0,02
nbvoies=1	6,667	2,00000	0,00	0,69	0,01	0,00	0,01
nbvoies=2	9,000	1,22222	0,11	0,25	0,23	0,17	0,03
nbvoies=3	2,333	7,57143	0,05	0,10	0,48	0,10	0,00

#### Sens

Sens=DOUBLE	16,333	0,22449	0,69	0,08	0,01	0,00	0,01
Sens=UNIQUE	3,667	4,45455	0,69	0,08	0,01	0,00	0,01

#### TMJA

TMJA=0	1,333	14,00000	0,32	0,00	0,01	0,08	0,22
TMJA=1	4,333	3,61538	0,04	0,28	0,01	0,05	0,49
TMJA=2	3,000	5,66667	0,01	0,16	0,01	0,01	0,23
TMJA=3	3,000	5,66667	0,00	0,00	0,13	0,20	0,02
TMJA=4	0,667	29,00000	0,16	0,08	0,00	0,09	0,07
TMJA=5	7,667	1,60870	0,24	0,45	0,04	0,04	0,00

#### Type de tissu

tissu=TO	12,333	0,62162	0,35	0,05	0,08	0,16	0,01
tissu=U	7,667	1,60870	0,35	0,05	0,08	0,16	0,01

#### largeur entre façade

largeur=0	5,667	2,52941	0,43	0,03	0,02	0,03	0,09
largeur=1	6,000	2,33333	0,00	0,00	0,05	0,50	0,08
largeur=2	2,667	6,50000	0,02	0,02	0,47	0,20	0,00
largeur=3	2,667	6,50000	0,08	0,08	0,11	0,00	0,03
largeur=4	3,000	5,66667	0,13	0,17	0,19	0,05	0,02

## B.8 Effectif par groupe

	Reference	Nb de voies	Sens	TMJA	Type de tissu	largeur entre facade
gros trafic	<b>GROUPE</b>	<b>28</b>				
2/3 voies	0	0	0	0	20	4
TO	1	1	28	1	8	4
Double	2	20		1		3
	3	7		5		3
	4			0		2
	5	0	0	21	0	12
	<b>majorité</b>	<b>2/3</b>	<b>DOUBLE</b>	<b>5</b>	<b>TO</b>	<b>?</b>
	somme					
petite trafic	<b>GROUPE</b>	<b>20</b>				
1 voie	0	0	0	0	15	6
TO	1	17	20	9	5	7
Double	2	3		8		1
	3	0		3		2
	4			0		0
	5			0		4
	<b>majorité</b>	<b>1</b>	<b>DOUBLE</b>	<b>1/2</b>	<b>TO</b>	<b>?</b>
	somme					
faible trafic	<b>GROUPE</b>	<b>7</b>				
1 ou 2 voies	0	5	6	4	2	7
rue en U	1	2	1	2	5	0
Unique	2	0		0		0
faible largeur	3	0		0		0
	4			1		0
	5			0		0
	<b>majorité</b>	<b>0/1</b>	<b>UNIQUE</b>	<b>0/1</b>	<b>U</b>	<b>0</b>
	somme					
gros trafic	<b>GROUPE</b>	<b>4</b>				
3 ou 4 voies	0	0	4	0	0	1
rue en U	1	0	0	0	4	2
Unique	2	4		0		1
faible largeur	3	0		1		0
	4			1		0
	5			2		0
à prendre avec des pincettes	<b>majorité</b>	<b>2</b>	<b>UNIQUE</b>	<b>?</b>	<b>U</b>	<b>?</b>



## Annexe C : Analyse typologique urbaine pour la caractérisation des ambiances sonores : application à la ville de Lyon

Cette annexe a été rédigée par Stéphane Lesaux

### C.1 Introduction

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet « Pertinence des descripteurs d'ambiance sonore urbaine », dont l'objectif est de proposer des indicateurs de bruit complémentaires aux indices recommandés par la Commission Européenne, en vue d'une meilleure caractérisation du bruit en milieu urbain et de la gêne exprimée par les citoyens.

Le travail exposé ici constitue la première étape de la démarche générale du projet. Il s'agit d'analyser les sites urbains en fonction de différents paramètres les caractérisant, afin d'en dégager une typologie, c'est-à-dire un ensemble de « classes urbaines » au sein desquelles les sites sont homogènes du point de vue de leurs caractéristiques. Cette typologie permettra dans un second temps d'éprouver la pertinence de divers indicateurs pour décrire les ambiances sonores au sein de ces différentes classes.

Le cas d'étude de l'analyse typologique exposée dans le présent rapport est le deuxième arrondissement de la ville de Lyon.

### C.2 Eléments théoriques d'analyse des données

Il existe de nombreuses méthodes statistiques pour analyser des données. Les méthodes dites descriptives visent à synthétiser un ensemble de données en mettant en valeur ses principales caractéristiques : liaisons entre variables, groupements d'individus homogènes... Nous allons présenter ici les principes généraux de ces méthodes.

#### C.2.1 Un peu de vocabulaire

On appelle population l'ensemble sur lequel portent les observations. Les éléments de la population sont les individus. Dans le cas de notre étude, les individus sont des sites urbains. Les paramètres évalués pour chaque individu sont les variables. Lorsqu'il s'agit de variables nominales ou qualitatives, c'est-à-dire non numériques, les différentes valeurs que peut prendre une variable constituent ses modalités.

On peut transformer des variables numériques en variables nominales, en formant des classes. Par exemple, la variable « Largeur de voie » peut être transformée en variable nominale en définissant les modalités suivantes :

- « inférieure à 10 m »
- « entre 10 et 15 m »
- « entre 15 et 20 m »
- « supérieure à 20 m »

L'effectif associé à la modalité d'une variable est le nombre d'individus qui possèdent cette modalité.

### C.2.2 Analyse en Composantes Principales et Analyse des Correspondances Multiples

L'objet de ces analyses dites factorielles est d'extraire les principales informations contenues dans un grand tableau de données. Il s'agit d'étudier les relations entre les différentes variables considérées ainsi que la ressemblance entre les individus. Une représentation imagée des données permet de faciliter l'interprétation.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'Analyse factorielle des Correspondances Multiples (ACM) fonctionnent selon le même principe, la différence concerne essentiellement la nature des données : l'ACP traite des variables quantitatives alors que l'ACM porte sur des données qualitatives. Ces analyses sont intéressantes et efficaces lorsque le tableau de données est suffisamment grand (au moins plusieurs dizaines d'individus pour une dizaine de modalités).

#### *Description de la méthode ACM*

Le tableau de données comporte un certain nombre d'individus (dans notre étude, il s'agit de sites urbains) qui sont caractérisés par un certain nombre de variables. Un individu est complètement décrit par les valeurs qu'il prend pour les variables considérées. Ainsi, un individu peut être représenté par un point dans un espace à  $p$  dimensions où  $p$  est le nombre de modalités (chaque modalité constitue un axe de cet espace). L'ensemble des individus constitue alors un nuage de points dans cet espace.

L'ACM permet de réduire la dimension de cet espace en perdant le moins d'information possible. La méthode consiste à déterminer un nouvel espace (un nouveau référentiel) en construisant des axes qui sont des combinaisons linéaires des axes initiaux, c'est-à-dire des combinaisons linéaires des modalités. Ces axes sont construits de telle manière que le premier facteur explique le mieux la variabilité des données, le deuxième explique le mieux la variabilité du résidu non pris en compte par le premier, et ainsi de suite. On peut ainsi réduire l'espace des données en rejetant les derniers axes factoriels qui expliquent le moins la variabilité des données. A chaque axe factoriel est associé un nombre traduisant la part d'explication que renferme cet axe vis-à-vis de la répartition des données : ce nombre est appelé taux d'inertie.

A l'issue d'une ACM, plusieurs informations sont fournies pour interpréter les résultats :  
la valeur propre associée à chaque axe factoriel, qui correspond au taux d'inertie de cet axe ;  
des représentations graphiques planes, qui permettent de visualiser la répartition des individus ou des variables par rapport aux différents axes factoriels ;  
des éléments permettant d'interpréter les axes factoriels et d'indiquer la qualité de la représentation.

Pour l'analyse, certains éléments du tableau de données peuvent être définis comme éléments supplémentaires, c'est-à-dire qu'ils ne seront pas pris en compte dans les calculs (construction des axes) mais qu'ils pourront être ensuite utilisés lors de l'interprétation. Ces éléments supplémentaires peuvent être des individus ou des variables.

### C.2.3 Classification automatique

La classification automatique, aussi appelée analyse typologique, vise à former des groupes d'individus les plus homogènes possibles vis-à-vis des variables les caractérisant. Autrement dit, il s'agit de regrouper les individus ayant des caractéristiques semblables du point de vue des variables considérées : ainsi, les individus appartenant à une même classe seront décrits par des combinaisons de modalités très proches.

La démarche générale consiste à choisir un critère qui mesure la qualité d'une partition, puis à déterminer une partition qui optimise ce critère. Le critère choisi est souvent le critère d'inertie inter-classes. La notion d'inertie généralise au cas multidimensionnel la notion de variance. L'inertie inter-classes mesure ainsi l'écartement entre les groupes, et l'inertie intra-classes mesure la dispersion au sein de chacun des groupes. L'inertie totale d'un ensemble d'individus est la somme des inerties inter-classes et intra classes :

$$\text{Inertie totale} = \text{Inertie inter} + \text{Inertie intra}$$

Avec cette relation, on voit que plus l'inertie inter sera importante moins l'inertie intra le sera ; en d'autres termes, une bonne partition des individus correspondra à une inertie inter forte (les groupes sont bien différenciés les uns des autres) et une inertie intra faible (les groupes sont homogènes). En fait, la meilleure partition correspondra au cas où chaque individu constitue une classe. Ce cas limite n'est bien sûr pas intéressant, et il s'agira alors de trouver un compromis entre nombre de classes limité et bonne qualité de la partition (plus le nombre de classes sera important, plus la partition sera de qualité, mais avoir un nombre important de classes n'est pas l'objectif d'une classification, au contraire).

Il existe deux grands types de méthodes de classification : les méthodes hiérarchiques et les méthodes non hiérarchiques.

Avec les méthodes hiérarchiques, on obtient une succession de partitions emboîtées : les groupes sont obtenus par regroupements successifs (on parle alors de méthode hiérarchique ascendante) ou par scissions successives (c'est alors une méthode hiérarchique descendante) ; on choisit alors une partition plus ou moins fine, selon sa qualité et le nombre de classes qu'elle comporte. Les résultats sont représentés sous la forme d'un arbre hiérarchique appelé dendrogramme. Il est associé à un indice de niveau qui indique le niveau où les groupements sont réalisés ; plus l'indice est élevé, plus les groupes sont hétérogènes. On détermine le nombre optimum de classes à l'aide du dendrogramme.

Dans le cas des méthodes non hiérarchiques, le nombre de classes est fixé dès le début de la méthode et les individus sont affectés à ces différentes classes selon un processus itératif. Les deux types de méthodes possèdent des avantages et des inconvénients et il est souvent intéressant et utile de combiner les deux approches afin d'évaluer la qualité de la typologie obtenue, et également pour déterminer des « formes fortes », c'est-à-dire des groupes d'individus qui sont récurrents par toutes les méthodes de classification.

En général, le fait d'effectuer la classification dans l'espace factoriel créé précédemment par ACP ou ACM permet d'améliorer la partition.

### C.3 Description des données analysées

Les données qui ont été étudiées concernent un ensemble de sites urbains du deuxième arrondissement de Lyon. Les données ont été fournies par l'association Acoucité et la Communauté Urbaine de Lyon.

Ces données sont confidentielles et ne sont pas exploitables en tant que données, mais constituent un fond documentaire pour l'établissement de la maquette. Pour l'exploitation de cette maquette, nous utiliserons les données fournies par les partenaires du contrat.

Les sites urbains considérés sont ceux du classement des infrastructures de transports terrestres bruyantes, effectué par la DDE du Rhône. Ils sont rassemblés en annexe.

81 sites urbains ont ainsi été décrits par 10 variables. Certaines variables ont été évaluées à l'aide du SIG MapInfo, avec les données fournies par le Grand Lyon : largeur de voie, pente, courbure, et degré d'ouverture. Les variables numériques ont été transformées en variables

Annexe C

nominales, en formant des classes. Le tableau ci-dessous résume les différentes variables retenues pour caractériser les sites urbains, et leurs modalités.

<b>Variables</b>	<b>Modalités</b>
Configuration	Tissu ouvert
	En U
Trafic véhicules (trafic journalier moyen)	< 5 000 véh.
	5 000 – 10 000 véh.
	10 000 – 15 000 véh.
	15 000 – 20 000 véh.
	20 000 – 25 000 véh.
	> 25 000 véh.
Trafic bus (trafic journalier moyen)	0 véh.
	1 – 100 véh.
	100 – 200 véh.
	200 – 300 véh.
	300 – 400 véh.
	400 – 500 véh.
	> 500 véh.
Pourcentage de poids lourds	5 %
	10 %
	15 %
Largeur de voie	< 10 m
	10 – 15 m
	15 – 20 m
	> 20 m
Sens de circulation	Double
	Unique
Pente	0 %
	1 %
	2 %
Courbure de la voie	Nulle (voie droite)
	Légère
Degré « d'ouverture » - pour les tissus ouverts : champ libre ou configuration en L - pour les tissus en U : hauteur du bâti / largeur entre les façades	Champ libre (tissu ouvert)
	En L (tissu ouvert)
	0 – 1
	1 – 2
	> 2
Niveau sonore LAeq(6h-22h)	> 81 dB(A)
	76 – 81 dB(A)
	70 – 76 dB(A)
	65 – 70 dB(A)

Afin de déterminer une typologie des sites urbains, une analyse des correspondances multiples suivie d'une classification ont été effectuées, à l'aide du logiciel SPAD. Les résultats généraux de cette analyse sont présentés dans la partie suivante. D'autres éléments sont détaillés en annexe, en même temps que l'explication des sorties SPAD.

## C.4 Présentation des résultats de l'analyse factorielle et de la classification

### C.4.1 Analyse factorielle des correspondances multiples

Le tableau ci-dessous récapitule les variables et modalités finales qui ont servi à caractériser les sites urbains du deuxième arrondissement de Lyon. Certaines modalités considérées initialement (et présentées dans le tableau de la partie précédente) ne sont pas présentes dans la population des sites étudiés, et ne sont donc plus prises en compte dans la suite de l'analyse (par exemple les modalités « Trafic de véhicules < 5 000 » et « Niveau sonore < 65 dB(A) »).

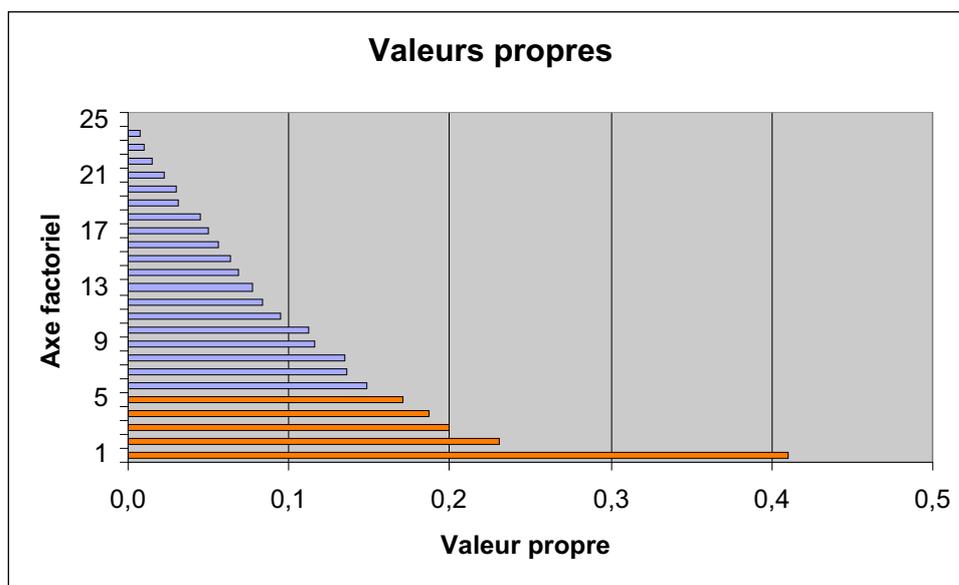
<b>Variables</b>	<b>Modalités</b>	<b>Effectif (avant apurement)</b>
Configuration	Tissu ouvert	47
	En U	34
Trafic de véhicules (trafic journalier moyen)	5 000 – 10 000	38
	10 000 – 15 000	14
	15 000 – 20 000	11
	20 000 – 25 000	5
	> 25 000	13
Trafic de bus (trafic journalier moyen)	0	16
	1 – 100	8
	100 – 200	16
	200 – 300	14
	300 – 400	12
	400 – 500	7
	> 500	8
Pourcentage de poids lourds	5 %	71
	10 %	9
	15 %	1
Largeur de voie	< 10 m	18
	10 – 15 m	30
	15 – 20 m	14
	> 20 m	18
	<i>Réponse manquante</i>	1
Sens de circulation	Double	37
	Unique	44
Pente	0 %	52
	1 %	24
	2 %	5
Courbure de la voie	Nulle (voie droite)	72
	Légère	9

Annexe C

Degré « d'ouverture » - pour les tissus ouverts : champ libre ou configuration en L - pour les tissus en U : hauteur du bâti / largeur entre les façades	Champ libre (tissu ouvert)	17
	En L (tissu ouvert)	30
	0 – 1	9
	1 – 2	12
	> 2	13
Niveau sonore LAeq(6h-22h)	> 81 dB(A)	1
	76 – 81 dB(A)	6
	70 – 76 dB(A)	53
	65 – 70 dB(A)	21

Les modalités en italique représentent les modalités pour lesquelles un apurement a eu lieu. L'apurement consiste à éliminer les modalités très peu représentées au sein de la population étudiée ; cela rend l'ACM plus robuste.

L'ACM crée des axes factoriels à partir des modalités conservées (qui sont dites actives). Le tableau des valeurs propres montre que les cinq premiers axes factoriels expliquent déjà une grande partie de la répartition des sites urbains (ils expliquent près de 50% de la variabilité des individus).



Les axes factoriels ont été construits comme des combinaisons linéaires des modalités initiales. Ils peuvent donc être décrits à partir de celles-ci. Le tableau ci-dessous présente les cinq premiers facteurs avec les variables qui les caractérisent le plus.

Axe factoriel	Variables caractéristiques
Axe 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degré d'ouverture</li> <li>- Largeur de voie</li> <li>- Configuration</li> <li>- Trafic (total et bus)</li> <li>- Sens de circulation</li> </ul>
Axe 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trafic</li> <li>- Largeur de voie</li> <li>- Niveau sonore</li> <li>- Degré d'ouverture</li> </ul>
Axe 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trafic de bus</li> <li>- Largeur de voie</li> <li>- Degré d'ouverture</li> <li>- Pourcentage de PL</li> </ul>
Axe 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trafic</li> <li>- Niveau sonore</li> <li>- Degré d'ouverture</li> </ul>
Axe 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Degré d'ouverture</li> <li>- Niveau sonore</li> <li>- Trafic de bus</li> <li>- Configuration</li> </ul>

Le premier facteur concerne les caractéristiques géométriques des sites (configuration, largeur de voie, ouverture), ainsi que leur trafic. Les autres axes sont moins différenciés entre eux par rapport aux variables, mais ils se différencient en fait par rapport aux modalités qui les caractérisent (elles ne sont pas indiquées dans le tableau).

On peut déjà noter que les variables Pente et Courbure n'interviennent pas dans ces cinq premiers axes factoriels. Ils expliquent donc peu la répartition des sites, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'ils sont totalement indépendants des autres variables, et sont donc peu représentatifs des sites.

Si l'on regarde de plus près la description des axes factoriels par les modalités, on s'aperçoit que l'axe 1 oppose de façon très nette les sites en U, très fermés, de faible largeur, à sens unique et de faible trafic (typiquement la rue Gentil) avec les sites en tissu ouvert, à double sens, de forte largeur de voie avec un trafic très important (typiquement le quai de Perrache). En regardant le tableau de Burt, qui croise toutes les modalités deux à deux, on voit que les variables intervenant dans le premier axe sont assez liées entre elles : il est clair que des rues en U de faible largeur de voie entraînent une faible ouverture et un faible trafic, et sont souvent à sens unique.

L'axe 2 différencie de la même manière les sites de largeur de voie importante, à double sens, et avec un trafic fort, avec les sites à sens unique, ayant une largeur de voie et un trafic moins importants (ici la configuration et l'ouverture n'interviennent pas).

On peut observer la répartition des sites dans le plan factoriel défini par ces deux premiers axes.

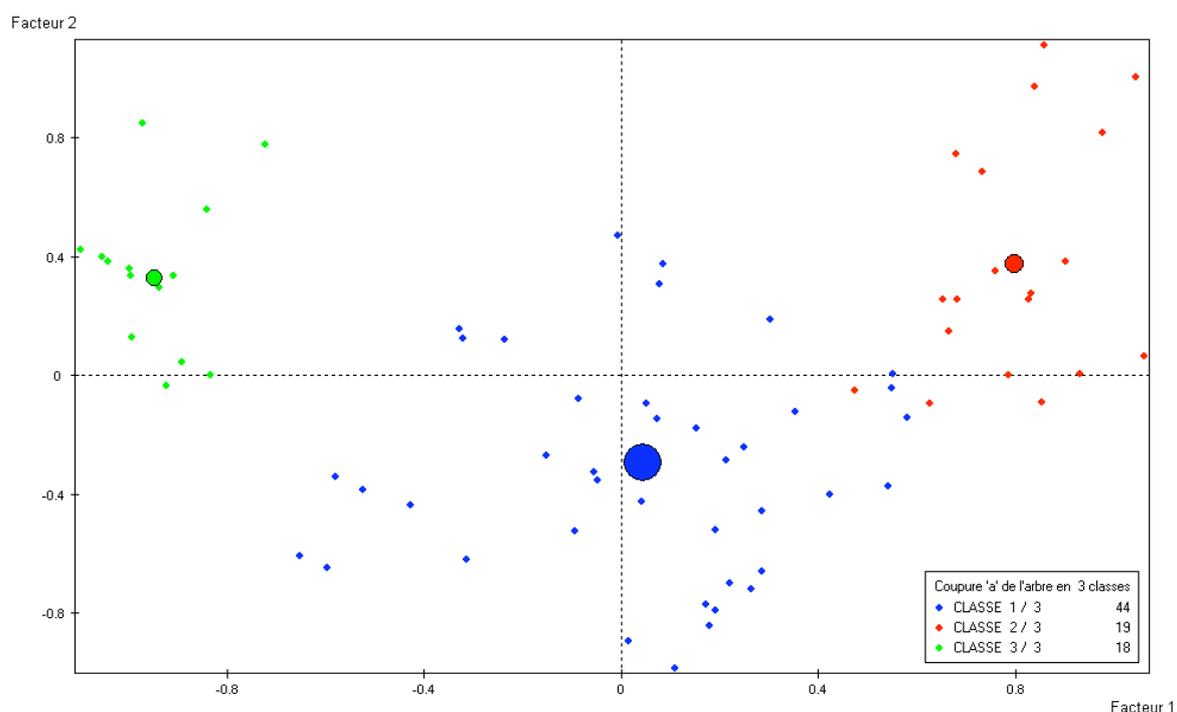


### Annexe C

Plus le nombre de groupes est important, plus la partition est fiable (les groupes sont plus homogènes), mais on perd en synthèse de l'information. Pour cette raison, on peut déjà écarter la partition en 9 classes, qui donne des groupes de très faible effectif, peu pertinents. Il reste donc à choisir entre une partition à 3 classes et une partition à 6 classes.

Pour ces deux partitions, il y a une classe invariante (en vert sur le graphique ci-dessous). Elle comprend exclusivement des rues en U, étroites (< 10 m), et avec un trafic faible (< 10 000 véh en trafic journalier). Elles sont pour la majorité à sens unique, et plutôt fermées.

Dans la partition à trois classes, l'un des deux groupes restants (en rouge sur le graphique ci-dessous) est constitué par des sites en tissu ouvert (surtout en champ libre), à double sens de circulation, avec des voies plutôt larges. Le dernier groupe est assez hétérogène : il regroupe à la fois des rues en U et des tissus ouverts, des sens uniques et des doubles sens, des largeurs de voie et des trafics très variables... La représentation des classes sur le plan factoriel défini par les deux premiers axes montre d'ailleurs l'hétérogénéité de cette classe (en bleu). Cette classe possède l'effectif le plus important.



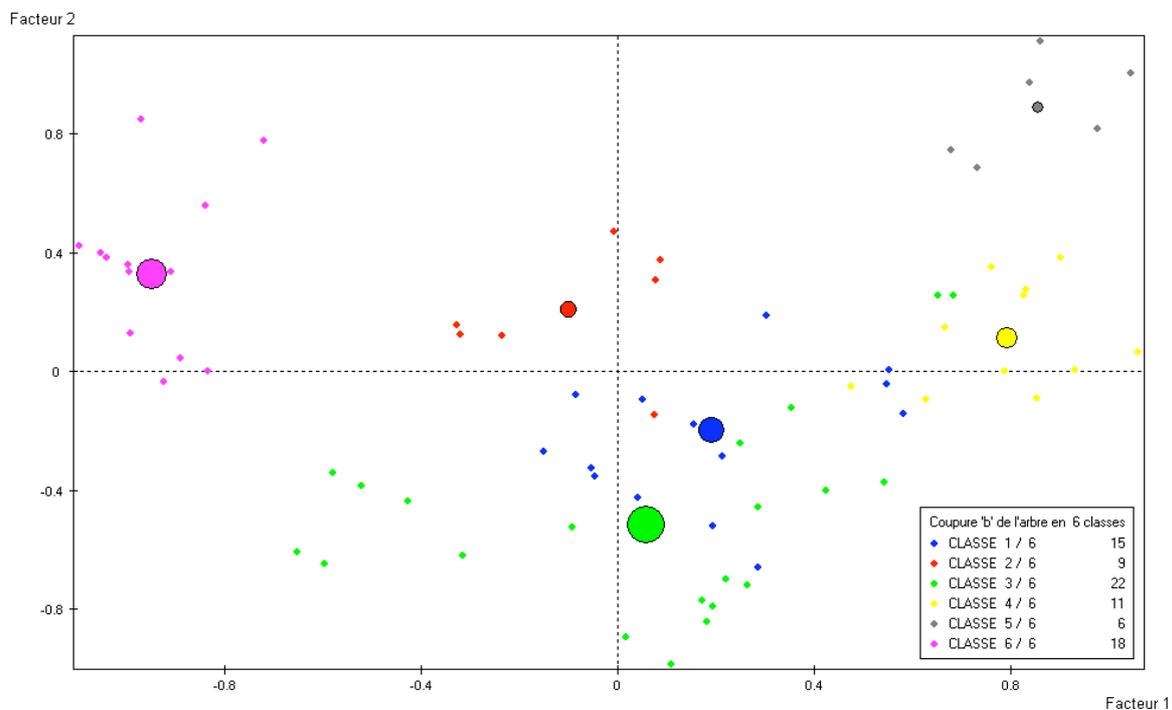
La partition en 6 classes peut améliorer l'homogénéité des groupes. On voit sur le dendrogramme précédent que le groupe très hétérogène va se scinder en trois groupes lors du passage à 6 classes. Cette partition donne les groupes suivants :

- Classe 1 : tissus ouverts en L, avec un faible niveau sonore associé à des trafics pas très élevés, souvent en sens unique ;
- Classe 2 : rues en U à double sens de circulation, plutôt assez ouvertes, avec des trafics pas très élevés ;
- Classe 3 : c'est une classe hétérogène qui ne possède pas de caractéristiques très marquées ;
- Classe 4 : tissus ouverts à double sens de circulation, de largeur de voie moyenne, de trafic assez dense et avec un fort pourcentage de poids lourds ;
- Classe 5 : tissus ouverts à double sens de circulation, de largeur de voie assez importante, et avec un trafic très dense ;

Annexe C

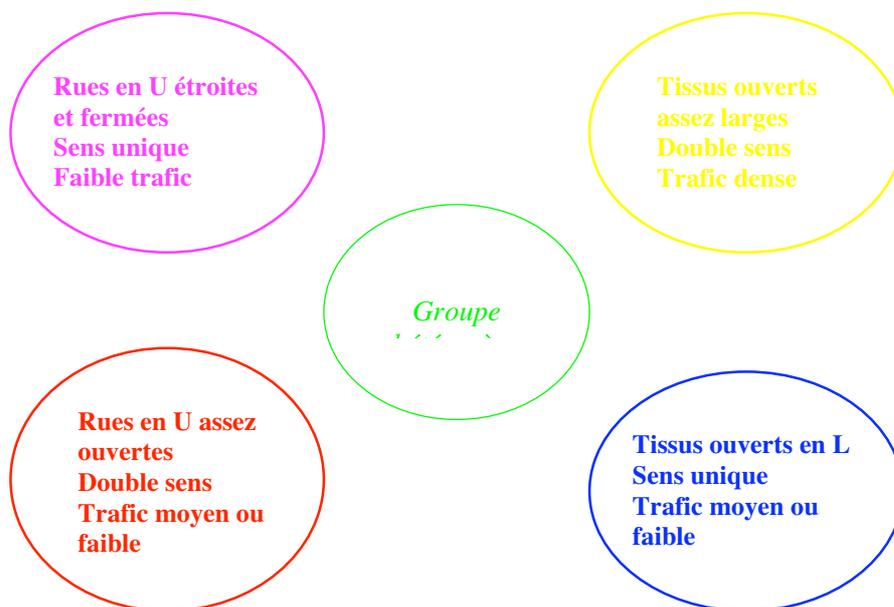
- Classe 6 : groupe des rues en U, étroites et fermées, à faible trafic et majoritairement à sens unique.

On obtient la représentation graphique ci-dessous (dans l'espace factoriel des deux premiers axes).



Il apparaît donc que la partition en 6 classes est la plus pertinente pour notre étude, bien qu'il reste un groupe hétérogène. De plus, on note que les classes 4 et 5 sont assez proches, et se différencient surtout par la modalité « Pourcentage de poids lourds », ce qui n'est pas très intéressant, d'autant que la fiabilité de cette donnée n'est pas assurée.

En regroupant ces classes, on obtient finalement la typologie de sites suivante :



## C.5 Discussion et conclusion

L'analyse qui vient d'être faite peut être améliorée ou complétée par des analyses ultérieures.

Les données qui ont été étudiées (classement des infrastructures de transports terrestres) sont issues de modèles et ne sont pas toujours très fiables (notamment le pourcentage de poids lourds). Elles ont été utilisées car elles combinaient à la fois des données de trafic et des données de niveau sonore. Par la suite, on pourra utiliser plutôt les comptages de la ville de Lyon pour les données de trafic, et des relevés de mesures pour les données acoustiques. Il faudra en outre étendre l'analyse à tous les arrondissements de Lyon.

Par ailleurs, on constate que le niveau sonore LAeq(6h-22h) intervient peu dans la typologie, ce qui renforce l'idée que cet indicateur est insuffisant pour décrire les ambiances sonores urbaines. Des indicateurs variés pourront être testés. En fait, il n'est pas nécessaire d'introduire ces indicateurs en tant que variables actives pour la typologie : il suffit de les définir comme variables illustratives. Ainsi, les indicateurs ne perturberont pas la construction de la typologie des sites urbains, et ils seront quand même présents pour l'interprétation des classes, ce qui permettra d'éprouver leur pertinence vis-à-vis des différents groupes constitués sans modifier ces groupes. Cependant, il est possible également de les introduire directement dans les analyses, et de comparer les typologies obtenues avec différents indicateurs.

Concernant les variables à retenir pour caractériser les sites, on peut faire plusieurs remarques.

Tout d'abord, la variable « Degré d'ouverture » semble être assez pertinente pour décrire les sites urbains ; il peut être intéressant de la conserver.

La variable « Trafic de bus » peut être utile, mais elle n'est pas évidente à interpréter. On peut la garder mais il faudrait réduire le nombre de modalités.

Les variables « Pente » et « Courbure » sont également intéressantes bien qu'elles ne soient pas beaucoup intervenues dans la classification présentée précédemment. Elles pourraient devenir plus importantes lorsque des sites tels que les pentes de la Croix rousse ou de Fourvière sont présents. La variable « Pente » pourrait alors être déclinée en deux modalités : « < 2% » et « > 2% ».

La variable « Pourcentage de poids lourds » est peu intéressante ; on peut l'éliminer.

Les variables « Largeur de voie » et « Sens de circulation » sont à conserver. On pourrait aussi rajouter une variable « Nombre de voies ».

Au niveau du trafic routier, il sera intéressant d'utiliser les trafics pendant les périodes sensibles : petit matin d'une part (6h-7h) et soirée d'autre part (20h-22h ou 23h). On pourra ainsi comparer les typologies obtenues en périodes sensibles et en période globale.



## Annexe D : Verbalisation et catégorisation libre

### D.1 les instructions du test

Identifiant (initiales ou pseudo)<sup>2</sup>:

Genre : Homme  Femme

Age :

Profession :

Vous avez bien voulu participer à ce test de perception qui concerne votre expérience du bruit de la ville et nous vous en remercions.

Vous avez sur l'écran deux fenêtres. La première concerne le questionnaire que vous êtes actuellement en train de lire. La deuxième fenêtre permet d'écouter les séquences sonores. Chaque icône (numéroté de 1 à 22) représente une séquence sonore. Pour écouter une séquence sonore, il vous suffit de double-cliquer sur l'icône correspondante.

Vous pouvez réécouter les séquences sonores autant de fois que vous le souhaitez avant de répondre aux questions.

#### 1<sup>er</sup> test : verbalisation

Dans un premier temps, vous allez entendre 22 séquences sonores enregistrées dans diverses situations urbaines. Nous vous demandons de les écouter une par une et de bien vouloir répondre aux questions suivantes dans le tableau de la page suivante.

2<sup>ème</sup> colonne : Avez-vous l'impression de vous retrouver dans une situation de tous les jours ? Si oui, laquelle et pour quelles raisons ?

3<sup>ème</sup> colonne : Pouvez-vous indiquer le type de lieu dans lequel vous imaginez être et vous situez-vous dans ce lieu ?

4<sup>ème</sup> colonne : Pouvez-vous préciser également à quelle période de la journée ces séquences sonores peuvent se produire ?

#### 2<sup>ème</sup> test : catégorisation libre

Vous avez donc entendu chacune des séquences individuellement. Maintenant, nous vous demandons de **regrouper ensemble les séquences sonores qui selon vous se ressemblent.**

Vous êtes libre de faire autant de groupes que vous voulez, avec dans chacun le nombre de séquences que vous souhaitez. Pour cela, vous pouvez déplacer les icônes sur l'interface en faisant des groupes.

---

<sup>2</sup> Nous vous demanderons de reporter le même identifiant lorsque celui-ci vous sera demandé

#### Annexe D

Une fois les groupes réalisés, il vous suffit de les sélectionner à l'aide de la souris, de les nommer et de reporter ce nom dans le tableau ci-dessous.

Pouvez-vous indiquer **la séquence sonore qui représente le mieux chaque groupe** et préciser son degré de représentativité (un entier entre 1 et 7, où 1 = peu représentatif et 7 = très représentatif). Pouvez-vous expliquer les raisons de votre choix dans la case réservée aux commentaires ci-dessous.

Pouvez-vous décrire les principales caractéristiques de chacun des groupes que vous avez créés et expliquer votre choix. Vous pouvez également commenter les séquences individuellement.

#### **3ème test : gêne et miscellanées**

Quelle est la séquence que vous trouvez la plus gênante? Pour quelles raisons?

Quelle est la séquence que vous trouvez la moins gênante ? Pour quelles raisons ?

Y a-t-il une séquence (ou plusieurs) qui vous rappelle le plus le lieu dans lequel vous habitez ? Laquelle ? Pour quelles raisons ?

Pouvez-vous décrire le type de lieu dans lequel vous habitez et plus particulièrement ses particularités sonores ?

N'hésitez pas à nous faire des commentaires, ils nous seront bien utiles !

Merci beaucoup pour votre participation à ce test.

### **D.2 les 22 séquences sonores**

Les enregistrements ont eu lieu sur 6 sites nommés :

Voltaire – Fritz – Guillaume – Blackstone – Perrache – Grenoble

Ces sites se répartissent dans les 4 classes de la manière suivante :

- Voie à double sens, trafic important, plusieurs voies de circulation : Fritz et Voltaire
- Voie à sens unique, trafic important, plusieurs voies de circulation : Grenoble
- Voie à double sens, trafic peu important, 2 voies de circulation : Blackstone
- Voie à sens unique, trafic peu important, 1 voie de circulation : Perrache et Guillaume

Les enregistrements ont été réalisés sur deux périodes horaires, 6h-9h et 20h-minuit. Pour chaque site, deux séquences ont été extraites de la période du matin et deux autres de la période du soir. Par exemple, pour le site de Perrache, les séquences sont nommées ainsi :

- Perrache\_6\_1 et Perrache\_6\_2 correspondent aux deux séquences extraites de la période 6h-9h (1 et 2 indiquant un ordre chronologique, cf. tableau suivant).
- Perrache\_20\_1 et Perrache\_20\_2 correspondent aux deux séquences extraites sur la période 20h- minuit. A noter, que pour le site de Grenoble, il n'y a qu'une séquence le matin et qu'une le soir, ceci étant dû à des problèmes météorologiques qui ont restreint la durée d'enregistrement exploitable.
- 

Lors de la mise en place du test, les 22 séquences sonores ont reçu, de manière aléatoire, un numéro.

Séquence n°	Nom	Instant de début de séquence
1	Guillaume_6_2	7h 51min 36s
2	Perrache_20_1	20h 20min 43s
3	Fritz_6_1	6h 31min 39s
4	Guillaume_20_2	23h 36min 00s
5	Blackstone_20_2	22h 45min 50s
6	Perrache_6_2	8h 10min 12s
7	Fritz_20_2	22h 55min 25s
8	Voltaire_20_1	20h 30min 30s
9	Blackstone_20_1	20h 33min 12s
10	Voltaire_6_1	6h 34min 10s
11	Guillaume_20_1	20h 43min 12s
12	Grenoble_20_1	23h 37min 21s
13	Blackstone_6_1	7h 10min 29s
14	Perrache_6_1	6h 25min 40s
15	Voltaire_20_2	23h 31min 19s
16	Guillaume_6_1	6h 12min 25s
17	Grenoble_6_1	6h 03min 54s
18	Voltaire_6_2	8h 32min 34s
19	Fritz_6_2	7h 54min 45s
20	Perrache_20_2	22h 21min 53s
21	Blackstone_6_2	8h 34min 55s
22	Fritz_20_1	20h 25min 59s

### D.3 l'analyse arborescente

#### D.3.1 analyse des objets

Méthode d'agrégation : Barthélémy & Guénoche

Longueur moyenne des arêtes externes = 17.61253

Longueur moyenne des arêtes internes = 7.297434

Rapport Internes/Externes = 0.4143

Distance moyenne = 75.6001587

Arboricité = 0.717429936

Evaluation des critères

Ecart moyen = -0.141312346 (distance surévaluée)

Déformation moyenne (en %) = 11.4927

Moyenne quadratique des écarts = 10.38312 (.../Dmoy = 0.1373)

Variance expliquée = 0.7764

Corrélation = 0.8822

Stress = 0.1324

Taux de quadruplets bien représentés = 0.7723

Taux de quadruplets supportant chaque arête interne :

arête 23 -- 25 : 19 / 19 = 1.0000

arête 24 -- 27 : 49 / 51 = 0.9608

arête 25 -- 27 : 30 / 68 = 0.4412

Annexe D

arête	26	--	36	:	13	/	19	=	0.6842
arête	27	--	28	:	24	/	96	=	0.2500
arête	28	--	34	:	75	/	75	=	1.0000
arête	29	--	30	:	8	/	19	=	0.4211
arête	30	--	32	:	10	/	36	=	0.2778
arête	31	--	39	:	46	/	51	=	0.9020
arête	32	--	40	:	33	/	51	=	0.6471
arête	33	--	35	:	50	/	91	=	0.5495
arête	34	--	35	:	29	/	156	=	0.1859
arête	35	--	37	:	94	/	168	=	0.5595
arête	36	--	39	:	35	/	68	=	0.5147
arête	37	--	38	:	15	/	99	=	0.1515
arête	38	--	41	:	64	/	100	=	0.6400
arête	39	--	42	:	46	/	360	=	0.1278
arête	40	--	42	:	152	/	240	=	0.6333
arête	41	--	42	:	68	/	275	=	0.2473

Taux de quadruplets élémentaires = 0.4212

### D.3.2 analyse des sujets

Méthode d'agrégation : Barthélémy & Guénoche

Longueur moyenne des arêtes externes = 12.09260

Longueur moyenne des arêtes internes = 1.941738

Rapport Internes/Externes = 0.1606

Distance moyenne = 29.9724522

Arboricité = 0.633333325

Evaluation des critères

Ecart moyen = 6.53946251E-02 (distance sous-évaluée)

Déformation moyenne (en %) = 4.9134

Moyenne quadratique des écarts = 1.913664 (.../Dmoy = 0.0638)

Variance expliquée = 0.8517

Corrélation = 0.9230

Stress = 0.0632

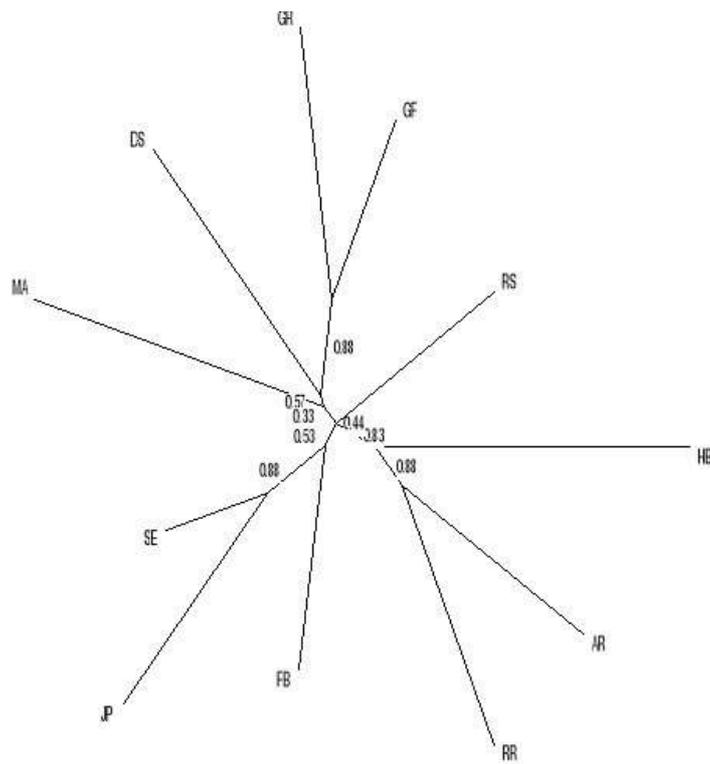
Taux de quadruplets bien représentés = 0.7212

Taux de quadruplets supportant chaque arête interne :

arête	12	--	17	:	7	/	8	=	0.8750
arête	13	--	16	:	7	/	8	=	0.8750
arête	14	--	15	:	7	/	8	=	0.8750
arête	15	--	18	:	25	/	30	=	0.8333
arête	16	--	19	:	8	/	14	=	0.5714
arête	17	--	18	:	16	/	30	=	0.5333
arête	18	--	20	:	16	/	36	=	0.4444
arête	19	--	20	:	6	/	18	=	0.3333

Annexe D

Taux de quadruplets élémentaires = 0.6053

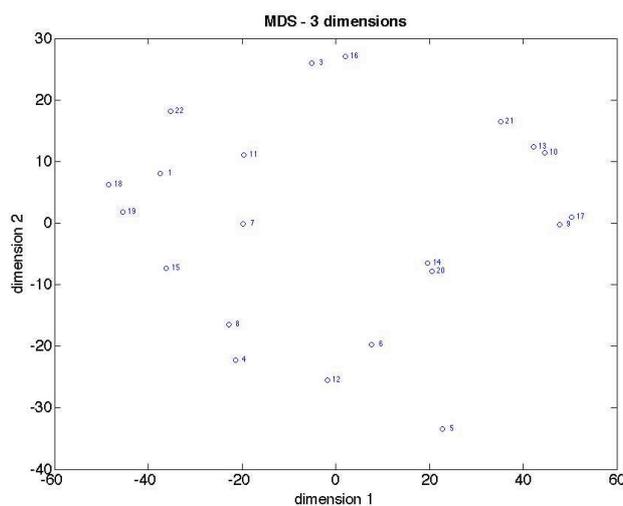


### D.4 analyse multidimensionnelle

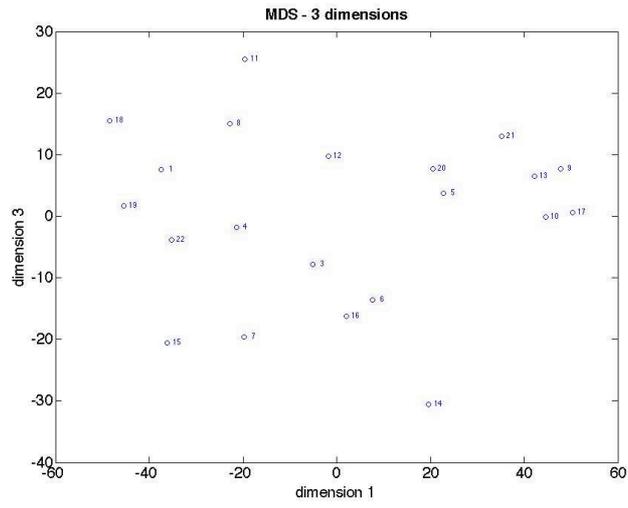
analyse à 3 dimensions

Stress = 0.0679

L'analyse à 4 dimensions ne modifie pratiquement pas la répartition des objets dans ces deux plans.



Annexe D



## Annexe E : Analyse statistique des files d'attentes

### E.1 Base

#### E.1.1 Principe

Les événements qui constituent le file d'attente sont distribués selon une loi de Poisson. Si l'on appelle T le temps d'observation, la probabilité d'observer N événements pendant le temps T est donnée par :

$$P_N(T) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^N}{N!}$$

où  $\lambda$  est une fonction de T, notée  $\lambda(T)$  seulement lorsque c'est nécessaire.

Le calcul permet alors d'évaluer :

$$\begin{aligned} \square \text{ la valeur moyenne} & \quad m = \sum_N N P_N(T) = \lambda \\ \square \text{ la valeur quadratique moyenne} & \quad m_2 = \sum_N N^2 P_N(T) = \lambda(\lambda + 1) \end{aligned}$$

et donc la variance  $\sigma^2 = m_2 - m^2 = \lambda$

On voit donc que la loi de Poisson ne dépend que du seul paramètre  $\lambda$ .

#### E.1.2 indépendance statistique

Les événements qui surviennent pendant les temps d'observation T et T' disjoints sont indépendants. Cela se traduit par l'équation :

$$P_N(T + T') = \sum_{n+n'=N} P_n(T) P_{n'}(T') = e^{-(\lambda+\lambda')} \frac{(\lambda + \lambda')^N}{N!}$$

En particulier, cette loi est valable pour des intervalles de temps T et T' très petits, voir infinitésimaux  $T'=dT$ . Dans ce dernier cas, on obtient  $\lambda'=d\lambda(T) = \lambda'(T)dT$ , où  $\lambda'$  est la dérivée de  $\lambda$  par rapport à T.

On généralise en écrivant :

$$P_N(T) = e^{-\lambda(T)} \frac{[\lambda(T)]^N}{N!}$$

#### E.1.3 probabilité d'attente

La probabilité d'attente entre deux événements est donné par l'expression :

$$p(t)dt = P_{N=0}(t)P_{N \geq 1}(dt)$$

$$\text{où } P_{N=0}(t) = e^{-\lambda(t)} \frac{[\lambda(T)]^0}{0!} = e^{-\lambda(t)}$$

$$\text{et } P_{N \geq 1}(dt) = 1 - P_{N=0}(dt) = 1 - e^{-\lambda'(t)dt} \approx \lambda'(t)dt \text{ au premier ordre en } dt.$$

$$\text{Nous obtenons : } p(t)dt \approx e^{-\lambda(t)} \lambda'(t)dt$$

La probabilité d'attente d'un événement est donc exponentielle.

## E.2 Propriétés avancées

### E.2.1 Fonction caractéristique

La fonction caractéristique d'une distribution de Poisson s'obtient par la transformée en  $z$  :

$$\Phi(z, T) = \sum_N z^N P_N(T) = e^{-\lambda} \sum_N \frac{(\lambda z)^N}{N!} = e^{-\lambda(1-z)}$$

où  $z = e^{-i\omega}$

### E.2.2 Fonction cumulante

Par définition, la fonction cumulante est le logarithme népérien de la fonction caractéristique, au signe près :

$$\Psi(z, T) = -\log \Phi(z, T) = \lambda(1-z)$$

ou, en fonction de  $\omega$  :

$$\Psi(\omega, T) = \lambda(1 - e^{-i\omega})$$

En développant l'exponentielle, les deux premiers termes de la fonction cumulante redonnent la valeur moyenne et la variance :

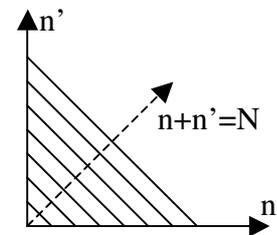
$$\Psi(\omega, T) \approx \lambda \left( 1 - \left( 1 - i\omega - \frac{\omega^2}{2} \right) \right) = i\omega\lambda + \frac{\omega^2}{2}\lambda = i\omega m + \frac{\omega^2}{2}\sigma^2$$

On retrouve que la moyenne  $m$  et la variance  $\sigma^2$  sont toutes deux égales au paramètre de Poisson  $\lambda$ . Donc, en estimant la fonction cumulante à partir de la distribution de probabilité empirique (histogramme) évaluée sur plusieurs intervalles de temps de même durée, il est possible d'estimer le paramètre de Poisson. En considérant successivement plusieurs durées  $T$ , c'est la loi  $\lambda(T)$  que l'on peut estimer.

### E.2.3 Indépendance

Une propriété de la transformée en  $z$  est de transformer un produit de convolution en produit de multiplication :

$$\begin{aligned} \Phi(z, T + T') &= \sum_N z^N P_N(T + T') = \sum_N z^N \sum_{n+n'=N} P_n(T) P_{n'}(T') \\ &= \sum_N \sum_{n+n'=N} [z^n P_n(T)] [z^{n'} P_{n'}(T')] \\ &= \sum_n [z^n P_n(T)] \sum_{n'} [z^{n'} P_{n'}(T')] \\ &= \Phi(z, T) \Phi(z, T') \end{aligned}$$



De même, les fonctions cumulantes s'ajoutent :

$$\Psi(z, T + T') = \Psi(z, T) + \Psi(z, T')$$

L'indépendance se traduit donc par la multiplication des fonctions caractéristiques, et l'addition des fonctions cumulantes.

## E.3 Généralisation

### E.3.1 Généralisation du paramètre de Poisson

*Stricto sensu*, le paramètre  $\lambda$  de la distribution de Poisson est directement proportionnel à la durée de l'intervalle de temps  $T$ . En effet, en écrivant l'indépendance statistique ci-dessus, nous avons implicitement écrit :

$$\lambda(T + T') = \lambda(T) + \lambda(T')$$

### Annexe E

En considérant des intervalles de temps égaux, la loi d'évolution de  $l$  en fonction de  $T$  est donc linéaire :

$$\lambda(T) = aT$$

Une première généralisation du processus de Poisson consiste donc à considérer que le paramètre  $\lambda$  suit une fonction quelconque – mais croissante – du temps. C'est ce que nous avons implicitement considéré ci-dessus dans le calcul de la probabilité d'attente entre deux événements.

#### E.3.2 Processus multiples

Une deuxième généralisation consiste à introduire plusieurs paramètres  $\lambda_k$ , indépendants les uns des autres mais dépendant éventuellement du temps. Dans le calcul de la fonction caractéristique, il faut alors considérer autant de  $z_k$  que de paramètres  $\lambda_k$ . On obtient alors pour la fonction cumulée :

$$\Psi(\mathbf{z}, T) = \sum_k \lambda_k(T) (1 - z_k)$$

où  $\mathbf{z}$  est le vecteur des  $z_k$  :  $\mathbf{z} = \{z_k\}$

Le choix adapté des  $z_k$  est de les prendre sous la forme de puissance d'un même nombre complexe  $z_1$  :

$$z_k = [z_1]^k = e^{-ik\omega}$$

Dans ce cas, la fonction cumulée devient :

$$\Psi(\mathbf{z}, T) = \Psi(\omega, T) = \sum_k \lambda_k(T) (1 - e^{-ik\omega})$$

On reconnaît aisément une décomposition en série de Fourier. Cette remarque permet d'estimer les paramètres  $\lambda_k$  à partir d'histogrammes empiriques de la répartition des événements, évalués sur plusieurs intervalles de temps de même durée : les  $\lambda_k$  ne sont autres que les coefficients cepstraux<sup>3</sup> de l'histogramme empirique.

---

<sup>3</sup> On rappelle que le cepstre d'un signal n'est autre que la transformée de Fourier inverse du logarithme de la transformée de Fourier directe du signal.