

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Méthodes de prédiction de la qualité du paysage sonore urbain : régression linéaire multiple ou réseau de neurones ?

Laurent Brocolini¹, Lory Waks^{2,3}, Catherine Lavandier¹, Catherine Marquis-Favre²,
Mathias Quoy⁴, Mathieu Lavandier²

¹Université de Cergy-Pontoise, LMRTE, F-95000 Cergy-Pontoise, {laurent.brocolini, catherine.lavandier}@u-cergy.fr

²Département Génie Civil et Bâtiment, Rue Maurice Audin, F-69518 Vaulx-en-Velin cedex, {catherine.marquis, mathieu.lavandier}@entpe.fr

³Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, Mission Bruit et Agents Physique,

La Grande Arche Paroi Nord, F-92055 La Défense cedex, lory.waks@developpement-durable.gouv.fr

⁴Université de Cergy-Pontoise, ETIS, UMR 8051, F-95000 Cergy-Pontoise, mathias.quoy@u-cergy.fr

L'objectif de cette étude est d'établir un modèle prédictif de la qualité du paysage sonore en milieu urbain à partir d'enquêtes de terrain et au travers de deux méthodes d'analyses distinctes. Afin de déterminer un modèle d'agrément sonore nous avons élaboré un questionnaire que nous avons soumis à des passants et dans lequel nous leur avons demandé de juger leur environnement, principalement d'un point de vue sonore mais également d'un point de vue global (qualité visuelle et qualité de l'air). L'aspect sonore a été abordé à la fois dans sa globalité et à travers les différentes sources qui le composent. L'enquête s'est déroulée au niveau du parc de la Tête d'Or à Lyon, en un point situé à proximité de l'accès principal du parc. Soixante sujets, répartis équitablement entre trois périodes de la journée (matin, après-midi et soirée), ont été interrogés. Pour chacun, vingt-six variables subjectives ont été évaluées sur une échelle allant de 0 à 10. L'ensemble des données récoltées a ainsi pu être analysé suivant deux approches afin de relier l'agrément sonore aux différentes variables mesurées. Nous avons pour cela utilisé comparativement d'une part une méthode de régression linéaire multiple et d'autre part une méthode prédictive basée sur un modèle de réseau de neurones. Si la régression linéaire permet de comprendre quelles variables influencent les réponses des sujets à propos de la qualité sonore, elles n'expliquent que faiblement la variabilité de ces réponses. En revanche le réseau de neurones permet d'obtenir des résultats plus probants quant à la validité du modèle obtenu mais cet outil n'offre pas la possibilité d'interpréter les variables explicatives mises en jeu.

1 Introduction

Problématique relativement récente, la qualité des ambiances urbaines (visuelle, sonore, olfactive,) est devenue une préoccupation majeure de tous, des citoyens aux pouvoirs publics en passant par les chercheurs.

Le projet de recherche PREDIT, intitulé QUASOART a pour objectif de définir un indicateur de qualité de l'environnement sonore en milieu urbain et qui à terme devrait être facilement représentable sur des cartes, lisibles par tous. Financé par l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), ce projet réunit différents partenaires : les laboratoires MRTE et ETIS de l'université de Cergy-Pontoise, l'ENTPE (Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat) basée à Vaulx-en-Velin et BruitParif, observatoire du bruit à Paris et en région Ile de France. Partie intégrante de cette vaste recherche, l'étude présentée ici a pour but de développer des modèles de prédiction de l'agrément sonore à partir de deux approches distinctes à comparer : i) une première basée sur des méthodes d'apprentissage de réseaux de neurones, et ii) une seconde faisant appel à des techniques statistiques plus courantes, à savoir des régressions linéaires multiples. La démarche utilisée est la suivante. Il s'agit de recueillir à travers un questionnaire le sentiment d'agrément ressenti par des passants vis-à-vis de l'environnement sonore ainsi qu'un certain nombre d'autres variables subjectives. A partir de ce relevé de données il est possible de rechercher un lien entre l'agrément sonore et les différentes variables explicatives.

Au-delà de ce lien, et en s'appuyant sur la technique de validation croisée [1], nous avons porté une attention particulière à la capacité des modèles établis à prédire une valeur d'agrément sonore lorsque de nouvelles données sont présentées.

2 Méthodologie

2.1 Lieu et périodes d'étude

L'enquête de terrain a été réalisée au parc de la Tête d'Or. Très fréquenté, il s'agit d'un grand parc urbain situé à Lyon, bordé par deux grands boulevards. Pour cette étude, nous nous sommes postés à proximité de l'entrée principale du parc, "porte des Enfants du Rhône" à environ une dizaine de mètres à l'intérieur du parc afin de recueillir les données perceptives émises par les passants. En ce point il ne s'agit pas d'une ambiance sonore typée mais plutôt de ce que l'on pourrait qualifier de zone de transition [2]. En effet, de nombreuses sources sonores y sont présentes.

Réalisée au cours du mois d'avril 2009, nous avons volontairement écarté pour cette étude les jours du samedi et dimanche ainsi que les lundis matin, mercredis et vendredis après-midi qui pouvaient être considérés comme différents de l'ambiance sonore classique d'un jour ouvré. Par ailleurs, nous avons divisé la journée en trois périodes distinctes : 9h-11h, 14h-16h et 17h-19h. Non seulement ces tranches horaires correspondent a priori aux heures de fréquentation du parc mais de plus elles sont susceptibles

d'offrir une certaine variabilité de l'ambiance sonore du lieu considéré au cours de la journée [3].

2.2 Questionnaire

Le questionnaire utilisé vise à recueillir la perception qu'ont les personnes de leur environnement au lieu et durant le temps où elles sont interrogées, soit environ 10 à 15 minutes. Etabli à partir de divers travaux [4, 5, 6, 7], il s'agit d'un questionnaire comportant principalement des questions fermées sous forme de différentiel sémantique avec une échelle continue graduée. Les sujets devaient alors répondre en plaçant une croix sur l'échelle, voir figure 1.



Figure 1 : échelle d'agrément global

Nous avons construit cette enquête de façon à ce que les personnes interrogées jugent l'environnement dans lequel elles se trouvent d'abord d'un point de vue global, puis en s'arrêtant sur divers aspects de l'environnement (sonore, visuel, qualité de l'air) mais toujours dans leur globalité, et enfin terminent avec l'identification précise des sources sonore. Ainsi le questionnaire peut être divisé en cinq points.

Dans un premier temps il était demandé aux sujets de juger la qualité de l'environnement de façon globale en précisant en quelques mots ce qu'ils trouvaient agréable ou désagréable, puis de noter cet agrément sur l'échelle présentée (figure 1).

Par la suite on leur demandait de se concentrer sur l'environnement sonore dans sa globalité puis de répondre aux questions posées sur différentes caractéristiques de celui-ci. Sous chaque adjectif une explication était donnée afin de faciliter la compréhension, voir figure 2.



Figure 2 : exemple de notation sur l'environnement sonore

Dans le troisième point les sujets étaient invités à évaluer leur agrément visuel, leur perception de la qualité de l'air mais également à statuer sur l'aspect surprenant ou pas de l'environnement sonore.

La quatrième partie de l'enquête porte sur les sources sonores. Il était demandé aux sujets de se concentrer sur les sources sonores, de préciser quelles sont celles qu'ils étaient capables d'identifier et pour chacune d'elle d'estimer leur intensité sonore et leur temps de présence (sur la durée de l'entretien). Une fois cette étape terminée une liste de sources sonores était alors présentée et les sujets pouvaient préciser si désormais ils remarquaient ces sources sonores et auquel cas noter leur intensité et leur temps de présence, voir figure 3.

Voiture / Motos

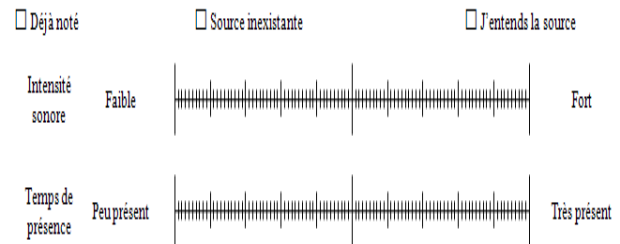


Figure 3 : exemple de notation des sources sonores

Enfin, cinquième et dernier point, il était demandé aux sujets dans quelle mesure ils jugeaient l'environnement sonore approprié à leur activité du moment.

La table 1 suivante présente toutes les variables mesurées pour chacun des sujets interrogés. Chaque variable a été notée sur la même échelle et a été traduite par une valeur allant de 0 à 10.

	Variables mesurées
Agréments	(1) Agrément sonore
	(2) Agrément global
	(3) Agrément visuel
	(4) Qualité de l'air perçue
Caractéristiques de l'environnement sonore	(5) Silencieux/Bruyant
	(6) Stable/Instable dans le temps
	(7) Sans vie/Animé
	(8) Enveloppant/Peu enveloppant
Sources sonores	(9) Surprenant/Familier
	(10) Pas du tout/Très adapté à l'activité
	(11) SP_VL Voitures / Motos
	(12) TP_VL
	(13) SP_Mob Mobylettes
	(14) TP_Mob
	(15) SP_PL Poids lourds / Bus
	(16) TP_PL
	(17) SP_Klax Klaxons / Sirènes
	(18) TP_Klax
SP = Sonie Perçue TP = Temps de présence	(19) SP_Act Activités diverses
	(20) TP_Act
	(21) SP_PH Présence humaine
	(22) TP_PH
	(23) SP_Ois Oiseaux
	(24) TP_Ois
	(25) SP_El.N Eléments naturels
	(26) TP_El.N

Table 1 : variables mesurées

2.3 Sujets

Soixante sujets ont été interrogés, soit vingt par période. Il s'agissait de passants habitués ou non des lieux. Les seules données personnelles retenues sur les sujets sont le sexe et la catégorie d'âge. Cette dernière ayant été jugée par l'expert suivant trois classes : adolescent, adulte, personne âgée. Ces facteurs personnels n'ont cependant pas été utilisés pour l'analyse. Pour information, environ 60 % des

personnes interrogées étaient des femmes pour 40 % d'hommes, pour la plupart des adultes.

2.4 Sélection des variables

Une fois les données recueillies (60 sujets x 26 variables) il s'agit à présent de sélectionner les variables utiles à la construction de nos modèles de prédiction, qu'il s'agisse des modèles basés sur les réseaux de neurones ou sur les régressions linéaires multiples. En effet, nous voulons expliquer l'agrément sonore (variable dépendante) à partir d'autres variables subjectives (variables indépendantes). Or il se peut que parmi toutes ces grandeurs, certaines soient porteuses d'informations redondantes et il est donc intéressant de ne garder que les plus pertinentes. Par ailleurs, compte tenu du nombre limité de sujets, réduire la quantité de variables ne pourra être que bénéfique pour l'élaboration de nos modèles.

En ce sens, nous avons dans un premier temps étudié les corrélations de Bravais-Pearson entre chaque paire de variables indépendantes au niveau de confiance de 95%. Ceci nous a permis d'éliminer les variables suivantes :

- agrément global, corrélé à l'aspect silencieux et à l'agrément visuel,
- qualité de l'air perçue, également très corrélée à l'agrément visuel mais aussi à l'aspect surprenant et à l'adéquation avec l'activité,
- l'aspect animé, corrélé à l'aspect silencieux et surprenant.

De plus, cette matrice de corrélation nous permet également de constater que parmi toutes les sources sonores, la sonie perçue est systématiquement très corrélée au temps de présence estimé. Or, lors d'une précédente étude sur la contribution des sources dans la caractérisation des environnements sonores [8], le temps de présence est apparu être un meilleur indicateur que la sonie pour expliquer la qualité de l'environnement sonore perçu. De ce fait nous n'avons gardé que cet estimateur.

Conjointement à cette sélection des données, une attention particulière a été portée à la distribution des réponses. En effet, un histogramme par variable permet de s'assurer d'une certaine variabilité des réponses. Dès lors il apparaît que les sources liées au trafic routier, à l'exception des voitures, ont un mode nul, voir figure 4. Bien que clairement identifiables par l'expert lors de l'interview, ces sources n'ont quasiment jamais été entendues par les personnes sondées. Globalement les gens ont assimilé toutes ces sources à la circulation sans les différencier. De même les sources sonores que sont les activités (commerciale, de travail, ...) et les éléments naturels ne sont pas retranscrites par les sujets.

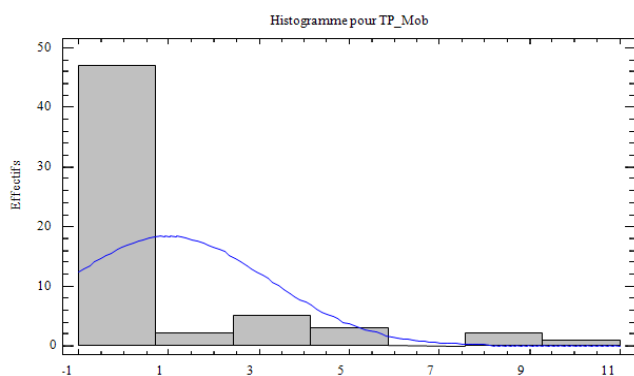


Figure 4 : histogramme des réponses pour le temps de présence des mobylettes

En résumé, nous avons donc retenu pour expliquer l'agrément sonore neuf variables indépendantes, voir table 2.

	Nomenclature	Variables
Variable dépendante	Ag_Son	Agrément sonore
Variables indépendantes	Ag_Vis	Agrément visuel
	Br	Silencieux / Bruyant
	Dyn	Stable / Instable dans le temps
	Adap	Pas du tout / Très adapté à l'activité
	Peu_Env	Enveloppant / Peu enveloppant
	Fam	Surprenant / Familier
	TP_VL	Temps de présence des véhicules légers
	TP_PH	Temps de présence de présence humaine
	TP_Ois	Temps de présence des oiseaux

Table 2 : variables retenues pour expliquer l'agrément sonore

3 Méthodes d'analyse et résultats

3.1 Modèle de réseau de neurones

Issus de plusieurs disciplines (physique, psychologie, biologie, ...), les réseaux de neurones artificiels représentent une méthode de calcul dont le fonctionnement s'inspire des neurones biologiques naturels. Présent de nos jours dans de nombreux domaines (aérospatiale, automobile, finances, télécommunications, ...) ils s'avèrent fort utiles et efficaces pour traiter des problèmes de classification, de reconnaissance de forme ou encore d'approximation de fonction. Et c'est précisément dans cette dernière utilisation que nous avons eu recours aux réseaux de neurones.

Expliqué de façon succincte, il s'agit de présenter une base de données, composée d'entrées (les variables explicatives) et de cibles connues (dans notre cas l'agrément sonore). Le réseau approxime par une fonction non linéaire le lien qui existe entre les entrées et les cibles et peut ainsi par ajustement améliorer cette approximation de façon à minimiser l'erreur entre les sorties calculées et les cibles. S'il n'est pas aisé de résumer en quelques lignes le principe de fonctionnement d'un réseau de neurones artificiels, de nombreux cours peuvent nous éclairer sur le sujet [9, 10]. Il existe différentes architectures de réseaux faisant elles-mêmes appel à diverses méthodes d'apprentissage. Dans le cas de notre étude nous avons utilisé, via la Toolbox Matlab "Neural Network Toolbox", un perceptron multicouche avec rétro-propagation des erreurs. Les divers paramètres rattachés à ces réseaux sont entre autres la taille de la couche cachée, la fonction de transfert utilisée ou encore les divers critères d'arrêt de l'apprentissage. Une optimisation de la taille de la couche cachée puis de la fonction de transfert nous a permis en nous basant sur la fonction

"newfit" de Matlab de construire un réseau de neurones avec comme entrée les neuf variables sélectionnées, une seule couche cachée de vingt-huit neurones et une couche de sortie d'un neurone (l'agrément sonore), voir figure 5.

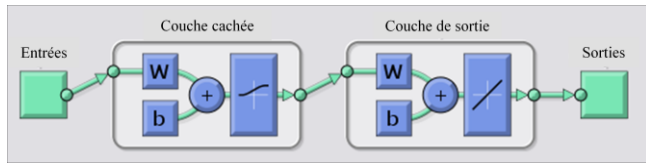


Figure 5 : structure du réseau de neurones utilisé

Enfin, il convient d'apporter une précision sur la base de données utilisée. Que ce soit pour les modèles de réseaux de neurones ou pour les modèles de régressions linéaires, nous avons fait appel à la technique de validation croisée. Pour ce faire, il est nécessaire de scinder notre base de données en deux bases, l'une que nous appellerons "base de construction" (qui comme son nom l'indique sert à construire le modèle) et l'autre que nous appellerons "base de test", qui servira à tester la validité de chaque modèle et à les comparer. Dans le cas du réseau de neurones que nous avons utilisé, cette base de construction doit être partagée en deux, une partie servant à l'apprentissage à proprement parler et l'autre à la validation. La proportion des trois bases de données (apprentissage, validation, test) peut bien sûr varier selon l'utilisation. Nous avons choisi respectivement une proportion de 50-20-30 %, soit 30 sujets pour l'apprentissage, 12 pour la validation et 18 pour le test [9]. L'affectation des individus aux différentes bases peut être soit fixée soit faite de façon aléatoire. C'est cette deuxième solution que nous avons retenue. Cependant, étant donné le faible nombre de sujets dans chaque base, il est possible que le tirage aléatoire des éléments d'une base conduise à une base qui n'est pas représentative de l'ensemble des données. Nous avons donc sélectionné la base d'apprentissage fournissant les meilleurs résultats. On peut supposer que si cette optimisation fonctionne avec les réseaux de neurones, elle devrait fonctionner également avec la régression linéaire multiple.

Les résultats obtenus consistent à comparer les valeurs d'agrément sonore prédites par les modèles à celles des valeurs mesurées. La figure 6 illustre ces résultats appliqués à la base de construction sur le réseau de neurones. Le coefficient de détermination de cette relation vaut $R^2=0.3951$.

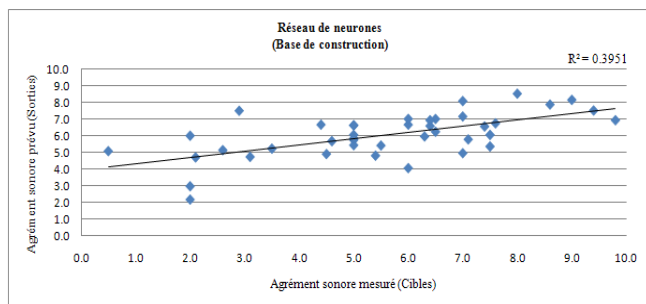


Figure 6 : relation entre les valeurs prévues par le réseau de neurones et les valeurs mesurées - Base de construction

En testant de nouveaux points (base de test) dans le réseau de neurones, le résultat de la régression vaut alors $R^2=0.541$, voir figure 7.

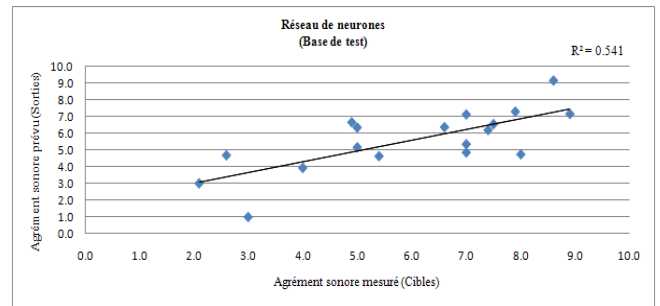


Figure 7 : relation entre les valeurs prévues par le réseau de neurones et les valeurs mesurées - Base de test

3.2 Modèle de régression linéaire multiple

Bien plus généralisée que les réseaux de neurones, la régression linéaire multiple est une méthode d'exploration des données qui permet d'étudier la relation et la dépendance entre une variable dépendante et des variables indépendantes [11]. Le critère de détermination R^2 permet d'évaluer la fiabilité du modèle.

A l'aide du logiciel Statgraphics, nous avons testé différents modèles prenant l'agrément sonore comme variable dépendante, voir table 2. Le modèle présentant le meilleur R^2 est celui dans lequel toutes les variables interviennent. L'équation du modèle est la suivante :

$$\begin{aligned} \text{Ag_Son} = & 1.95 - 0.248 * \text{Br} + 0.11 * \text{Dyn} + 0.0763 \\ & * \text{Peu_Env} + 0.312 * \text{Ag_Visuel} + 0.27 \\ & * \text{Fam} - 0.219 * \text{TP_VL} + 0.131 * \text{TP_PH} \\ & - 0.151 * \text{TP_Ois} + 0.142 * \text{Adap} (1) \end{aligned}$$

L'agrément sonore calculé à partir de cette équation (1) est présenté dans les figures 8 et 9 suivantes.

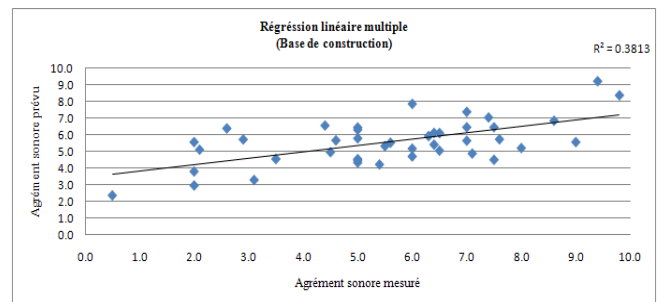


Figure 8 : relation entre les valeurs prévues par le modèle de régression linéaire et les valeurs mesurées - Base de construction

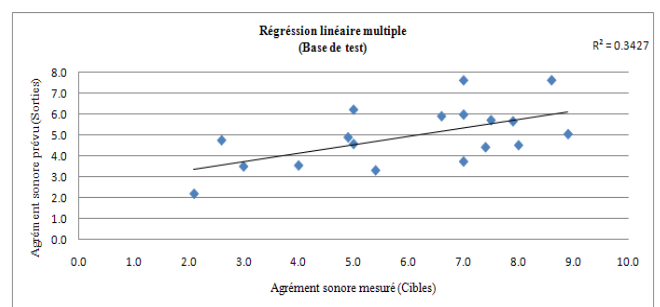


Figure 9 : relation entre les valeurs prévues par le modèle de régression linéaire et les valeurs mesurées - Base de test

3.3 Discussion sur les deux modèles de prédiction

La table 3 présente une synthèse des coefficients de détermination.

	Réseau de neurones	Régression linéaire multiple
Coefficient de détermination (base de construction)	$R^2 = 0.3951$	$R^2 = 0.3813$
Coefficient de détermination (base de test)	$R^2 = 0.5410$	$R^2 = 0.3427$

Table 3 : synthèse des résultats

Du point de vue de l'interprétation, le réseau de neurones ne nous permet pas de comprendre quelles variables entrent en jeu dans l'explication de l'agrément sonore tandis que la régression linéaire nous donne des informations sur l'importance des variables retenues. On peut voir notamment que si l'aspect silencieux / bruyant prend en toute logique une part importante dans l'agrément sonore, c'est également le cas de l'agrément visuel ou l'aspect familier de l'environnement sonore. Il semble donc que le contexte prenne une part non négligeable dans l'évaluation de l'environnement sonore. L'identification des sources sonores joue aussi un rôle : plus il y a de véhicules, plus l'ambiance sonore se dégrade tandis que la présence humaine semble l'améliorer. Il est étonnant de constater que la présence des oiseaux impacte négativement cette ambiance. Il serait peut-être nécessaire d'approfondir l'étude de la régression multiple en s'intéressant au coefficient de détermination ajusté R^2_{aj} afin d'optimiser le nombre de variables pertinentes dans l'évaluation de l'environnement sonore.

Du point de vue la prédiction, la comparaison des deux modèles dans notre étude donne un avantage au réseau de neurones sur la base des tests ($R^2=0.5410$ pour le réseau de neurones et $R^2=0.3427$ pour la régression multiple). On peut voir que la validité des modèles sur la base de construction est sensiblement la même dans les deux cas, $R^2=0.3951$ pour le réseau de neurones contre $R^2=0.3813$ pour la régression. Il est intéressant de remarquer que la comparaison de plusieurs modèles de prédiction a déjà été utilisée pour l'estimation des niveaux sonores dus aux passages de train par Givargis et al [12]. Dans leurs travaux le modèle de réseau de neurones est construit sur deux variables et est équivalent au modèle de régression.

4 Conclusion

Le but principal de cette étude est de construire des modèles de prédiction de la qualité sonore en milieu urbain en s'appuyant sur des mesures de perception. Cette recherche a permis de sélectionner un certain nombre de facteurs jouant un rôle particulier dans la perception de l'environnement sonore. Elle a mis en évidence que les critères liés au contexte et aux attentes semblent importants pour expliquer l'évaluation de la qualité sonore comme cela avait déjà été avancé dans différents travaux [4, 13]. On peut remarquer qu'un seul point de mesure permet d'étudier la variabilité entre les individus enquêtés à différents moments de la journée, tandis que plusieurs points de mesures permettraient d'ajouter la variabilité spatiale dans les modèles. Pour cela, l'enquête a également été réalisée en

trois autres points, proche de celui présenté ici. De nouvelles analyses devraient conforter le fait que l'ambiance sonore est très influencée par le contexte [14]. Ces nouvelles analyses, portant sur l'ensemble des quatre points pourraient aussi révéler l'importance de nouvelles variables.

Concernant les techniques de prédiction, cette étude nous aura permis de montrer les avantages des réseaux de neurones sur les modèles de régressions linéaires. Bien que se présentant comme des boîtes noires, ils n'en demeurent pas moins plus efficaces dans le travail de prédiction.

Remerciement

Nous tenons à remercier la direction des parcs de la ville de Lyon qui nous a autorisés à réaliser les enquêtes dans le parc de la Tête d'Or.

Nous remercions également l'ADEME pour leur aide financière.

Références

- [1] Davis S., Smith R., "An introduction to statistics and research methods: becoming a psychological detective", *Prentice Hall*, (2004).
- [2] Brocolini L., Lavandier C., Quoy M., Ribeiro C., "Discrimination of urban soundscapes through Kohonen map", *Euronoise 09, Edinburgh*, (2009).
- [3] Lavandier C., Barbot B., "Influence of the temporal scale on the relevance of acoustic parameters selected to characterize urban sound environments", *Euronoise 03, Naples*, (2003).
- [4] Viollon S., "Influence des informations visuelles sur la caractérisation de la qualité acoustique de l'environnement urbain", *PhD thesis, Université de Cergy-Pontoise*, (2000).
- [5] Raimbault M., "Simulation des ambiances sonores urbaines: intégration des aspects qualitatifs", *PhD thesis, Université de Nantes* (2002).
- [6] Dubois D., Guastavino C., Raimbault M., "A cognitive approach to urban soundscapes : using verbal data to access everyday life auditory categories", *Acta Acustica united with Acustica*, 92, 865-874 (2006).
- [7] Guastavino C., "The ideal urban soundscape : investigating the sound quality of French cities", *Acta Acustica united with Acustica*, 92, 945-941 (2006).
- [8] Lavandier C., Defréville B., "The contribution of sound source in the assessment of urban soundscapes", *Acta Acustica united with Acustica*, 92, 912-921 (2006).
- [9] Parizeau M., "Réseaux de neurones, GIF-2140, Notes de cours et chronologie", *Université Laval, Québec*, <http://wcours.gel.ulaval.ca/2007/a/21410/default/5notes/index.shtml> (2006).
- [10] Blayo F., Verleysen M., "Que sais-je ? Les réseaux de neurones artificiels", *Presses universitaires de France*, (1996).

- [11] Saporta G., "Probabilités, analyse des données et statistiques", *Editions Technip*, (1990).
- [12] Givargis S., Karimi H., "Mathematica, statistical and neural models capable of predicting $L_{A,max}$ for the Tehran-Karaj express train", *Applied Acoustics*, Volume 70, Issue 7, 1015-1020, (2009).
- [13] Can A., Defréville B., Lavandier C., "Caractérisation in situ du désagrément sonore urbain basé sur l'identification des sources", *Proceedings du 8^{ème} congrès français d'acoustique*, pp 921-923, Tours (2006).
- [14] Brown A.L., Kang J., Gjestland T., "Towards some standardization in assessing soundscape preference", *Internoise 09, Ottawa*, (2009).