

# CFA/VISHNO 2016

## **Cartographie de l'agrément sonore de l'espace public urbain à partir de données géo-référencées**

C. Lavandier<sup>a</sup>, P. Aumond<sup>a</sup>, S. Gomez<sup>b</sup> et C. Dominguez<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Université de Cergy-Pontoise, laboratoire MRTE, 5 Mail Gay Lussac, Neuville sur Oise, 95031 Cergy Pontoise Cedex, France

<sup>b</sup>IGN, Université Paris-Est, Laboratoire COGIT, 73 Avenue de Paris, 94160 Saint Mandé, France

[catherine.lavandier@u-cergy.fr](mailto:catherine.lavandier@u-cergy.fr)



LE MANS

Aujourd'hui les cartes de bruit proposées dans le cadre de la directive européenne s'appuient sur le calcul des niveaux sonores  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  et  $L_{night}$ . Ces niveaux sont calculés à partir de modèles d'émission et de propagation qui sont coûteux en temps et les cartes de bruits qui en découlent sont souvent critiquées car éloignées de la perception des citoyens. Ainsi des modèles de calcul de l'agrément sonore, plus proches du ressenti des usagers, ont été proposés dans le cadre du projet Cart\_ASUR. Ils s'appuient soit sur des variables perceptives, soit sur des mesures acoustiques, soit sur des données géo-référencées, ces dernières étant souvent déjà intégrées dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG) de la majorité des métropoles françaises. Cet article propose de comparer pour 89 situations parisiennes les agréments sonores réellement perçus (provenant d'une enquête) avec ceux issus de modèles utilisant des données géo-référencées. Il s'intéresse aussi à la modélisation de variables perceptives qui ont une influence sur l'agrément sonore telles que l'intensité sonore perçue, le temps de présence perçu de la circulation, des voix et des oiseaux, toujours à partir des données géo-référencées. Pour ce faire, les données géo-référencées telles le trafic routier, la présence des jardins, les commerces alimentaires, les restaurants, les bars, les écoles, les marchés, sont transformées en densités de noyau. Ces densités, simples et rapides à calculer, permettent de prédire très efficacement, et sans l'utilisation des cartes de bruits construites sur le  $L_{day}$ , l'agrément sonore dans l'espace public urbain. En effet, la variance de l'agrément sonore expliquée par ces densités peut atteindre 68%. Le  $L_{day}$ , principal indicateur actuellement proposé aux citoyens, ne permet d'en expliquer que 65%.

## 1 Introduction

Les cartes actuelles concernant le bruit routier dans les agglomérations [1] sont construites à partir de l'indicateur  $L_{den}$  (moyenne pondérée des niveaux jour, soirée et nuit). Or cet indicateur, sensé traduire l'exposition au bruit des populations impactées par le trafic routier, est mal compris des citoyens car éloigné de leur ressenti. Ainsi des modèles de calcul de l'agrément sonore et des nouveaux indicateurs, plus proches de la perception des usagers, ont été proposés dans le cadre du projet Cart\_ASUR (Représentation cartographique de la qualité sonore urbaine). Ces indicateurs sont construits sur des variables perceptives qui prennent en compte non seulement le niveau global perçu, mais aussi les différentes sources sonores qui composent le paysage (les oiseaux ou les voix par exemple [2]). Un indicateur, construit à partir de 3409 points de mesures perceptives (recueillies grâce à l'utilisation de téléphones portables) a été ainsi proposé sur une échelle allant de 1 (désagréable) à 11 (agréable) :

$$\text{Agrément sonore} = 8.11 - 0.38 * (\text{intensité sonore globale}) + 0.20 * (\text{temps de présence des voix}) + 0.15 * (\text{temps de présence des oiseaux}) - 0.14 * (\text{temps de présence de la circulation}) \quad (1)$$

Cet indicateur permet d'expliquer 34% de la variance individuelle des participants à l'expérimentation (corrélation de 0,58 entre l'agrément réel individuel et l'agrément prédit par le modèle). Cette corrélation atteint une valeur de 0,89 si l'on prend les valeurs moyennes de l'agrément sonore pour chaque situation urbaine évaluée, que l'on compare aux valeurs issues du modèle proposé, construit sur des moyennes des variables perceptives influentes. Il est donc intéressant d'essayer de prédire cette qualité sonore afin de la représenter via des cartes de qualité sonore et de les mettre à disposition des citoyens.

L'intensité sonore perçue dépend du trafic routier mais aussi de la présence humaine en certains lieux [3]. S'il existe aujourd'hui des modèles d'émission et de propagation qui permettent de prédire le niveau sonore dû au trafic routier, il n'en est pas de même pour la propagation des voix ni des sons naturels. De plus l'utilisation de ces modèles est très coûteuse en temps de calcul.

Aussi, il a été décidé de tester des modèles de prédiction de cet indicateur de qualité directement à travers des données géo-référencées déjà intégrées dans les SIG de la majorité des métropoles françaises. Pour cela, les variables

perceptives influentes recueillies au cours de deux projets d'études (Cart\_ASUR et GRAFIC) en 89 situations parisiennes (dans les 13<sup>ème</sup> et 14<sup>ème</sup>) seront comparées à des variables géo-référencées. Des modèles de prédiction de ces variables (y compris l'agrément sonore) seront ensuite proposés. Enfin la prédiction de l'intensité sonore via le modèle issu de données géo-référencées sera comparée à la prédiction de cette intensité via le modèle classique de propagation.

## 2 Calcul de la densité de Kernel

Le but de ce projet est de proposer en tout point de la ville une valeur de l'agrément sonore. Cette valeur dépend de quatre variables perceptives (voir Eq. (1)) qu'il va falloir prédire aussi en tout point de la carte. Ces variables peuvent être estimées grâce à l'utilisation de diverses couches géographiques intégrées dans les SIG. Or les données géographiques sont souvent des données vectorielles, ponctuelles ou linéaires. Pour pouvoir anticiper les valeurs des variables en tous les points de la ville, il faut transformer ces données vectorielles en données sur chaque pixel de la carte (ou raster). Pour ce faire, et dans la suite de ce travail, l'outil "densité de noyau" sera utilisé [4]. L'idée ici est de distribuer l'influence d'une donnée ponctuelle (par exemple le nombre de véhicules par heure en un point d'une rue) sur une zone alentour dont la valeur va décroître en fonction de la distance. La distribution de l'influence suit en général une loi Gaussienne [5].

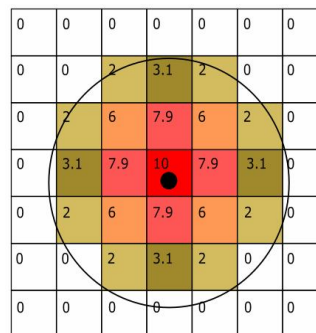


Figure 1: Distribution de la valeur 10 en une densité de noyau sur les pixels alentour (rayon de recherche  $R = 3$  pixels).

La valeur s'annule au-delà de la fenêtre de lissage (ou rayon de recherche R). Ces valeurs n'ont pas de signification absolue, mais uniquement relative. La Figure 1 montre un exemple de création de carte de densité pour un noyau (ou élément urbain) d'une valeur de 10 avec un rayon de recherche de 3 pixels.

## 2.1 Densité de circulation

Il s'agit de transformer les données de trafic utilisées pour les cartographies classiques (nombre de véhicules par heure au cours de la journée) en données ponctuelles. Le processus s'appuie sur la création de points sur les lignes de trafic en définissant une distance constante entre chaque point. La valeur des points a été choisie comme le nombre de véhicules par heure sur le tronçon. L'équidistance ainsi que le rayon ont été optimisés en calculant la corrélation pour les 89 points entre la moyenne des temps de circulation perçus évalués et la densité de circulation calculée par la densité de noyau (Tableau 1).

Tableau 1: Corrélations entre temps de circulation perçus et densités de trafic. Nomenclature des cartes de densité (Cd) : Cd (équidistance entre points)\_(rayon de recherche).

Cd 10_200	Cd 10_100	Cd 10_75	Cd 10_50	Cd 10_25
0,611	0,792	0,838	0,800	0,556

L'optimum de 75m est un bon compromis pour prendre en compte la distance de propagation du bruit de trafic tout en évitant le phénomène de masquage qui arrive forcément lorsque le bruit rencontre un bâtiment, souvent au-delà de ces 75m par rapport à la position de la source.

## 2.2 Densité des jardins

La carte de densité des jardins a été créée dans le but de représenter en tout point de la carte la présence plus ou moins importante des oiseaux (variable D\_jardins). Il est à noter que ces oiseaux sont mieux perçus au centre du jardin qu'à sa périphérie. Les données de la couche "jardins" de la base de données BD TOPO® de l'IGN<sup>1</sup> ont été utilisées. Il s'agit d'une couche vectorielle polygonale. Une transformation particulière a été proposée pour montrer que la densité est faible sur le pourtour, de plus en plus forte à l'intérieur du jardin, mais avec une certaine stabilité lorsque l'on se rapproche de son centre.

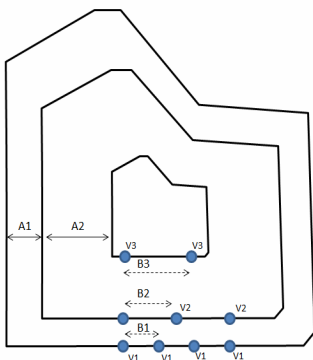


Figure 2: Construction des valeurs ponctuelles des jardins, à partir du contour des jardins.

1

[http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC\\_BDTopo\\_2-1.pdf](http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDTopo_2-1.pdf)

La Figure 2 montre trois paramètres. Quand on progresse vers l'intérieur du jardin :

- Les distances des tampons successifs (A1, A2, etc.) sont de plus en plus grandes ;
- L'équidistance entre les points sur les lignes des tampons (B1, B2, etc.) est de plus en plus longue ;
- La valeur de chaque noyau en fonction de sa position dans le jardin (V1, V2, etc.) est de plus en plus grande.

De la même manière que pour la densité de trafic, l'optimisation des paramètres de densité de jardin s'opère en corrélant ces densités avec la présence perçue des oiseaux sur les 89 points évalués perceptivement. Le rayon de recherche est limité à 50m cette fois-ci réduisant un peu l'impact spatial du jardin vis-à-vis de la perception sonore, comparé au rayon de recherche de 75m utilisé pour la circulation. Après avoir testé plusieurs valeurs, les valeurs utilisées qui offrent la meilleure corrélation ( $r=0,76$ ) avec les variables perceptives sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2: Paramètres de construction des points pour le calcul de la densité de jardin (\* distance de tampon, \*\* bord du jardin).

Anneaux (A1, A2...) *	0m**	10m	30m	60m
Equidistance (B1, B2...)	15m	20m	25m	30m
Valeur (V1, V2...)	2	5	10	20

## 2.3 Densité des voix

Cette carte est créée à partir de plusieurs sources d'information, en cherchant toutes les activités urbaines qui pourraient générer des voix dans l'espace urbain. Cinq éléments ont été pris en compte:

- Les commerces d'alimentation (boulangeries, poissonneries, etc.), (Base BD COM 2001 – APUR)
- Les bars, cafés et restaurants, (Base BD COM 2001 – APUR)
- Les écoles et les zones de sport, (Base BD TOPO®)
- Les marchés (données linéaires construites à partir des données du site Internet de la mairie de Paris).
- Les aires de jeux, (Base BD TOPO®)

### 2.3.1 Commerces d'alimentation et restaurants

Ces données sont ponctuelles. Aucune transformation n'est donc nécessaire, mais la localisation se fait à partir des géocodes basés sur l'adresse officielle du commerce. Pour éviter quelques problèmes d'adressages, un outil de "nettoyage" a été employé pour ne laisser qu'un point sur les lieux d'accumulation de commerces.

### 2.3.2 Ecoles et zones de sport

L'information sur les écoles provient de deux couches : la surface des écoles et celle des bâtiments. Il n'y a aucune information sur la localisation des sorties des écoles (idem pour les espaces sportifs), mais il est possible de localiser la zone de récréation (ou la zone sportive) où les voix sont principalement présentes. Pour localiser la zone de récréation, on peut directement enlever de la surface des écoles tous les bâtiments. On considère que dans les



bâtiments le niveau de voix est faible car les élèves suivent leurs cours. Puis, sur cette surface libre, on crée un tampon intérieur d'une distance de 4 mètres, précisant ainsi qu'une surface inférieure à 16 mètres carrés (4m x 4m) n'est pas susceptible d'être lieu de récréation. Finalement, sur les bords de ces surfaces intérieures on crée des points avec une équidistance de 10 mètres (Figure 3).

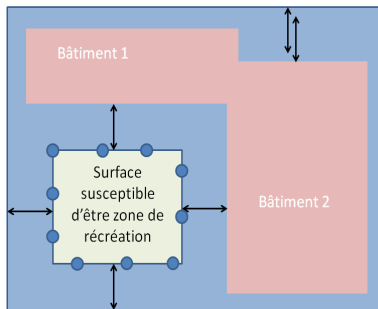


Figure 3: Construction des points sources pour la présence des voix d'enfants dans les écoles au moment de la récréation.

### 2.3.3 Les marchés

La couche de marchés a été numérisée à partir de l'information donnée par la mairie de Paris. Cette information détaille les marchés existants pour chaque arrondissement. La numérisation se fait d'abord sous forme linéaire puis ponctuelle. L'équidistance entre les points est de 10 mètres.

### 2.3.4 Les aires de jeux :

La couche "aires\_jeux" de la BD TOPO® est une couche vectorielle ponctuelle. Aucune transformation n'est nécessaire pour intégrer cette donnée dans le calcul de la densité de ces aires.

### 2.3.5 Construction de la densité des voix (variable D\_Voix)

Une fois que tous les éléments urbains susceptibles d'être sources de bruit sont transformés en géométrie ponctuelle, ils sont inclus dans une même couche pour créer une seule carte de densité de voix. La valeur de chaque point est arbitrairement fixée à 10. Le rayon de recherche est de 50 mètres.

## 3 Modélisation des variables perceptives

Les variables perceptives qui ont une influence sur l'agrément sonore ont été présentées en introduction et sont au nombre de quatre : (1) l'intensité sonore perçue, (2) le temps de présence de la circulation, (3) le temps de présence des voix et (4) le temps de présence des oiseaux. Ces variables ont été évaluées par 20 personnes environ entre 10h et 18h et en 89 points. Toutes les régressions linéaires ont été calculées sur les moyennes des évaluations et optimisées à l'aide d'une procédure pas à pas descendante. Seules les variables significatives et non corrélées sont présentes dans les modèles retenus.

## 3.1 Intensité sonore

Plusieurs régressions ont été testées pour prédire le caractère silencieux ou bruyant de l'espace public urbain (Tableau 3). La régression construite simplement sur la densité de trafic R1 permet d'expliquer 60% de la variance de l'intensité perçue. Or l'intensité sonore n'est pas seulement due au trafic [3]. Si l'on rajoute la variable D\_Voix (régression R2), elle est significative ( $p < 0.01$ ) et la variance expliquée par le modèle est améliorée ( $R^2 = 0.66$ ).

La Figure 4 met en évidence le caractère logarithmique de la perception de l'intensité sonore vis-à-vis du flux de trafic. Une nouvelle régression a donc été envisagée entre l'intensité perçue et le logarithme de la densité de trafic. Cette transformation pose problème pour les lieux de l'espace urbain qui ont une densité de trafic nulle (ou très faible). Pour 9 points, le logarithme de la densité a été remplacé soit par la plus petite valeur des densités des petits parcs, c'est-à-dire 2 (Cd\_10\_75 corrigé = 100 pour la régression R4), soit par la moyenne des densités dans les petits parcs, c'est-à-dire 2,7 (Cd\_10\_75 corrigé = 297 pour la régression R3). Le Tableau 3 montre que la régression R4 est légèrement moins performante que la régression R3, mais la régression R4 est plus facilement automatisable dans le cadre d'une étude cartographique (Figure 5). Ici, aucune variable de densité (D\_Voix ou D\_Jardins) ajoutée n'améliore la régression car aucune n'est significative.

Tableau 3: Corrélations entre intensités sonores perçue et modélisée à partir des différentes régressions linéaires.

Intensité sonore perçue	Variables introduites dans les régressions	R <sup>2</sup>	RMSE	Corr. entre Intensité perçue et modélisée
Régression 1	Cd_10_75	0,60	1,02	0,78
Régression 2	Cd_10_75 + D_Voix	0,66	0,94	0,82
Régression 3	log (Cd corrigé 2,7)	0,66	0,94	0,82
Régression 4	log (Cd corrigé 2)	0,62	1,00	0,79
Régression 5	Lday	0,56	1,08	0,75

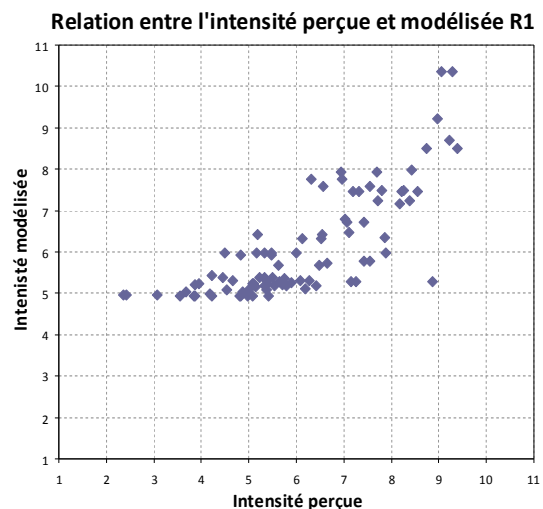


Figure 4: Relation entre l'intensité perçue et l'intensité modélisée par la densité de circulation Cd\_10\_75.

Il est intéressant ici de comparer ces modèles R3 ou R4 au modèle que le Lday offre aujourd'hui aux collectivités

locales pour prédire le niveau sonore en ville. La régression correspondante R5 explique alors 56% de la variance, au prix d'un temps de calcul important.

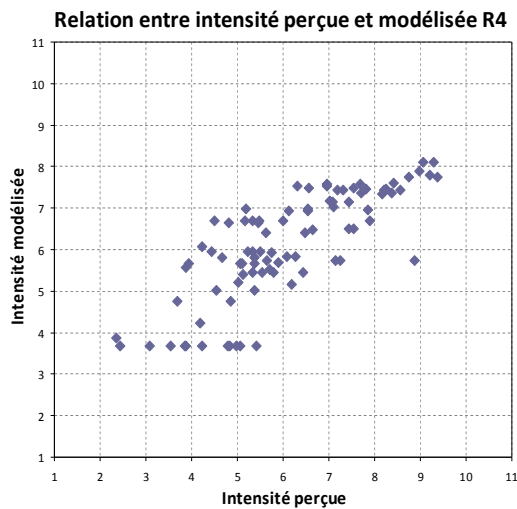


Figure 5: Relation entre intensité perçue et modélisée par le log (Cd\_10\_75 corrigé 2).

### 3.2 Temps de circulation

Le temps de circulation est dans son concept proche de la densité de trafic. Il est donc naturel de chercher un lien entre cette variable perceptive et la densité de trafic Cd\_10\_75. C'est d'ailleurs cette variable qui a permis l'optimisation de la densité de Kernel (voir § 2.1).

Le modèle linéaire de densité de trafic explique 70% de la variance, avec une erreur moyenne de 1,28 par rapport au temps de circulation réellement perçu. Si l'on essaie de modéliser ce temps par le logarithme de la densité de trafic, le modèle n'explique plus que 53% de la variance, avec un écart moyen de 1,62, ce qui est donc beaucoup moins bon que le modèle linéaire.

De la même manière qu'au paragraphe précédent, on peut essayer de trouver une relation entre le temps de circulation et le Lday. Ce dernier modèle permet d'expliquer 60% de la variance ( $r=0,75$ ), avec une erreur moyenne de 1,47. Nous voyons que le Lday est un peu mieux corrélé au temps de circulation qu'à l'intensité sonore perçue ( $r=0,73$ ). Ceci n'est pas étonnant puisque le Lday n'intègre pas les bruits autres que le trafic routier.

### 3.3 Temps de présence des oiseaux

La meilleure régression qui permet de prédire le temps de présence des oiseaux avec des données géo-référencées significatives ( $p<0,05$ ) et indépendantes (corrélations  $< 0,5$ ) est la suivante:

$$Tp\_Oiseaux = 5,28 + 0,07*D\_Jardins - 0,01*D\_Voix - 0,92*\log(Cd\_10\_75\_cor\_2) \quad (2)$$

Cette régression permet d'expliquer 68% de la variance avec une erreur moyenne de 1,02. Elle montre que les oiseaux sont principalement présents dans les jardins. Ces oiseaux ne peuvent être entendus que lorsque la densité de

trafic est faible ainsi que la densité de voix caractérisant la présence humaine dans le lieu. Sur les 89 points, le temps de présence des oiseaux est généralement très faible ( $Tp\_Oiseaux < 4$  pour 83% des lieux évalués) sauf pour les quelques situations particulières qui ont été évaluées dans les jardins parisiens (Figure 6).

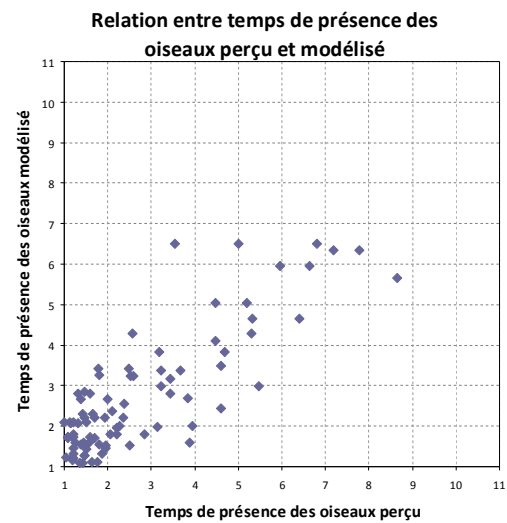


Figure 6: Relation entre le temps de présence des oiseaux perçus et ce temps modélisé par l'Eq. (2).

### 3.4 Temps de présence des voix

Le temps de présence des voix peut être modélisé par la régression suivante:

$$Tp\_Voix = 4,3 + 0,05*D\_Voix + 0,04*D\_Jardins \quad (3)$$

Cette équation traduit le fait que les voix ne sont pas seulement présentes autour des commerces, restaurants, etc. (cf. § 2.3), mais sont aussi présentes dans les jardins. Malheureusement, cette régression ne permet d'expliquer que 31% de la variance, avec une erreur moyenne de 1,5 sur une échelle allant de 1 à 11. Il y a donc des améliorations possibles sur la prédiction des voix, en pondérant les différentes couches géo-référencées qui ont permis de construire la variable de densité des voix, en rajoutant des éléments tels que les sorties de métro, ou en optimisant les nombreux paramètres qui permettent le calcul des densités.

## 4 Modélisation de l'agrément sonore

### 4.1 A partir des variables perceptives

Nous avons vu en introduction (Eq. (1)) que l'agrément pouvait être prédit à partir de 4 variables perceptives indépendantes. Cette équation a été établie à partir de 3409 mesures perceptives individuelles dans le projet Cart\_ASUR sur un grand nombre de lieux et de moments particuliers (jours, soirée, nuit, week-end, etc.), mais dans la journée et en semaine, seuls 89 points, de 20 mesures en moyenne, ont pu être croisés avec les données géo-référencées. Sur ces 89 points, la variable "Circulation" est fortement corrélée à la variable "Intensité sonore". Une de ces deux variables doit donc être sortie de notre modèle afin de trouver la variance optimale du modèle perceptif de référence. Nous avons choisi de sélectionner la variable

"Intensité sonore" car elle est mieux corrélée à l'agrément ( $r=0,85$ ) que le temps de circulation ( $r=0,81$ ). L'équation 4 donne la régression perceptive optimale sur les 89 lieux d'étude.

$$\text{Agrément sonore} = 8,80 - 0,75 * (\text{Intensité sonore}) + 0,32 * (\text{temps de présence des voix}) + 0,18 * (\text{temps de présence des oiseaux}) \quad (4)$$

Cette régression linéaire explique 88% de la variance (corrélation  $r$  de 0,94 entre l'agrément prédit et l'agrément réellement perçu) avec un écart moyen à la valeur réelle de l'agrément de 0,51 (sur une échelle variant de 1 à 11).

## 4.2 A partir des variables de densité

A partir de toutes les variables de densités que nous avons à notre disposition, nous pouvons construire une régression linéaire suivante:

$$\text{Agrément} = 11,3 - 1,62 * \log (\text{Cd}_{10\_75\_cor\_2}) + 0,02 * \text{D\_jardins} + 0,01 * \text{D\_Voix} \quad (5)$$

Cette régression, qui est bien en accord avec la régression perceptive vue au paragraphe précédent, explique 62% de la variance de l'agrément sonore, avec une erreur moyenne de 0,89, et une corrélation entre l'agrément perçu et l'agrément modélisé de 0,79. Si l'on prend la correction du logarithme de la densité pour les valeurs faibles à 2,7, on obtient une meilleure prédiction de l'agrément sonore, avec une variance expliquée de 68%, et une erreur moyenne de 0,87 (corrélation entre le perçu et le modèle de 0,83).

$$\text{Agrément} = 12,7 - 2,00 * \log (\text{Cd}_{10\_75\_cor\_2,7}) + 0,03 * \text{D\_jardins} + 0,01 * \text{D\_Voix} \quad (6)$$

Nous remarquons qu'une décision un peu arbitraire de la correction du logarithme pour les petites valeurs de densité de trafic (pour les agréments sonores élevés) a une influence non négligeable sur la part de variance expliquée par le modèle.

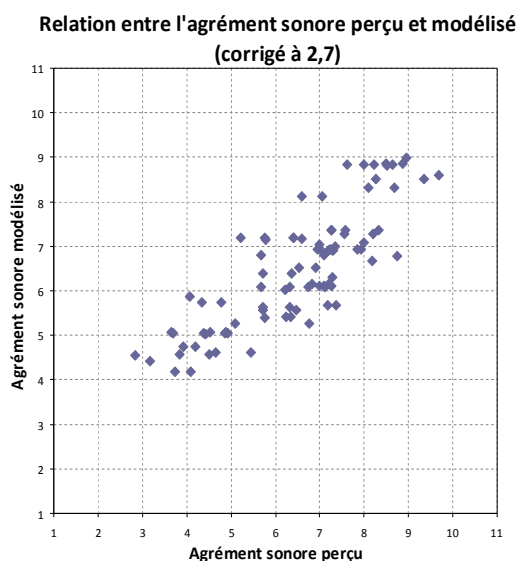


Figure 5: Relation entre l'agrément sonore perçu et l'agrément sonore modélisé par l'Eq. (6).

## 4.3 A partir du Lday

Il est tentant de tester le croisement de l'agrément sonore avec le Lday, seul indicateur disponible actuellement pour les citoyens pour juger de la qualité sonore d'un lieu. La régression (Eq. (7)) explique 65% de la variance avec une erreur moyenne de 0,92. Cela correspond donc à une corrélation de 0,80 entre les deux variables.

$$\text{Agrément} = 19,9 - 0,22 * \text{Lday} \quad (7)$$

Le Lday est étonnement mieux corrélé à l'agrément sonore qu'à l'intensité sonore perçue ou même qu'au temps de circulation. Il est néanmoins moins bien corrélé à l'agrément sonore qu'une combinaison linéaire de densités de noyaux, très rapide à calculer.

## 5 Discussion

Grâce aux données géo-référencées, il est possible de prévoir aisément l'agrément sonore d'une situation urbaine sans être obligé de faire intervenir des modèles de propagation et d'émission sonore. Il est donc possible de proposer des cartes d'agrément sonore, en tout point de la zone urbaine, et même de prédire l'importance des variables perceptives qui ont permis de construire cet agrément. Il faut cependant bien préciser que la qualité sonore modélisée n'est valable que dans l'espace "ouvert", puisque le modèle géo-référencé ne prend pas en compte les phénomènes de masquage par les bâtiments. Ces espaces correspondent la plupart du temps aux espaces publics, les espaces fermés étant majoritairement des espaces privés.

Ainsi les cartes prédites par les données géo-référencées ne doivent pas faire apparaître les cours intérieures des bâtiments. On applique alors un tampon de 3m autour de chaque bâtiment pour fermer les très petits espaces puis on supprime la visualisation de ces espaces fermés (Figure 6).

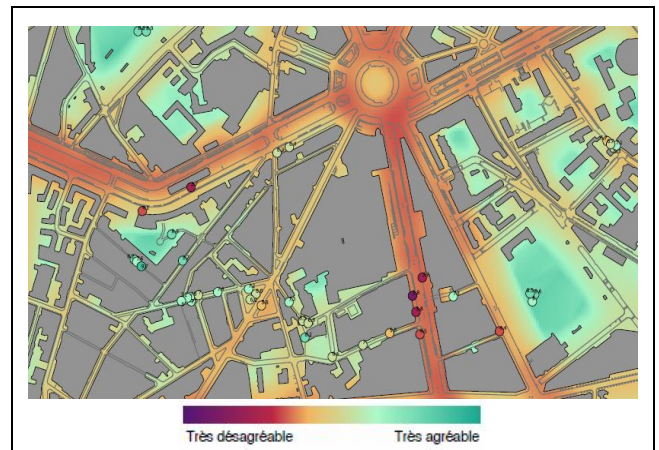


Figure 6: Cartographie de l'agrément sonore modélisé sur l'espace public (couleur dégradée et continue Eq. (5)). Les cercles représentent les valeurs moyennes des agréments évalués par les participants.

Sur les Figures 7 et 8, les points représentent les valeurs d'intensité sonore réellement perçues. L'échelle de couleurs est construite à partir des travaux de B. Weninger [6]. On peut noter que les intensités faibles sont surestimées par le modèle retenu (Eq. (8) - Regression 4 § 3.1).

$$\text{Intensité sonore} = -0,31 + 1,96 * \log (\text{Cd}_{10\_75\_cor\_2}) \quad (8)$$



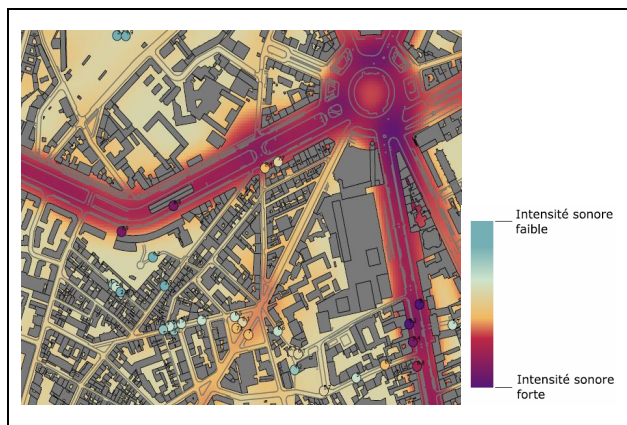


Figure 7: Cartographie de l'intensité sonore perçue à partir des données géo-référencées en faisant apparaître les bâtiments et leurs espaces intérieurs.

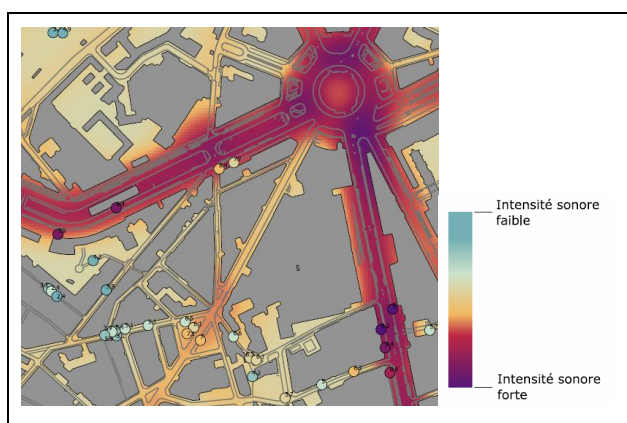


Figure 8: Cartographie de l'intensité sonore perçue à partir des données géo-référencées uniquement sur l'espace public.

La carte d'intensité sonore modélisée par le niveau Lday (Figure 9) est plus proche de l'intensité sonore réellement perçue pour les zones masquées par les bâtiments, alors qu'elle sous estime l'intensité sonore le long des boulevards. Encore une fois, l'élimination de l'espace intérieur privé permet de mieux focaliser la lecture de la carte sur l'espace public uniquement.

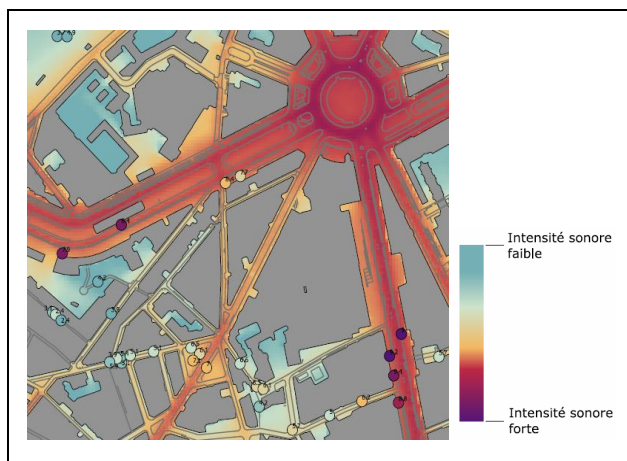


Figure 9: Cartographie de l'intensité sonore perçue à partir du Lday en ne faisant apparaître que l'espace public urbain.

## 6 Conclusion

Dans cette étude, nous avons pu montrer qu'il est possible d'anticiper l'agrément sonore en tous les lieux d'une ville à partir des données géo-référencées déjà disponibles dans les grandes agglomérations. Cette prédiction est optimisée pour la perception sonore dans l'espace public uniquement.

Il est donc possible de mettre à disposition des riverains des cartes d'agrément sonore, ainsi que des cartes de présence du trafic, des oiseaux et des voix. Ces cartes seront proches de leur ressenti et permettront au lecteur de mieux se représenter l'ambiance sonore dans les lieux.

Ce travail doit néanmoins être poursuivi car les modèles construits sur les variables géoréférencées permettent actuellement de prédire 68% de la variance de l'agrément sonore perçu, alors que le modèle perceptif permet d'en expliquer 88%. Des progrès devraient être faits en optimisant les modèles (valeurs des points et valeurs de rayons) et en particulier en optimisant le modèle de prédiction des voix, car celui-ci est peu performant. Le travail doit aussi être poursuivi pour produire des cartes adaptées aux périodes de soirée, et pourquoi pas de nuit. Enfin, un vrai travail de représentation graphique doit être fait pour que le lecteur apprécie la lecture de ces nouvelles cartes.

## Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre des projets Cart\_ASUR (Convention n° 1217C0035) et GRAFIC (Convention n° 1317C0028) tous deux financés par l'ADEME.

## Références

- [1] European Parliament and Council, 2002. 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.
- [2] Ricciardi P., Delaitre P., Lavandier C., Torchia F., Aumond P., "Sound quality indicators for urban places in Paris cross-validated by Milan data", *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 138(4), pp. 2337-2348, Octobre 2015
- [3] De Coensel B., Sun K., Wei W., Van Renterghem T., Sineau M., Ribeiro C., Can A., Lavandier C., Botteldooren D., "Dynamic noise mapping based on fixed and mobile sound measurements", Actes du Congrès Euro Noise, pp. 2339-2344, Maastricht, Pays-Bas, 2015.
- [4] Silverman B.W., *Density Estimation*, Chapman and Hall editors, London, 1986.
- [5] Di Salvo M., Gadais M., Roche-Woillez G., *L'estimation de la densité par la méthode du noyau*, Notice analytique du DERTU, 2005.
- [6] Weninger B., "A Color Scheme for the Presentation of Sound Immission in Maps: Requirements and Principles for Design", Actes du Congrès Euro Noise, pp. 439-444, Maastricht, Pays-Bas, 2015.