



Impact du trafic routier urbain sur le désagrément sonore : application à différentes configurations du quartier du Tonkin à Villeurbanne

C. Lavandier^a, J. Terroir^a, A. Trollé^b, M. Lavandier^b et C. Marquis-Favre^b

^aLaboratoire MRTE, IUT de Cergy Pontoise - Dt GC, 5 Mail Gay Lussac, Neuville sur Oise, 95031 Cergy Pontoise Cedex, France

^bUniversité de Lyon, Labex CeLyA, ENTPE, LGCB, 3 rue Maurice Audin, 69518 Vaulx-En-Velin, France
catherine.lavandier@u-cergy.fr

Dans le cadre du projet CITEDYNE, le désagrément sonore dû au trafic routier urbain a été étudié. Cinquante-six séquences sonores de 3 minutes chacune ont été construites à partir d'enregistrements dans le quartier du Tonkin à Villeurbanne. Quatre facteurs ont été étudiés : le niveau sonore, le type d'aménagement, le volume du trafic, et la composition du trafic (véhicules légers et lourds, bus, trolleybus et tramways). Les participants aux tests menés en laboratoire ont évalué ce désagrément sur une échelle continue, graduée de 0 à 10, allant de "Pas du tout" à "Extrêmement" désagréable. Les résultats montrent que le désagrément a été lié en premier lieu au niveau sonore. L'impact de la densité de trafic semble moins lié à la densité elle-même qu'aux variations de niveau qu'elle a impliquées. L'aménagement en rond-point a été jugé légèrement moins désagréable que le carrefour lorsque le trafic était important. La composition du trafic n'a pas eu d'impact sur le désagrément pour le carrefour à feux. Par contre, pour le rond-point, le désagrément a augmenté avec la présence de véhicules lourds. Les indicateurs acoustiques de rugosité, de rythme, de soudaineté, semblent caractériser les effets perceptifs temporels sur la base desquels, entre autres, les auditeurs ont construit leurs jugements de désagrément.

1 Introduction

Cet article présente les résultats d'un projet de recherche, CITEDYNE, dont le but était, entre autres, de caractériser le désagrément sonore dû à la dynamique énergétique et temporelle des passages de véhicules terrestres. Une série de tests en laboratoire a été mise en place. Des séquences sonores ont été construites à partir d'enregistrements stéréophoniques effectués dans le quartier du Tonkin à Villeurbanne. Les sources étudiées se sont limitées aux véhicules légers, aux poids lourds, aux tramways et aux trolleybus, afin de rester au plus proche de la circulation existante dans ce quartier. Les différences de vitesse et de rythme (accélération ou décélération plus ou moins brusques) ont été abordées via différents aménagements urbains de type carrefour à feux ou rond-point. La densité du trafic a été étudiée en simulant le trafic aux heures creuses et aux heures pleines dans ce quartier. Les séquences ont été construites de manière à être similaires aux situations pouvant apparaître dans le quartier étudié, ce qui explique pourquoi certaines configurations qui auraient pu être intéressantes n'ont pas été incluses au corpus final. La section 2 présente la construction des séquences sonores. La section 3 présente le protocole expérimental mis en place lors des tests d'écoute. Les résultats des analyses sont présentés et discutés au sein de la section 4.

2 Construction des stimuli

2.1 Enregistrements

En juillet 2012, un repérage a été réalisé dans la zone d'étude en vue de répertorier des sites présentant l'un des deux types d'aménagement et où circulent les sources de bruit de trafic urbain mentionnées précédemment.

Au final, 5 sites ont été sélectionnés suivant ces critères pour la réalisation d'enregistrements *in situ* :

- Site A : place Croix-Luizet (carrefour à feux). Deux lignes de bus (lignes C17 et n°37) traversent ce site. Le site est ouvert aux poids lourds (PL).
- Site B : croisement entre le boulevard du 11 Novembre et l'avenue Roberto Rossellini (carrefour à feux). Deux lignes de bus (lignes C26 et n°70) et une ligne de trolleybus (Tb) (ligne C2) traversent ce site. Le site est ouvert aux poids lourds.

- Site C : place Wilson (rond-point). Deux lignes de bus (lignes C17 et n°37) traversent ce site. Le site est ouvert aux poids lourds.
- Site D : croisement entre la rue Francis de Pressensé et la rue d'Alsace (rond-point). Aucune ligne de bus ne traverse ce site. Le site est ouvert aux poids lourds.
- Site E : croisement entre la rue Francis de Pressensé et le cours de la République (rond-point). Aucune ligne de bus ne traverse ce site. Le site est aussi ouvert aux poids lourds.

Les enregistrements ont été effectués avec un couple stéréophonique ORTF, complété par un microphone omnidirectionnel utilisé pour le calibrage du système.

2.2 Echantillons sonores

L'extraction des échantillons sonores a été réalisée à partir des séquences enregistrées en heures creuses, afin d'extraire des bruits distincts de véhicules¹. Il a été procédé à une écoute attentive des séquences sonores enregistrées. Il a notamment été vérifié qu'aucun bruit "parasite" (e.g. vent, voix, pas, oiseaux) n'apparaissait sur les échantillons sonores extraits.

Dans le cadre du projet CITEDYNE, 4 facteurs ont été étudiés :

- Le niveau sonore. Ce facteur comporte deux modalités. Le premier niveau sonore est fixé au niveau réel des échantillons moins 3.5 dB(A). Ce choix a été opéré afin de limiter les niveaux maximaux de diffusion et ainsi limiter la fatigue pour les auditeurs dans la salle d'écoute. Le second niveau sonore a été fixé à leur niveau réel moins 7.5 dB(A). Il existe ainsi une différence de 4 dB(A) entre les deux modalités.
- Le type d'aménagement. Ce facteur comporte deux modalités : carrefour à feux (CF) et rond-point (RP).
- La densité de trafic. Ce facteur comporte deux modalités : faible (heures creuses) et forte (heures pleines). La première modalité se caractérise par un volume horaire de véhicules (tous types confondus) égal à 400 véhicules/heure (pour les deux sens de circulation), la seconde par un volume horaire deux fois plus important, i.e. égal à 800 véhicules/heure (pour les deux sens de circulation).

¹Concernant les véhicules légers, un échantillon sonore peut comprendre plusieurs passages.

- La composition du trafic. Ce facteur comporte dix modalités :
 - 100%VL, 0%PL, 0%bus
 - 80%VL, 10%PL, 10%bus
 - 80%VL, 5%PL, 15%bus
 - 90%VL, 0%PL, 10%bus
 - 80%VL, 10%PL, 5%bus, 5%Tb
 - 80%VL, 10%PL, 5%bus, 5%Tr
 - 90%VL, 0%PL, 5%bus, 5%Tb
 - 90%VL, 0%PL, 5%bus, 5%Tr
 - 80%VL, 5%PL, 5%bus, 5%Tb, 5%Tr
 - 80%VL, 0%PL, 10%bus, 5%Tb, 5%Tr

Il est à noter que les compositions de trafic qui impliquent des tramways (Tr) ou des trolleybus (Tb) sont seulement étudiées pour l'aménagement "carrefour à feux"². Pour chaque combinaison possible de modalités des différents facteurs, une séquence sonore d'une durée égale à 3 minutes³ a été créée. Au total, 56 séquences sonores ont été créées.

2.2 Séquences sonores

Tout d'abord, pour chaque type d'aménagement, et pour chaque densité de trafic, une séquence de passages de véhicules légers (32 VL pour une densité de trafic "forte", 16 VL pour une densité de trafic "faible") a été créée comme base commune à toutes les séquences sonores. Puis, selon la composition du trafic, les véhicules restants (VL et/ou PL et/ou bus et/ou trolleybus et/ou tramway) ont été ajoutés à cette séquence de VL, jusqu'à ce que le nombre maximal de véhicules soit atteint (40 pour une densité de trafic "forte", 20 pour une densité de trafic "faible"). Les véhicules autres que les VL (i.e. PL, bus, trolleybus, tramway), en nombre limité, ont été placés dans la séquence sonore de manière espacée dans le temps.

Concernant le premier niveau sonore, les séquences de véhicules ont été mixées à leur niveau réel, avec un bruit de fond (enregistré *in situ*), à son niveau réel ($L_{Aeq} = 38.4$ dB(A)). Puis, le niveau sonore a été abaissé de 3.5 dB(A).

Concernant le second niveau sonore, celui des séquences de véhicules précédemment créées (sans bruit de fond) a été abaissé de 7.5 dB(A) (par rapport à leur niveau réel). Le niveau sonore du bruit de fond a été seulement abaissé de 3.5 dB(A) (par rapport à son niveau réel). Puis ces séquences de véhicules et de bruit de fond, aux niveaux sonores ainsi abaissés, ont été mixées. Le niveau du bruit de fond ($L_{Aeq} = 35.4$ dB(A)) est donc identique pour les deux types de séquence représentant un même lieu villeurbannais.

La Figure 1 présente un exemple de deux séquences :

- Séquence 1: 20 véhicules légers sur un carrefour diffusée à niveau réel -3,5 dB(A) dans le laboratoire.
- Séquence 21: idem mais sur un rond-point.

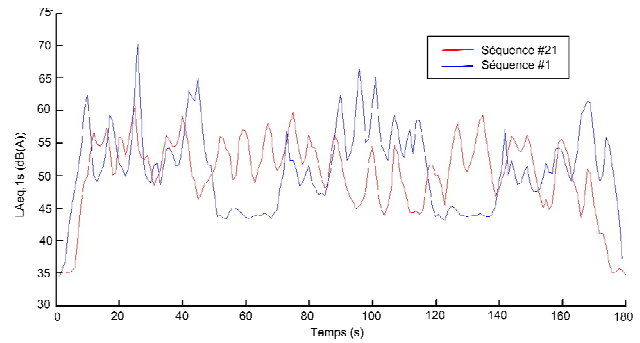


Figure 1 - Evolution temporelle du $L_{Aeq,1s}$ pour les séquences #21 et #1. Les propriétés de ces deux séquences diffèrent uniquement pour le paramètre "aménagement".

2.3 Indicateurs acoustiques

Les indicateurs acoustiques classiques L_{Aeq} , L_{Ai} et $L_{AMax,100ms}$ correspondent respectivement au niveau équivalent moyen, au niveau dépassé $i\%$ du temps et au niveau maximum en dB(A). Le niveau du bruit de fond est évalué via l'indicateur L_{A90} . Les indicateurs L_N , L_{Ni} et $L_{NMax,100ms}$ correspondent respectivement au niveau d'isotonie moyen, au niveau d'isotonie dépassé $i\%$ du temps et au niveau d'isotonie maximum en phones. Le calcul du niveau d'isotonie est basé sur le calcul des valeurs de sonie via la norme ISO532B. Sauf indication contraire, un intervalle de 1 seconde a été choisi pour le calcul des indicateurs. C_5 correspond au centre de gravité spectral moyen [1]. La force de fluctuation est liée aux modulations sonores en dessous de 20 Hz, tandis que la rugosité est liée aux modulations entre 20 Hz et 300 Hz. L'acuité est un indice psychoacoustique lié à la distribution fréquentielle de l'énergie. Les définitions de ces trois indicateurs peuvent être trouvées dans [1].

Des indicateurs dynamiques ont également été inclus aux analyses. D'abord, un indicateur de rythme (IR), initialement proposé par le CSTB et basé sur la transformée de Fourier de l'évolution du L_{Aeq} . On a :

$$LM = FFT(L_{Aeq})$$

$$IR = 1 - \text{moy}(LM^*) / \text{max}(LM)$$

avec « $\text{moy}(LM^*)$ » la moyenne arithmétique des valeurs de LM ne se trouvant pas sur la 1/2-octave centrée sur la fréquence f_{max} pour laquelle LM trouve son maximum $\text{max}(LM)$, c'est-à-dire la moyenne des valeurs de LM associées aux fréquences se trouvant en dehors de l'intervalle $[f_{max}/2^{1/4}, f_{max} * 2^{1/4}]$ [2]. Cet indicateur se rapproche de l'indicateur « Spectrum of fluctuation » proposé par Bert De Coensel concernant la « musicalité » d'un son [3].

Ensuite, des indicateurs de soudaineté $\delta L_{x\%}$ [2] ont également été introduits. Considérons :

$$\delta L_{Aeq} = L_{Aeq}(k) - L_{Aeq}(k-1)$$

Alors $\delta L_{x\%}$ représente la moyenne des valeurs absolues maximales du δL_{Aeq} présentes sur $x\%$ du temps total de la période d'évaluation. Ces indicateurs correspondent donc

²En effet, dans le quartier spécifique du Tonkin, il n'existe pas de site où un tramway ou un trolleybus circule dans un rond-point.

³Pour l'aménagement "carrefour à feux", cette durée permet de prendre en compte deux cycles de feux complets (un cycle = 45 s pour le feu vert et 25 s pour le feu rouge).

aux variations les plus rapides de L_{Aeq} (aux événements les plus brusques).

Enfin, des indicateurs de calme et de bruyance [2, 4] ont été intégrés à l'analyse afin de prendre en compte l'impact de l'occurrence des événements sonores. La durée de "temps bruyant" $T_{L>L_a}$ correspond à la durée pendant laquelle le niveau L_{Aeq} dépasse la valeur seuil L_a . La durée de "temps calme" $T_{L<L_a}$ correspond à la durée pendant laquelle le niveau L_{Aeq} reste inférieur à la valeur seuil L_a . Dans notre cas, les seuils 70 dB(A) et 65 dB(A) ont été retenus pour les calculs de "temps bruyant" et 60 dB(A) et 55 dB(A) pour les calculs de "temps calme". Bien que ces indicateurs aient été calculés, ils ne semblent pas spécialement intéressants pour ce projet car ils sont statistiquement significativement corrélés aux indicateurs de niveau et n'apportent donc pas d'information supplémentaire ($0,57 < r < 0,95$; $p < 0,05$ avec le niveau équivalent L_{Aeq}).

3 Méthodologie

3.1 Déroulement des tests

Les tests se sont déroulés dans une salle d'écoute dont l'aménagement simulait une situation de type terrasse de café. Une table ronde ainsi qu'une chaise de café avaient été installées afin de favoriser l'immersion. Chaque test a rassemblé 35 participants, différents d'un test à l'autre.

- Test A : ce premier test visait à évaluer l'influence des 4 facteurs étudiés (cf. §2.2) sur la qualité sonore des environnements urbains. À cet effet, toutes les séquences correspondant aux modalités du facteur "composition du trafic" et n'impliquant pas de trolleybus ou de tramways, ont été utilisées, soit au total 32 séquences sonores.
- Test B : ce second test visait plus particulièrement à évaluer, pour un aménagement de type "carrefour à feux", l'influence du facteur "composition du trafic" sur la qualité sonore des environnements urbains. Les facteurs "niveau sonore" et "densité de trafic" ont également été pris en compte. Les séquences sonores correspondant à deux modalités du facteur "composition du trafic" déjà utilisées dans le premier test (80%VL, 10%PL, 10%bus et 80%VL, 5%PL, 15%bus) ont été réutilisées. Les séquences sonores correspondant aux 6 modalités du facteur "composition du trafic" et impliquant des trolleybus et/ou des tramways ont été rajoutées. Au total, 32 séquences sonores ont été sélectionnées.

3.2 Procédure expérimentale

La procédure expérimentale utilisée, commune aux 2 tests, est comparable à celle adoptée dans de précédents travaux réalisés au LGCB [6]. Au début de chaque test, des consignes générales étaient présentées à l'écran :

"Dans ce test, vous allez entendre des extraits d'environnement sonore urbain tandis que vous vous adonnerez à une lecture de loisirs. Pour chaque extrait, nous vous demandons d'évaluer le désagrément ressenti. Pour évaluer le désagrément ressenti, imaginez-vous à la terrasse d'un café en train de lire. Vous devez noter le

désagrément ressenti sur une échelle d'opinion graduée de 0 à 10. Notez 0 si vous jugez le bruit pas du tout désagréable et notez 10 si vous jugez le bruit extrêmement désagréable. Si vous êtes entre ces deux situations, choisissez une note intermédiaire entre 0 et 10. Vous allez entendre chaque extrait une seule fois. Après avoir répondu à la question et validé votre réponse, vous ne pourrez pas revenir en arrière. Prenez votre temps pour répondre".

Ensuite, les sujets débutaient le test. Les stimuli étaient présentés un à un dans un ordre aléatoire. Pour chaque stimulus, il était demandé d'évaluer le désagrément associé. Pour chaque séquence sonore, un écran apparaissait avec le rappel de la situation imaginaire :

"Imaginez-vous à la terrasse d'un café en train de vous adonner à une lecture de loisirs. Pendant votre activité, vous vous trouvez dans cet environnement sonore urbain".

Les sujets pouvaient alors écouter la séquence par un simple appui sur un bouton. Puis la question suivante leur était posée :

"Comment jugeriez-vous cet environnement sonore urbain ?".

L'échelle de réponse est inspirée des recommandations de la norme ISO 15666 [7]. Pour répondre, les sujets déplaçaient un curseur le long d'une échelle continue allant de 0 à 10 avec 11 labels numériques (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10) équidistants pour faciliter l'utilisation de l'échelle. Deux descripteurs verbaux ("pas du tout désagréable" et "extrêmement désagréable") étaient associés aux extrémités de l'échelle, 0 et 10 respectivement. Les sujets ne pouvaient écouter l'extrait sonore qu'une seule fois.

À l'issue du test, il était demandé aux participants de décrire librement les séquences "Veuillez décrire les extraits sonores que vous avez entendus" et d'indiquer leurs critères de jugement "Quels sont les principaux critères que vous avez utilisés pour juger que les extraits sonores étaient désagréables ou non ?".

4 Résultats

Les analyses de variance à mesures répétées sur chaque test ont permis d'étudier l'influence et la significativité associée des facteurs et de leurs interactions sur les scores de désagrément. Les facteurs ayant des valeurs de probabilité inférieures à 0,05 ont un effet statistiquement significatif sur les scores de désagrément au niveau de confiance de 95%. La grandeur η^2 , qui correspond à la proportion de variance expliquée, permet de quantifier l'importance de l'effet expérimental étudié.

Il est à noter qu'une comparaison des scores de désagrément associés aux 8 mêmes situations sonores présentes dans les deux tests a été effectuée afin de voir s'il était possible de regrouper les données issues des deux tests. Les réponses de désagrément aux 8 situations ont donc été comparées. Il y a une différence faible mais significative ($F(1,544)=5,6$; $p=0,02$), montrant que le choix du corpus des sons étudiés lors des tests d'écoute a une influence sur les résultats. Les deux tests ont donc été analysés séparément.

4.1 Test A

4.1.1 Analyse de variance

Logiquement, on trouve un effet statistiquement significatif du niveau sonore sur les scores de désagrément, les niveaux les plus faibles étant plus agréables ($F(1,34)=112,5$; $p<0,001$). On remarque un effet statistiquement significatif de l'aménagement, un aménagement de type rond-point étant en moyenne légèrement plus agréable ($F(1,34)=5,7$; $p=0,02$). La densité du trafic a un impact statistiquement significatif, un trafic faible étant plus agréable ($F(1,34)=101,7$; $p<0,001$).

Concernant la composition du trafic, l'analyse post-hoc montre que la significativité statistique de ce paramètre au niveau de confiance de 95% est liée à la présence de 2 groupes distincts : le premier est constitué des séquences sonores comportant uniquement des véhicules légers (valeur moyenne de désagrément de 3,68), le second est constitué des séquences sonores mixtes, c'est-à-dire comprenant des véhicules légers plus des bus et des poids lourds (valeur moyenne de désagrément de 4,63), les ratios entre toutes ces sources n'ayant pas d'effet significatif. Un environnement constitué uniquement de véhicules légers semble donc préférable, et la présence de poids lourds et de bus augmente le désagrément [5].

Pour les proportions de variance expliquée η^2 , on note que celle qui concerne le niveau sonore est de l'ordre de 8%. Pour la densité du trafic et la composition, η^2 est respectivement de l'ordre de 5% et de 2%. L'influence des deux derniers facteurs apparaît donc de moindre importance comparée à celle du niveau sonore lui-même. Différentes interactions entre facteurs sont apparues également statistiquement significatives avec un léger effet expérimental pour chacune d'entre elles ($\eta^2 < 1\%$).

Ainsi, une légère interaction existe entre le niveau sonore et la densité du trafic ($F(1,34)=5,1$; $p=0,03$). On peut noter qu'un trafic faible à niveau sonore élevé est aussi désagréable qu'un trafic fort à niveau sonore faible (Figure 2). Par ailleurs, on constate qu'à même niveau sonore équivalent, le fait de doubler la densité du trafic n'a pas d'impact sur le désagrément : les participants semblent avoir été plus sensibles au niveau sonore qu'à la densité du trafic.

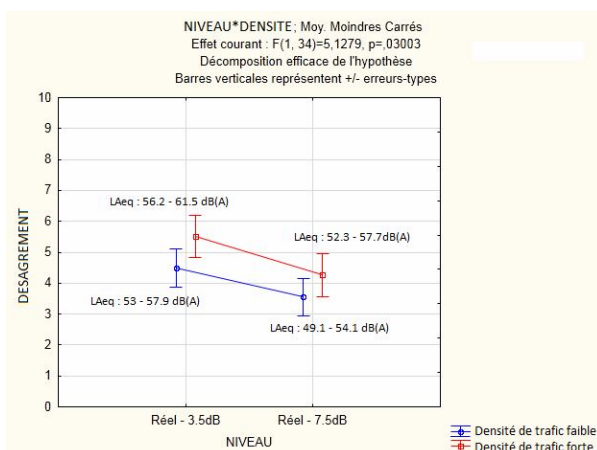


Figure 2 - Moyennes et erreurs-type des scores de désagrément en fonction des niveaux et des densités.

Une interaction est présente entre l'aménagement et la densité du trafic ($F(1,34)=20,8$; $p<0,001$). Ainsi, en situation de trafic faible, l'aménagement n'aura pas d'effet sur le désagrément. Au contraire, en situation de densité de trafic élevée, un aménagement de type rond-point sera préférable (Figure 3).

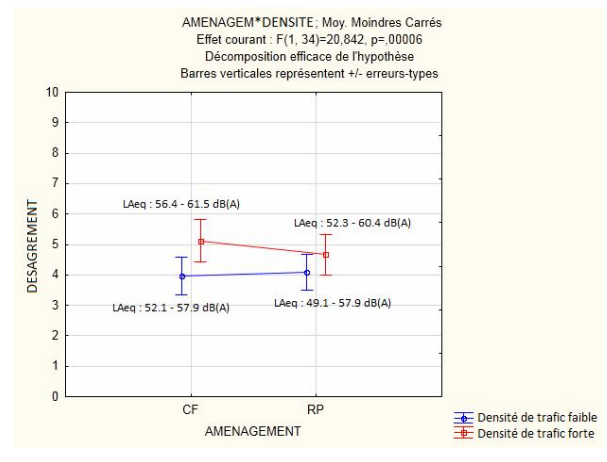


Figure 3 - Moyennes et erreurs-type des scores de désagrément en fonction des densités et des aménagements.

Une interaction statistiquement significative ($F(3,102)=7,9$; $p<0,001$) est présente entre l'aménagement et la composition du trafic (Figure 4). Pour un environnement sonore constitué exclusivement de véhicules légers, un aménagement de type rond-point apparaît préférable. Pour les compositions mixtes, ronds-points et carrefours à feux semblent équivalents. On note ainsi que, si dans le cas d'un aménagement de type carrefour à feux la composition du trafic semble n'avoir aucun effet sur le désagrément sonore, la signature sonore des véhicules lourds semble avoir un effet négatif dans le cas d'un rond-point.

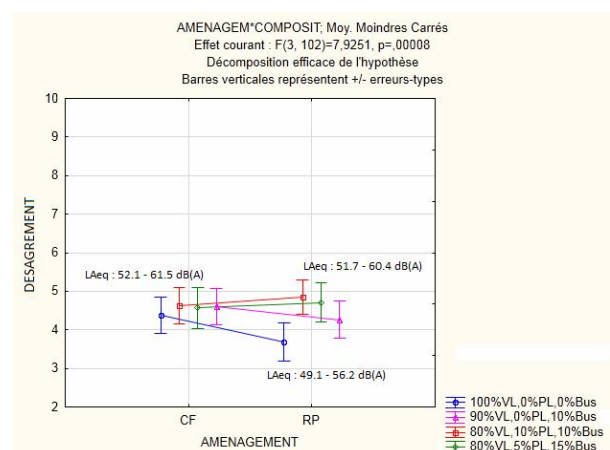


Figure 4 - Moyennes et erreurs-type des scores de désagrément en fonction des compositions et des densités.

4.1.2 Corrélations

Puisque le type d'aménagement interagit avec la composition du trafic et la densité du trafic, les corrélations ont été calculées séparément pour les situations de "rond point" et de "carrefour". Quelque soit le type

d'aménagement, tous les indicateurs acoustiques de niveau sont fortement corrélés au désagrément moyen ($0,72 < r < 0,95$; $p < 0,01$). Pour les carrefours, la rugosité a un impact négatif ($r = -0,76$; $p < 0,01$) sur le désagrément moyen. Il faut interpréter cela comme un effet lié à la densité du trafic. En effet, plus le trafic est dense, et plus la rugosité diminue, entraînant une augmentation du désagrément moyen. D'ailleurs, la densité du trafic est corrélée au désagrément moyen pour les carrefours ($r = 0,66$; $p < 0,01$). Pour les ronds-points, ce n'est pas la densité de trafic qui est corrélée au désagrément moyen mais l'indicateur de soudaineté $\delta L_{10\%}$ ($r = 0,57$; $p < 0,05$). Ceci peut être dû au fait que dans le cas du rond-point, la fluidité du trafic apparaît comme un aspect positif et la présence d'événements conduisant à des variations de L_{Aeq} brusques serait perçue négativement. De manière opposée, l'aménagement de type carrefour à feux impose nécessairement un rythme et donc des arrêts et des démarrages. Ceci peut être mis en parallèle avec les résultats de l'ANOVA (cf. Figure 4) pour laquelle on observe un effet de la composition dans le cas d'un aménagement de type rond-point, le pourcentage de véhicules légers augmentant l'agrément sonore.

4.1.3 Analyse linguistique

Les critères utilisés par les participants pour justifier leurs jugements portent, par ordre d'importance sur :

- le niveau sonore ou la distance (43 occurrences de substantifs et 22 occurrences d'adjectifs),
- le type de source sonore – les camions étant cités comme plus gênants (19 + 0 occurrences),
- le rythme du trafic – les passages ou les démarrages par exemple (14 + 3 occurrences),
- la densité du trafic – le nombre ou la fréquence par exemple (10 + 4 occurrences),
- la durée de présence des événements sonores (4 + 1 occurrences),
- la tonalité/le spectre (1 + 4 occurrences).

L'activité (ou l'impact direct de l'environnement sur celle-ci) apparaît également (18 + 1 occurrences).

4.2 Test B

4.2.1 Analyse de variance

Pour ce test, on retrouve que les facteurs "niveau" et "densité" de trafic pour un aménagement de type "carrefour à feux" ont un effet significatif sur le désagrément. Mais la composition du trafic n'a aucune influence sur celui-ci, ce qui peut se voir sur la Figure 5. Il n'y a aucune interaction entre les facteurs.

Ce résultat est tout à fait cohérent avec celui du test A pour lequel la composition du trafic n'avait pas d'influence sur le désagrément pour les carrefours.

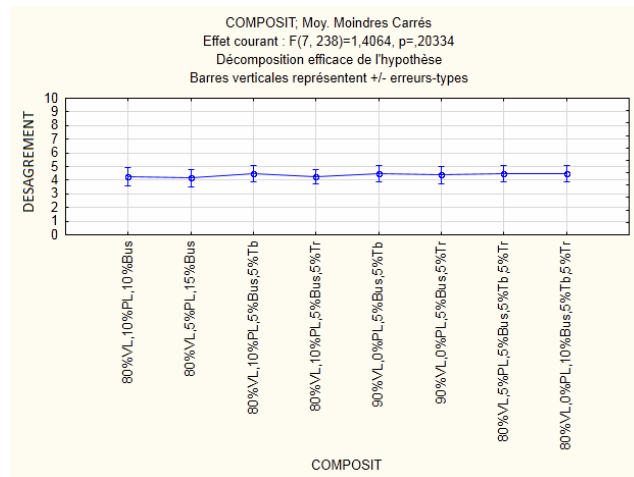


Figure 5 - Moyennes et erreurs-type des scores de désagrément en fonction des compositions du trafic.

4.2.2 Corrélations

Comme pour le premier test, tous les indicateurs acoustiques de niveau sont fortement corrélés au désagrément moyen ($0,70 < r < 0,83$; $p < 0,01$). On retrouve que la rugosité a un impact négatif sur le désagrément moyen ($r = -0,51$; $p < 0,01$). D'ailleurs, on retrouve cette corrélation négative entre les indicateurs dynamiques IR et $\delta L_{1\%}$ (respectivement $r = -0,45$ et $r = -0,41$; $p < 0,05$) avec le désagrément moyen. Ces indicateurs dynamiques sont tous deux significativement corrélés à la rugosité (respectivement $r = 0,71$ et $r = 0,61$ $p < 0,05$). A nouveau, cet effet semble lié à la densité du trafic, celle-ci étant par ailleurs corrélée au désagrément moyen ($r = 0,50$; $p < 0,01$).

4.2.3 Analyse linguistique

Nous retrouvons exactement les mêmes critères, cités par les participants pour justifier leurs jugements, que pour le test A. Ils ont juste cité un peu plus de sources pour le test B qui présentait des trolleybus et des tramways en plus des véhicules étudiés lors du test A (les mots "train" et "benne" sont propres au test B tandis que les mots "voiture", "véhicule", "camion" et "moteur" sont communs aux deux tests).

5 Conclusion

Les tests d'écoute menés à partir des variations observées dans le quartier du Tonkin à Villeurbanne ont permis de montrer que :

- Le désagrément est lié en premier lieu au niveau sonore. L'effet de ce facteur est assez important pour rendre difficile l'observation de l'impact des autres facteurs étudiés.
- Si le désagrément est corrélé à la densité du trafic (plus il y a de véhicules, plus le désagrément est grand), les ANOVA montrent que l'impact de la densité semble moins lié à la densité elle-même qu'aux variations de niveau que celle-ci implique.
- Par ailleurs, les corrélations de Pearson confirment l'impact de la densité du trafic mais semblent suggérer

que celui-ci n'est statistiquement significatif sur le désagrément moyen que pour un aménagement de type carrefour à feux. Ceci est par ailleurs confirmé par les corrélations de Pearson effectuées sur les résultats du test B. Il serait nécessaire d'effectuer un test avec des aménagements de type rond-point exclusivement pour confirmer ce résultat.

- L'aménagement a quant à lui un impact statistiquement significatif (mais faible), comme le montre l'ANOVA sur le test A. Un aménagement de type rond-point sera alors préférable surtout si le trafic est important.
- De la même manière, si une composition de type 100% de véhicules légers est préférable de façon générale, une analyse plus approfondie montre que la composition du trafic n'a pas d'effet sur le désagrément pour un aménagement de type carrefour à feux. Par contre, pour un rond-point, le désagrément va augmenter avec la diminution du pourcentage de véhicules légers par rapport au pourcentage des autres véhicules.
- Outre le niveau sonore, la rugosité semble avoir un effet non négligeable sur le désagrément, spécialement pour un aménagement de type carrefour à feux (une augmentation de la rugosité permettant une réduction du désagrément). Cet indicateur traduit l'effet de la densité du trafic sur l'évolution temporelle du signal.
- Dans le cas de ronds-points, la densité ne semble pas jouer sur le désagrément. Celui-ci est plutôt lié à la soudaineté (par exemple $\delta L_{10\%}$). Les verbalisations ont montré que les aspects freinages/démarrages ont été perçus négativement.
- On note finalement que l'introduction de tramway ou de trolleybus au niveau des carrefours n'a pas d'effet sur le désagrément ressenti (en tout cas pour les pourcentages introduits dans le cadre de cette expérience).

Il est important de garder à l'esprit que ces résultats correspondent à un quartier spécifique de la ville de Villeurbanne, le quartier du Tonkin, choisi dans le cadre du projet CITEDYNE. Ainsi, afin de rester dans des conditions sonores réalistes, les différentes séquences ont été cons-truites de manière à rester fidèles aux situations réelles du quartier en question. La première conséquence de ce souci de réalisme est la non-normalisation des niveaux. La seconde conséquence est que la composition du trafic étant calquée sur la situation réelle du quartier étudié dans le projet CITEDYNE, la variabilité de ce paramètre reste faible car certaines compositions, constatées dans d'autres grandes villes françaises et européennes avec en particulier la présence de deux-roues motorisés, n'ont pas été considérées.

D'autre part, si l'on s'intéresse aux indicateurs appropriés pour estimer le désagrément, il semble que le niveau sonore équivalent L_{Aeq} est un bon indicateur de niveau moyen. Un indicateur de soudaineté (par exemple $\delta L_{10\%}$) explique aussi le désagrément au niveau des ronds-points. Au niveau des carrefours, un indicateur de rugosité permet de traduire les variations de densité de flux.

Il semble néanmoins intéressant de poursuivre l'étude sur les indicateurs qui se sont révélés parfois intéressants, comme par exemple l'indicateur de rythme IR afin de prendre en compte l'aspect fluctuant cité par les participants. Des indicateurs tels que l'acuité, le centre de gravité spectral ou la force de fluctuation (qui n'ont pas varié suffisamment dans les séquences sonores construites pour ce projet) pourraient être appropriés pour rendre compte du désagrément sonore dans d'autres situations sonores urbaines. Lors de travaux ultérieurs, il serait peut-être souhaitable d'envisager l'utilisation de séquences normalisées en niveau. Malgré le fait que l'on s'éloigne de situations réelles, cela permettrait de pouvoir étudier l'impact de certains attributs auditifs de manière plus spécifique et isolée.

Remerciements

Ce travail fait partie du projet PREDIT CITEDYNE financé par l'ADEME.

Références

- [1] Zwicker E., Fastl H., *Psychoacoustics: facts and models – Second edition*. Springer, (1999).
- [2] Leclercq L., Can A., Crepeaux P., Defrance J., Fournier M., Lelong J., Miego B., Minaudier C., Olny X., Palacino J., Vincent B., *Estimation dynamique du bruit de circulation en milieu urbain : étude d'un cas réel*. Rapport INRETS/LICIT N°0801, 2008.
- [3] De Coensel B., *Introducing the Temporal Aspect in Environmental Soundscape Research*. PhD dissertation. ISBN 978-90-8578-133-2. Faculty of Engineering Sciences, Ghent University, Belgium, Feb. 6, (2007).
- [4] A. Can, L. Leclercq, J. Lelong, and J. Defrance, *Capturing urban traffic noise dynamics through relevant descriptors*, Applied Acoustics, 69(12), 1270–1280 (2008).
- [5] N.J. Versfeld, J. Vos, *Annoyance caused by sounds of wheeled and tracked vehicles*, Journal of Acoustical Society of America 101,2677–2685, (1997).
- [6] Morel J., Marquis-Favre C., Pierrette M., Gille L.A., *Physical and perceptual characterization of road traffic noises in urban areas for a better noise annoyance assessment*. In Proc. of Acoustics 2012 [CDROM], Nantes, France, (2012).
- [7] International Organization For Standardization, ISO/TS 15666 : Acoustique – *Évaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques*. ISO, Genève, Suisse, (2003).