

Évaluation de l'agrément sonore en milieu urbain à l'aide de téléphones mobiles

P. Delaitre^a, C. Lavandier^a, E. D'hondt^b, E. Gonzalez Boix^b, K. Kambona^b, M. Basile^a,
L. Cazeaux^a et K. Ibtaten^c

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

^bSoftware Languages Lab, Vrije Universiteit Brussels, Pleinlaan 2, B-1050 Brussels, Belgique

^cDirection des Espaces Verts et de l'Environnement, Mairie de Paris, 103 avenue de France, 75013 Paris, France

pauline.delaitre@u-cergy.fr

Le but du projet de recherche Cart_Asur est de proposer un indicateur de qualité sonore en croisant des données acoustiques, perceptives et géo-référencées. Le recueil des données acoustiques et perceptives est réalisé par l'intermédiaire de téléphones portables distribués à 60 participants. Une application spécialement développée leur permet de réaliser une centaine de mesures dans différents lieux du 13^e et 14^e arrondissements de Paris à différents créneaux horaires. Pour chaque mesure, le participant enregistre le niveau sonore pendant 10 minutes puis répond à une série de questions relatives à la caractérisation de l'environnement dans sa globalité, à l'intensité sonore de sources émergentes et au temps de présence des sources participant au bruit de fond. Ces données sont ensuite envoyées et stockées sur un serveur. À la fin de l'expérimentation, plus de 5000 points de mesures sont attendus. Ces données acoustiques et perceptives, associées à d'autres données géo-référencées devraient permettre de proposer un ou des indicateurs de qualité sonore si possibles prédictibles et qui puissent être cartographiés facilement. Dans cette présentation, nous nous intéresserons à un premier travail sur les corrélations obtenues entre les notes d'agrément sonore données par les participants et les données géo-référencées disponibles sur les 13^e et 14^e arrondissements.

1 Introduction

Les cartes de bruit des agglomérations telles qu'elles doivent être réalisées pour répondre à la directive européenne 2002/49/CE [1] sont construites à partir de l'indicateur L_{den} (moyenne pondérée des niveaux jour, soirée et nuit), calculé à partir des prévisions de trafic des infrastructures de transports. Les niveaux sonores ainsi représentés ne tiennent pas compte des sources telles que les oiseaux, les voix dans un marché ou des mobylettes qui influent néanmoins sur la perception de la qualité sonore. Pour proposer des cartes de qualité sonore (et non plus de bruit de trafic) il est nécessaire d'intégrer toutes les dimensions qui interviennent dans le ressenti des citoyens.

Un indicateur de qualité sonore a déjà été développé à partir d'un modèle de calcul de l'agrément sonore [2]. Il s'appuie sur 13 variables perceptives indépendantes (Tableau 1). Il permet d'obtenir une corrélation entre les valeurs d'agrément sonore et les valeurs de l'indicateur de 80% environ ($r^2 \approx 0,64$).

Tableau 1: Variables permettant le calcul de l'agrément sonore issues de [2].

Variable dépendante	Agrément sonore
Variables indépendantes	Agrément visuel
	Calme
	Animation
	Enveloppement
	Familiarité
	Temps de présence des véhicules légers
	Intensité sonore des poids lourds
	Intensité sonore des deux roues
	Intensité sonore des klaxons
	Temps de présence des activités urbaines
	Temps de présence humaine
	Temps de présence des oiseaux
	Temps de présence des bruits naturels

Dans cette étude, les variables perceptives ont été recueillies au cours d'enquêtes in-situ auprès de 240 passants dans Paris. Bien que ce nombre soit assez limité pour effectuer une étude statistique robuste, l'enquête a demandé beaucoup de temps (6 mois). C'est pourquoi, le projet Cart_Asur propose d'augmenter le nombre de données perceptives pour consolider le modèle en

s'appuyant sur les nouvelles technologies, via la téléphonie mobile (parties 2 et 3 de cet article) en tentant de recueillir plus de 5000 données en un an. De plus, dans l'idée de proposer un indicateur de qualité sonore prédictible, il est envisagé, dans le cadre de ce nouveau projet, d'y inclure les données déjà géo-référencées sous SIG (Système d'Information Géographique) des collectivités locales. La mairie de Paris avec l'Agence d'écologie urbaine de la Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (DEVE) a donc accepté de mettre à disposition un grand nombre de celles-ci comme, par exemple, les niveaux moyens L_{den} , la position des arbres ou encore les surfaces de pelouse (partie 4).

Dans cet article, nous allons faire l'hypothèse que certaines des variables perceptives présentées dans le tableau 1 peuvent être prédites par des données géo-référencées existantes. Des calculs de corrélations entre ces données et les variables indépendantes seront donc testés et présentés dans la partie 5. La partie 6 envisagera un premier indicateur de qualité sonore uniquement construit à partir de certaines données géo-référencées.

2 Sélection des lieux étudiés

Pour mener à bien le recueil des données, il a fallu choisir des lieux et des périodes de mesures pour lesquels l'environnement sonore reste homogène. Ces zones homogènes correspondent à de grandes formes urbaines telles que des parcs, des boulevards, des rues, etc. Leur environnement sonore est constitué en général d'un seul type de source dominante. Entre deux zones homogènes, il existe une zone de transition, constituée d'un mélange de sources sonores, sans source vraiment dominante [3]. Ces zones de transition s'étalent sur une distance de 50m environ, c'est-à-dire 25m de part et d'autre des limites géographiques des espaces urbains typés (parcs, boulevards, etc.). Mais ne s'intéresser qu'aux sources dominantes ne suffit pas, il faut également tenir compte du rythme des journées. Par exemple, l'environnement sonore d'un parc est homogène les samedis et dimanches de 15h à 18h, mais il est différent si l'on s'intéresse à l'environnement sonore de ce même parc un jour de semaine vers 16h [4].

Ainsi, divers lieux et créneaux horaires ont été définis. 10 typologies de lieux sont donc étudiés (Figure 1) : 2 passages (rose claire), 4 rues (rose), 3 boulevards (violet), 2 rues commerçantes (bleu), 2 écoles (azur), 2 rues de restaurants (vert), 2 marchés (rouge), 4 carrefours ou places (marron), 1 cimetière (noir), 6 jardins (jaune) et 3 zones de transition (noir). Au total, 31 lieux ont donc été sélectionnés dans les 13^e et 14^e arrondissements de Paris. Ces

arrondissements ont été choisis car ils présentent des typologies urbaines variées tout en gardant une zone d'étude regroupée.

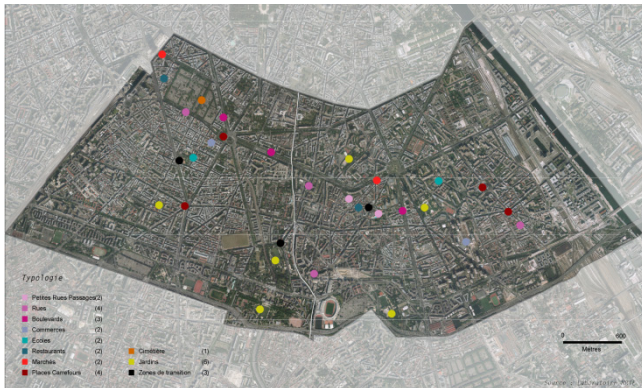


Figure 1: Localisation des points de mesures dans le 13^e et le 14^e arrondissement de Paris.

Des surfaces de zones homogènes autour de ces points ont ensuite été définies en suivant les règles suivantes :

- Pour les parcs et jardins, la zone homogène correspond à la surface du parc à laquelle on a enlevé la bordure que constitue la zone de transition entre le parc et la rue environnante (distance de 25m).
- Pour les rues et boulevards, la zone homogène englobe la longueur de la rue à laquelle on enlève les extrémités entre deux croisements (distance de 25m).
- Pour les rues commerçantes, de restaurants ou les marchés, la zone homogène est limitée à l'emprise des commerces sur la rue.
- Les places et carrefours sont considérés comme des zones de transition car les voix et les voitures se mélangent sans être masquées les unes par les autres. La zone englobe donc l'ensemble de la place ou du carrefour jusqu'au croisement des rues adjacentes.
- Pour les autres zones de transition, la zone considérée est définie par un rayon de 25m autour du point étudié.

Pour chacune de ces zones, des périodes homogènes ont également été définies. Ces périodes correspondent globalement à des périodes de jour, soirée, nuit, sachant que seules 4 mesures sont réellement réalisées de nuit (entre 0h et 2h du matin) pour des questions de sécurité.

Finalement, le protocole de mesure regroupe une centaine d'objectifs (un objectif correspond à un lieu pour un créneau horaire donné). Beaucoup de lieux sont évalués plusieurs fois, à des créneaux horaires différents. Chaque objectif est évalué par 30 personnes environ.

3 Recueil des données perceptives et acoustiques

Pour recueillir les données perceptives sur chaque objectif, 60 participants ont été recrutés [5]. Ils doivent réaliser 51 mesures en période "chaude" (d'avril à septembre) et refaire les 51 mêmes mesures en période "froide" (d'octobre à mars). Les premières analyses présentées ici ont été réalisées à partir des évaluations de la période "froide".

Pour la réalisation de ces évaluations, une application mobile fonctionnant sous Android a été spécialement développée par l'équipe BrusSense de l'université de Bruxelles (VUB). Cette application appelée Cart_Asur est une extension de l'application NoiseTube. Cette dernière permet d'enregistrer les niveaux sonores en dB(A) à partir du microphone d'un téléphone portable calibré [6]. L'application Cart_Asur complète donc ces données acoustiques par des données perceptives grâce à un questionnaire renseigné par les participants sur chacun des objectifs.

Chaque mesure se déroule ainsi: le niveau sonore est enregistré pendant 10 minutes (une mesure par seconde) puis un questionnaire perceptif complète les mesures acoustiques (Figure 2).

Le questionnaire se décompose en trois grandes parties :

- Une évaluation globale de l'environnement : conditions météorologiques, agrément sonore, agrément visuel, etc.
- Une évaluation de l'intensité sonore pour les sources émergentes, de 0 (faible) à 10 (fort)
- Une évaluation du temps de présence pour les sources qui n'émergent pas beaucoup du bruit de fond, de 0 (rarement présent) à 10 (continuellement présent)

À la fin de chaque session, le participant est invité à prendre une ou plusieurs photos du lieu évalué.



Figure 2: Exemples de capture d'écran du questionnaire utilisé pour recueillir les données perceptives.

4 Recueil des données SIG

Les données géo-référencées étudiées dans ce projet ont été mises à disposition par la mairie de Paris. La ville de Paris, qui se compose de nombreux services, dispose d'un nombre important de données en tout genre sur la capitale. Ces données objectives peuvent donc être utilisées comme entrées au modèle de calcul de l'agrément sonore.

Pour cette première étude, nous nous sommes intéressés à deux types de données : les données acoustiques L_{day} , $L_{evening}$ ou L_{night} , calculées à partir des données de voirie et de trafic de 2010, qui sont utilisées pour les cartes de bruit stratégiques, et les données de végétation. Toutes ces données sont traitées sous SIG ce qui nous permet une étude précise des différents points de mesures. Selon la

source du fichier analysé, le contenu des données peut varier, notamment en fonction des besoins du service qui l'a établi. Pour chaque fichier étudié, une attention particulière doit donc être portée sur la construction des données.

Pour les données de végétation, par exemple, trois fichiers ont été étudiés :

- Le premier fichier que nous appellerons « arbres », vient de la Direction de la Voirie et des Déplacements (DVD) de la mairie de Paris qui recense le nombre d'arbres d'alignement aux abords des axes routiers. Ce fichier de données ne renseigne donc pas sur la quantité d'arbres dans les espaces verts. Les 12 objectifs qui sont réalisées dans les parcs ne pourront donc pas être analysés avec ce fichier ce qui réduit le nombre d'objectifs à 51 pour cette donnée.
- Le second fichier que nous appellerons « espaces verts » est réalisé par la DEVE. Ce fichier contient les surfaces horticoles c'est-à-dire les surfaces de massifs et de pelouses dont le service à la charge de l'entretien. Malheureusement, cette couche ne contient pas d'information sur la cité universitaire car c'est un lieu privé accessible au public (ce qui réduit le nombre d'objectifs à 61 pour cette donnée).
- Le troisième fichier que nous appellerons « surfaces de végétation » provient des services de l'IGN. Ce fichier contient les surfaces de la projection verticale des houppiers d'arbres. Cette couche permet donc une étude de toutes les surfaces ombragées que ce soit des parcs, des axes routiers ou des cours intérieures. Cependant, une absence de données pour la rue Froidevaux réduit là aussi le nombre d'objectifs pour cette donnée à 61.

Pour comparer ces données géo-référencées avec les évaluations perceptives, une moyenne des données est calculée à l'intérieur de chaque zone homogène entourant le lieu étudié. Nous faisons donc comme hypothèse que dans une zone homogène, la moyenne des données correspond à une valeur pertinente. Les surfaces des zones n'étant pas toutes égales, les données sont parfois ramenées à des données surfaciques pour être comparables. Par exemple, la donnée «surfaces de végétation» est calculée en surface d'arbres par m². Cette valeur varie donc de 0 pour la rue Daguerre, sans aucun arbre, à 0,92 pour la rue Emile Richard couverte de grands arbres.

5 Croisement de données perceptives aux autres données

Les premières analyses présentées ici ont été réalisées à partir des évaluations de la période "froide" (~1100 mesures). Des corrélations ont été calculées entre les données perceptives globales ou liées aux sources qui ne correspondent pas à des événements sonores et les données géo-référencées. La distribution de ces données perceptives est gaussienne, ce qui justifie le calcul d'une valeur perceptive moyenne. Au contraire, la distribution des données concernant les sources sonores événementielles n'est pas gaussienne ce qui ne permet pas d'étudier la moyenne des réponses. Bien que ces données soient importantes pour l'indicateur de qualité sonore [2], elles semblent plus aléatoires.

5.1 L'intensité sonore perçue

Pour évaluer l'intensité sonore perçue, les participants de Cart_Asur ont répondu à la question suivante : « l'environnement sonore dans sa globalité vous semble » à l'aide d'une échelle allant de 0 « silencieux » à 10 « bruyant » (Figure 2). Cette intensité sonore perçue peut être croisée avec les valeurs moyennes de L_{day} , $L_{evening}$ et L_{night} calculées dans les différentes zones homogènes ou bien aux valeurs de niveaux sonores mesurés par les téléphones portables au cours de l'évaluation elle-même (Tableau 2).

En calculant les corrélations avec les niveaux sonores, on remarque que certains objectifs se détachent des autres principalement pour le $L_{evening}$ (Figure 3).

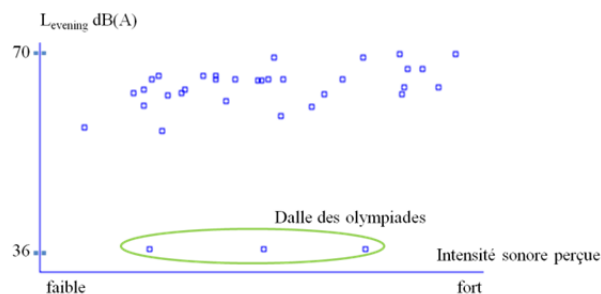


Figure 3: Liens entre l'intensité sonore et le niveau équivalent de soirée $L_{evening}$.

Ces objectifs correspondent aux évaluations réalisées sur la dalle des olympiades qui, par sa configuration, n'est que très peu soumise au bruit du trafic urbain, et ceci se voit particulièrement en période de soirée et de nuit. Nous avons donc calculé les corrélations avec et sans ces objectifs particuliers pour les périodes de soirée (3 objectifs) et de nuit (2 objectifs).

Tableau 2: Corrélations entre l'intensité sonore perçue et les niveaux mesurés ou calculés.

Données perceptives	Données SIG + mesurées	Nb de points	Corrél.	p-value
Intensité sonore perçue	L_{day}	63	0,6326	<0,0001
	$L_{evening}$	32	0,4966	0,0038
		35	0,1895	0,2757
	L_{night}	33	0,4650	0,0064
		35	0,4197	0,0121
	$L_{Aeq,jour}$	63	0,7893	<0,0001
$L_{Aeq,soirée}$	35	0,7769	<0,0001	
$L_{Aeq,nuit}$	35	0,7485	<0,0001	

En observant, les p-values dans le Tableau 2, on remarque que les corrélations entre l'intensité sonore perçue et les données SIG ne sont pas toutes significatives, à cause de quelques lieux qui sous estiment énormément, par la valeur du $L_{evening}$, l'intensité perçue.

Logiquement, l'intensité perçue est très bien corrélée avec les valeurs de L_{Aeq} mesurées pendant l'évaluation. Bien que cette corrélation puisse s'effectuer sur les 1100 mesures individuelles, nous avons préféré calculer les corrélations sur les moyennes de jour, de soirée et de nuit, pour pouvoir les comparer aux autres valeurs de corrélations.

Il est alors intéressant de connaître la relation qui existe entre les valeurs des niveaux L_{Aeq} mesurés et les valeurs des L_{day} , $L_{evening}$ et L_{night} calculés. Le Tableau 3 permet de montrer que les corrélations sont significatives, avec une moins bonne correspondance pour les niveaux de soirée, toujours à cause de la sous estimation des niveaux pour la dalle des Olympiades. Cette sous estimation peut se visualiser sur l'histogramme des écarts entre ces deux grandeurs, pouvant aller jusqu'à 35 dB(A) (Figure 4).

Tableau 3: Corrélations entre les niveaux mesurés et les niveaux calculés de la carte de bruit.

Données mesurées	Données SIG	Nb de points	Corrél.	p-value
L_{Aeq}	L_{day}	63	0,6962	<0,0001
	$L_{evening}$	35	0,3422	0,0442
	L_{night}	35	0,6436	<0,0001

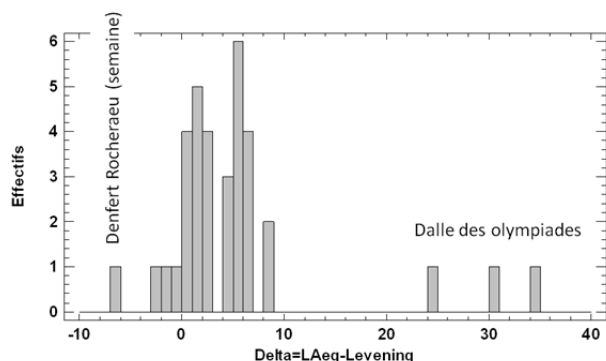


Figure 4: Histogramme des écarts entre le niveau mesuré et le niveau calculé sur la période de soirée.

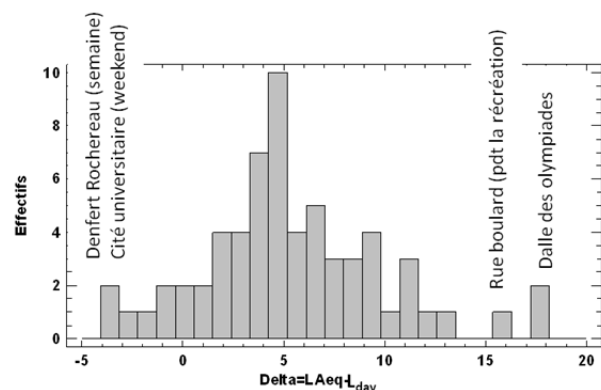


Figure 5: Histogramme des écarts entre le niveau mesuré et le niveau calculé sur la période de jour.

L'écart moyen sur les périodes de journée se situe autour de 5 dB(A), allant jusqu'à 17 dB(A) pour la dalle (Figure 5).

On remarque que les lieux dont les niveaux calculés sont fortement sous estimés par rapport aux niveaux mesurés correspondent à ceux dont les ambiances sonores sont constituées dans notre étude par la forte présence de voix. En revanche, les lieux où les niveaux sonores calculés surestiment les niveaux mesurés n'ont pas de caractéristiques particulières. L'écart observé entre les niveaux sonores calculés et mesurés peut être expliqué par deux hypothèses :

- Les calculs des niveaux sonores contrairement aux niveaux sonores mesurés, ne prennent en compte qu'un seul type de source (le trafic routier).
- La calibration des téléphones mobiles surestime les niveaux sonores mesurés.

Pour cette deuxième hypothèse, une mesure a donc été réalisée en parallèle avec un téléphone portable et une station de mesure fixe (Figure 6). Les résultats ont montré un décalage de 2dB(A) entre les L_{Aeq} calculés sur 10 minutes. 74 dB(A) ont été mesurés avec le téléphone portable contre 72 dB(A) avec la station fixe.

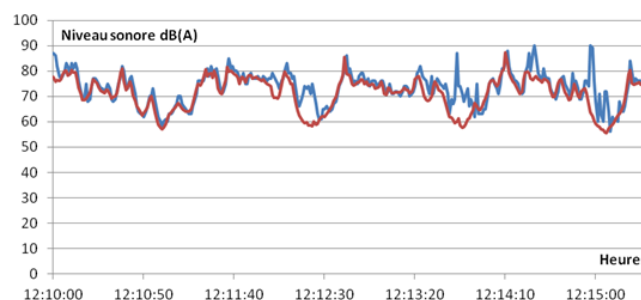


Figure 6: Extrait des 10 minutes d'enregistrements du niveau sonore par le téléphone portable (en bleu) et la station fixe (en rouge).

Sur la Figure 6, on observe que le téléphone portable est légèrement plus sensible à certains événements que la station fixe de mesure d'où très certainement la différence de 2 dB(A) sur le L_{Aeq} .

5.2 Le temps de présence de la circulation

Pour évaluer les temps de présence des différentes sources sonores, les participants doivent déplacer un curseur entre 0 (rarement présent) et 10 (continuellement présent). Les données obtenues sur le temps de présence de la circulation sont comparées aux données des cartes de bruit calculées à partir des prévisions de trafic routier.

Tableau 4: Corrélations entre le temps de présence de la circulation et les niveaux calculés pour les cartes de bruit.

Données perceptives	Données SIG	Nb de points	Corrél.	p-value
Temps de présence de la circulation	L_{day}	63	0,8103	<0,0001
	$L_{evening}$	35	0,6726	<0,0001
	L_{night}	35	0,7573	<0,0001

Les corrélations obtenues sont hautement significatives, montrant bien que les calculs des niveaux pour les cartes de bruit sont issus des données de trafic, elles-mêmes bien perçues par la notion de circulation (Tableau 4).

5.3 L'agrément visuel

L'agrément visuel est évalué grâce à la question suivante: « Toujours de façon globale, du point de vue de l'environnement visuel ce lieu vous semble-t-il ? » avec une échelle de 0 « désagréable » à 10 « agréable ».

En ce qui concerne les données SIG, plusieurs fichiers ont été comparés aux valeurs d'agrément visuel exprimées (Tableau 5).

Tableau 5: Corrélations entre l'agrément visuel perçu et les données de végétation.

Données perceptives	Données SIG	Nb de points	Corrél.	p-value
Agrément visuel	surfaces de végétation	61	0,0659	0,6137
	arbres	51	-0,0069	0,9615
	espaces verts	61	0,6130	<0,0001

En observant les valeurs de significativités dans la Tableau 5, on remarque que seules les données SIG des « espaces verts » sont corrélées avec l'agrément visuel perçu. Les données « espaces verts » qui, rappelons-le, caractérisent les surfaces de pelouses et de massifs floraux, donnent un poids très important aux parcs et jardins. Les autres situations ont généralement une surface « espaces verts » plus réduite et une valeur d'agrément visuel plus faible.

Cependant, des valeurs d'agrément visuel élevées sont également obtenues pour des lieux où il n'y a pas d'espaces verts comme le montre la Figure 6. L'environnement visuel de la rue de la butte aux cailles par exemple est évalué très agréable (en moyenne environ à 8,33) alors que les espaces verts pour ce lieu ne sont pas du tout présent.

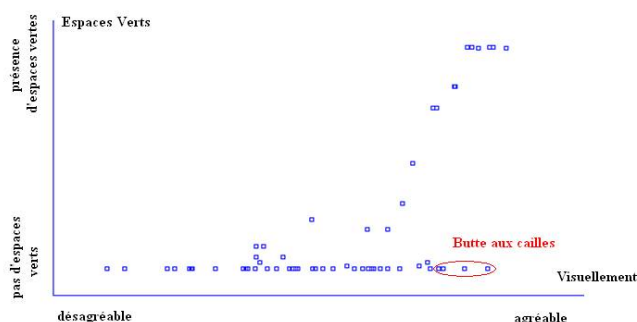


Figure 6: Corrélation entre les données perceptives d'agrément visuel et les données sur les « espaces verts ».

Cette observation montre donc qu'un autre facteur doit être pris en compte pour évaluer l'agrément visuel de certains lieux. Les données géo-référencées « espaces verts » permettent néanmoins une bonne évaluation de l'agrément visuel des lieux de type "parc".

5.4 Le temps de présence des oiseaux

Le temps de présence des bruits d'oiseaux est évalué de la même manière que celui de la circulation. Pour comparer ces valeurs avec les données géo-référencées, nous avons fait l'hypothèse qu'il y aurait plus d'oiseaux dans les zones où la végétation était bien implantée. Les données perceptives relatives aux oiseaux ont donc été comparées avec les données géo-référencées de la végétation (Tableau 6).

Tableau 6: Corrélations entre le temps de présence des oiseaux perçu et les données de végétation.

Données perceptives	Données SIG	Nb de points	Corrél.	p-value
Temps de présence des oiseaux	surfaces de végétation	61	0,3567	0,0048
	arbres	51	-0,0442	0,7579
	espaces verts	61	0,7593	<0,0001

D'après le tableau ci-dessus, les corrélations entre le temps de présence des oiseaux et les données « espaces verts » et « surfaces de végétation » sont hautement significatives. En revanche, le temps de présence du bruit des oiseaux n'est pas du tout corrélé avec les données « arbres ». Ce résultat n'est pas très surprenant étant donné que ces données concernent uniquement les situations le long des voiries où la présence des oiseaux est souvent masquée par les bruits des axes routiers. Cependant, le temps de présence des oiseaux est également corrélé avec les données « surfaces de végétation » qui prennent en compte l'emprise au sol des houppiers d'arbres.

5.5 Le temps de présence du bruit du vent

Pour évaluer l'influence du bruit du vent sur la qualité perçue, les participants ont également évalué le temps de présence des bruits du vent. Ces résultats ont ensuite été corrélés avec les données de végétation, en partant de l'hypothèse que le bruit du vent était essentiellement dû au bruit des feuilles dans les arbres (Tableau 7).

Tableau 7: Corrélations entre le temps de présence du bruit du vent perçu et les données de végétation.

Données perceptives	Données SIG	Nb de points	Corrél.	p-value
Temps de présence du bruit du vent	surfaces de végétation	61	0,2823	0,0275
	arbres	51	0,3917	0,0041
	espaces verts	61	0,0459	0,7256

Dans le tableau précédent, on remarque que le bruit du vent est corrélé de manière significative avec les données « arbres » qui recensent le nombre d'arbre le long des rues et avec les données « surfaces de végétation » qui recensent la surface de couverture des arbres. L'hypothèse d'associer la présence d'arbres avec la perception du temps de présence des bruits du vent semble donc cohérente, mais il

est dommage de ne pas avoir l'information du nombre d'arbres dans les parcs, puisque cette donnée semble donner de meilleurs résultats quant à la perception du bruit du vent.

6 Utilisation des données SIG pour le calcul de l'agrément sonore

Les résultats précédents ont montré que certaines données géo-référencées sont corrélées de manière significative aux données perceptives. Il est tentant, même à ce stade précoce de la recherche, de tester si l'ajout de données géo-référencées aux données de niveaux calculés permettrait d'améliorer la pertinence de ces valeurs en se rapprochant de la notion d'agrément sonore. Un premier modèle calculé à partir d'une régression linéaire simple a donc été construit en ajoutant les surfaces de végétation, et/ou les espaces verts au niveau calculé L_{day} . Ce modèle a été construit à partir de 59 objectifs, c'est-à-dire à partir des objectifs pour lesquels toutes les variables géo-référencées étaient disponibles (Tableau 8).

Tableau 8: Les différents modèles de régression (A : surfaces de végétation, B : espaces verts, C : L_{day}).

Variables incluses	R-carré	R-carré ajusté
	0,0	0,0
A	1,72414	0,0
B	21,3185	19,9381
C	42,2631	41,2502
AB	31,1956	28,7383
AC	42,3521	40,2933
BC	44,9108	42,9434
ABC	45,467	42,4925

Dans le tableau précédent, on observe que l'ajout des différentes données géo-référencées permet d'obtenir une meilleure valeur du R^2 ajusté, soit un meilleur modèle de prédiction de l'agrément sonore. L'équation correspondante à ce modèle est donnée par l'Eq.(1) ci-dessous.

$$\text{Agrément sonore} = 16,05 + 0,75 * \text{espaces verts} - 0,13 * L_{day} \quad (1)$$

Ce premier résultat est encourageant car le seul ajout d'une donnée géo-référencée améliore un peu la prédiction de l'agrément sonore comparé au modèle qui s'appuie simplement sur les niveaux équivalents moyens utilisés pour les cartes de bruit actuelles. On peut envisager que l'ajout d'autres données concernant par exemple les voix et/ou les bruits d'eau, devraient aussi améliorer le modèle.

7 Conclusion

Cette première analyse réalisée à partir de différents types de données montre qu'il est possible d'en extraire des liens pertinents. L'intensité sonore perçue peut être croisée aux niveaux de bruits calculés pour la cartographie du bruit, mais le lien reste limité à une corrélation de 0,5 pour les périodes de soir et de nuit, pouvant même ne plus être significatifs si tous les lieux, sans sélection typologique, sont considérés. L'agrément visuel peut être associé à la

surface des espaces verts dans les parcs. En revanche, pour les autres types de configuration urbaine, une autre donnée doit intervenir dans le jugement visuel de l'environnement. Le temps de présence des oiseaux peut quant à lui, être associé aux surfaces de végétation que se soit les surfaces de pelouses ou de massifs pour les parcs ou les emprises au sol des arbres. Enfin une connaissance des arbres et de leur position permet d'anticiper la perception du bruit du vent in-situ.

On remarque également que toutes les données ne sont pas disponibles pour tous les lieux car elles proviennent de services différents de la ville de Paris. Une meilleure collaboration permettrait peut-être de compléter les données manquantes.

Enfin, le coefficient de détermination R^2 du modèle d'agrément sonore construit sur les deux données de niveau calculé et d'espaces verts n'atteint que 0,43 alors que le modèle proposé par Laurent Brocolini [2], construit sur les données perceptives uniquement, permet d'obtenir un R^2 de 0,64. Ce travail doit donc être poursuivi afin de proposer un indicateur pertinent de qualité sonore.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ADEME qui finance ce projet de recherche dans le cadre du PREDIT.

Références

- [1] European Parliament and Council, Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise, *Official Journal of the European Communities* L 189.45 , pp. 12–26 (2002).
- [2] Brocolini L., Lavandier C., Marquis-Favre C., Quoy M., Lavandier M., Prediction and explanation of sound quality indicators by multiple linear regressions and artificial neural networks, *IOA/CFA Congress, Acoustics 2012 Nantes, France* (2012).
- [3] Brocolini L., Lavandier C., Quoy M., Ribeiro C., Discrimination of urban soundscape through Kohonen map, *Euro Noise2009*, EN09-291, 9 pages, Edinburgh, Ecosse (2009).
- [4] Brocolini L., Lavandier C., Quoy M., and Ribeiro C., Measurements of acoustic environments for urban soundscapes: choice of homogeneous periods, optimization of durations and selection of indicators, *Journal of the Acoustical Society of America*, **134** (1), Pt. 2, 813-821 (2013).
- [5] Lavandier C., Delaitre P., D'Hondt E., Gonzalez Boix E., Kambona K., Urban sound quality assessment with mobile technology: The Cart-ASUR project, *ACOUSTICS2013*, New Delhi, India (2013).
- [6] D'Hondt E., Stevens M., Jacobs A., Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring, *Journal on Pervasive and Mobile Computing: Special Issue on Pervasive Urban Applications*. **9**(5), 681-694 (2013).