

MODELES DE PREDICTION

5.1 METHODOLOGIE

5.1.1 TERRAIN D'ETUDE

Deux sites ont été choisis pour conduire les enquêtes de terrain qui ont servi à l'élaboration des modèles de qualité de l'environnement sonore. Le premier site se trouve à Paris et correspond géographiquement à la seconde partie du maillage spatial à savoir le 5^{ème} arrondissement de Paris (rue Mouffetard / rue de l'Épée de Bois / boulevard Monge). Le second site se situe à Lyon, dans le 6^{ème} arrondissement, à proximité et dans le parc de la Tête d'Or. Il s'agit d'un grand parc urbain, très fréquenté et bordé par deux boulevards. Dans chacune de ces deux villes, nous avons conduit les enquêtes en quatre points. La localisation exacte de tous ces points est visible sur les Figure 72 et Figure 73.

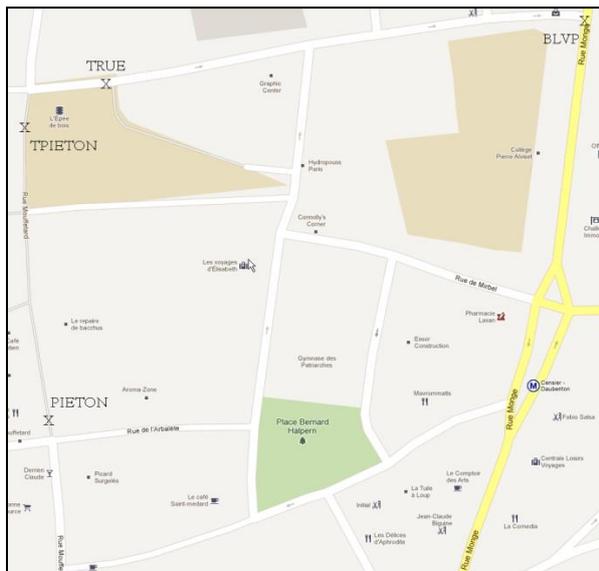


Figure 72 : Lieux d'enquêtes à Paris.

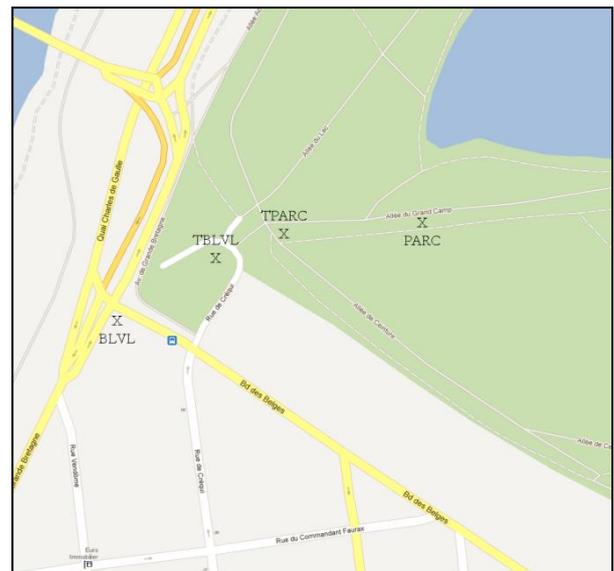


Figure 73 : Lieux d'enquêtes à Lyon.

A Paris, les quatre lieux d'études correspondent à la rue Mouffetard, au boulevard Monge, puis deux points de part et d'autre de la transition rue l'Épée de Bois / rue Mouffetard.

A Lyon, les quatre points choisis se répartissent comme suit : un dans le parc de la Tête d'Or (PARC), un au niveau du boulevard des Belges (BLVL) puis deux de part et d'autre de la porte d'entrée du parc (à moins de 25 m de cette entrée) (TPARC et TBLVL). En chacun de ces lieux d'enquête, des mesures acoustiques ont également été réalisées, mesures qui ont été codées et introduites dans le modèle de maillage spatial établi au chapitre 4 sur la ville de Paris. De cette analyse, il ressort que le point d'étude PARC appartient à une ambiance sonore

de parc, le point BLVL appartient lui à une ambiance sonore de boulevard, et parmi les deux autres points de mesures que nous pouvions considérer comme des transitions, suite à l'analyse sur Paris, seul le point de mesure TBLVL appartient effectivement à une zone de transition. Le lieu TPARC a lui été classé dans la catégorie des parcs.

5.1.2 SUJETS

Pour chaque lieu étudié, 40 sujets ont été interrogés, soit 160 pour chaque ville et 320 pour la totalité. Ils ont été interrogés entre 14h et 18h30 afin de se situer temporellement dans la même période. Il s'agissait de passants habitués ou non des lieux. Les seules données personnelles retenues sur les sujets sont le genre et la catégorie d'âge. Cette dernière ayant été jugée par l'enquêteur suivant trois classes : adolescent, adulte, personne âgée.

Bien que ces variables aient été relevées, elles n'ont pas été prises en compte dans l'élaboration des modèles. En effet, des études ont montré que la relation entre les facteurs non acoustiques, genre et âge, et l'évaluation de l'environnement sonore n'était que très peu ou pas significative [YU 2009] [MARRY 2011]. Par ailleurs, un test d'indépendance du χ^2 permet de vérifier sur les données recueillies que le genre n'a pas d'influence sur le jugement de la qualité sonore. Afin de réaliser ce test, les réponses des sujets pour les variables "Agrément sonore" et "Silencieux " (voir paragraphe suivant 5.1.3 pour les variables mesurées) ont été réparties en trois catégories, à savoir pour la variable "Agrément sonore" : Désagréable (note < 3,6), Neutre (3,6 < note <= 6,7) et Agréable (note > 6,7), et pour la variable "Silence" : Bruyant (note < 3,6), Neutre (3,6 < note <= 6,7) et Silencieux (note > 6,7).

La répartition Hommes / Femmes est présentée sur la Figure 74 pour la variable "Agrément sonore" et sur la Figure 75 pour la variable "Silence". A partir de ces répartitions il est possible d'effectuer un test d'indépendance du χ^2 afin de vérifier la dépendance du genre avec les variables "Agrément sonore" ou "Silence".

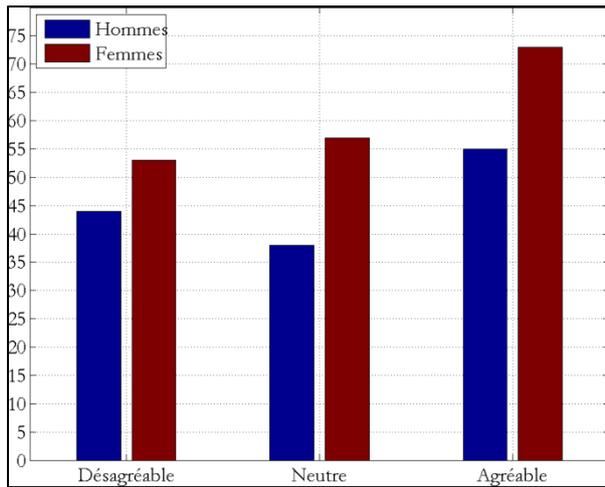


Figure 74 : Répartition Hommes / Femmes dans la notation de l'agrément sonore en trois catégories ($\chi^2 = 0,57 / p = 0,75$).

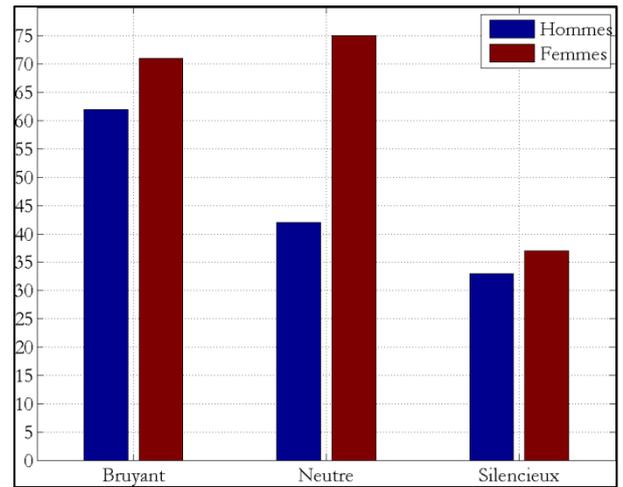


Figure 75 : Répartitions Hommes / Femmes dans la notation de la variable "Silence" en trois catégories ($\chi^2 = 3,61 / p = 0,16$).

Pour la variable "Agrément sonore", la valeur de χ^2 est de 0,57 avec une valeur de probabilité p égale à 0,75. Dans le cas de la variable "Silence", $\chi^2 = 3,61$ et $p = 0,16$. Dans les deux cas, la valeur de p supérieure à 0,1 tend à montrer que l'évaluation de l'aspect silencieux ou bruyant de l'environnement sonore et le jugement de l'agrément sonore ne sont pas dépendants du genre.

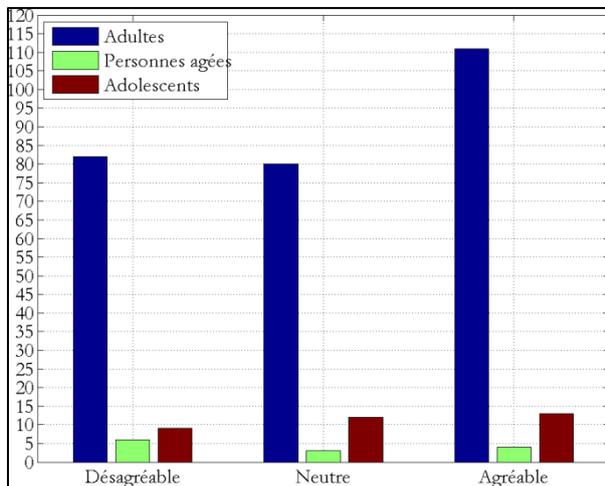


Figure 76 : Répartition Adultes / Personnes âgées / Adolescents dans la notation de l'agrément sonore en trois catégories.

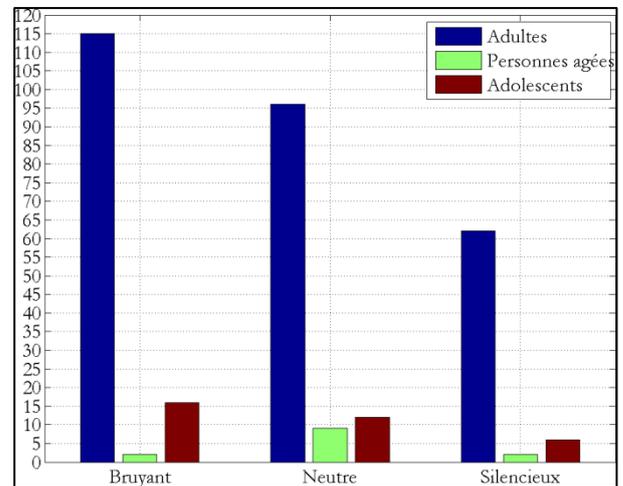


Figure 77 : Répartitions Adultes / Personnes âgées / Adolescents dans la notation de la variable "Silence" en trois catégories.

Concernant l'influence de l'âge, celui-ci a été noté suivant trois catégories : adolescent, adulte et personne âgée. Parmi les 320 sujets interrogés seulement 34 étaient des adolescents et 13 étaient des personnes âgées. Or, pour qu'un test d'indépendance du χ^2 soit valide il faut que chaque effectif soit supérieur à 5, ce qui n'est pas le cas dans notre étude de l'âge comme

cela est visible sur les Figure 76 et Figure 77. De ce fait, nous ne pouvons appliquer un test d'indépendance du χ^2 sur l'âge des sujets.

5.1.3 QUESTIONNAIRE

L'enquête de terrain repose sur un questionnaire (disponible en intégralité en Annexe 3) qui vise à connaître la perception que les gens ont de l'environnement du lieu où ils se trouvent au moment du sondage. Les questions posées portent donc sur le lieu précis et sur l'évaluation de cet environnement pendant la durée du questionnaire (10 minutes environ). Il ne s'agit donc pas dans le cas d'un parc par exemple de recueillir une perception de l'ensemble du parc mais bien de l'environnement sonore dans un périmètre restreint autour de la personne enquêtée.

Etabli à partir de précédentes enquêtes de terrain [VIOLLON 2000b] [RAIMBAULT 2002] [DUBOIS 2006] [GUASTAVINO 2006], le questionnaire comporte essentiellement des questions fermées ainsi que quelques questions ouvertes. Les questions fermées consistent en un différentiel sémantique avec une échelle continue graduée, complétée par un adjectif et une explication du différentiel à chaque extrémité de l'échelle.

Le questionnaire a été construit de façon à ce que les personnes interrogées considèrent dans un premier temps l'environnement dans lequel elles se trouvent d'un point de vue global, puis en s'arrêtant sur divers aspects de l'environnement (acoustique, visuel, qualité de l'air) mais toujours dans leur ensemble, et finalement terminent par l'identification précise des sources sonores. Ainsi, le questionnaire peut être divisé en cinq parties distinctes.

Dans la première partie du questionnaire, il est demandé aux sujets de juger la qualité de l'environnement de façon globale en précisant en quelques mots ce qu'ils trouvent agréable ou désagréable puis de noter cet agrément sur l'échelle présentée.

Par la suite on leur demande 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 est donnée afin de faciliter la compréhension.

Dans la troisième partie, les sujets sont invités à évaluer leur agrément visuel, la qualité de l'air et à statuer sur l'aspect surprenant ou non de l'environnement sonore.

La quatrième partie de l'enquête porte sur les sources sonores. Il est demandé aux sujets de se concentrer sur les sources sonores, de préciser quelles sont celles qu'ils sont capables d'identifier et pour chacune d'elles 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 est alors présentée et les sujets peuvent préciser si désormais ils remarquent ces sources sonores et auquel cas noter leur intensité et leur temps de présence.

Enfin, cinquième et dernière partie, il est demandé aux sujets dans quelle mesure ils jugent l'environnement sonore approprié à leur activité du moment.

Tableau VII : Liste de toutes les variables perceptives relevées lors des enquêtes.

Variables renseignées	
Agréments	Agrément sonore Agrément global Agrément visuel Qualité de l'air perçue
Caractéristiques de l'environnement sonore	Silencieux/Bruyant Stable/Instable dans le temps Sans vie/Animé Enveloppant/Peu enveloppant Surprenant/Familier Pas du tout/Très adapté à l'activité
Sources sonores Son = Intensité Pres = Temps de présence	Son.VL Pres.VL Voitures / Motos
	Son.Mob Pres.Mob Cyclomoteurs
	Son.PL Pres.PL Poids lourds / Bus
	Son.Klax Pres.Klax Klaxons / Sirènes
	Son.Act Pres.Act Activités diverses
	Son.Hum Pres.Hum Présence humaine
	Son.Ois Pres.Ois Oiseaux
	Son.Nat Pres.Nat Eléments naturels

Le Tableau VII 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.

Tableau VIII : Nombre et pourcentage de sources citées à la première session, à la seconde et au total

Première session (Libre)								
	Activités	Présence Humaine	Klaxons Sirènes	Cyclomoteurs	Nature	Oiseaux	Poids Lourds	Véhicules Légers
	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %
Lyon	4 17,4%	110 71,4%	31 40,8%	8 12,9%	51 61,4%	71 73,2%	22 25,0%	114 74,5%
Paris	78 88,6%	136 87,2%	14 35,0%	34 32,1%	12 34,3%	30 46,2%	9 21,4%	83 55,3%
Total	82 73,9%	246 79,4%	45 38,8%	42 25,0%	63 53,4%	101 62,3%	31 23,8%	197 65,0%
Deuxième session (Imposée)								
	Activités	Présence Humaine	Klaxons Sirènes	Cyclomoteurs	Nature	Oiseaux	Poids Lourds	Véhicules Légers
	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %
Lyon	19 82,6%	44 28,6%	45 59,2%	54 87,1%	32 38,6%	26 26,8%	66 75,0%	39 25,5%
Paris	10 11,4%	20 12,8%	26 65,0%	72 67,9%	23 65,7%	35 53,8%	33 78,6%	67 44,7%
Total	29 26,1%	64 20,6%	71 61,2%	126 75,0%	55 46,6%	61 37,7%	99 76,2%	106 35,0%
Total								
	Activités	Présence Humaine	Klaxons Sirènes	Cyclomoteurs	Nature	Oiseaux	Poids Lourds	Véhicules Légers
	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %	Nb %
Lyon	23 100%	154 100%	76 100%	62 100%	83 100%	97 100%	88 100%	153 100%
Paris	88 100%	156 100%	40 100%	106 100%	35 100%	65 100%	42 100%	150 100%
Total	111 100%	310 100%	116 100%	168 100%	118 100%	162 100%	130 100%	303 100%

Si toutes les analyses présentées ci-après ont été menées sur les données relevées lorsque les sources sonores à identifier étaient imposées (deuxième session), il est cependant intéressant de regarder ce que les sujets ont cité comme sources sonores lorsqu'ils étaient libres de caractériser eux-mêmes les sources (première session). Tous les mots cités par les sujets ont été "traduits" selon leur signification en source sonore telle que nous l'avons définie

afin de pouvoir les compter. A titre d'exemple, lorsque les sujets ont évoqué des "pas", des "voix", des "gens", *etc.* ceci a été comptabilisé en "Présence Humaine". Le Tableau VIII présente le nombre de personnes qui ont entendu les différentes sources durant la première session (libre), le nombre qui les ont entendu uniquement durant la seconde session, c'est-à-dire une fois qu'on leur a dit de se concentrer sur ces sources-là, et enfin la somme des deux sessions. Le comptage a été fait pour Lyon, pour Paris et dans la globalité. Par ailleurs, dans le Tableau VIII se trouve également ce nombre de personnes ramené en pourcentage (par rapport au nombre total par source sonore).

En comparant les deux sessions, il est intéressant de remarquer que la "Présence humaine" est en général la source sonore qui a été la plus entendue de façon spontanée puisque plus de 79 % des sujets qui ont entendu des bruits liés à la "Présence humaine" l'ont fait de façon naturelle sans qu'on leur fasse remarquer. En se focalisant sur la ville de Lyon, plus de 71 % des personnes interrogées ont entendu spontanément de la "Présence humaine" et plus de 87 % à Paris. Concernant les "Activités", là encore près de 74 % des sujets interrogés ont remarqué cette source naturellement. Cela dit, si parmi les sujets interrogés à Paris plus de 88 % ont répondu durant la première session, en revanche à Lyon, seuls 17,4 % ont été interpellés par cette source. Cela provient sans doute du fait que les "Activités" diverses étaient plus présentes à Paris qu'à Lyon. De la même façon, les "Oiseaux" plus présents à Lyon qu'à Paris du fait de la nature même du lieu (parc), ont été entendus spontanément à Lyon à plus de 73 % contre seulement 46,2 % à Paris pour un chiffre total de 62,3 %. Pour les "Klaxons et sirènes", seulement 38,8 % des sujets les ont entendus spontanément. Cela s'explique probablement par la durée relativement faible de l'interview au cours de laquelle les "Klaxons" ne sont finalement que très peu présents. Il faut inciter les sujets à se focaliser sur cette source sonore pour que dès lors, plus de 61 % d'entre eux estiment l'entendre ou l'avoir entendu.

Concernant les sources sonores liées à la "route" il est intéressant de constater que les "Cyclomoteurs" et les "Poids lourds" ne sont pas des sources sonores entendues spontanément. Environ 87 % des "Cyclomoteurs" entendus à Lyon et environ 68 % de ceux entendus à Paris l'ont été au cours de la deuxième session. De même pour les "Poids lourds", 75 % des sujets interrogés à Lyon et 78,6 % de ceux interrogés à Paris les ont entendus seulement après avoir été incités à le faire. Dans la globalité, 75 % des "Cyclomoteurs" et 76,2 % des "Poids lourds" ont été entendus au cours de la deuxième session alors que seulement 35 % des "Véhicules légers" ont été entendus après avoir demandé aux sujets de les

noter. En résumé, les sujets ont remarqué spontanément les "Véhicules légers" mais pas les "Poids lourds" ni les "Cyclomoteurs". Ce résultat se retrouve en partie dans l'étude de catégorisation des sources sonores du trafic routier urbain de MOREL *et al.* qui a montré qu'à vitesse constante et en décélération les véhicules légers et les poids lourds étaient regroupés dans une même catégorie perceptive [MOREL 2012].

Cette conclusion est toutefois à émettre avec précaution. En effet, dans le Tableau VIII ne sont pas comptabilisés les mots ayant trait au trafic routier en général. En considérant Lyon et Paris réunis, 63 personnes ont utilisé des mots comme "circulation", "trafic", "bruit de la route", *etc.*. Aussi il est plausible que parmi les sujets ayant noté uniquement les "Véhicules légers", sans remarquer les "Cyclomoteurs" ou les "Poids lourds", certains d'entre eux aient assimilés les "Véhicules légers" à une notion plus générale de circulation. Aussi, il est probable que le nombre de personnes ayant remarqué spontanément les "Véhicules légers" ait été surestimé.

5.1.4 PROCEDURE

5.1.4.1 SELECTION DES VARIABLES

Une fois les données recueillies (n sujets x 26 variables) il s'agit à présent de sélectionner les variables utiles à la construction des modèles de prédiction, qu'il s'agisse des modèles basés sur les régressions linéaires multiples ou sur les réseaux de neurones artificiels. En effet, nous voulons expliquer l'agrément sonore (variable dépendante) à partir d'autres variables (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 comparativement au nombre de variable (et ce particulièrement lorsqu'un seul lieu est étudié), réduire la quantité de variables ne peut être que bénéfique pour l'élaboration des modèles.

En ce sens, une attention particulière a tout d'abord été portée à la distribution des réponses. En effet, un histogramme ainsi qu'un diagramme en boîte à moustaches par variable permet de s'assurer d'une certaine variabilité des réponses. Dès lors il apparaît que certaines sources ont un mode nul comme cela est visible sur la Figure 78 pour le temps de présence des poids lourds. Bien que clairement identifiables par l'expert lors de l'interview, ces sources n'ont quasiment jamais été entendues par les personnes sondées. Globalement, pour les sources sonores qui se rapportent au trafic routier, les gens les ont souvent assimilées à la

circulation sans les différencier comme cela a été vu au paragraphe précédent (§ 5.1.3). De même, les sources sonores que sont les activités (commerciale, de travail, ...) et les éléments naturels ne sont pas retranscrites par les sujets.

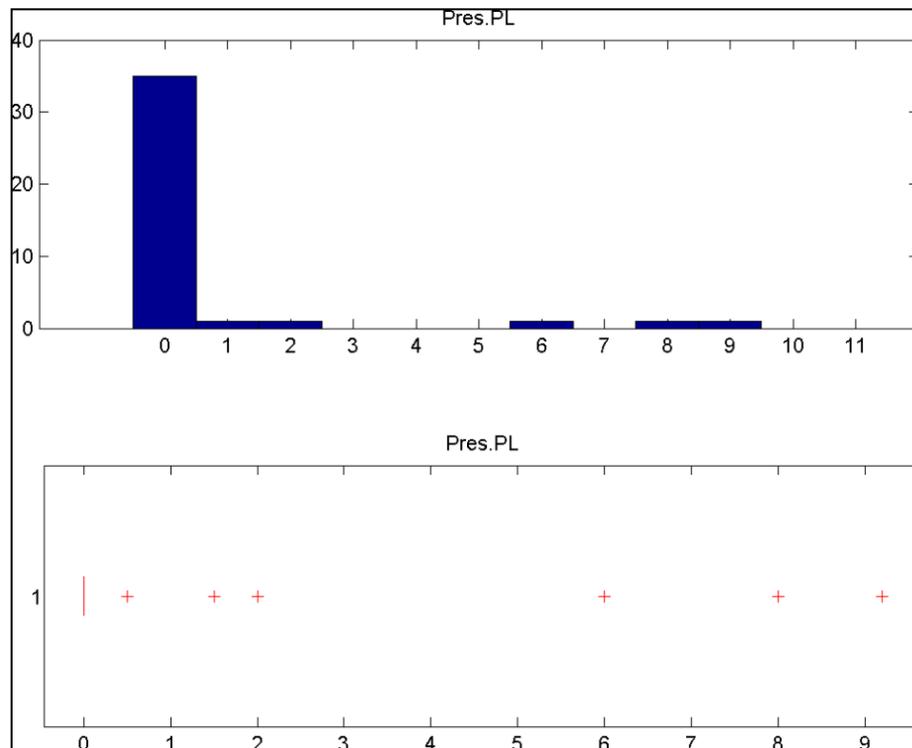


Figure 78 : Histogramme et boîte à moustaches pour la variable perceptive Pres.PL (Temps de présence des poids lourds) évaluée au point d'enquête PARC.

Parallèlement à l'étude de la variabilité, les corrélations de Bravais-Pearson entre chaque paire de variables indépendantes au niveau de confiance de 95% ont été regardées. Les calculs des corrélations sont présentés en Annexe 4 pour tous les lieux. Ces calculs permettent donc de ne pas prendre en compte dans le modèle certaines variables dépendantes des autres selon le site étudié. De plus, cette matrice de corrélation permet également de constater que parmi toutes les sources sonores, la sonie perçue (ou leur évaluation de l'intensité) 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 [LAVANDIER 2006], le temps de présence est apparu être un meilleur indicateur que la sonie pour expliquer la qualité de l'environnement sonore perçue. De ce fait nous avons gardé uniquement cet estimateur lorsque la sonie et la présence étaient corrélées.

5.1.4.2 OPTIMISATION DES BASES DE DONNEES ET DEROULEMENT DES CALCULS

Comme mentionné au paragraphe 2.5.7, une technique de validation croisée a été utilisée pour établir les modèles de prédiction. Le choix des bases de construction et de test se fait en répartissant de façon aléatoire les sujets selon les proportions 70-30 % comme décrit dans ce même paragraphe 2.5.7. Toutefois, les résultats de la régression et du réseau de neurones sont fortement dépendants de cette répartition. Deux bases de construction distinctes peuvent conduire à des résultats de régressions linéaires différents. Aussi pour optimiser le choix des bases de données, nous avons pour chaque point d'enquête tiré de façon aléatoire mille jeux de bases (construction et test) et retenu la combinaison de bases qui donnait le meilleur résultat de régression. Ce que nous appelons meilleur résultat est le meilleur compromis de R_c^2 et de R_t^2 issus des régressions linéaires multiples où R^2 est le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson élevé au carré qui permet de mesurer la corrélation entre les valeurs mesurées et les valeurs prédites. Autrement dit, parmi les mille tirages de bases, nous sélectionnons celui qui donne le meilleur couple (R_c^2, R_t^2) . R^2 étant toujours compris entre 0 et 1, le meilleur couple (R_c^2, R_t^2) est celui qui est le plus proche de (1, 1) en termes de distance euclidienne, c'est-à-dire celui qui minimise la grandeur $(\sqrt{1 - R_c^2})^2 + (1 - R_t^2)^2$.

Si nous avons choisi de sélectionner le meilleur tirage de bases en se fondant sur les résultats issus des régressions linéaires multiples c'est parce que le calcul de la régression linéaire multiple est répétable. Une base de données conduira à un seul modèle de régression. Ceci n'est pas le cas avec les réseaux de neurones, compte tenu de l'initialisation de ceux-ci comme expliqué au paragraphe 2.5.6. On peut néanmoins penser que cette base optimale pour la régression devrait permettre au réseau de neurone un apprentissage à partir d'une répartition des objets optimale pour lui aussi.

Une fois le meilleur tirage de bases sélectionné, il est donc possible de récupérer le modèle de régression associé ainsi que le couple (R_c^2, R_t^2) induit. Puis à partir des meilleures bases de construction et de test nous avons pu établir un modèle de réseau de neurones. Comme mentionné ci-dessus, étant donnée l'initialisation aléatoire des poids liés aux réseaux de neurones, une même base de construction conduira éventuellement à un résultat différent à chaque nouveau modèle calculé. Aussi pour vérifier l'apport des modèles des réseaux de neurones artificiels par rapport aux régressions linéaires multiples, au moins en termes de prédiction, nous avons décidé de chercher un réseau à partir du meilleur tirage de bases et de

ne le retenir que si le couple (R_c^2 , R_t^2) issu de ce modèle est meilleur que celui issu de la régression. Autrement dit, si REG représente le modèle de régression et ANN représente celui de réseau de neurones, nous cherchons un réseau de neurone tel que $R_c^2(\text{ANN}) > R_c^2(\text{REG})$ et $R_t^2(\text{ANN}) > R_t^2(\text{REG})$. Dans le cas où cette condition n'est pas satisfaite, nous rejetons le modèle de réseau de neurones établi et en cherchons un autre à partir des mêmes bases de construction et de test et ce jusqu'à ce que la condition soit satisfaite.

5.1.4.3 ALGORITHME PAS A PAS

En résumé, la démarche utilisée dans cette partie de l'étude est la suivante pour chacun des lieux étudiés :

- Sélection des variables à garder dans le modèle à partir de la distribution de chacune d'elle et des corrélations de Bravais-Pearson entre ces variables,
- Tirage aléatoire de 1000 couples de bases de données (construction et test),
- Calcul d'un modèle de régression linéaire multiple et des coefficients de corrélation associés $R_c^2(\text{REG})$ et $R_t^2(\text{REG})$ pour chacun de ces tirages,
- Choix du couple de bases qui donne le meilleur compromis ($R_c^2(\text{REG})$, $R_t^2(\text{REG})$),
- Calcul d'un modèle de réseau de neurones qui satisfasse la condition $R_c^2(\text{ANN}) > R_c^2(\text{REG})$ et $R_t^2(\text{ANN}) > R_t^2(\text{REG})$.

5.2 RESULTATS

Tout d'abord, chacun des lieux est étudié indépendamment des autres, afin de voir quelles sont les variables qui interviennent dans l'évaluation de la qualité sonore et comment elles interviennent. Or les modèles essaient d'expliquer la variabilité des réponses. Sur un même lieu, cette variabilité peut provenir des différents événements ayant lieu au moment du passage du questionnaire, ou bien de la variabilité des points de vue de chacun des individus. Or, d'après l'étude du maillage temporel, la variabilité de l'environnement sonore sur 10 à 15 minutes, à une période de l'après-midi variant entre 14h et 18h30 ne devrait pas être prédominante. Cette étude locale va donc révéler les variabilités dans l'environnement sonore dues aux événements ponctuels mais aussi et surtout les variabilités individuelles.

5.2.1 PARC (PARC)

5.2.1.1 SELECTION DES VARIABLES

La première étape des analyses est donc de sélectionner les variables à retenir pour construire les modèles à partir des distributions et des corrélations de ces mêmes variables deux à deux. Une des hypothèses de base de la régression linéaire multiple impose d'avoir un nombre d'observations supérieur au nombre de variables + 1 mais une règle communément admise dans le domaine conseille d'avoir au moins dix fois plus d'observations que de variables indépendantes. Cependant, avec seulement vingt-huit sujets pour construire nos modèles sur un site donné, il est impossible de respecter cette règle. En effet, réduire les modèles à seulement deux ou trois variables explicatives nous priverait inévitablement de certaines informations. C'est pourquoi pour chacun des huit points d'enquête nous avons tenté de réduire dans la mesure du possible le nombre de variables à dix ou onze au maximum.

On rappelle ici que la sélection s'est appuyée sur un choix de variables non corrélées au seuil significatif de 95%. Le tableau complet de ces corrélations est présenté sur la Figure 79.

Lorsque le temps de présence et l'intensité d'une source sont corrélés, seule la présence est sélectionnée. Lorsque les variables n'ont aucune variabilité, elles ne sont pas non plus sélectionnées.

Pour le site PARC dix variables non corrélées entre elles, présentées dans le Tableau IX, ont été retenues pour expliquer l'agrément sonore.

Tableau IX : Liste des variables retenues au point d'enquête PARC.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Agrément visuel	Ag.Vis
	Enveloppement	Env
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence nature	Pres.Nat
	Présence Oiseaux	Pres.Ois
	Présence véhicules légers	Pres.VL
	Silence	Sil
	Sonie humaine	Son.Hum
	Sonie véhicules légers	Son.VL
	Surprenant	Surp

R	Adeq	Ag Gl	Ag Air	Ag Vis	Anim	Drn	Envr	Pres Act	Pres Hum	Pres Klax	Pres Mob	Pres Nat	Pres Ois	Pres PL	Pres VL	Sil	Son Act	Son Hum	Son Klax	Son Mob	Son Nat	Son Ois	Son PL	Son VL	Sup
Adeq	1,000	0,222	0,411	0,513	0,156	-0,428	0,235	0,089	0,110	-0,223	0,139	0,168	0,168	-0,240	-0,287	-0,384	0,101	-0,246	0,036	-0,148	-0,011	0,219	-0,287	-0,384	-0,443
Ag Gl	0,222	1,000	0,388	0,546	0,105	-0,266	0,302	0,068	-0,084	0,114	-0,027	0,038	0,021	-0,181	-0,251	-0,107	0,036	-0,181	0,036	0,154	-0,017	0,166	-0,107	-0,029	0,160
Ag Air	0,411	0,388	1,000	0,450	-0,185	-0,276	0,126	0,550	-0,091	-0,244	-0,160	-0,084	-0,022	-0,134	-0,233	-0,133	0,240	-0,233	-0,205	-0,159	-0,049	-0,006	-0,133	-0,166	0,160
Ag Vis	0,513	0,546	0,450	1,000	0,044	-0,454	0,176	0,093	-0,198	0,012	0,011	0,168	0,029	0,029	0,029	0,029	-0,018	-0,448	-0,032	-0,023	0,101	0,156	0,030	-0,145	-0,050
Anim	0,156	-0,105	-0,185	0,044	1,000	0,246	0,117	0,125	0,166	0,002	0,052	0,071	0,381	0,173	0,350	-0,442	-0,011	0,449	-0,092	-0,024	0,100	0,384	0,190	0,030	-0,457
Drn	-0,428	-0,266	-0,276	-0,454	0,246	1,000	0,044	0,044	0,112	0,147	0,367	-0,144	-0,081	-0,133	-0,128	-0,383	-0,253	0,658	0,079	0,317	0,054	-0,071	0,117	0,288	0,056
Envr	0,235	0,502	0,126	0,176	0,117	0,044	1,000	0,172	0,040	0,162	0,116	-0,051	0,337	0,133	0,128	-0,086	-0,073	0,088	0,139	0,181	-0,116	0,050	0,094	-0,031	-0,005
Pres Act	0,089	0,268	0,550	0,003	0,125	-0,084	0,172	1,000	-0,074	-0,132	-0,208	-0,364	-0,130	0,008	0,005	0,034	-0,236	0,629	0,031	-0,164	-0,279	-0,133	-0,028	-0,121	-0,083
Pres Hum	0,110	-0,084	-0,091	-0,198	0,166	0,112	0,040	-0,074	1,000	0,212	0,229	-0,368	-0,130	0,108	0,108	-0,185	-0,110	0,367	0,144	0,086	0,206	0,107	0,168	-0,053	-0,354
Pres Klax	-0,223	0,114	-0,244	0,012	0,000	0,147	0,162	-0,132	0,212	1,000	0,600	0,269	-0,124	0,151	0,198	-0,071	-0,162	0,283	0,423	0,671	0,146	-0,030	0,516	0,182	0,021
Pres Mob	-0,122	0,067	-0,160	0,011	0,052	0,367	0,116	-0,128	0,229	0,600	1,000	0,269	-0,124	0,151	0,198	-0,071	-0,162	0,283	0,423	0,671	0,146	-0,030	0,516	0,182	0,021
Pres Nat	0,168	0,038	-0,022	-0,229	0,351	0,191	0,337	-0,087	0,130	-0,167	-0,124	0,001	1,000	0,010	0,246	-0,100	-0,222	0,387	-0,153	-0,281	0,044	0,422	-0,088	-0,124	-0,132
Pres Ois	-0,223	0,133	-0,124	0,029	0,173	0,103	0,065	0,108	0,085	0,173	0,151	0,239	0,010	1,000	0,188	-0,331	-0,086	0,149	0,167	0,187	-0,084	-0,080	0,485	-0,021	-0,003
Pres PL	-0,240	0,036	-0,322	-0,093	0,350	0,138	0,107	0,034	0,029	0,159	0,198	-0,006	0,246	0,188	1,000	-0,331	-0,090	-0,058	0,151	0,126	-0,144	0,095	0,248	0,264	-0,174
Pres VL	0,257	0,093	0,427	0,312	-0,342	-0,383	-0,006	-0,226	-0,185	-0,194	-0,071	-0,089	-0,100	-0,331	-0,190	1,000	0,094	-0,304	-0,181	-0,191	-0,116	-0,053	-0,307	-0,227	0,189
Son Act	0,101	0,021	0,240	-0,018	-0,011	-0,255	-0,073	0,029	-0,110	-0,154	-0,162	-0,234	-0,222	-0,086	-0,058	0,094	1,000	-0,178	-0,190	-0,178	-0,082	-0,321	-0,099	-0,195	0,147
Son Hum	-0,246	-0,181	-0,233	-0,448	0,449	0,658	0,088	0,031	0,367	0,215	0,285	-0,185	0,287	0,149	0,215	-0,304	-0,178	1,000	0,052	0,242	-0,061	0,059	0,240	0,154	-0,306
Son Klax	-0,062	0,036	-0,205	-0,032	-0,092	0,079	0,139	-0,164	0,144	0,333	0,423	-0,153	0,167	0,172	0,172	-0,181	-0,190	0,052	1,000	0,617	0,161	0,051	0,329	0,342	-0,090
Son Mob	-0,148	0,154	-0,159	-0,023	-0,024	0,317	0,181	-0,151	0,086	0,588	0,671	0,259	-0,281	0,187	0,126	-0,191	-0,178	0,242	0,617	1,000	0,027	-0,056	0,393	0,372	-0,011
Son Nat	-0,011	-0,017	-0,049	0,101	0,100	0,054	-0,116	-0,279	0,206	0,012	0,146	0,531	0,444	-0,084	-0,144	-0,116	-0,382	-0,061	0,161	0,027	1,000	0,405	-0,072	0,154	-0,014
Son Ois	0,219	0,251	-0,006	0,156	0,354	-0,071	0,050	-0,133	0,107	0,024	-0,040	0,131	0,422	-0,080	0,095	-0,053	-0,321	0,059	0,051	-0,056	0,405	1,000	-0,023	0,063	-0,157
Son PL	-0,287	0,166	-0,133	0,050	0,190	0,117	0,094	-0,028	0,168	0,772	0,516	0,238	-0,088	0,685	0,248	-0,307	-0,099	0,240	0,329	0,393	-0,072	-0,023	1,000	0,139	-0,029
Son VL	-0,384	0,107	-0,166	-0,145	0,030	0,268	-0,031	-0,121	-0,053	0,279	0,182	0,034	-0,124	-0,021	0,264	-0,227	-0,195	0,154	0,342	0,372	0,154	0,063	0,139	1,000	0,029
Sup	-0,343	-0,029	0,160	-0,030	-0,457	0,056	-0,005	-0,083	-0,354	-0,051	0,021	0,084	-0,132	-0,002	-0,174	0,189	0,147	-0,306	-0,090	-0,011	-0,014	-0,137	-0,023	0,029	1,000

P	Adeq	Ag Gl	Ag Air	Ag Vis	Anim	Drn	Envr	Pres Act	Pres Hum	Pres Klax	Pres Mob	Pres Nat	Pres Ois	Pres PL	Pres VL	Sil	Son Act	Son Hum	Son Klax	Son Mob	Son Nat	Son Ois	Son PL	Son VL	Sup
Adeq	1,000	0,168	0,008	0,001	0,336	0,006	0,145	0,586	0,500	0,166	0,454	0,392	0,299	0,166	0,135	0,109	0,333	0,125	0,702	0,362	0,947	0,175	0,073	0,014	0,030
Ag Gl	0,168	1,000	0,013	0,000	0,518	0,097	0,001	0,094	0,608	0,482	0,682	0,868	0,814	0,412	0,825	0,568	0,896	0,264	0,825	0,342	0,919	0,118	0,306	0,510	0,859
Ag Air	0,008	0,013	1,000	0,004	0,233	0,084	0,437	0,120	0,578	0,129	0,325	0,605	0,890	0,446	0,042	0,006	0,136	0,148	0,204	0,328	0,763	0,972	0,414	0,307	0,325
Ag Vis	0,001	0,000	0,004	1,000	0,787	0,003	0,277	0,988	0,220	0,944	0,945	0,300	0,156	0,860	0,567	0,050	0,911	0,004	0,843	0,887	0,537	0,337	0,759	0,370	0,761
Anim	0,336	0,518	0,253	0,787	1,000	0,126	0,472	0,443	0,303	0,999	0,750	0,664	0,027	0,287	0,027	0,031	0,946	0,004	0,573	0,885	0,539	0,025	0,241	0,832	0,003
Drn	0,006	0,097	0,084	0,003	0,126	1,000	0,186	0,605	0,491	0,364	0,020	0,374	0,238	0,935	0,432	0,112	0,200	0,630	0,630	0,046	0,740	0,662	0,473	0,095	0,729
Envr	0,145	0,001	0,437	0,277	0,472	0,786	1,000	0,287	0,806	0,317	0,475	0,618	0,033	0,413	0,510	0,972	0,652	0,891	0,393	0,263	0,477	0,759	0,564	0,847	0,977
Pres Act	0,586	0,094	0,120	0,988	0,443	0,605	0,287	1,000	0,650	0,416	0,432	0,021	0,592	0,975	0,817	0,160	0,800	0,848	0,313	0,353	0,082	0,413	0,865	0,458	0,612
Pres Hum	0,500	0,608	0,378	0,220	0,305	0,491	0,806	0,650	1,000	0,190	0,155	0,198	0,424	0,509	0,859	0,234	0,320	0,620	0,516	0,600	0,202	0,509	0,299	0,744	0,625
Pres Klax	0,166	0,482	0,129	0,944	0,999	0,364	0,317	0,416	0,190	1,000	0,000	0,291	0,302	0,018	0,327	0,330	0,444	0,183	0,000	0,000	0,943	0,881	0,000	0,081	0,52
Pres Mob	0,454	0,682	0,325	0,945	0,750	0,020	0,475	0,432	0,155	0,000	0,000	0,094	0,448	0,354	0,222	0,665	0,118	0,074	0,007	0,000	0,370	0,855	0,001	0,261	0,898
Pres Nat	0,392	0,868	0,605	0,300	0,664	0,374	0,618	0,021	0,198	0,251	0,094	1,000	0,996	0,138	0,970	0,583	0,146	0,252	0,298	0,107	0,000	0,247	0,139	0,836	0,605
Pres Ois	0,299	0,814	0,890	0,156	0,027	0,238	0,033	0,992	0,424	0,302	0,448	0,996	1,000	0,951	0,127	0,539	0,169	0,072	0,347	0,079	0,86	0,007	0,591	0,446	0,416
Pres PL	0,166	0,412	0,446	0,860	0,287	0,935	0,413	0,975	0,509	0,018	0,354	0,138	0,951	1,000	0,246	0,037	0,397	0,358	0,302	0,248	0,606	0,625	0,000	0,896	0,991
Pres VL	0,135	0,825	0,042	0,567	0,027	0,432	0,510	0,837	0,809	0,237	0,222	0,970	0,127	0,246	0,240	1,000	0,273	0,182	0,659	0,439	0,375	0,560	0,123	0,100	0,283
Sil	0,109	0,568	0,006	0,050	0,031	0,015	0,972	0,160	0,254	0,230	0,665	0,583	0,539	0,037	0,240	1,000	0,663	0,057	0,264	0,239	0,478	0,743	0,054	0,138	0,244
Son Act	0,533	0,896	0,136	0,911	0,946	0,112	0,632	0,000	0,500	0,344	0,316	0,146	0,169	0,597	0,723	0,563	1,000	0,273	0,240	0,273	0,015	0,044	0,543	0,228	0,366

5.2.1.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (1) de la régression linéaire multiple dans le parc est donnée ci-après.

$$\begin{aligned}
 \text{Ag.Son} = & 2,70 + 0,26 * \text{Ag.Vis} + 0,18 * \text{Env} - 0,11 * \text{Pres.Hum} \\
 & + 0,20 * \text{Pres.Nat} + 0,09 * \text{Pres.Ois} - 0,04 * \text{Pres.VL} \\
 & + 0,40 * \text{Sil} - 0,06 * \text{Son.Hum} - 0,13 * \text{Son.VL} \\
 & - 0,35 * \text{Surp}
 \end{aligned} \quad (1)$$

Chacune des variables ayant été notée sur la même échelle (entre 0 et 10) les coefficients présents dans l'équation sont donc révélateurs de l'importance ou non des variables dans le modèle. Plus le coefficient est important, plus la variable a une influence sur l'agrément sonore. Le signe du coefficient indique pour sa part le sens de la relation entre l'agrément sonore et la variable. Ainsi on peut constater dans l'équation (1) que dans le parc, les trois variables les plus importantes pour expliquer l'agrément sonore (du point de vue du coefficient) sont les variables "Silence", "Surprenant" et "Présence Nature".

Un des moyens de vérifier statistiquement l'importance ou non des variables endogènes est de regarder le t-Student associé à chaque variable. A ce sujet, on peut remarquer sur le tableau X suivant, que la variable "Agrément visuel", bien que non significative, présente un coefficient (0,26) plus important que la variable "Présence Nature" (0,20) qui elle est significative. Le tableau X regroupe pour chacune des variables de l'équation (1), le coefficient de celle-ci dans l'équation, le t-Student et la valeur de p associée.

Tableau X : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	p
Const	2,70	0,77	0,45
Ag.Vis	0,26	0,74	0,47
Env	0,18	1,39	0,18
Pres.Hum	-0,11	-0,92	0,37
Pres.Nat	0,20	1,78	0,09
Pres.Ois	0,09	0,73	0,48
Pres.VL	-0,04	-0,45	0,66
Sil	0,40	1,82	0,09
Son.Hum	-0,06	-0,41	0,68
Son.VL	-0,13	-0,77	0,45
Surp	-0,35	-2,22	0,04

Il semble ici logique au regard de la valeur du coefficient que la variable "Silence" ait la plus grande influence sur l'agrément sonore avec un coefficient de 0,40. Ceci peut se visualiser sur la Figure 80 (fin du paragraphe 5.2.1.3) qui présente la variabilité des réponses des sujets sur cette variable (modèle de régression en cyan sur la figure). Or, le coefficient 0,35 semble fort pour la variable "Surprenant" et est significatif dans le modèle au regard de la valeur de t . Si l'on regarde attentivement sur la Figure 80 la répartition des sujets pour cette variable, il s'avère qu'il y a un sujet (1A) très surpris par la forte présence de véhicules légers et tire la régression à lui. Le coefficient de la régression peut donc être amplifié (ou diminué) par la réponse de quelques personnes qui sortent du consensus général (représenté par la zone rouge sur la Figure 80). Ainsi, pour les variables "Présence Nature" et "Présence Oiseaux", on peut remarquer que leurs coefficients (respectivement 0,20 et 0,09, significatif et non significatif) se différencient à cause de très peu de sujets. Deux sujets (1B, 1C) ont noté un agrément sonore très fort, malgré l'absence des oiseaux. Comparativement, deux sujets (1D, 1E) qui n'ont pas entendu du tout de bruits naturels n'ont pas été aussi satisfaits par la qualité de leur environnement sonore. Ces deux derniers sujets (1D, 1E) ont donc donné plus d'importance à la nature en comparaison respectivement aux deux autres sujets (1B, 1C) qui n'avaient pas donné d'importance aux oiseaux. Cela se traduit immédiatement dans les poids respectifs de chacune des variables et leur significativité. Nous voyons donc ici que les régressions se construisent beaucoup autour des ressentis individuels et qu'il faudra être prudent dans l'interprétation de celles-ci lorsque l'on travaille localement autour d'un site urbain unique.

5.2.1.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

La première comparaison que l'on peut faire entre la régression linéaire multiple et le réseau de neurones artificiels est de regarder les valeurs de R^2 obtenues pour chacun d'eux, sur les bases de construction, de test, mais également sur la totalité des sujets, c'est-à-dire en calculant les valeurs d'agrément sonore prédites par les modèles à partir de la totalité des sujets.

Comme mentionné au paragraphe 5.1.4.2, le coefficient de corrélation au carré R^2 permet de mesurer la relation entre les valeurs d'agrément sonore issues des questionnaires et les valeurs prédites par un modèle. A cette valeur de R^2 est généralement associée une valeur de p , qui témoigne de la signification statistique de la corrélation. Lorsque p est inférieur à 0,05,

la corrélation peut être considérée statistiquement significative. Un seuil plus sévère de 0,01 peut également être choisi. Le tableau XI présente les valeurs de R^2 et de p obtenues pour les deux modèles prédictifs dans le parc.

Tableau XI : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R^2	p-value	R^2	p-value
Construction	0,59	1,96E-06	0,74	4,41E-09
Test	0,82	5,25E-05	0,87	1,05E-05
Totalité	0,57	1,45E-08	0,71	1,17E-11

Le tableau XI permet donc de constater premièrement que la relation entre les valeurs prédites de l'agrément sonore et les valeurs mesurées est très significative puisque les valeurs de p sont toujours largement inférieures à 0,01. Les valeurs de R^2 peuvent donc être comparées. Ainsi il apparaît clairement que le modèle de réseau de neurones est "meilleur" que le modèle de régression linéaire puisque le R^2 sur la base de construction comme sur la base de test est plus élevé dans le cas du réseau de neurones. Bien évidemment, il ne pouvait pas en être autrement, puisque le réseau de neurone a été construit sur ce critère (*cf.* § 5.1.4.2). Cela dit, ce résultat mérite tout de même d'être souligné. En effet, malgré la part d'aléatoire des réseaux de neurones liée à l'initialisation du réseau, qui fait que chaque résultat obtenu peut-être différent pour une seule base de données étudiée, il n'en reste pas moins vrai qu'il est possible de trouver un modèle de réseau de neurones de meilleure qualité qu'un modèle de régression linéaire. Et ceci est valable pour tous les points d'enquête comme en témoignent les résultats présentés dans les paragraphes suivants. A titre d'exemple, il n'aura fallu environ qu'une minute et trente secondes avant de trouver le réseau de neurones retenu (sous Matlab, avec un processeur classique).

Souvent considérés comme des boîtes noires, les réseaux de neurones n'apportent à première vue pas d'autre information que les valeurs prédites. En comparaison, comme nous venons de le faire au paragraphe précédent, l'équation de la régression linéaire multiple reste un bon moyen d'étudier à travers ses coefficients le lien qui existe entre l'agrément sonore et les variables indépendantes. Cependant nous avons tenté d'exploiter les réseaux de neurones pour en savoir un peu plus sur ce lien. Pour cela, nous avons considéré un sujet moyen par site. Ce sujet moyen local correspond simplement à la moyenne arithmétique des réponses de tous les sujets du site pour chacune des variables mesurées ("Agrément sonore", "Agrément visuel", ..., "Temps de présence des véhicules légers", etc.). Puis ce sujet moyen a été injecté

dans les modèles en faisant varier chacune des variables une à une entre 0 et 10 avec un pas de 0,1. Les tracés des sorties, calculées à partir des deux modèles, permettent d'avoir une idée de la relation entre la variable dépendante et chacune des variables indépendantes considérées.

Pour être plus clair, considérons l'équation de la régression (1) présentée au paragraphe 5.2.1.2. Si toutes les variables sauf une ("Agrément visuel" par exemple) sont fixées à une valeur moyenne et que l'agrément visuel varie de façon continue entre 0 et 10, les résultats de cette équation définissent une droite dont la pente a pour valeur le coefficient de l'agrément visuel présent dans l'équation, c'est-à-dire 0,26. L'idée est donc d'appliquer la même méthode au réseau de neurones afin de visualiser la relation entre l'agrément sonore et les différentes variables considérées dans le modèle.

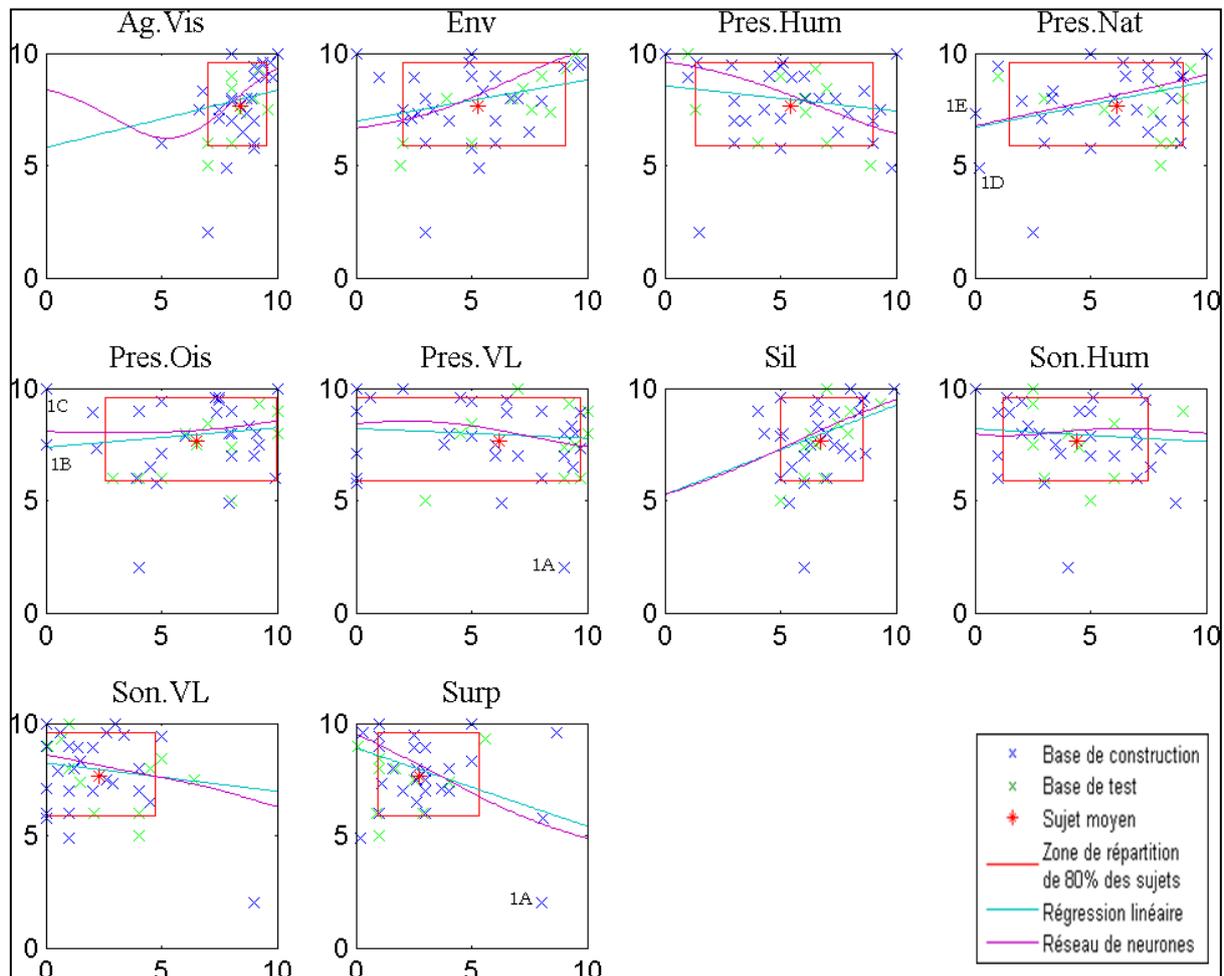


Figure 80 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour les modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen local.

La Figure 80 présente l'allure de variation de l'agrément sonore calculé pour chacune des dix variables retenues. Pour chaque diagramme, l'agrément sonore calculé est présenté sur l'axe des ordonnées et la variable indépendante sur l'axe des abscisses. Plusieurs choses sont

remarquables sur cette Figure 80. Tout d'abord les relations entre l'agrément sonore et les variables indépendantes sont tout logiquement non linéaires. Ceci est particulièrement visible pour l'agrément visuel puisqu'il est possible de voir que l'agrément sonore diminue lorsque l'agrément visuel varie entre 0 et 5 puis augmente lorsque ce dernier augmente sur la deuxième partie de l'échelle entre 5 et 10.

Cela dit, nous avons pris soin de représenter pour chacune des variables le sujet moyen, les sujets qui ont servi à construire les modèles (base de construction, en bleu), les sujets qui ont servi à tester le modèle (base de test, en vert) et enfin la zone de répartition de 80% de la totalité des sujets interrogés sur ce site. Cette zone est calculée par rapport à la médiane des variables à laquelle 40% des données sont ajoutées d'une part et soustraites d'autre part. C'est précisément cette zone qu'il faut considérer avec intérêt. En effet, en se focalisant sur l'agrément visuel, il est possible de voir que la zone de répartition de 80% des sujets, et *a fortiori* des sujets ayant servis à construire le modèle, ne représente qu'une partie relativement faible de l'échelle totale (en haut à droite). De ce fait, le réseau de neurones a beaucoup appris dans cette zone. Néanmoins il est intéressant d'étudier le comportement des sujets en dehors de cette zone, principalement lorsque la répartition des réponses des sujets semble un peu aléatoire à l'intérieur de la zone. Que ce soit pour le réseau de neurones ou pour la régression, chacun des modèles s'appuie sur ces personnes un peu "atypiques" pour chercher à trouver du sens dans la variabilité des réponses des sujets. Néanmoins, dans une zone où aucun sujet n'a exprimé de réponse, le modèle de réseau de neurones peut complètement diverger. Par exemple, toujours pour l'agrément visuel, aucun sujet n'a exprimé de réponse inférieure à 5. Dans cette zone particulière, le réseau de neurones n'est pas pertinent.

A contrario, dans la zone de répartition de 80% des sujets, il convient de constater que pour le réseau de neurones, l'agrément visuel semble avoir une influence assez forte sur l'agrément sonore. Si pour la régression linéaire multiple cette variable était apparue non significative, en revanche pour le réseau de neurones elle pourrait avoir une importance non négligeable.

5.2.2 TRANSITION COTE PARC (TPARC)

5.2.2.1 SELECTION DES VARIABLES

Pour le site TPARC dix variables non corrélées, présentées dans le Tableau XII, ont été retenues pour expliquer l'agrément sonore.

Toutes les valeurs de corrélations (R et p) entre les variables indépendantes deux à deux qui ont servi à la sélection de ces dix variables sont présentées en Annexe 4.

Tableau XII : Liste des variables retenues au point d'enquête TPARC.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Adéquation	Adeq
	Agrément de l'air	Ag.Air
	Agrément visuel	Ag.Vis
	Dynamique	Dyn
	Enveloppement	Env
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence Oiseaux	Pres.Ois
	Présence véhicules légers	Pres.VL
	Silence	Sil
	Surprenant	Surp

5.2.2.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (2) de la régression linéaire multiple dans la zone de transition côté parc est donnée ci-après.

$$\begin{aligned} \text{Ag.Son} = & 0,21 + 0,09 * \text{Adeq} + 0,65 * \text{Ag.Air} + 0,28 * \text{Ag.Vis} \\ & + 0,00 * \text{Dyn} - 0,17 * \text{Env} + 0,02 * \text{Pres.Hum} \\ & + 0,01 * \text{Pres.Ois} - 0,27 * \text{Pres.VL} + 0,08 * \text{Sil} \\ & + 0,10 * \text{Surp} \end{aligned} \quad (2)$$

Dans cette équation (2) issue de la régression linéaire multiple, nous pouvons remarquer que la variable "Silence" a peu de poids (et est non significative) comparé à celui de la variable "Présence des véhicules légers" (significative, $p=0,1$) Cette présence a été particulièrement remarquée par six sujets (2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F) qui ont montré leur désagrément sonore par une note entre 2 et 3 (voir Figure 81). Parmi ces six sujets, deux (2B, 2D) ont été surpris tandis que les autres non, ce qui rend cette variable "Surprenant" ici non significative alors qu'elle l'était dans le parc. Nous pouvons aussi regarder le coefficient très

important de la variable "Agrément de l'air" (0,65) comparé à celui de la variable "Agrément visuel" (0,28) (la première est significative mais pas la seconde au regard du test de Student). Cela s'explique par la notation d'un sujet qui a trouvé que la qualité de l'air de ce lieu était fort désagréable (Ag.Air = 2), entraînant un agrément sonore très faible (Ag.Son = 2,5), tandis qu'aucun sujet n'a jugé l'environnement visuel désagréable. Encore une fois, nous remarquons que ces régressions peuvent être très marquées par les réponses de quelques sujets uniquement.

Nous trouvons ici logiquement une influence négative de la présence des véhicules sur l'agrément sonore.

Tableau XIII : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	p
Const	0,21	0,05	0,96
Adeq	0,09	0,50	0,62
Ag.Air	0,65	1,96	0,07
Ag.Vis	0,28	0,69	0,50
Dyn	0,00	-0,02	0,99
Env	-0,17	-0,90	0,38
Pres.Hum	0,02	0,07	0,95
Pres.Ois	0,01	0,04	0,97
Pres.VL	-0,27	-1,76	0,10
Sil	0,08	0,32	0,76
Surp	0,10	0,33	0,75

5.2.2.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

En comparant les valeurs de R^2 issus de la régression linéaire multiple et ceux provenant du modèle de réseau de neurone (Tableau XIV) il apparait ici aussi que le réseau de neurones retenu peut être considéré comme "meilleur" face au modèle de régression bien que les résultats soient très proches concernant la base de test.

Tableau XIV : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,43	1,52E-04	0,60	1,29E-06
Test	0,87	9,60E-06	0,88	6,77E-06
Totalité	0,41	9,97E-06	0,55	4,51E-08

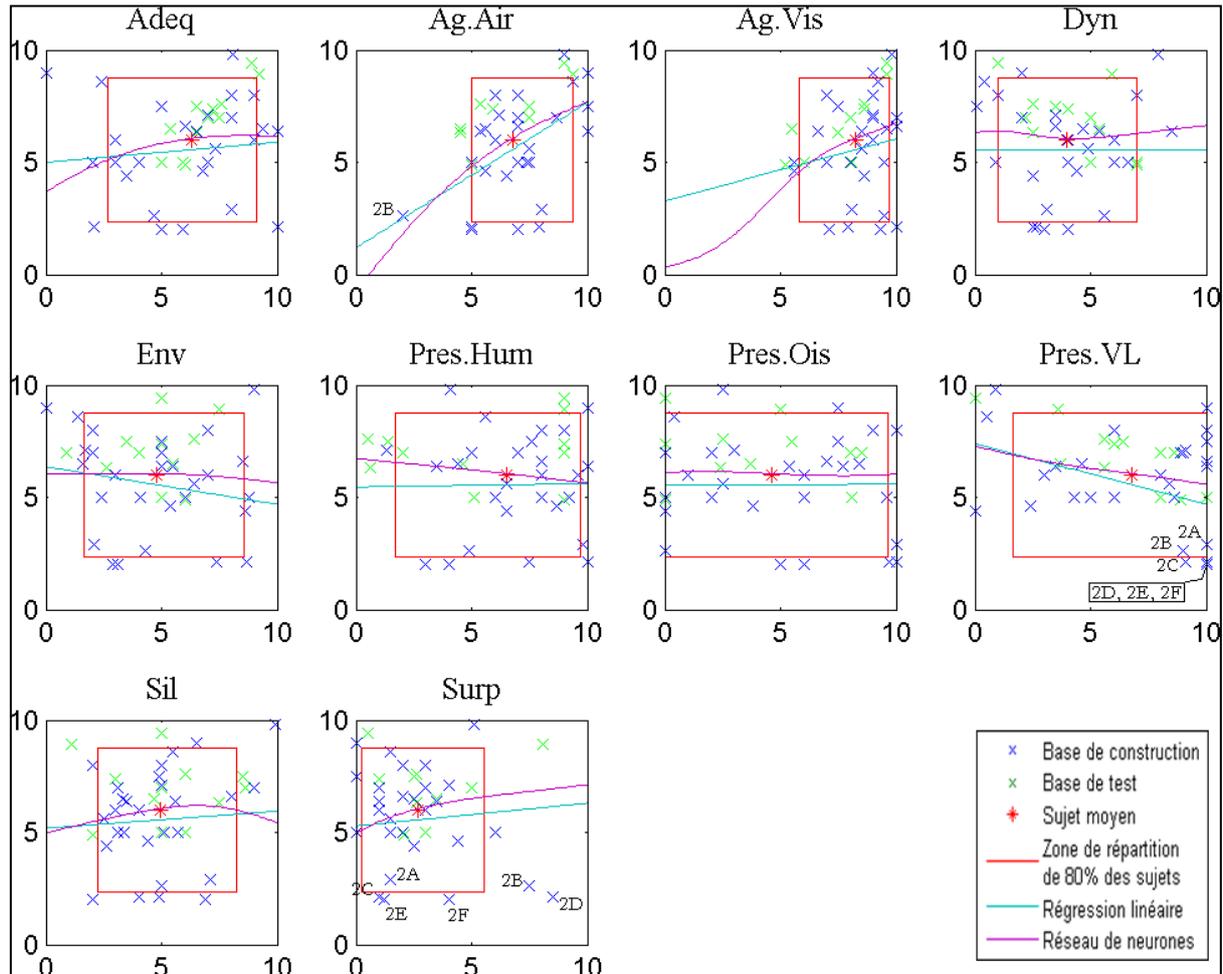


Figure 81 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour les modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen local.

5.2.3 TRANSITION COTE BOULEVARD (TBLVL)

5.2.3.1 SELECTION DES VARIABLES

Pour le site TBLVL dix variables non corrélées, présentées dans le Tableau XV, ont été retenues pour expliquer l'agrément sonore.

Tableau XV : Liste des variables retenues au point d'enquête TBLVL.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Agrément de l'air	Ag.Air
	Agrément visuel	Ag.Vis
	Dynamique	Dyn
	Enveloppement	Env
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence de klaxons	Pres.Klax
	Présence de poids lourds	Pres.PL
	Présence véhicules légers	Pres.VL
	Silence	Sil
	Surprenant	Surp

5.2.3.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (3) de la régression linéaire multiple dans la zone de transition côté boulevard est donnée ci-après.

$$\begin{aligned} \text{Ag.Son} = & - 0,19 + 0,15 * \text{Ag.Air} + 0,27 * \text{Ag.Vis} + 0,36 * \text{Dyn} \\ & - 0,25 * \text{Env} + 0,01 * \text{Pres.Hum} + 0,05 * \text{Pres.Klax} \\ & + 0,09 * \text{Pres.PL} - 0,02 * \text{Pres.VL} + 1,02 * \text{Sil} \\ & - 1,10 * \text{Surp} \end{aligned} \quad (3)$$

Sur cette régression (3) à la sortie du parc du côté du boulevard, la variable "Silence" reste dans la logique des autres lieux (hormis le lieu précédent TPARC), c'est-à-dire avec un fort coefficient significatif (plus c'est silencieux, plus c'est agréable d'un point de vue sonore). Ce fort impact du silence est par ailleurs compensé par le caractère surprenant qui a pour sa part une grande influence négative sur la qualité de l'environnement sonore. Ces deux variables ("Silence" et "Surprenant") sont fortement significatives au regard du test de Student avec des valeurs de 5,01 pour la variable "Silence" et -3,36 pour la variable "Surprenant" ($p < 0,01$).

Tableau XVI : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	P
Const	-0,19	-0,06	0,95
Ag.Air	0,15	0,82	0,43
Ag.Vis	0,27	1,59	0,13
Dyn	0,36	2,15	0,05
Env	-0,25	-2,06	0,05
Pres.Hum	0,01	0,13	0,90
Pres.Klax	0,05	0,40	0,70
Pres.PL	0,09	0,73	0,48
Pres.VL	-0,02	-0,07	0,94
Sil	1,02	5,01	0,00
Surp	-1,10	-3,36	0,00

5.2.3.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

Tableau XVII : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,74	5,63E-09	0,83	1,87E-11
Test	0,82	5,35E-05	0,84	2,37E-05
Totalité	0,68	7,67E-11	0,74	1,50E-12

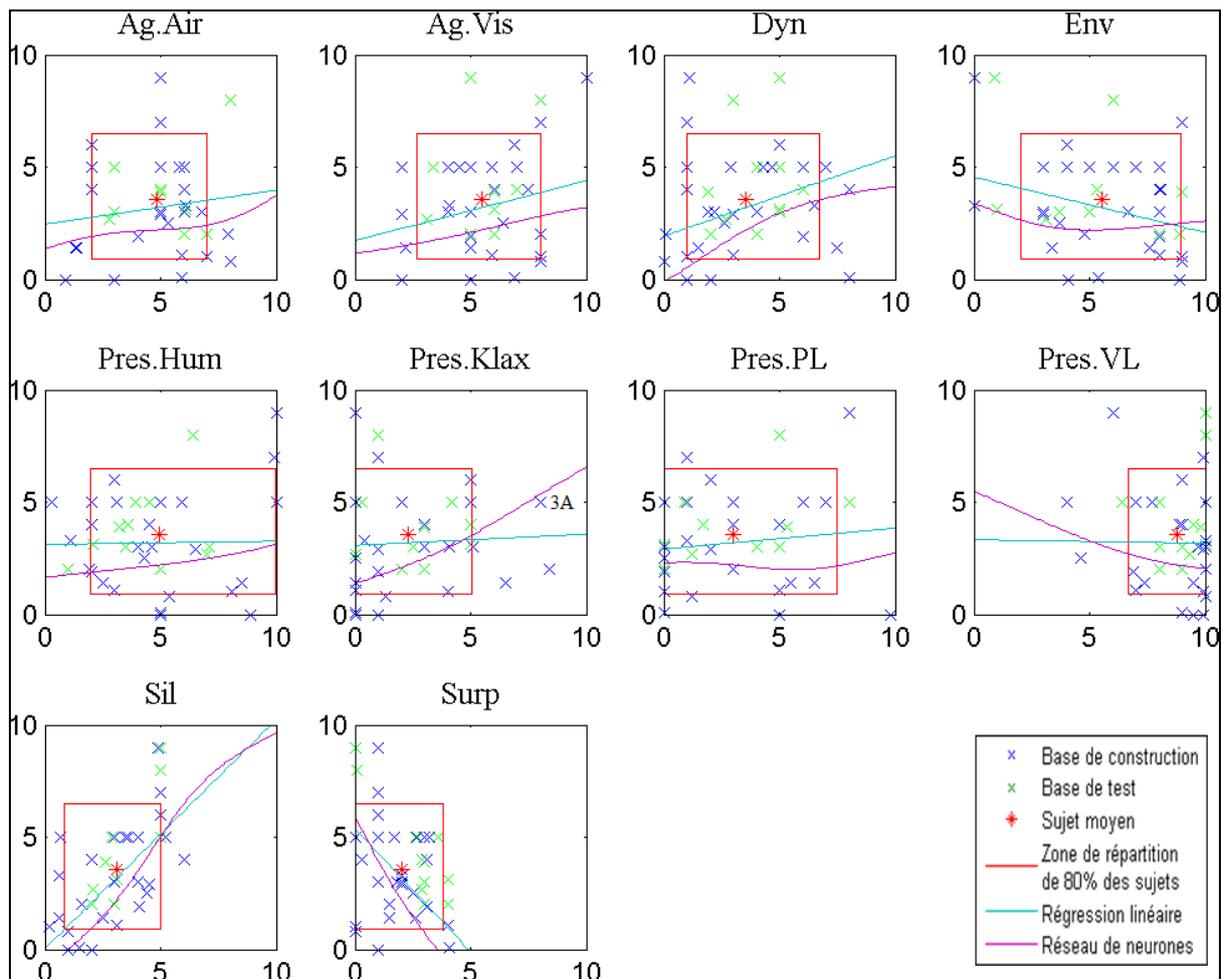


Figure 82 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour les modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen local.

Sur cette Figure 82 nous voyons clairement que le sujet (3A) qui a entendu des klaxons a attiré vers lui le modèle de réseau de neurones. Cela aboutit à une mauvaise interprétation de cette variable qui, si l'on n'y fait pas attention, voudrait dire que plus il y a de klaxons, plus c'est agréable ! Encore une fois, il faut être très prudent sur l'interprétation ponctuelle du sens de variation des variables. On peut remarquer que cette variable était non significative avec la régression.

Par ailleurs, la comparaison entre les coefficients de corrélations au carré R^2 entre régression et réseau de neurones montre que ce dernier est de meilleure qualité, même si sur le critère de la base de test, les deux modèles restent proches.

5.2.4 BOULEVARD A LYON (BLVL)

5.2.4.1 SELECTION DES VARIABLES

Pour le site BLVL onze variables non corrélées, présentées dans le tableau XVIII, ont été retenues pour expliquer l'agrément sonore.

Tableau XVIII : Liste des variables retenues au point d'enquête BLVL.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Agrément visuel	Ag.Vis
	Animation	Anim
	Dynamique	Dyn
	Enveloppement	Env
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence klaxons	Pres.Klax
	Présence cyclomoteurs	Pres.Mob
	Présence poids lourds	Pres.PL
	Silence	Silence
	Sonie véhicules légers	Son.VL
	Surprenant	Surp

5.2.4.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (4) de la régression linéaire multiple établie sur le boulevard à Lyon est donnée ci-après.

$$\begin{aligned} \text{Ag.Son} = & 2,58 + 0,19 * \text{Ag.Vis} + 0,07 * \text{Anim} - 0,00 * \text{Dyn} \\ & + 0,03 * \text{Env} - 0,20 * \text{Pres.Hum} + 0,39 * \text{Pres.Klax} \\ & - 0,05 * \text{Pres.Mob} - 0,10 * \text{Pres.PL} + 0,66 * \text{Sil} \\ & - 0,28 * \text{Son.VL} + 0,05 * \text{Surp} \end{aligned} \quad (4)$$

Sur le boulevard à Lyon, logiquement la variable "Silence" se retrouve avoir le plus d'importance avec un coefficient égal à 0,66 dans l'équation de la régression (4) (cette variable est la seule significative au regard du test de Student).

Tableau XIX : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	P
Const	2,58	0,74	0,47
Ag.Vis	0,19	0,80	0,43
Anim	0,07	0,35	0,73
Dyn	0,00	-0,01	0,99
Env	0,03	0,18	0,86
Pres.Hum	-0,20	-1,28	0,22
Pres.Klax	0,39	1,14	0,27
Pres.Mob	-0,05	-0,26	0,80
Pres.PL	-0,10	-0,35	0,73
Sil	0,66	1,91	0,07
Son.VL	-0,28	-0,86	0,40
Surp	0,05	0,22	0,83

5.2.4.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

Tableau XX : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,50	2,61E-05	0,70	2,68E-08
Test	0,83	3,89E-05	0,83	3,88E-05
Totalité	0,54	5,46E-08	0,65	3,44E-10

De nouveau, on retrouve dans le Tableau XX des valeurs de R² supérieures pour le réseau de neurones par rapport à la régression sur les bases de construction et totale, mais des valeurs identiques sur la base de test.

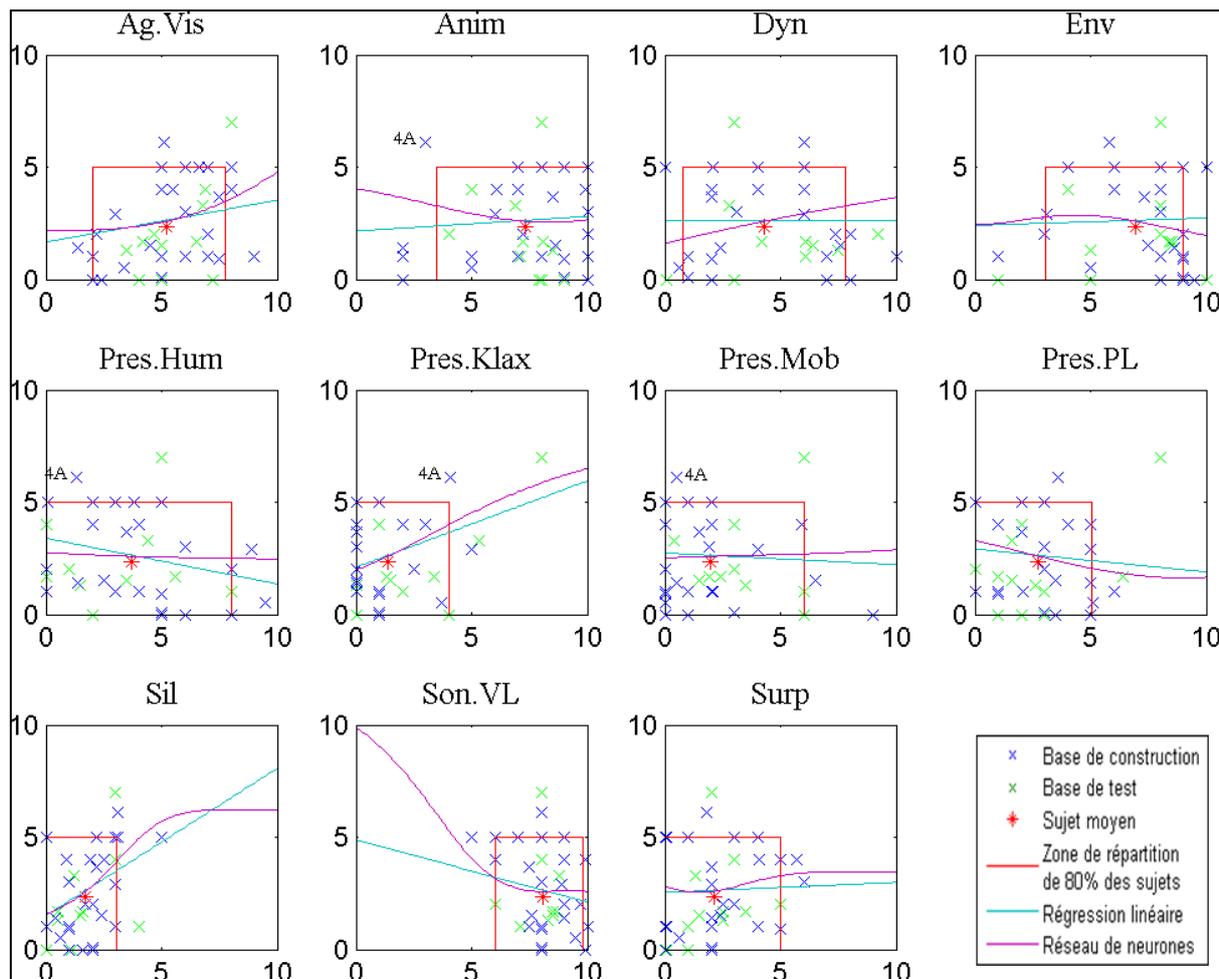


Figure 83 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour les modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen local.

Sur cette Figure 83 nous remarquons que la présence du sujet (4A), dans l'échantillon qui a servi à la construction de modèles, a attiré particulièrement le modèle de réseau de neurones pour la variable "Animation", ce qui explique la divergence des deux modèles dans la zone jugée de faible animation. Nous remarquons aussi qu'il y a divergence des deux modèles lorsqu'aucun sujet n'a permis au réseau de neurones d'apprendre l'évaluation de l'agrément sonore sur les variables "Silence" et "Sonie des véhicules légers". Cette divergence peut donc se faire sentir sur des variables significatives ou non sur les modèles de régression.

5.2.5 BOULEVARD A PARIS (BLVP)

5.2.5.1 SELECTION DES VARIABLES

Pour le site BLVP onze variables non corrélées, présentées dans le tableau XXI, ont été retenues pour expliquer l'agrément sonore.

Tableau XXI : Liste des variables retenues au point d'enquête BLVP.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Adéquation	Adeq
	Agrément visuel	Ag.Vis
	Animation	Anim
	Dynamique	Dyn
	Enveloppement	Env
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence cyclomoteurs	Pres.Mob
	Présence poids lourds	Pres.PL
	Présence véhicules légers	Pres.VL
	Silence	Sil
Surprenant	Surp	

5.2.5.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (5) de la régression linéaire multiple établie sur le boulevard à Paris est donnée ci-après.

$$\begin{aligned} \text{Ag.Son} = & 0,25 + 0,31 * \text{Adeq} + 0,24 * \text{Ag.Vis} + 0,04 * \text{Anim} \\ & - 0,33 * \text{Dyn} + 0,32 * \text{Env} - 0,35 * \text{Pres.Hum} \\ & - 0,03 * \text{Pres.Mob} + 0,27 * \text{Pres.PL} - 0,34 * \text{Pres.VL} \\ & + 0,87 * \text{Sil} + 0,10 * \text{Surp} \end{aligned} \quad (5)$$

Ce point correspond au boulevard parisien, et nous retrouvons la forte significativité de la variable "Silence" comme pour le boulevard lyonnais (voir paragraphe 5.2.4.2). Sur Paris, la variable "Adéquation" prend une place non négligeable dans le modèle de régression (5). D'autres variables sont significatives mais présentent néanmoins des coefficients difficiles à expliquer. Par exemple les poids lourds ont un coefficient positif alors que la présence humaine a un coefficient négatif, ce qui va à l'encontre de l'hypothèse qu'on pourrait faire sur de telles variables.

Tableau XXII : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	p
Const	0,25	0,07	0,94
Adeq	0,31	2,25	0,04
Ag.Vis	0,24	1,62	0,12
Anim	0,04	0,19	0,85
Dyn	-0,33	-1,82	0,09
Env	0,32	1,88	0,08
Pres.Hum	-0,35	-1,99	0,06
Pres.Mob	-0,03	-0,23	0,82
Pres.PL	0,27	1,72	0,10
Pres.VL	-0,34	-1,25	0,23
Sil	0,87	4,23	0,00
Surp	0,10	0,73	0,48

5.2.5.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

Tableau XXIII : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,77	1,08E-09	0,82	4,73E-11
Test	0,81	6,85E-05	0,83	4,16E-05
Totalité	0,68	5,55E-11	0,72	5,58E-12

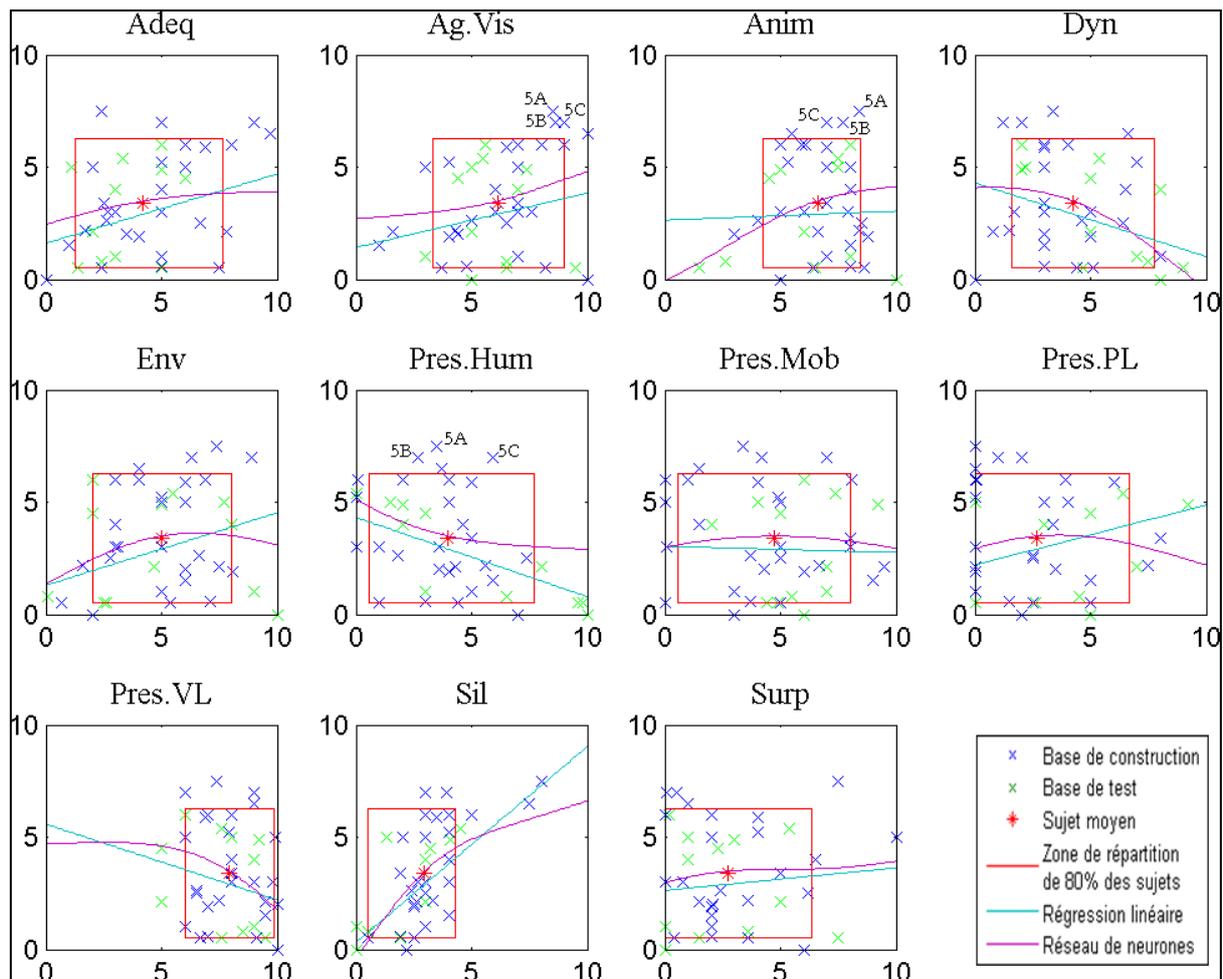


Figure 84 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour les modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen local.

Si nous revenons à l'influence des poids lourds dans ces différents modèles, nous voyons sur la Figure 84 que le réseau de neurones ici semble mieux refléter les réponses des sujets que la régression multiple. Il est également remarquable que la variable "Animation" semble avoir un effet positif sur l'agrément sonore qui ne se traduit que sur le réseau de neurones mais pas sur la significativité de cette variable dans la régression. D'ailleurs, les trois sujets (5A, 5B, 5C) qui ont jugé ce boulevard animé, n'ont pas particulièrement remarqué de présence humaine, mais ils ont tous trois jugé l'environnement visuel agréable. Nous voyons ici que derrière la notion d'animation, il y a beaucoup plus que la présence humaine.

5.2.6 TRANSITION COTE RUE CIRCULEE (TRUE)

5.2.6.1 SELECTION DES VARIABLES

Pour le site TRUE dix variables non corrélées, présentées dans le tableau XXIV, ont été retenues pour expliquer l'agrément sonore.

Tableau XXIV : Liste des variables retenues au point d'enquête TRUE.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Adéquation	Adeq
	Agrément visuel	Ag.Vis
	Animation	Anim
	Dynamique	Dyn
	Enveloppement	Env
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence véhicules légers	Pres.VL
	Silence	Sil
	Sonie véhicules légers	Son.VL
	Surprenant	Surp

5.2.6.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (6) de la régression linéaire multiple établie dans la transition côté rue de l'Epée de Bois est donnée ci-après.

$$\begin{aligned} \text{Ag.Son} = & - 7,17 + 0,08 * \text{Adeq} + 0,58 * \text{Ag.Vis} + 0,17 * \text{Anim} \\ & + 0,04 * \text{Dyn} + 0,35 * \text{Env} + 0,09 * \text{Pres.Hum} \\ & + 0,16 * \text{Pres.VL} + 0,68 * \text{Sil} + 0,10 * \text{Son.VL} \\ & - 0,38 * \text{Surp} \end{aligned} \quad (6)$$

Nous retrouvons l'influence de la variable "Silence" et l'influence positive de la variable "Agrément visuel" cette fois-ci significative dans l'équation du modèle de régression (6). Il semble aussi que l'enveloppement soit important pour ce passage vers la rue piétonne.

Tableau XXV : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	p
Const	-7,17	-1,78	0,09
Adeq	0,08	0,42	0,68
Ag.Vis	0,58	1,93	0,07
Anim	0,17	0,74	0,47
Dyn	0,04	0,19	0,85
Env	0,35	1,76	0,10
Pres.Hum	0,09	0,49	0,63
Pres.VL	0,16	0,78	0,44
Sil	0,68	3,25	0,00
Son.VL	0,10	0,44	0,67
Surp	-0,38	-1,20	0,25

5.2.6.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

Tableau XXVI : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,65	1,90E-07	0,78	4,66E-10
Test	0,63	2,06E-03	0,67	1,20E-03
Totalité	0,52	1,40E-07	0,55	4,06E-08

L'animation pour le réseau de neurones semble ici être liée à la présence humaine surtout pour le sujet (6A) qui a fortement apprécié l'environnement sonore. Nous voyons qu'il y a plus de monde en ce lieu que le long du boulevard (*cf.* Figure 84 et Figure 85 pour la variable "Présence humaine"). Il n'est pas évident de comprendre ce que les passants ont jugé comme enveloppant ou animé. Si nous reprenons les questionnaires, il est écrit sur l'échelle "Sans vie / Animé" : l'environnement sonore vous donne l'impression que le lieu est sans activité, sans vie, comme inanimé / l'environnement sonore vous donne l'impression que le lieu est plein de vie, d'activité. Pour l'échelle "Enveloppant / Peu enveloppant" : vous avez l'impression que vous êtes à l'intérieur de cet environnement sonore, qu'il vous enveloppe / vous avez l'impression que l'environnement sonore ne vous enveloppe pas, que vous êtes à l'extérieur de lui. Dans ce lieu où il y a des gens qui s'animent autour des sujets, on pourrait envisager que l'animation et l'enveloppement soient associés à la présence de ces passants.

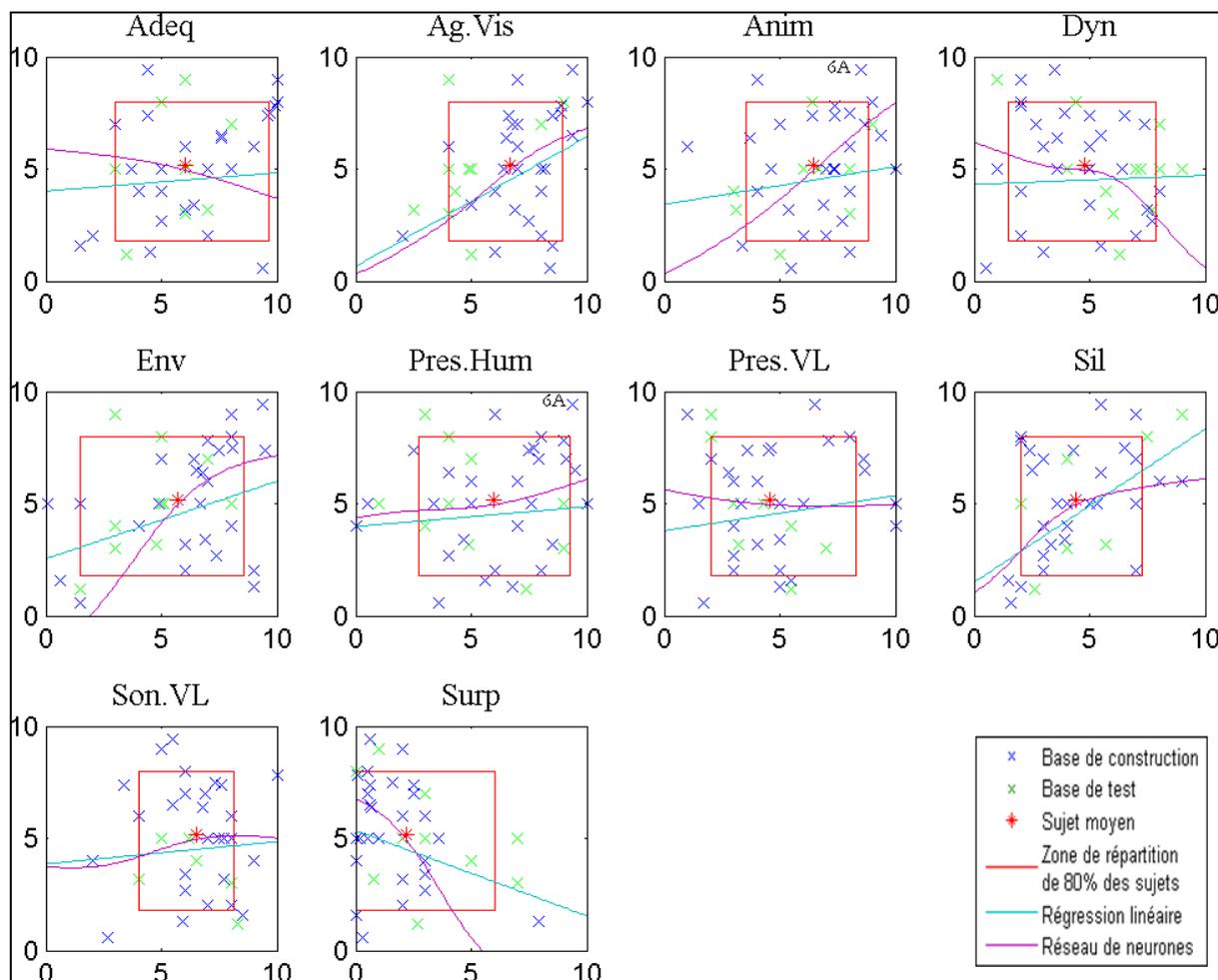


Figure 85 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour les modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen local.

En comparant les valeurs de R^2 obtenues pour les deux modèles sur ce lieu d'étude, il est intéressant de constater que, certes les résultats issus du réseau de neurones sont toujours meilleurs que ceux de la régression linéaire, mais ces valeurs de R^2 sont plus faibles que sur tous les autres lieux étudiés jusqu'à présent. En effet, sur les 5 lieux d'études précédents, les valeurs de R^2 sur les bases de test sont systématiquement supérieures à 0,8 alors que dans le cas de la transition TRUE, ces valeurs ne sont que de 0,63 pour la régression linéaire multiple et 0,67 pour le réseau de neurones artificiels (*cf.* Tableau XXVI). La qualité sonore en ce lieu semble donc être plus difficilement prévisible que sur les autres lieux.

5.2.7 TRANSITION COTE RUE PIETONNE (TPIETON)

5.2.7.1 SELECTION DES VARIABLES

Pour le site TPIETON onze variables non corrélées, présentées dans le tableau XXVII, ont été retenues pour expliquer l'agrément sonore.

Tableau XXVII : Liste des variables retenues au point d'enquête TPIETON.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Agrément de l'air	Ag.Air
	Agrément visuel	Ag.Vis
	Animation	Anim
	Dynamique	Dyn
	Enveloppement	Env
	Présence activités	Pres.Act
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence oiseaux	Pres.Ois
	Présence véhicules légers	Pres.VL
	Silence	Sil
	Surprenant	Surp

5.2.7.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (7) de la régression linéaire multiple établie dans la transition côté rue piétonne est donnée ci-après.

$$\begin{aligned} \text{Ag.Son} = & - 8,13 + 0,46 * \text{Ag.Air} + 0,13 * \text{Ag.Vis} + 0,66 * \text{Anim} \\ & + 0,04 * \text{Dyn} + 0,17 * \text{Env} - 0,11 * \text{Pres.Act} \\ & + 0,35 * \text{Pres.Hum} - 0,20 * \text{Pres.Ois} - 0,09 * \text{Pres.VL} \\ & + 0,63 * \text{Sil} + 0,09 * \text{Surp} \end{aligned} \quad (7)$$

Nous retrouvons dans cette régression (7) globalement des résultats logiques, avec des poids importants pour l'animation et la présence humaine (respectivement 0,66 et 0,35). La variable "Silence" est toujours très influente (coefficient de 0,63), mais il est surprenant d'avoir une influence négative des oiseaux (coefficient de -0,20). Ceci est sans doute dû au fait que beaucoup de sujets n'ont pas entendu d'oiseaux, mais ont néanmoins jugé le lieu acoustiquement très agréable. L'agrément de l'air est également un paramètre avec une très forte influence (coefficient égal à 0,46). Il est intéressant de constater qu'en ce lieu, les cinq variables qui présentent les plus forts coefficients et qui viennent d'être citées sont toutes significatives au regard du test de Student.

Tableau XXVIII : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	p
Const	-8,13	-2,36	0,03
Ag.Air	0,46	1,93	0,07
Ag.Vis	0,13	0,64	0,53
Anim	0,66	2,52	0,02
Dyn	0,04	0,24	0,81
Env	0,17	0,97	0,34
Pres.Act	-0,11	-0,99	0,34
Pres.Hum	0,35	1,76	0,10
Pres.Ois	-0,20	-1,86	0,08
Pres.VL	-0,09	-0,58	0,57
Sil	0,63	2,77	0,01
Surp	0,09	0,51	0,62

5.2.7.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

Tableau XXIX : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,66	1,56E-07	0,68	7,50E-08
Test	0,76	2,43E-04	0,79	1,01E-04
Totalité	0,55	3,59E-08	0,68	7,04E-11

Sur la Figure 86, aucune véritable incohérence entre les deux modèles prédictifs n'apparaît. Seule l'influence de la variable "Agrément visuel" semble être mieux représentée par le réseau de neurones que par la régression (cette variable n'étant pas significative dans le modèle de régression linéaire multiple, cf. Tableau XXVIII). Au contraire, la variable "Silence" a beaucoup de poids si on en croit la régression (coefficient = 0,63) alors qu'elle semble plutôt sans influence pour le réseau de neurones. Celui-ci ayant sans doute été "tiré vers le haut" par quatre individus dans la partie gauche de la zone de répartition de 80 % des sujets. Ces quatre sujets ont jugé l'environnement sonore relativement bruyant (note de "Silence" inférieure à 5) et ont cependant jugé l'environnement sonore fort agréable avec des notes assez extrêmes de 9 ou 10 pour deux d'entre eux.

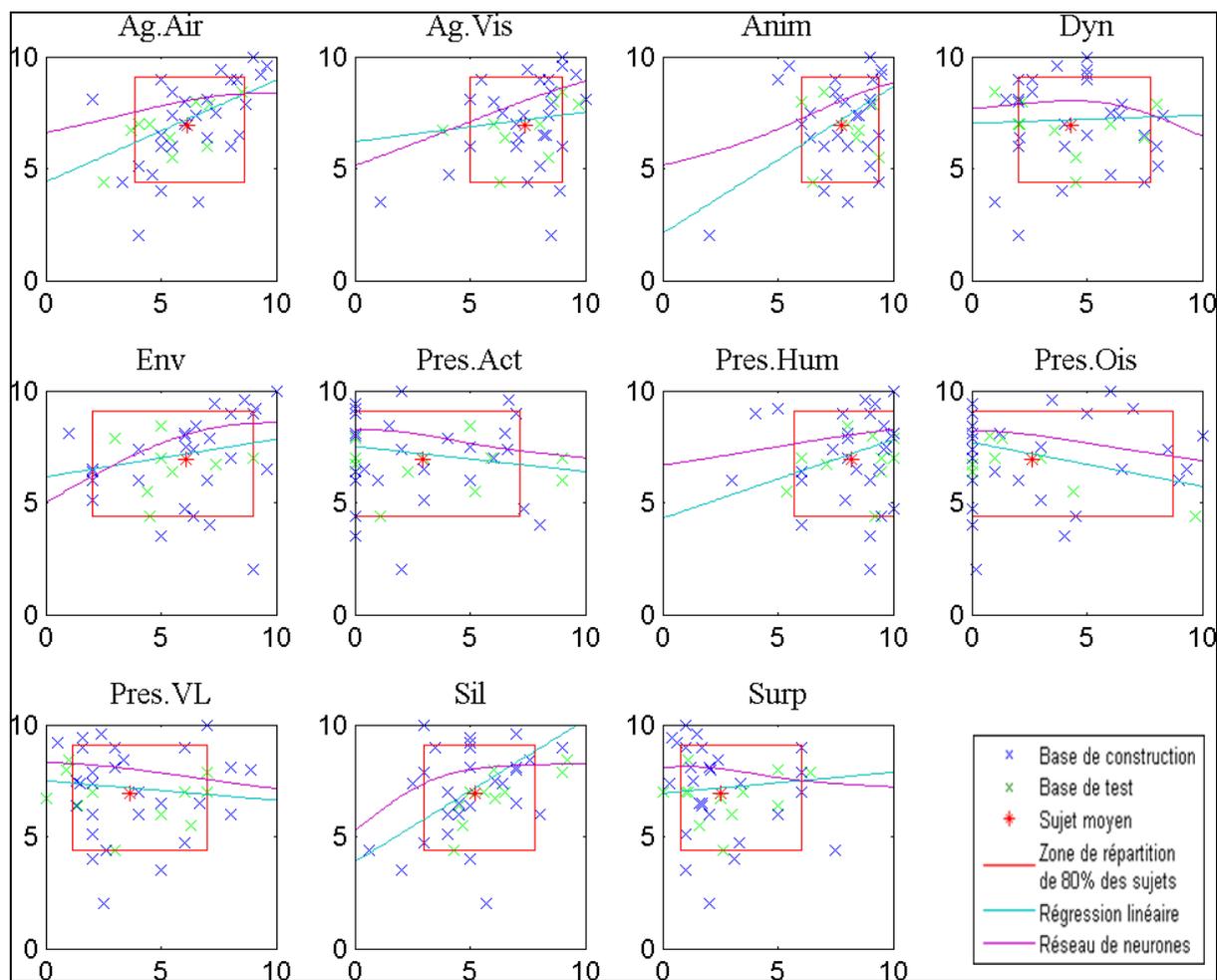


Figure 86 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour les modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen local.

5.2.8 RUE PIETONNE (PIETON)

5.2.8.1 SELECTION DES VARIABLES

Pour le site PIETON dix variables non corrélées, présentées dans le tableau XXX, ont été retenues pour expliquer l'agrément sonore.

Tableau XXX : Liste des variables retenues au point d'enquête PIETON.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Adéquation	Adeq
	Agrément visuel	Ag.Vis
	Animation	Anim
	Dynamique	Dyn
	Enveloppement	Env
	Présence activités	Pres.Act
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence véhicules légers	Pres.VL
	Silence	Sil
	Surprenant	Surp

5.2.8.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (8) de la régression linéaire multiple établie dans la rue piétonne est donnée ci-après.

$$\begin{aligned} \text{Ag.Son} = & - 9,16 + 0,70 * \text{Adeq} + 0,26 * \text{Ag.Vis} + 0,41 * \text{Anim} \\ & + 0,09 * \text{Dyn} + 0,31 * \text{Env} - 0,11 * \text{Pres.Act} \\ & + 0,08 * \text{Pres.Hum} - 0,07 * \text{Pres.VL} + 0,45 * \text{Sil} \\ & + 0,19 * \text{Surp} \end{aligned} \quad (8)$$

La rue Mouffetard est une rue piétonne où l'animation et l'enveloppement semblent être appréciés. L'adéquation du lieu par rapport à l'activité semble avoir une influence prépondérante, ce qui s'explique car les passants viennent dans ce lieu pour effectuer leurs courses et ont donc un but bien précis, alors que les autres lieux évoqués dans cette enquête hormis le parc sont plus souvent des lieux de passage.

La variable "Silence" est la deuxième variable ayant la plus forte influence en ce lieu, suivie de près par la variable "Animation".

Tableau XXXI : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	p
Const	-9,16	-2,84	0,01
Adeq	0,70	3,95	0,00
Ag.Vis	0,26	1,38	0,18
Anim	0,41	2,32	0,03
Dyn	0,09	0,56	0,58
Env	0,31	1,91	0,07
Pres.Act	-0,11	-1,01	0,33
Pres.Hum	0,08	0,41	0,69
Pres.VL	-0,07	-0,43	0,67
Sil	0,45	2,63	0,02
Surp	0,19	1,13	0,27

5.2.8.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

Tableau XXXII : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,78	6,16E-10	0,91	3,90E-15
Test	0,82	4,62E-05	0,89	5,19E-06
Totalité	0,73	1,93E-12	0,86	7,60E-18

On retrouve ici dans la rue piétonne des valeurs de R² assez élevées (supérieures à 0,8) contrairement aux deux sites précédents, particulièrement dans la transition côté rue circulée (TRUE).

Sur la Figure 87, certaines incohérences entre les deux modèles de prédiction sont visibles avec une inversion du sens d'influence entre la régression et le réseau de neurones. Dans ce lieu-là, ceci se retrouve pour des variables non significatives dans le modèle de régression. Par exemple, la "Présence des activités" est une variable qui a un impact négatif sur l'agrément sonore d'après le modèle de régression linéaire multiple alors que cette influence est positive d'après le modèle de réseau de neurones artificiels. De même, la "Dynamique" qui traduit l'aspect stable ou instable de l'environnement sonore a une influence positive selon la régression et négative selon le réseau de neurones. Pour cette variable précisément, il semble que le réseau de neurones s'appuie particulièrement sur des sujets ayant noté un

environnement sonore très agréable et peu changeant (sujets situés en haut à gauche de la zone de répartition de 80 % des sujets).

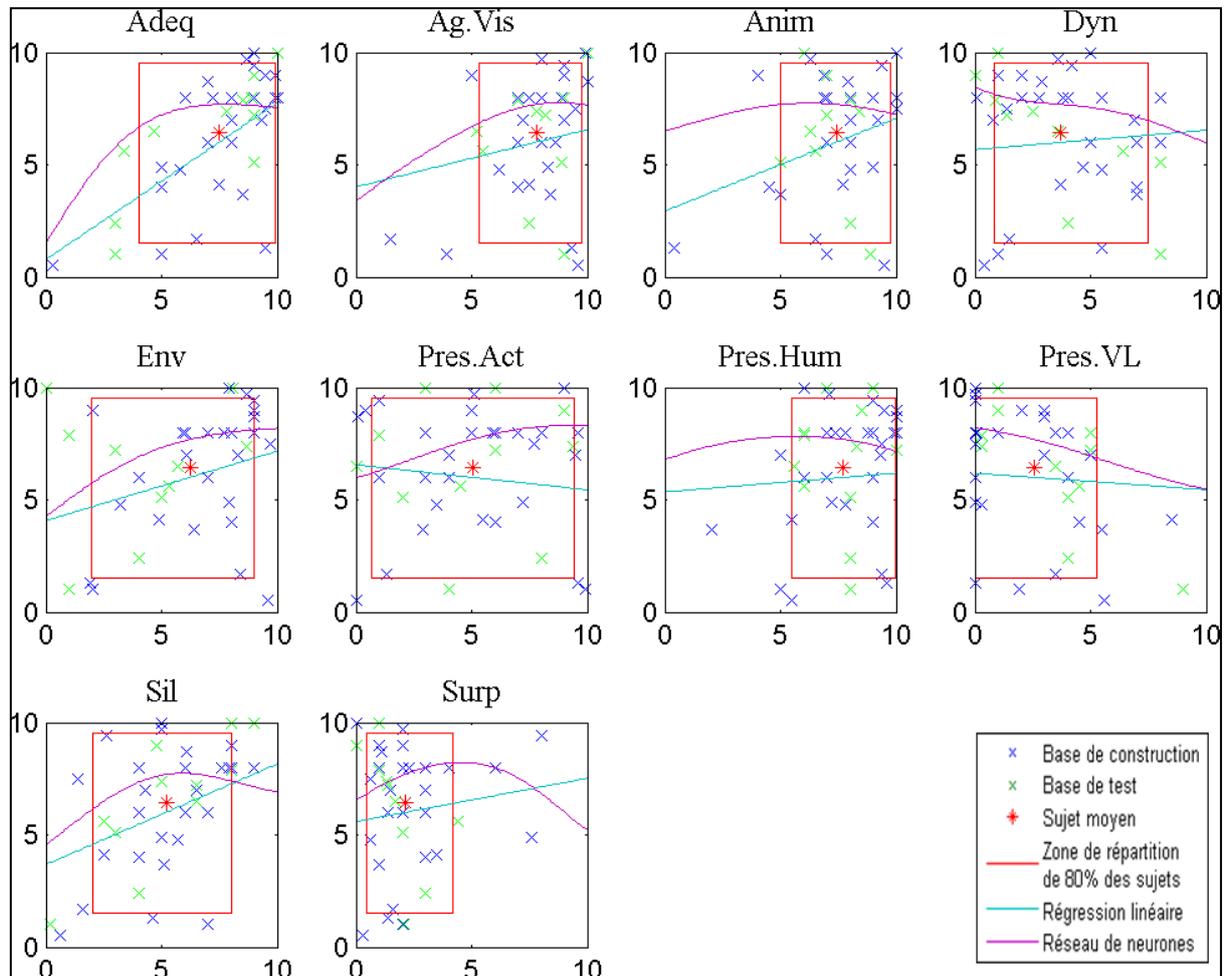


Figure 87 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour les modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen local.

Enfin, il est à noter pour la variable "Adéquation" qui apparaît comme la plus importante dans l'équation (8) du modèle de régression, que celle-ci a une influence nulle dans le modèle de réseau de neurones si on ne regarde que la zone où se situe la plupart des sujets. Là encore, le réseau de neurones ne semble tenir compte que des sujets ayant jugé l'environnement sonore fort agréable et pour qui cet environnement sonore était en parfaite adéquation avec leur activité du moment.

5.2.9 DISCUSSION SUR LES MODELES LOCAUX

Plusieurs commentaires sont à faire sur les résultats présentés dans les paragraphes 5.2.1 à 5.2.8. Tout d'abord il est intéressant de constater sur les Tableaux XI, XIV, XVII, XX, XXVI, XXIX et XXXII qu'en se basant sur le critère du coefficient de corrélation au carré R^2 , les modèles de réseaux de neurones artificiels sont localement systématiquement aussi bons ou meilleurs que les modèles de régressions linéaires multiples. Non seulement, du fait du critère de sélection des réseaux de neurones, les R^2 calculés sur les bases de construction sont supérieurs (les deux types de modèles ont alors le même nombre de variables), mais comparativement les R^2 calculés sur les bases de test sont également supérieurs ou égaux. D'un point de vue strictement prédictif il est alors possible de dire que les modèles de réseaux de neurones artificiels sont autant, voire plus efficaces que les modèles de régressions linéaires multiples. Par ailleurs les valeurs de p associées aux coefficients de corrélation sont extrêmement faibles et confortent la validité des résultats.

Certes, le couple ($R_c^2(\text{ANN})$, $R_t^2(\text{ANN})$) supérieur au couple ($R_c^2(\text{REG})$, $R_t^2(\text{REG})$) est un critère forcé, mais il est important de constater que cet objectif est atteint pour peu que l'on ne se contente pas du premier modèle de réseau de neurones trouvé. En moyenne il aura fallu un peu moins de cinq minutes par site pour obtenir un modèle de réseau de neurones artificiels considéré meilleur que le modèle de régression linéaire multiple établi.

Le deuxième point important à souligner dans ces résultats concerne l'équation des modèles de régressions linéaires multiples. En se focalisant sur les équations (1) à (8), il est possible de voir que les variables qui permettent d'expliquer l'agrément sonore dépendent du lieu. Le coefficient de chaque variable traduit l'importance de cette variable dans le modèle. En prenant l'exemple du point d'enquête dans le parc (PARC) nous avons vu au paragraphe 5.2.1.2 que les trois variables les plus importantes dans le modèle sont par ordre décroissant : "Silence", "Surprenant" et "Présence Nature". Cependant, si les coefficients reflètent localement l'importance d'une variable ou d'une autre, ils ne permettent pas de comparer les modèles entre eux. En effet, les valeurs de ces coefficients ne sont que le reflet de l'agrément sonore local et dépendant très souvent des réponses de certains sujets. Or la gamme de l'agrément sonore mesuré n'est pas la même selon que l'on se trouve dans la rue piétonne ou sur le boulevard. Par exemple l'agrément sonore mesuré moyen est de 6,4 dans la rue Mouffetard (PIETON) alors qu'il n'est que de 3,4 sur le boulevard Monge à Paris (BLVP). La valeur de l'agrément sonore peut avoir une influence sur la valeur des coefficients de chacune

des régressions. C'est pourquoi, pour avoir une vue d'ensemble des différents modèles locaux, nous avons regardé parmi toutes les variables utilisées dans les différents modèles, quelles étaient celles qui étaient les plus importantes dans chacun des modèles, en s'appuyant d'une part sur le coefficient de chaque variable dans l'équation et d'autre part sur des réductions des modèles à travers des méthodes de réduction à la fois descendante et ascendante. Par exemple pour le parc (PARC), une réduction du modèle de régression par méthode descendante permet de retenir quatre variables significatives : "Enveloppement", "Présence Nature", "Silence" et "Surprenant" alors qu'une méthode ascendante ne permet de faire entrer dans le modèle que la variable "Agrément visuel". Ainsi, en utilisant la même procédure pour chacun des huit points de mesures, on peut voir dans le Tableau XXXIII pour chacun des lieux quelles sont les variables influentes et leur signe dans les équations respectives. Pour chaque variable, une indication permet également de savoir si ces variables étaient significatives dans l'équation du modèle de régression local et/ou si elles le sont à travers les méthodes de régression descendante et ascendante.

Tableau XXXIII : Principales variables influentes dans chacun des modèles de régression locaux

Lieu	Variables influentes (signe dans l'équation)
PARC	Ag.Vis ³ (+) / Env ² (+) / Pres.Nat ^{1,2} (+) / Sil ^{1,2} (+) / Surp ^{1,2} (-)
TPARC	Ag.Air ^{1,2,3} (+) / Pres.VL ^{1,2} (-)
TBLVL	Ag.Vis ² (+) / Dyn ^{1,2,3} (+) / Env ^{1,2} (-) / Sil ^{1,2,3} (+) / Surp ^{1,2,3} (-)
BLVL	Ag.Vis ³ (+) / Pres.Hum ^{2,3} (-) / Sil ^{1,2,3} (+)
BLVP	Adeq ^{1,3} (+) / Ag.Vis ² (+) / Dyn ¹ (-) / Env ^{1,2} (+) / Pres.Hum ^{1,2} (-) / Pres.PL ² (+) / Sil ^{1,2,3} (+)
TRUE	Ag.Vis ^{1,2} (+) / Anim ² (+) / Env ^{1,2} (+) / Sil ^{1,2} (+) / Surp ² (-)
TPIETON	Ag.Air ^{1,2,3} (+) / Anim ^{1,2} (+) / Pres.Hum ¹ (+) / Pres.Ois ¹ (-) / Sil ^{1,2} (+)
PIETON	Adeq ^{1,2,3} (+) / Anim ^{1,2,3} (+) / Env ^{1,2,3} (+) / Sil ^{1,2,3} (+)

¹ variable significative dans le modèle de régression local établi pour chaque lieu correspondant

² variable significative dans un modèle de régression pas à pas descendant

³ variable significative dans un modèle de régression pas à pas ascendant

La Figure 88 présente à partir du Tableau XXXIII précédent le nombre de fois où les variables influentes apparaissent dans les modèles de régressions locaux ainsi que leur signe dans les équations. Par exemple, la variable "Adéquation" ressort deux fois avec un signe positif (BLVP et PIETON) alors que la variable "Présence Humaine" apparaît deux fois avec un signe négatif (BLVL et BLVP) et une fois avec un signe positif (TPIETON).

Sur cette Figure 88 il est remarquable qu'une seule variable se retrouve presque à chaque fois (7 fois sur 8) parmi les variables influentes. Il s'agit comme on pouvait s'y attendre de la variable "Silence" qui a une influence positive sur l'agrément sonore. Il est à noter que la seule

fois où la variable "Silence" ne rentre pas dans le modèle établi correspond à la transition côté parc (TPARC). Or c'est pour ce même lieu que la variable "Présence des véhicules légers" apparaît la seule fois. Ce résultat est concordant avec celui trouvé par DEFREVILLE B. qui avait établi un modèle de désagrément sonore qui tenait compte de la force sonore et dans lequel la présence des véhicules légers n'entraînait pas comme variable explicative. En revanche dans le modèle ne tenant pas compte de la force sonore, la présence des véhicules légers apparaissait bien comme une variable importante [DEFREVILLE 2005].

Par ailleurs, la variable "Agrément visuel" semble également être une variable qui revient parmi les plus importantes localement. Et pourtant, sur une même situation, le paysage visuel ne change pas ! Seuls les choix esthétiques individuels permettent d'expliquer la variabilité des évaluations et cela a systématiquement une influence sur l'agrément sonore du lieu. Il faut également noter que l'enveloppement et la présence humaine change de signe en fonction des lieux. Ainsi, la présence humaine aura une influence positive dans la transition côté rue piétonne (TPIETON) mais une influence négative sur les boulevards (BLVL et BLVP).

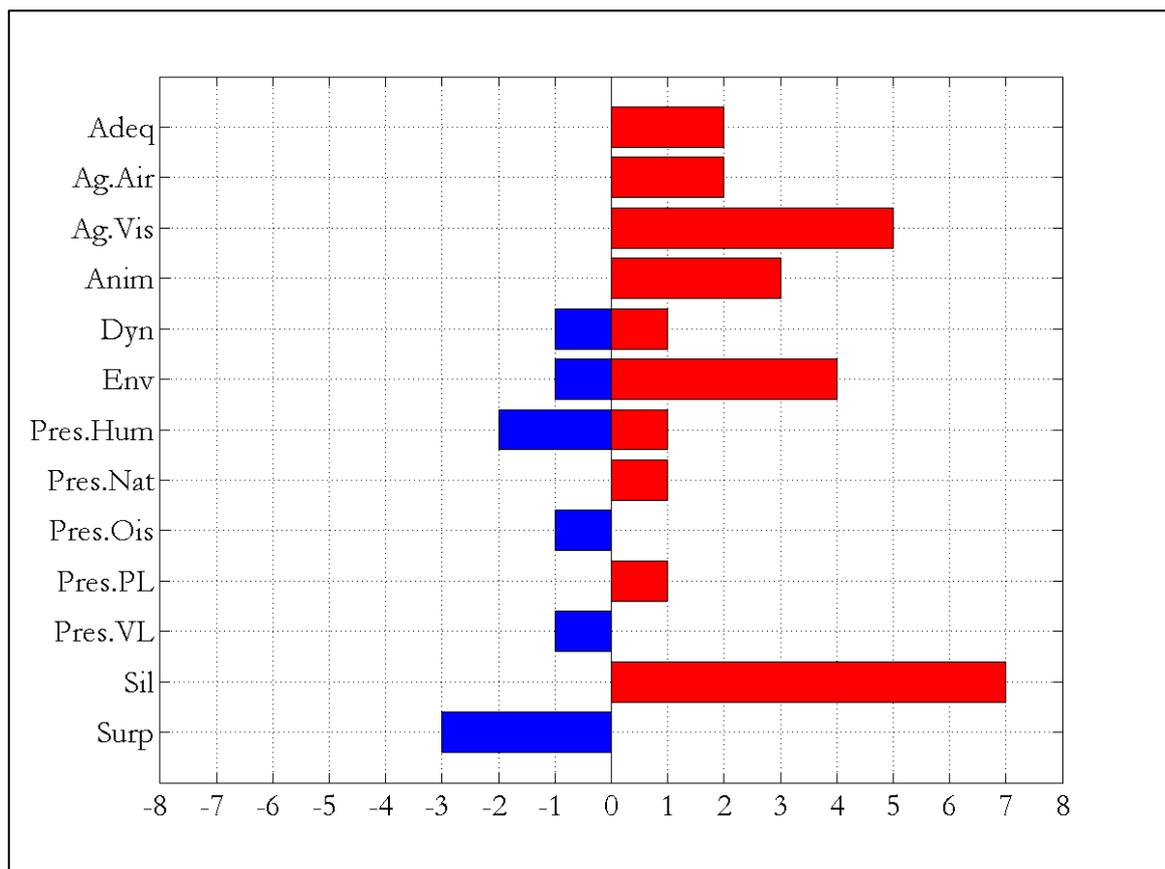


Figure 88 : Nombre d'apparitions des variables parmi les huit modèles de régressions locaux et leur signe dans les équations.

Enfin, le troisième point à souligner à propos des résultats de l'analyse locale est l'allure des variations de l'agrément sonore en fonction de chaque variable. En effet nous avons vu que d'un point de vue strictement prédictif, les réseaux de neurones présentaient un avantage sur les régressions linéaires, mais d'un point de vue explicatif, nous n'avions pas d'information à extraire des réseaux si ce n'est par la méthode utilisée, c'est-à-dire présenter un sujet moyen dans le réseau en faisant varier les variables une à une. De cette analyse il ressort sur les Figure 80 à Figure 87 que globalement le sens de la relation entre l'agrément sonore et les différentes variables indépendantes est le même que l'on considère la régression ou le réseau de neurones. Par exemple, dans le parc (Figure 80), plus le silence augmente et plus l'agrément sonore sera fort. Exceptionnellement, il arrive que le sens des pentes soit différent selon que l'on regarde un modèle ou un autre. Ainsi, il apparaît Figure 86 qu'une augmentation de la présence d'activités entraînerait une baisse de l'agrément sonore d'après le modèle de régression alors que l'effet inverse se produirait à en croire le modèle de réseau de neurones. Ce phénomène apparaît sur des variables significatives ou non significatives dans le modèle de régression. Il est souvent dû à la prise en compte de façon plus ou moins marquée de la réponse d'un ou plusieurs individus particuliers dans les modèles. Il est alors très difficile de conclure. Quoiqu'il en soit, les analyses dans cette partie du projet nous auront permis de développer des modèles de prédiction de l'agrément sonore localement, qui correspondent à des ambiances sonores données. Si les réseaux de neurones s'avèrent être plus performants que les régressions linéaires multiples ces dernières n'en restent pas moins utiles. Tout d'abord elles auront permis de fixer un critère de comparaison nécessaire pour définir un bon modèle de réseau de neurones. Par ailleurs, même si ce critère peut être fixé de manière indépendante, les régressions linéaires multiples restent néanmoins utiles quant à l'interprétation de l'importance des variables indépendantes.

En conclusion, l'élaboration de modèles d'agrément sonore au travers d'études réalisées de façon locale nous auront permis de voir que ces modèles étaient très marqués par quelques individus. Les différentes variabilités au sein de chacun de ces lieux sont très dépendantes du point de vue des passants. Concernant les variables explicatives qui ressortent dans ces différents sites d'étude, et en s'appuyant sur le Tableau XXXIII, la variable "Silence" est celle qui apparaît le plus souvent puisqu'elle se trouve dans sept lieux sur huit. Elle n'apparaît pas seulement dans le modèle établi pour la transition côté parc (TPARC). A un degré inférieur, la variable "Agrément visuel" est importante dans cinq lieux (PARC, TBLVL, BLVL, TRUE et BLVP). Les deux variables cités apparaissent toujours avec une influence positive. A

contrario, la variable "Enveloppement" qui ressort également cinq fois, n'a pas toujours le même signe puisqu'elle est quatre fois positive (PARC, PIETON, TRUE et BLVP) et une fois négative (TBLVL). De même, la variable "Temps de présence de présence humaine" qui se retrouve deux fois négative (BLVL et BLVP) et une fois positive (TPIETON).

Il est indéniable qu'il doit exister certains phénomènes locaux. Cependant, nous n'avons pas voulu par prudence comparer les modèles entre eux, les variabilités pour une seule et même variable étant différentes entre chaque site. La mise en évidence de ces particularités locales sera faite à travers l'étude d'un modèle plus global au paragraphe suivant.

5.2.10 MODELE GLOBAL

A la différence des modèles locaux qui ont mis l'accent sur les variabilités individuelles, il est important de comprendre quelles sont les variables perceptives qui différencient les lieux entre eux du point de vue de la qualité sonore. Nous avons donc regroupé toutes les données dans un même modèle général afin de tenter de répondre à la question : existe-t-il un indicateur global qui permette de caractériser tous les lieux ?

Avant de s'attacher à définir un modèle global nous avons voulu savoir s'il était possible de regrouper tous les lieux, quelle que soit la ville étudiée, en d'autres termes, y a-t-il une différence dans les évaluations entre celles recueillies auprès des sujets questionnés à Paris et celles auprès des sujets questionnés à Lyon ? Pour cela nous avons représenté les sujets moyens (par variable) de chaque site afin de voir leurs situations parmi l'ensemble des sites. Sur la Figure 89 sont donc représentés, sur les ordonnées, les agréments sonores moyens des différents lieux et, sur les abscisses, les valeurs moyennes de chaque variable pour les huit lieux considérés. Cette représentation devrait permettre de voir si les villes de Paris et de Lyon se distinguent sur une ou plusieurs variables. Autrement dit, les réponses pour une variable se trouvent-elles globalement d'un côté de l'échelle à Paris et de l'autre côté à Lyon (ou inversement) ? Or il apparaît que les huit lieux sont généralement bien répartis sur toute la plage de réponse et de façon uniforme. Il n'est pas possible de distinguer sur cette représentation une différence systématique entre la ville de Paris et la ville de Lyon. Seule une source semble se différencier sur les deux villes, il s'agit des cyclomoteurs. En effet, une même sonie de cyclomoteur (Son.Mob) déclenche plus de désagrément à Lyon qu'à Paris. On retrouve ce même constat quant à la présence des cyclomoteurs (Pres.Mob) à Lyon et Paris. Est-ce à dire que les personnes à Paris sont plus habituées ou supportent mieux ces deux-roues ? Quoiqu'il arrive, dans la grande majorité des variables, il n'y a pas de distinction entre Lyon

et Paris. En conséquence de cette répartition homogène des différents sites, nous pensons qu'il est possible de chercher à développer un modèle global, commun aux deux situations urbaines.

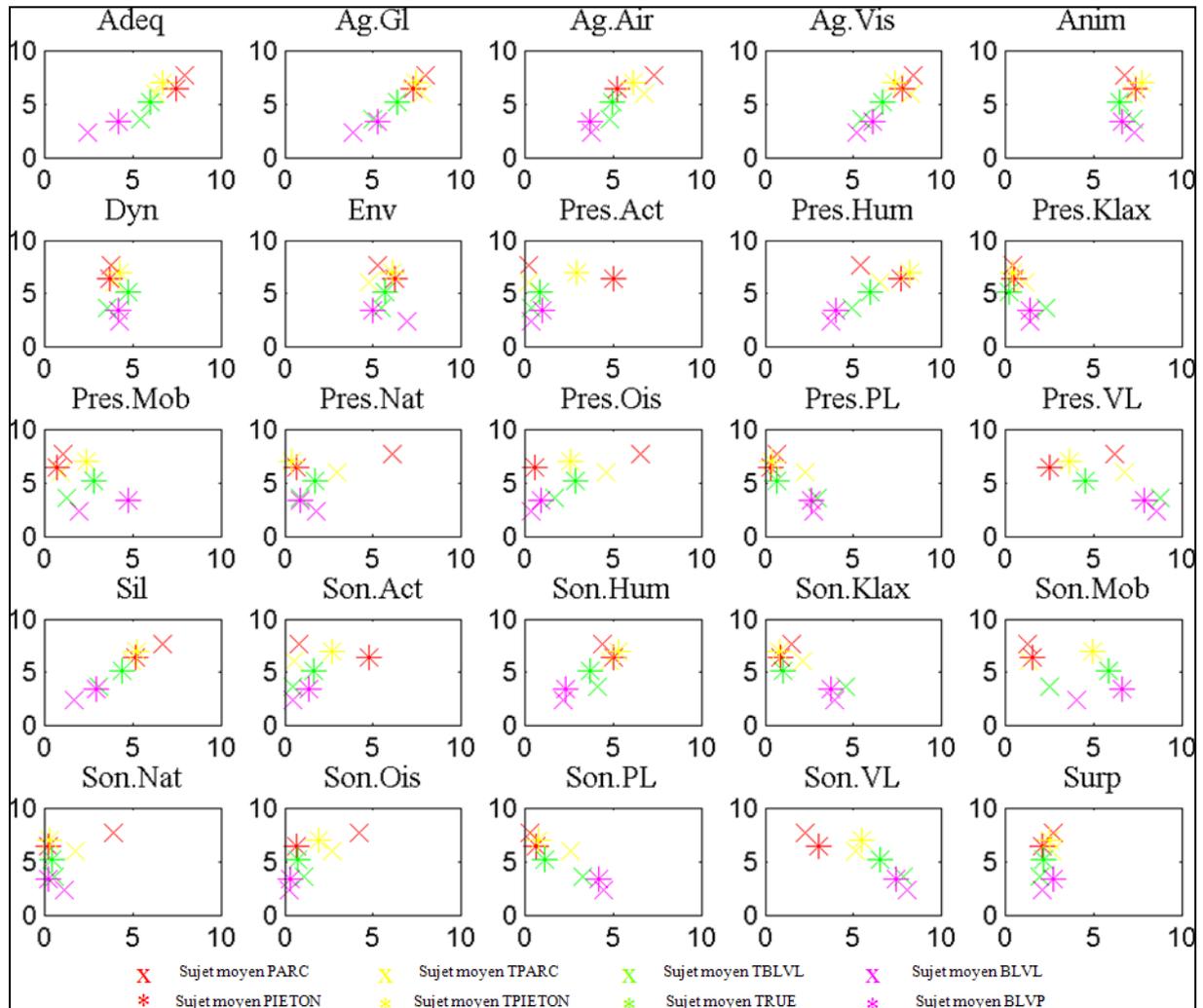


Figure 89 : Agréments sonores moyens en fonction de chaque variable indépendante moyenne.

Pour déterminer un modèle global nous avons donc appliqué la même méthode que lorsque nous avons travaillé sur un seul point d'enquête. Ainsi, nous avons cherché la base de données qui donnait la meilleure régression linéaire (en termes de $R_c^2(\text{REG})$ et $R_t^2(\text{REG})$) et dont l'équation(9) est donnée ci-après, puis nous avons cherché à obtenir un réseau de neurones de meilleure qualité. Rappelons ici que compte tenu du nombre de sujets relativement élevé (224 sujets pour construire le modèle) il n'est pas indispensable de réduire le nombre de variables en amont. Cependant, précisons tout de même que la régression linéaire multiple nécessite de travailler avec des variables endogènes indépendantes.

Hélas après de nombreuses et longues tentatives, il n'a jamais été possible de trouver un modèle de réseau de neurones artificiels qui satisfasse à la condition demandée : $R_c^2(\text{ANN}) > R_c^2(\text{REG})$ et $R_t^2(\text{ANN}) > R_t^2(\text{REG})$ (cf. Tableau XXXIV). Ce constat fait, nous avons décidé de choisir un critère de sélection du réseau de neurones moins sévère, à savoir un $R_{\text{all}}^2(\text{ANN}) > R_{\text{all}}^2(\text{REG})$. Ce coefficient traduit la corrélation entre les valeurs de l'agrément sonore calculées et les valeurs mesurées pour l'ensemble des réponses données par les sujets interrogés.

Une fois le critère de sélection du modèle de réseau de neurones revu à la baisse il a alors été aisé de déterminer un modèle qui réponde à ce critère. En analysant les trois coefficients de corrélation à disposition R_c^2 , R_t^2 , R_{all}^2 et en comparant ceux obtenus pour le réseau de neurones artificiels et à ceux obtenus pour la régression linéaire multiple, il apparaît après de nombreux modèles de réseaux de neurones construits que le R_c^2 (construction) est généralement plus élevé dans le cas du réseau de neurones mais le R_t^2 (test) est *a contrario* systématiquement plus faible. Et c'est précisément ce critère, initialement trop sévère, qui empêchait la recherche d'un réseau de neurones optimal d'aboutir. A titre d'exemple, le Tableau XXXIV présente les résultats des trois coefficients de corrélation au carré (construction, test et totalité) obtenus avec 5 réseaux de neurones différents, ces 5 réseaux de neurones étant ceux qui présentent le R_t^2 le plus élevé parmi 160 établis.

Tableau XXXIV : Liste des coefficients de corrélation au carré issus des modèles de régression linéaire multiple et de 5 réseaux de neurones établis avec 25 variables explicatives.

	REG	ANN{1}	ANN{2}	ANN{3}	ANN{4}	ANN{5}
Base de données	R^2	R^2	R^2	R^2	R^2	R^2
Construction	0,70	0,76	0,76	0,73	0,74	0,84
Test	0,67	0,61	0,60	0,60	0,58	0,57
Totalité	0,69	0,71	0,71	0,69	0,69	0,75

En conséquence, nous avons à disposition un modèle de réseau de neurones global *a priori* meilleur que le modèle de régression linéaire multiple ($R_c^2(\text{ANN}) > R_c^2(\text{REG})$) mais qui se trouve être moins performant d'un point de vue prédictif puisque $R_t^2(\text{ANN})$ est inférieur à $R_c^2(\text{REG})$. Il est alors très difficile d'affirmer qu'un modèle est meilleur qu'un autre et qu'il présente alors plus d'intérêt. C'est pourquoi nous avons voulu réduire tout de même le nombre de variables explicatives afin d'aller plus loin dans l'analyse (§ 5.2.11) et ce aussi pour être en accord avec l'hypothèse des régressions linéaires multiples qui impose d'avoir des variables indépendantes comme mentionné précédemment.

$$\begin{aligned}
\text{Ag.Son} = & - 0,43 + 0,14 * \text{Adeq} + 0,26 * \text{Ag.Gl} + 0,20 * \text{Ag.Air} \\
& + 0,05 * \text{Ag.Vis} + 0,11 * \text{Anim} - 0,04 * \text{Dyn} \\
& + 0,13 * \text{Env} - 0,06 * \text{Pres.Act} - 0,04 * \text{Pres.Hum} \\
& + 0,01 * \text{Pres.Klax} + 0,07 * \text{Pres.Mob} + 0,07 * \text{Pres.Nat} \\
& + 0,00 * \text{Pres.Ois} + 0,08 * \text{Pres.PL} - 0,17 * \text{Pres.VL} \quad (9) \\
& + 0,33 * \text{Sil} + 0,04 * \text{Son.Act} + 0,04 * \text{Son.Hum} \\
& - 0,05 * \text{Son.Klax} - 0,03 * \text{Son.Mob} + 0,02 * \text{Son.Nat} \\
& + 0,00 * \text{Son.Ois} - 0,03 * \text{Son.PL} - 0,02 * \text{Son.VL} \\
& - 0,03 * \text{Surp}
\end{aligned}$$

Il apparait dans l'équation (9) et dans le Tableau XXXV qu'aucune source sonore hormis les véhicules légers ne sont significatives dans ce modèle de régression linéaire multiple. Au regard des études locales, différentes sources sonores apparaissaient importantes, comme par exemple la présence de la nature, la présence humaine ou encore la présence des oiseaux. La présence des sources semble donc être mieux prise en compte dans les régressions locales, excepté la présence des véhicules légers qui se retrouve à toutes les échelles. Les évaluations perceptives globales telles que "Adéquation", "Animation", "Enveloppement" (toutes ces variables étant significatives) semblent mieux refléter les différences entre sites.

Il est également intéressant de noter sur cette équation (9) que le silence est de nouveau la variable qui possède le plus fort coefficient.

La présence de certains signes de coefficient incohérents nous a donc poussés à réduire tout de même le modèle global de 25 à 13 variables en s'appuyant toujours sur les variabilités de ces variables ainsi que sur les corrélations de Bravais-Pearson entre ces variables deux à deux.

Tableau XXXV : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	P
Const	-0,43	-0,48	0,63
Adeq	0,14	2,62	0,01
Ag.Gl	0,26	3,47	0,00
Ag.Air	0,20	3,13	0,00
Ag.Vis	0,05	0,70	0,49
Anim	0,11	1,78	0,08
Dyn	-0,04	-0,87	0,38
Env	0,13	2,74	0,01
Pres.Act	-0,06	-0,83	0,41
Pres.Hum	-0,04	-0,76	0,45
Pres.Klax	0,01	0,14	0,89
Pres.Mob	0,07	1,07	0,29
Pres.Nat	0,07	1,50	0,14
Pres.Ois	0,00	0,04	0,97
Pres.PL	0,08	1,13	0,26
Pres.VL	-0,17	-3,26	0,00
Sil	0,33	4,86	0,00
Son.Act	0,04	0,54	0,59
Son.Hum	0,04	0,62	0,53
Son.Klax	-0,05	-0,99	0,32
Son.Mob	-0,03	-0,63	0,53
Son.Nat	0,02	0,28	0,78
Son.Ois	0,00	0,00	1,00
Son.PL	-0,03	-0,54	0,59
Son.VL	-0,02	-0,45	0,66
Surp	-0,03	-0,59	0,55

5.2.11 MODÈLE GLOBAL RÉDUIT À 13 VARIABLES

5.2.11.1 REDUCTION DU MODELE

La réduction du modèle global de 25 à 13 variables s'est donc déroulée de la même façon que pour l'élaboration des modèles locaux. En amont de la construction des modèles de prédiction, les 13 variables ont été sélectionnées sur la base des corrélations de Bravais-Pearson entre chaque paire de variables (Annexe 4). Ainsi, les variables "Adéquation", "Agrément global" et "Agrément de la qualité de l'air", toutes trois corrélées à la variable

"Agrément visuel" ($R = 0,490$, $R = 0,671$ et $R = 0,541$ / $p = 0,000$), ont été écartées de la construction du modèle, l'agrément visuel étant une variable apparue plusieurs fois comme influente dans les différents lieux (*cf.* Tableau XXXIII). De plus, de nombreuses recherches ont d'ores et déjà montré le lien entre sonore et visuel [VROOMEN 2000] [VIOLLON 2002] [RAIMBAULT 2005] [COX 2008]. De même, la variable "Dynamique", corrélée aux variables "Silence" et "Surprenant" (respectivement $R = -0,159$ / $p = 0,004$ et $R = 0,208$ / $p = 0,000$) a été exclue car dans le Tableau XXXIII elle n'apparaît que deux fois.

Concernant les sources sonores, tout comme pour les modèles locaux, un seul aspect de chaque source a été conservé, soit le pourcentage de temps de présence, soit le niveau perçu. Pour chaque lieu étudié, le pourcentage de temps de présence de chaque source avait systématiquement été conservé au profit du niveau perçu lorsque les deux aspects étaient corrélés. Or ici, il a été décidé de retenir l'une ou l'autre caractéristique de chaque source sonore en s'appuyant sur le modèle de qualité sonore établi au paragraphe précédent (modèle avec 25 variables). En effet, il est apparu avec 25 variables que certaines présentées dans l'équation (9) des signes qui pouvaient paraître étranges. Ainsi la présence des klaxons, des cyclomoteurs et des poids lourds auraient une influence positive sur l'agrément sonore. Or, dans la même équation, le signe est négatif en ce qui concerne le niveau perçu de ces trois sources. Ainsi, il a été décidé de conserver le niveau sonore pour les trois sources sonores précédemment citées et le pourcentage de temps de présence pour les autres sources sonores. Il est remarquable que les trois sources sonores (klaxons, cyclomoteurs, poids lourds) pour lesquelles nous conservons le niveau perçu sont généralement des sources *a priori* avec des émergences fortes et peu de présence. Inversement, les autres sources ont généralement une grande présence mais avec un niveau peu élevé (présence humaine, éléments naturels, oiseaux, *etc.*). Ceci peut se confirmer au regard de la Figure 89 puisque globalement, le niveau estimé des cyclomoteurs (Son.Mob) est plus élevé que la présence (Pres.Mob). Inversement, le temps de présence estimé de présence humaine (Pres.Hum) est globalement plus élevé que le niveau perçu (Son.Hum).

Le tableau XXXVI présente les 13 variables retenues pour le modèle global.

Tableau XXXVI : Liste des variables retenues pour le modèle global avec 13 variables.

	Variables	Nomenclature
Variable dépendante	Agrément sonore	Ag.Son
Variables indépendantes	Agrément visuel	Ag.Vis
	Animation	Anim
	Enveloppement	Env
	Présence activités	Pres.Act
	Présence humaine	Pres.Hum
	Présence nature	Pres.Nat
	Présence oiseaux	Pres.Ois
	Présence véhicules légers	Pres.VL
	Silence	Sil
	Sonie klaxons	Son.Klax
	Sonie cyclomoteurs	Son.Mob
	Sonie poids lourds	Son.PL
	Surprenant	Surp

5.2.11.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

L'équation (10) de la régression linéaire multiple établie pour le modèle global est donnée ci-après.

$$\begin{aligned}
 \text{Ag.Son} = & 0,09 + 0,30 * \text{Ag.Vis} + 0,15 * \text{Anim} + 0,10 * \text{Env} \\
 & + 0,00 * \text{Pres.Act} + 0,01 * \text{Pres.Hum} + 0,05 * \text{Pres.Nat} \\
 & + 0,02 * \text{Pres.Ois} - 0,12 * \text{Pres.VL} + 0,55 * \text{Sil} \quad (10) \\
 & - 0,08 * \text{Son.Klax} - 0,05 * \text{Son.Mob} - 0,02 * \text{Son.PL} \\
 & - 0,06 * \text{Surp}
 \end{aligned}$$

Il apparaît dans l'équation (10) que deux variables sont particulièrement importantes dans l'explication de l'agrément sonore au regard de leur coefficient. Il s'agit des variables "Agrément visuel" et "Silence" avec respectivement un coefficient égal à 0,30 et 0,55. Viennent ensuite trois autres variables qui ont également une influence non négligeable dans le modèle. Ce sont les variables "Animation" (coefficient = 0,15), "Enveloppement" (coefficient = 0,10), "Temps de présence des véhicules légers" (coefficient = - 0,12).

Par ailleurs, certaines variables comme par exemple les "Temps de présence des Activités", de "Présence humaine", des "Oiseaux" ou encore le "Niveau perçu des "Poids lourds" ont une influence nulle ou quasi nulle sur l'agrément sonore et ne sont pas significatives dans ce modèle de régression. Il serait donc sans doute nécessaire de retirer ces variables afin d'obtenir un modèle de qualité sonore avec un minimum de variables endogènes. Cependant,

il est à noter que la régression linéaire multiple étudiée ici a été construite de façon à ce qu'elle soit la meilleure avec les 13 variables sélectionnées et une base de construction de donnée. Ainsi, cette même base de construction avec moins de variables ne fournira pas forcément le meilleur modèle de régression comparativement à une autre base de construction.

Tableau XXXVII : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	p
Const	0,09	0,11	0,91
Ag.Vis	0,30	4,40	0,00
Anim	0,15	2,28	0,02
Env	0,10	2,10	0,04
Pres.Act	0,00	0,07	0,94
Pres.Hum	0,01	0,21	0,83
Pres.Nat	0,05	1,23	0,22
Pres.Ois	0,02	0,46	0,65
Pres.VL	-0,12	-2,40	0,02
Sil	0,55	8,27	0,00
Son.Klax	-0,08	-1,89	0,06
Son.Mob	-0,05	-1,34	0,18
Son.PL	-0,02	-0,45	0,65
Surp	-0,06	-1,01	0,31

5.2.11.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

Tableau XXXVIII : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,58	2,96E-43	0,67	1,10E-55
Test	0,70	1,30E-26	0,70	5,05E-26
Totalité	0,61	1,45E-66	0,67	1,78E-79

Dans la pratique il n'a pas non plus été possible ici de trouver avec 13 variables un réseau de neurones artificiels qui satisfasse la condition requise lors des études locales, c'est-à-dire avoir $R_c^2(ANN) > R_c^2(REG)$ et $R_t^2(ANN) > R_t^2(REG)$. De ce fait, la condition pour retenir un modèle de réseau de neurones a donc été la même que précédemment (§ 5.2.10) à savoir

obtenir $R_{all}^2(ANN) > R_{all}^2(REG)$. En utilisant ce critère, il apparaît alors comme cela est visible dans le Tableau XXXVIII que le réseau de neurones obtenu est meilleur du point de vue du coefficient de corrélation linéaire au carré R^2 calculé sur la base de construction et sur la totalité des sujets. Par ailleurs, le réseau de neurones artificiels obtenu et la régression linéaire multiple sont très proches en ce qui concerne la base de test puisque les valeurs de R_t^2 de ces deux modèles sont identiques à 10^{-2} près. Pour cette raison, ce modèle de réseau de neurones a été considéré comme meilleur sur les critères de R_c^2 et R_{all}^2 et équivalent pour le R_t^2 et a été comparé avec le modèle de régression linéaire multiple.

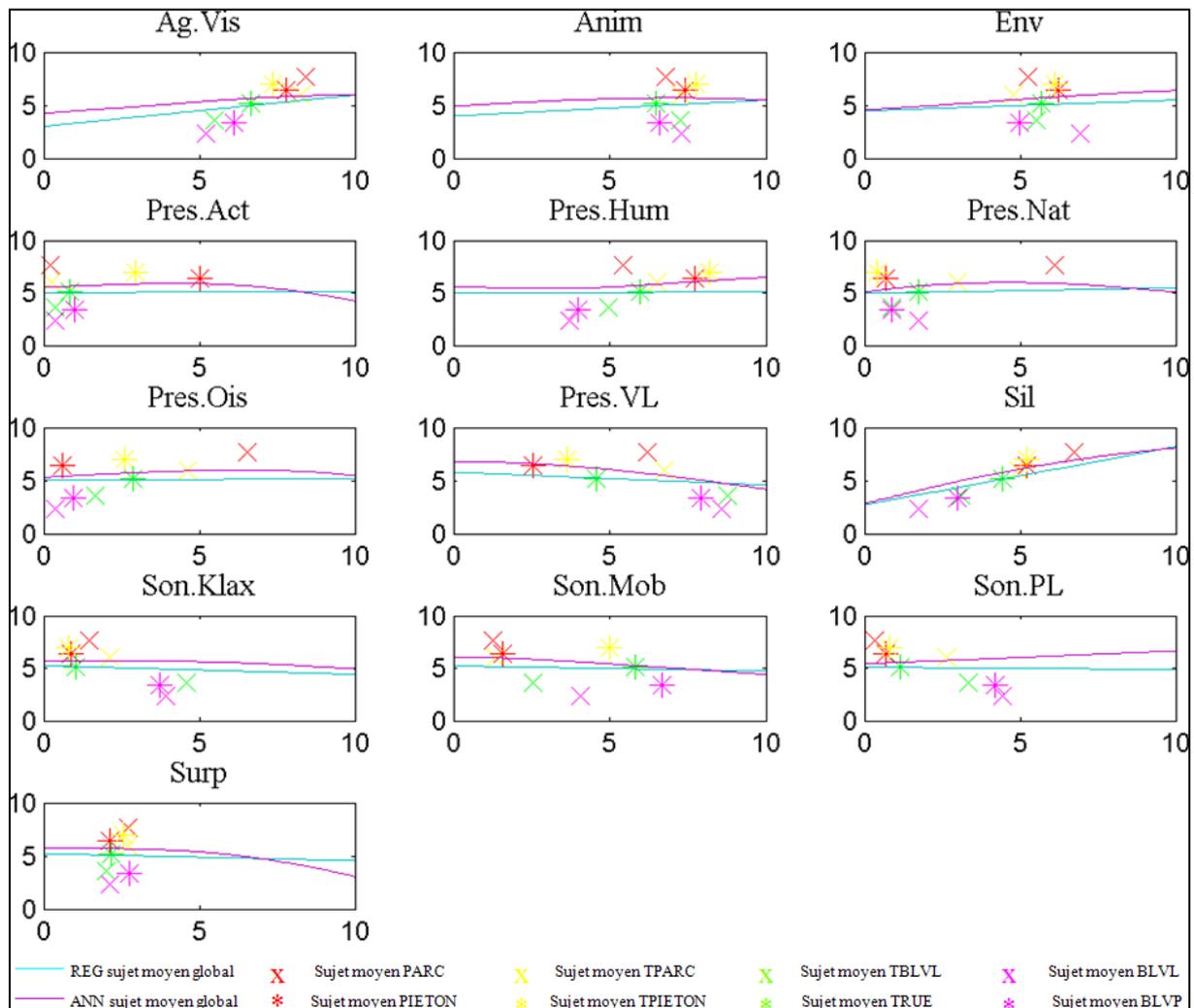


Figure 90 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour le modèle de régression linéaire multiple et pour le modèle de réseau de neurones à partir d'un sujet moyen global établi à partir de 320 sujets.

Tout comme cela a été fait localement, il est ici aussi possible de regarder la réponse des modèles globaux à un nouveau sujet. Dans un premier temps nous avons donc testé un sujet moyen global (moyenne des 320 sujets interrogés). La figure 90 montre l'allure de la réponse

du modèle de régression (bleu clair) et du modèle de réseau de neurones (violet) à ce sujet moyen global.

On peut voir sur cette représentation qu'en réponse à un sujet moyen, le réseau de neurones est très proche de la régression linéaire multiple, voire quasiment identique pour les variables "Anim" et "Pres.VL".

Mais que signifie un sujet moyen pris sur l'ensemble des sites ? La question est donc maintenant de savoir comment répond un modèle global à un sujet moyen local. Quelle est la variation de l'agrément sonore autour des sujets moyens locaux présentés ci-dessus ? Pour plus de clarté, les représentations de ces variations ont été scindées en deux figures (Figure 91 et Figure 92), une pour la ville de Lyon et l'autre pour la ville de Paris.

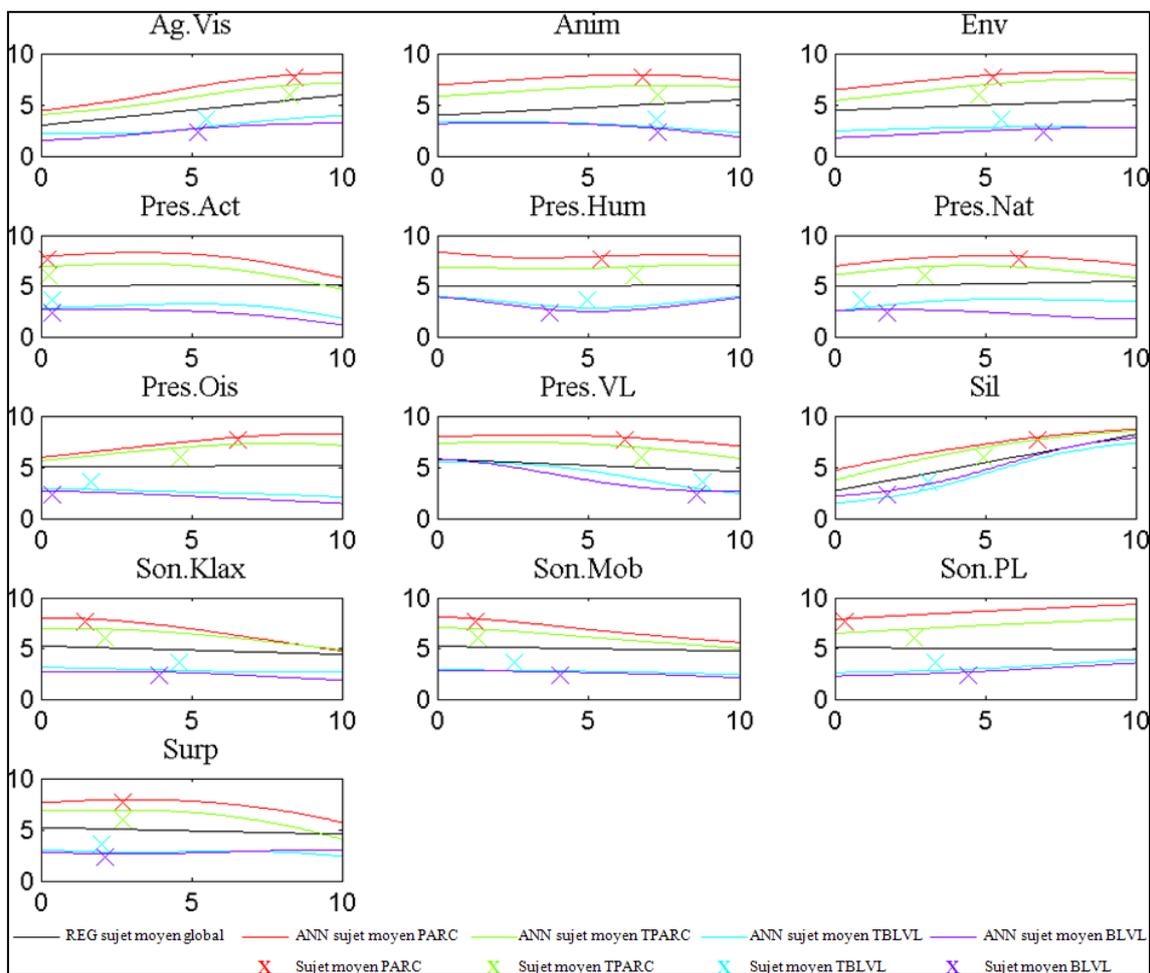


Figure 91 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour le modèle de régression linéaire multiple et pour le meilleur modèle de réseau de neurones à partir des sujets moyens locaux de Lyon.

La figure 91 illustre donc la réponse du modèle aux sujets moyens locaux de la ville de Lyon. Les courbes rouges représentent le parc, les courbes vertes symbolisent la transition

côté parc, les courbes bleues sont la réponse à la transition côté boulevard et enfin les courbes mauves illustrent le boulevard. La droite noire représente quant à elle la réponse de la régression linéaire multiple à un sujet moyen global, la même que celle visible dans la figure 90. Du fait de la linéarité de la régression, quel que soit le sujet choisi en entrée du modèle, la pente de la droite en sortie sera toujours la même. Des différences de pente autour d'un sujet moyen local ne peuvent donc être mises en évidence qu'avec le modèle de réseau de neurones.

Comme précédemment, la figure 92 montre les réponses du modèle de réseau de neurones à des sujets moyens locaux cette fois-ci sur les sites de Paris. En rouge, la réponse pour la rue piétonne, en vert la réponse pour la transition côté rue piétonne, en bleu la réponse pour la transition côté rue circulée et enfin en mauve la réponse pour le boulevard.

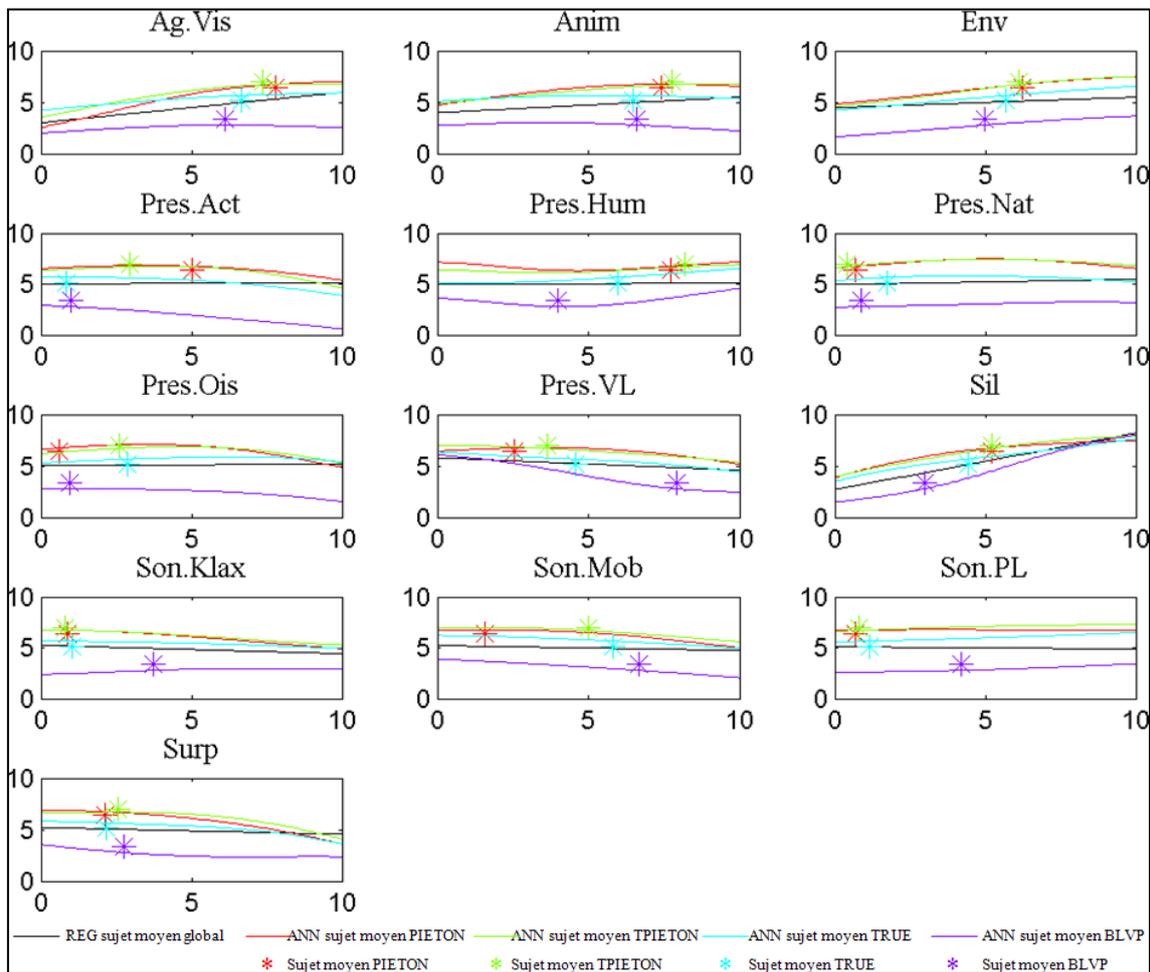


Figure 92 : Allures des variations de l'agrément sonore calculé pour le modèle de régression linéaire multiple et pour le meilleur modèle de réseau de neurones à partir des sujets moyens locaux de Paris.

S'il arrive qu'il y ait une différence de pente au sein d'une réponse à un sujet moyen local (par exemple la présence humaine sur le boulevard à Paris, Figure 92) nous nous sommes surtout attardés à mesurer cette pente autour des sujets moyens. Bien que la relation ne soit

pas linéaire, nous avons calculé chaque pente dans un premier temps dans une plage [-0.5 +0.5] autour des sujets moyens puis dans un second temps dans une plage [-1 +1]. Les résultats étant similaires, les seconds ont été retenus et sont présentés dans le tableau XXXIX suivant.

Tableau XXXIX : Pentes calculées autour des sujets moyens pour chaque modèle (REG et ANN) et pour chacune des 13 variables.

		LYON				PARIS			
		PARC	TPARC	TBLVL	BLVL	PIETON	TPIETON	TRUE	BLVP
Ag.Vis	REG	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	ANN	0,19	0,22	0,32	0,24	0,20	0,13	0,11	0,00
Anim	REG	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	ANN	-0,02	0,02	-0,18	-0,25	0,01	0,10	-0,04	-0,14
Env	REG	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	ANN	0,19	0,27	0,02	0,08	0,28	0,32	0,24	0,23
Pres.Act	REG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ANN	0,22	0,17	0,10	0,01	-0,10	0,07	0,00	-0,15
Pres.Hum	REG	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	ANN	0,09	0,12	-0,04	-0,24	0,20	0,15	0,19	-0,04
Pres.Nat	REG	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	ANN	-0,08	0,15	0,36	0,00	0,22	0,32	0,13	0,06
Pres.Ois	REG	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	ANN	0,21	0,22	-0,07	-0,06	0,21	0,15	0,11	-0,01
Pres.VL	REG	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
	ANN	-0,15	-0,25	-0,39	-0,10	0,06	-0,15	-0,13	-0,26
Sil	REG	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
	ANN	0,34	0,50	0,69	0,39	0,27	0,42	0,33	0,61
Son.Klax	REG	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08
	ANN	-0,14	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05	0,00	-0,06	0,11
Son.Mob	REG	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
	ANN	-0,21	-0,16	-0,03	-0,06	0,00	-0,16	-0,14	-0,20
Son.PL	REG	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
	ANN	0,17	0,16	0,10	0,13	0,03	0,12	0,08	0,07
Surp	REG	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06
	ANN	0,03	-0,01	-0,06	-0,02	-0,14	0,00	-0,09	-0,22

Comme mentionné ci-dessus, la régression linéaire multiple ne permet pas de mettre en évidence les différences de pente autour des sujets moyens locaux. D'après l'équation (10) présentée au paragraphe 5.2.11.2, la variable "Silence" est la plus importante à l'égard du coefficient (0,55). Par "importance", il est sous-entendu ici que cette variable a une forte influence sur l'agrément sonore. Pourtant, le réseau de neurones artificiels montre que cette importance n'est pas la même selon les différents lieux. En effet, selon le réseau de neurones

artificiels, l'influence du "Silence" est semblable à celle calculée par la régression linéaire multiple dans la transition entre le parc et l'extérieur de ce dernier à Lyon (TPARC) (pente = 0,50). D'autre part, cette influence est plus importante (pente = 0,69) dans l'autre transition à Lyon (TBLVL) et est plus faible notamment dans le parc (Parc, pente = 0,34), dans la rue piétonne (PIETON, pente = 0,27) et dans la transition côté rue circulée (TRUE, pente = 0,33). De même pour l'"Agrément visuel" qui est également une variable importante dans l'équation de la régression (10) (pente = 0,30), il est remarquable que la pente calculée avec le réseau de neurones est similaire pour la transition entre le boulevard et le parc à Lyon (TBLVL) (pente = 0,32), elle est plus faible dans la transition piétonne (PIETON) (pente = 0,13) et est même nulle sur le boulevard à Paris (BLVP) (pente = 0,00).

Il apparaît donc à travers ces résultats obtenus avec un réseau de neurones artificiels que chaque variable explicative utilisée dans les modèles de qualité sonore n'ait pas la même influence selon le lieu considéré. Ainsi, selon l'exemple vu ci-dessus, il semble que la vision ait plus d'influence dans les zones de transition à Lyon que sur le boulevard à Paris. Mais avant de commenter chaque pente de chaque variable, nous avons voulu savoir si ces résultats étaient reproductibles. Un autre bon réseau de neurones artificiels amènerait-il à des conclusions identiques ou fondamentalement différentes ? Ainsi, un autre bon réseau de neurones (R_{all}^2 (ANN) > R_{all}^2 (REG)) a été sélectionné et les pentes ont été calculées à nouveau. Les résultats sont présentés dans le tableau XL.

A la lecture de ce tableau XL, il est très rapidement visible que les valeurs de pentes calculées à travers ce second réseau de neurones (ANN(2)) sont parfois très différentes de celles obtenues avec le premier réseau de neurones (ANN(1)). A titre d'exemple, l'influence (symbolisée par la valeur de pente) de la variable "Silence" au niveau du boulevard à Lyon (BLVL) est de 0,39 si l'on en croit le premier modèle alors qu'elle atteint 0,57 selon le second. De même dans la rue piétonne, le premier réseau de neurones indique une pente de 0,27 alors que le second montre une influence de cette variable "Silence" beaucoup plus importante avec une valeur de 0,69. Parfois même, non seulement la différence de pentes calculées par les deux modèles de réseau de neurones est grande, mais en plus les sens de variation de ces deux pentes est également différent. Par exemple, le niveau perçu des cyclomoteurs (Son.Mob) sur dans la transition de la rue circulée à Paris (TRUE) indique une pente de +0,14 d'après le premier réseau de neurones alors que cette pente est de -0,14 selon le second. Cette différence de signe entre les deux pentes implique donc une difficulté d'interprétation quant à l'influence des différentes variables explicatives.

Tableau XL : Pentés calculées autour des sujets moyens pour chaque modèle (REG, ANN(1) et ANN(2)) et pour chacune des 13 variables.

		LYON				PARIS			
		PARC	TPARC	TBLVL	BLVL	PIETON	TPIETON	TRUE	BLVP
Ag.Vis	REG	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	ANN(1)	0,19	0,22	0,32	0,24	0,20	0,13	0,11	0,00
	ANN(2)	0,21	0,19	0,22	0,09	0,28	0,48	0,17	0,05
Anim	REG	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	ANN(1)	-0,02	0,02	-0,18	-0,25	0,01	0,10	-0,04	-0,14
	ANN(2)	-0,01	-0,05	0,01	0,04	0,32	0,26	0,05	0,05
Env	REG	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	ANN(1)	0,19	0,27	0,02	0,08	0,28	0,32	0,24	0,23
	ANN(2)	0,08	0,03	-0,20	-0,09	0,04	0,03	0,11	-0,15
Pres.Act	REG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ANN(1)	0,22	0,17	0,10	0,01	-0,10	0,07	0,00	-0,15
	ANN(2)	0,13	0,10	0,03	0,03	0,00	-0,04	0,23	0,23
Pres.Hum	REG	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	ANN(1)	0,09	0,12	-0,04	-0,24	0,20	0,15	0,19	-0,04
	ANN(2)	-0,16	-0,17	-0,30	-0,16	0,42	0,26	0,21	0,02
Pres.Nat	REG	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	ANN(1)	-0,08	0,15	0,36	0,00	0,22	0,32	0,13	0,06
	ANN(2)	-0,03	0,09	0,17	-0,10	0,29	0,34	0,18	-0,01
Pres.Ois	REG	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	ANN(1)	0,21	0,22	-0,07	-0,06	0,21	0,15	0,11	-0,01
	ANN(2)	-0,08	-0,04	-0,28	-0,05	0,10	0,09	-0,07	-0,30
Pres.VL	REG	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12	-0,12
	ANN(1)	-0,15	-0,25	-0,39	-0,10	0,06	-0,15	-0,13	-0,26
	ANN(2)	-0,05	-0,21	-0,20	-0,14	-0,06	0,06	-0,07	0,00
Sil	REG	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
	ANN(1)	0,34	0,50	0,69	0,39	0,27	0,42	0,33	0,61
	ANN(2)	0,30	0,43	0,33	0,57	0,69	0,66	0,70	0,78
Son.Klax	REG	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08
	ANN(1)	-0,14	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05	0,00	-0,06	0,11
	ANN(2)	-0,10	-0,02	-0,16	0,00	-0,21	-0,52	-0,10	-0,03
Son.Mob	REG	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
	ANN(1)	-0,21	-0,16	-0,03	-0,06	0,00	-0,16	-0,14	-0,20
	ANN(2)	0,02	-0,04	-0,02	-0,14	-0,13	-0,04	0,14	0,07
Son.PL	REG	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
	ANN(1)	0,17	0,16	0,10	0,13	0,03	0,12	0,08	0,07
	ANN(2)	0,02	0,08	-0,18	-0,16	0,19	0,17	0,04	-0,21
Surp	REG	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06
	ANN(1)	0,03	-0,01	-0,06	-0,02	-0,14	0,00	-0,09	-0,22
	ANN(2)	-0,19	-0,31	-0,43	-0,22	-0,13	-0,26	-0,15	-0,26

Pour valider le fait que les réseaux de neurones permettent bien de mettre en évidence des différences d'influence de chacune des variables pour des lieux différents (ce que ne permet pas de faire une régression car les coefficients sont fixés de manière générale), un grand nombre de réseaux de neurones (500) qui satisfont les contraintes de meilleur modèle pour l'ensemble des situations ($R_{\text{all}}^2(\text{ANN}) > R_{\text{all}}^2(\text{REG})$) a été calculé et une analyse de variance a été menée. En effet, cette méthode d'analyse permettra d'une part de s'assurer que des différences de pentes issues de deux points distincts sont bien induites par ces points et non pas par un modèle de réseau de neurones particulier, et d'autre part de discuter du sens à donner à un seul réseau de neurones, aussi bon soit-il.

5.2.11.4 ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA)

Une analyse de variance à un facteur a donc été menée sur 500 pentes calculées pour chacun des 8 lieux et pour les 13 variables étudiées. Tous les résultats issus de cette analyse sont présentés ci-après avec pour chaque variable:

- le tableau de l'ANOVA, qui permet notamment de savoir avec la valeur de p si au moins une des valeurs de pentes moyenne calculée est différente ou non des autres;
- un tableau regroupant le coefficient de la régression linéaire multiple, la moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, l'erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, la pente calculée avec le premier réseau de neurones et la pente calculée avec le second,
- une figure illustrative du tableau précédent.

Dans tous les résultats d'analyse de variance présentés ci-après, le tableau de l'ANOVA (par exemple Tableau XLI) permet donc de dire au regard de la valeur de probabilité p si au moins une des valeurs de pentes moyenne est différente ou non des autres. Le tableau suivant et la figure représentative de ce tableau (par exemple Tableau XLII et Figure 93) permettent de déterminer à l'aide du test de Tukey quelles sont les moyennes de pentes significativement différentes des autres et lesquelles ne le sont pas. Si les barres d'erreurs ne se croisent pas, alors les moyennes de pentes sont statistiquement différentes.

5.2.11.4.1 AGREMENT VISUEL

Tableau XLI : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Agrément visuel".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	31,04	7	4,43	54,10	3E-74
Intra-groupes	327,15	3992	0,08		
Total (Corr.)	358,19	3999			

Tableau XLII : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Agrément visuel" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	0,296	0,181	0,110	0,188	0,208
Transition (Parc)	0,296	0,270	0,110	0,216	0,194
Transition (Bld / Lyon)	0,296	0,263	0,110	0,323	0,221
Boulevard (Lyon)	0,296	0,169	0,110	0,237	0,087
Rue piétonne	0,296	0,369	0,110	0,198	0,282
Transition (Piéton)	0,296	0,378	0,110	0,131	0,485
Transition (Rue)	0,296	0,309	0,110	0,115	0,167
Boulevard (Paris)	0,296	0,121	0,110	0,001	0,046

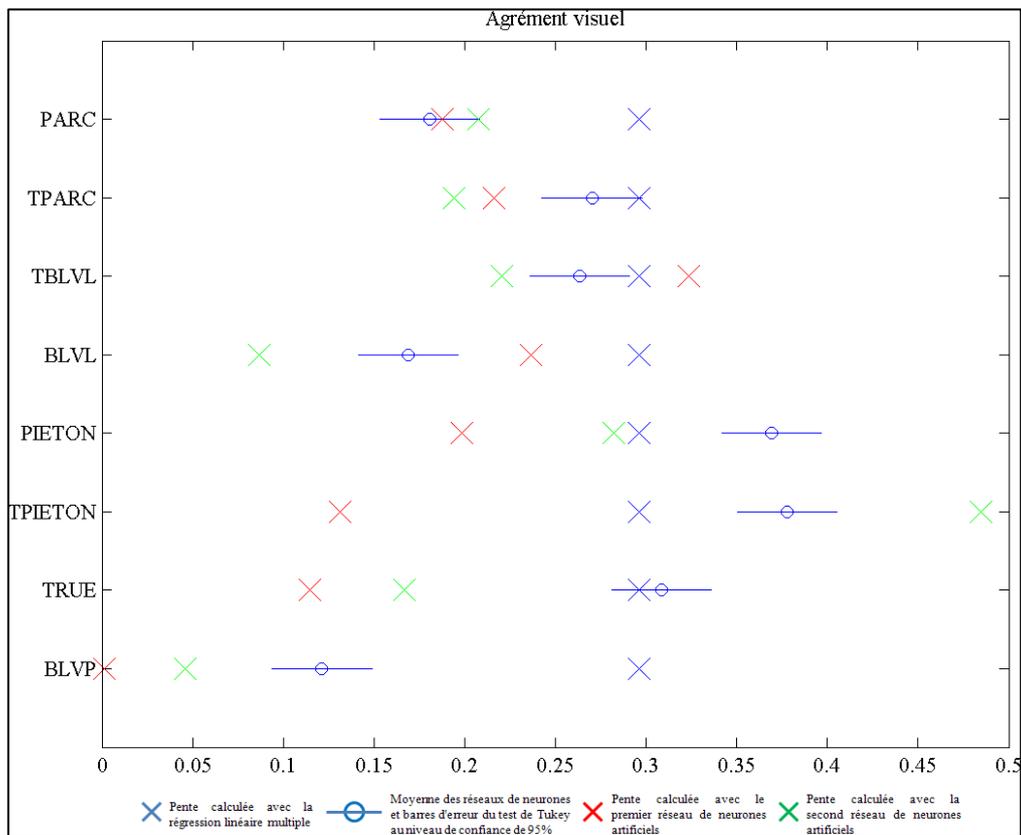


Figure 93 : Figure illustrative du Tableau XLII pour la variable "Agrément visuel".

Concernant la variable "Agrément visuel", le Tableau XLI de l'analyse de variance permet de dire que des moyennes des pentes issues des 500 réseaux de neurones sont statistiquement différentes.

En se focalisant sur le Tableau XLII et sur la Figure 93 il est possible de définir trois groupes parmi lesquels se trouvent la rue piétonne (PIETON) et la transition côté rue piétonne (TPIETON) où l'influence de la variable "Agrément visuel" est la plus forte, les transitions (TPARC, TBLVL et TRUE) et enfin le parc et les deux boulevards (PARC, BLVL et BLVP) où l'influence est la plus faible. S'il est difficile de commenter le regroupement des lieux "piétons" (PIETON et TPIETON) il semble cependant que l'influence de la variable "Agrément visuel" soit plus faible dans les lieux clairement identifiables (acoustiquement et visuellement) que dans les lieux de transition bien que la rue piétonne fasse figure d'exception.

Les résultats trouvés ici sur l'influence de l'agrément visuel ne sont qu'en partie concordants avec ceux trouvés par VIOLLON S. *et al.* dans leur étude sur l'influence des paramètres visuels sur les évaluations du son dans un environnement urbain [VIOLLON 2002] puisque les auteurs avaient montré que l'influence visuelle globale sur le jugement auditif était significative mais complexe, c'est à dire qu'elle était dépendante du type de sons impliqués. Ainsi, le jugement de sons sans présence sonore humaine était significativement influencé par le cadre visuel. En revanche, les sons marqués par une présence humaine, tels que les pas et les voix, ne subissaient pas l'influence du visuel. Au contraire, les résultats présentés sur la Figure 93 montrent que les lieux marqués par la présence humaine (PIETON et TPIETON) non seulement subissent l'influence du visuel, mais ces lieux sont même ceux pour lesquels cette influence est la plus forte.

Un autre point important qui ressort de la Figure 93 concerne les réseaux de neurones artificiels. Sur cette figure, nous avons pris soin de représenter en plus des moyennes de pentes calculées avec les 500 réseaux de neurones, les pentes calculées avec les deux meilleurs réseaux de neurones (ANN(1) et ANN(2)). Ainsi, dans le parc (PARC), les pentes calculées avec les deux réseaux sont sensiblement les mêmes que la moyenne des 500 réseaux. En revanche, les pentes calculées par les deux réseaux de neurones sont inférieures à la moyenne pour les lieux TPARC et BLVP, voire très inférieures pour les lieux PIETON et TRUE. Enfin, pour les lieux TBLVL et BLVL, la pente calculée par le premier réseau de neurones est supérieure à la moyenne et celle calculée par le second est inférieure et

inversement pour le lieu TPIETON. Ces différences entre deux réseaux de neurones considérés comme "bons" et la moyenne posent donc un problème d'interprétation. Doit-on plutôt interpréter un "bon" réseau de neurones artificiels ou plutôt la moyenne d'un grand nombre d'entre eux ?

Des résultats similaires ayant été obtenus pour chacune des treize variables étudiées, nous ne commenterons pas systématiquement ce point-là, mais des commentaires d'ensemble seront faits dans le paragraphe 5.2.11.4.15.

5.2.11.4.2 ANIMATION

Tableau XLIII : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Animation".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	9,78	7	1,40	18,86	6E-25
Intra-groupes	295,81	3992	0,07		
Total (Corr.)	305,59	3999			

Tableau XLIV : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Animation" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	0,150	-0,016	0,104	-0,023	-0,007
Transition (Parc)	0,150	-0,021	0,104	0,025	-0,052
Transition (Bld / Lyon)	0,150	-0,042	0,104	-0,182	0,008
Boulevard (Lyon)	0,150	0,033	0,104	-0,250	0,041
Rue piétonne	0,150	-0,024	0,104	0,008	0,320
Transition (Piéton)	0,150	0,022	0,104	0,100	0,264
Transition (Rue)	0,150	0,125	0,104	-0,036	0,048
Boulevard (Paris)	0,150	0,018	0,104	-0,144	0,047

Pour la variable "Animation", là encore le Tableau XLIII de l'analyse de variance permet de dire qu'une ou des moyennes sont statistiquement différentes des autres. Pourtant, si pour la variable "Agrément visuel" trois groupes étaient distincts, le Tableau XLIV et la Figure 94 montre que pour la variable "Animation", seule la transition côté rue circulée à Paris (TRUE) est différentes des 7 autres lieux où cette variable aurait un impact plus important (bien que faible) sur l'agrément sonore. Il est donc très difficile d'en tirer des conclusions concernant cette variable. D'une façon générale, l'influence de l'animation est quasi nulle.

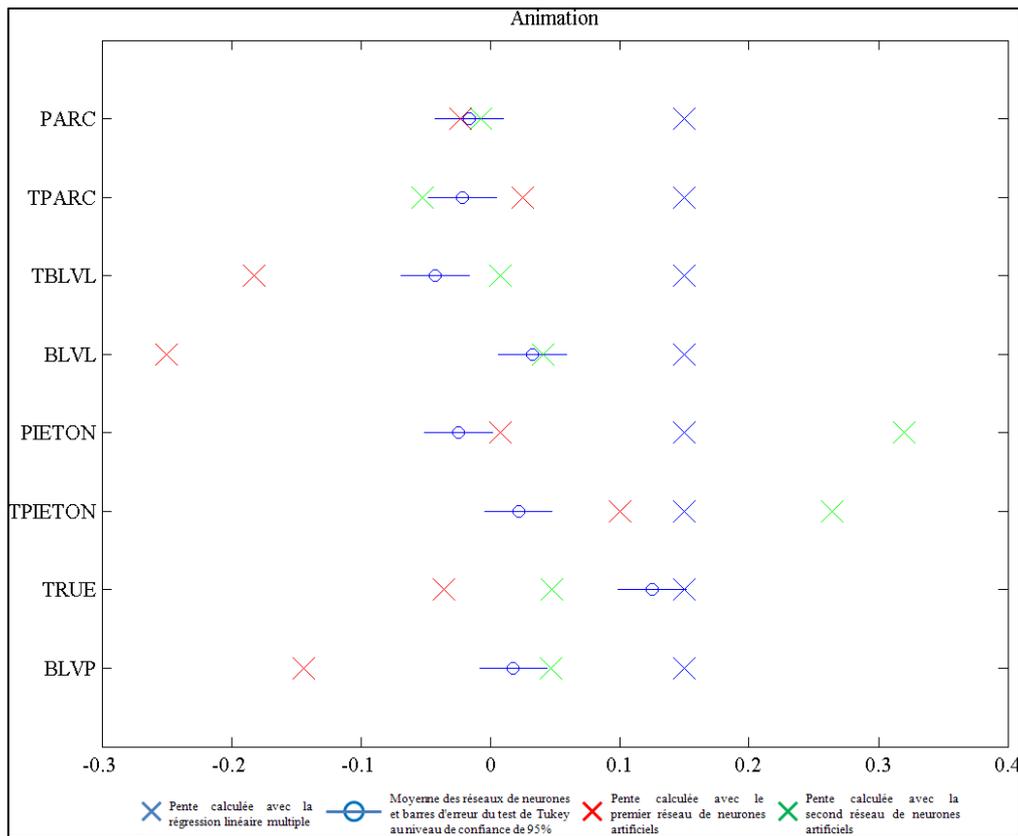


Figure 94 : Figure illustrative du Tableau XLIV pour la variable "Animation".

5.2.11.4.3 ENVELOPPEMENT

Tableau XLV : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Enveloppement".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	38,90	7	5,56	88,16	9E-120
Intra-groupes	251,62	3992	0,06		
Total (Corr.)	290,52	3999			

De nouveau, le Tableau XLV de l'analyse de variance montre que des moyennes de pente sont statistiquement différentes pour la variable "Enveloppement". D'après le Tableau XLVI et la Figure 95, cette variable a tendance à avoir un impact positif sur l'agrément sonore en dehors des boulevards où là, au contraire, il aura plutôt un effet nul. Peut-on comprendre que dans la notion d'enveloppement, il y a la notion de source sonore ? Si l'on est entouré d'oiseaux ou de personnes, le sentiment d'enveloppement renforcera l'agrément sonore, mais si l'on est entouré de voitures, ce même sentiment rendra l'environnement sonore plus désagréable. Il semble donc que l'impact du sentiment d'enveloppement soit plus dépendant du type de sources que de la notion de "réverbérance" du lieu (par identification à la réverbérance dans une salle et son effet sur l'enveloppement ressenti par les auditeurs). En

effet BARRON M. a montré que dans les salles de concert, la notion d'enveloppement était dépendante de la réverbérance de la salle, et donc du type de salle [BARRON 2000]. Le sentiment d'enveloppement des auditeurs devrait être plus grand dans les petites salles et plus faible dans les grandes.

Tableau XLVI : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Enveloppement" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	0,102	0,186	0,096	0,189	0,084
Transition (Parc)	0,102	0,193	0,096	0,268	0,025
Transition (Bld / Lyon)	0,102	0,037	0,096	0,023	-0,204
Boulevard (Lyon)	0,102	-0,027	0,096	0,079	-0,090
Rue piétonne	0,102	0,289	0,096	0,283	0,036
Transition (Piéton)	0,102	0,226	0,096	0,317	0,026
Transition (Rue)	0,102	0,196	0,096	0,238	0,110
Boulevard (Paris)	0,102	0,094	0,096	0,228	-0,154

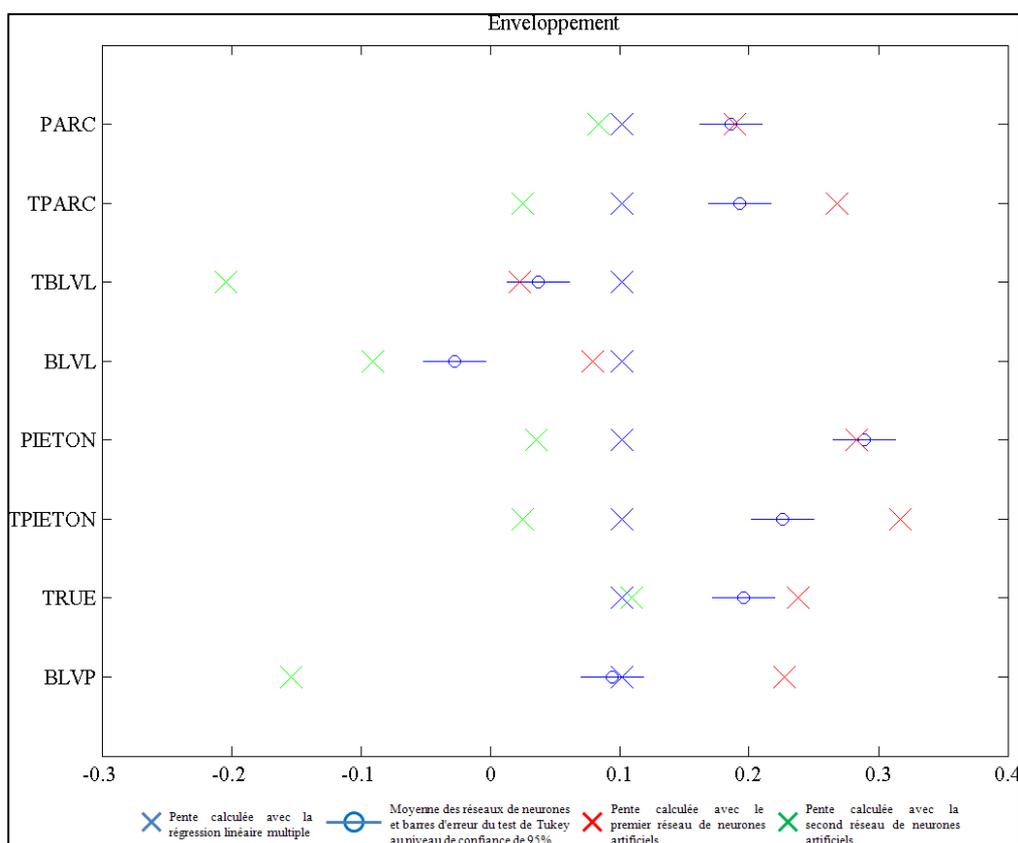


Figure 95 : Figure illustrative du Tableau XLVI pour la variable "Enveloppement".

Par ailleurs, il est remarquable concernant la variable "Enveloppement" qu'avec le modèle global, cette variable n'a qu'une très faible influence positive dans la transition côté boulevard

(TBLVL). Ceci est en contradiction avec les résultats obtenus localement (§ 5.2.3.2) puisque cette variable était apparue avec une influence négative significative sur l'agrément sonore.

5.2.11.4.4 TEMPS DE PRESENCE DES ACTIVITES (%)

Tableau XLVII : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Présence des activités (%)".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	15,90	7	2,27	40,54	2E-55
Intra-groupes	223,74	3992	0,06		
Total (Corr.)	239,64	3999			

Tableau XLVIII : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Présence des activités (%)" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	0,004	0,071	0,091	0,220	0,129
Transition (Parc)	0,004	0,027	0,091	0,169	0,096
Transition (Bld / Lyon)	0,004	0,029	0,091	0,103	0,031
Boulevard (Lyon)	0,004	0,029	0,091	0,012	0,030
Rue piétonne	0,004	-0,147	0,091	-0,096	-0,005
Transition (Piéton)	0,004	-0,052	0,091	0,067	-0,045
Transition (Rue)	0,004	-0,028	0,091	0,002	0,231
Boulevard (Paris)	0,004	-0,019	0,091	-0,148	0,226

La variable "Temps de présence des activités" mérite une attention particulière. Si les moyennes de pente sont toujours statistiquement différentes (Tableau XLVII), le Tableau XLVIII et la Figure 96 montre que les villes de Lyon et de Paris se différencient avec une influence positive à Lyon et négative à Paris. Mais si pour les transitions et les boulevards cette influence est très faible, c'est surtout le parc (PARC) et la rue piétonne (PIETON) qui présentent un intérêt. Dans le parc, la "Présence d'activités" a un impact positif sur l'agrément sonore alors que dans la rue piétonne l'effet est inversé. Le type d'activités et surtout la forte concentration de celles-ci dans la rue piétonne est sans doute à l'origine de ces résultats. Une augmentation du nombre de commerces dans la rue piétonne, déjà très commerciale, aura un effet négatif sur l'agrément sonore, alors que dans le parc, quelques activités commerciales telles que des points de restauration par exemple seraient sans doute bienvenus.

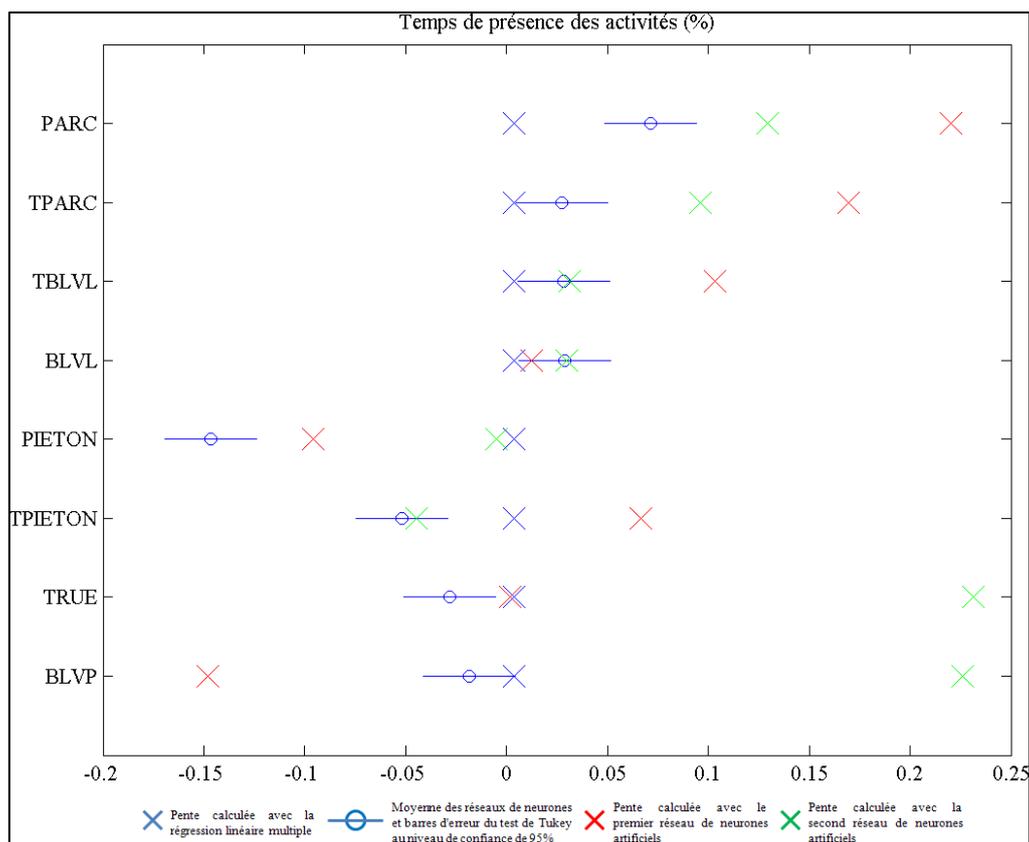


Figure 96 : Figure illustrative du Tableau XLVIII pour la variable "Présence des activités (%)".

5.2.11.4.5 TEMPS DE PRESENCE DE PRESENCE HUMAINE (%)

Tableau XLIX : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Présence de présence humaine (%)".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	59,81	7	8,54	124,19	1E-165
Intra-groupes	274,67	3992	0,07		
Total (Corr.)	334,48	3999			

Pour ce qui est de la présence humaine, il est cette fois intéressant de constater que si des moyennes sont également différentes (Tableau XLIX), les seuls lieux où une augmentation de la présence aurait un réel effet positif sont la rue piétonne (PIETON) et les transitions qui suivent cette rue piétonne (TPIETON et TRUE) (cf. Tableau L et Figure 97). On retrouve donc ici l'effet inverse de celui constaté avec la présence des activités vu dans le paragraphe précédent. En effet, dans la rue piétonne, une augmentation de la présence d'activités où elle est déjà très importante entraînerait une diminution de l'agrément sonore alors que dans cette même rue piétonne, une augmentation de la présence humaine, également très importante, contribuerait cette fois ci à un meilleur agrément sonore.

Tableau L : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Présence de présence humaine (%)" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	0,010	-0,014	0,101	0,094	-0,162
Transition (Parc)	0,010	0,064	0,101	0,122	-0,165
Transition (Bld / Lyon)	0,010	-0,060	0,101	-0,040	-0,295
Boulevard (Lyon)	0,010	-0,123	0,101	-0,240	-0,160
Rue piétonne	0,010	0,201	0,101	0,203	0,424
Transition (Piéton)	0,010	0,175	0,101	0,146	0,256
Transition (Rue)	0,010	0,226	0,101	0,193	0,208
Boulevard (Paris)	0,010	-0,016	0,101	-0,040	0,020

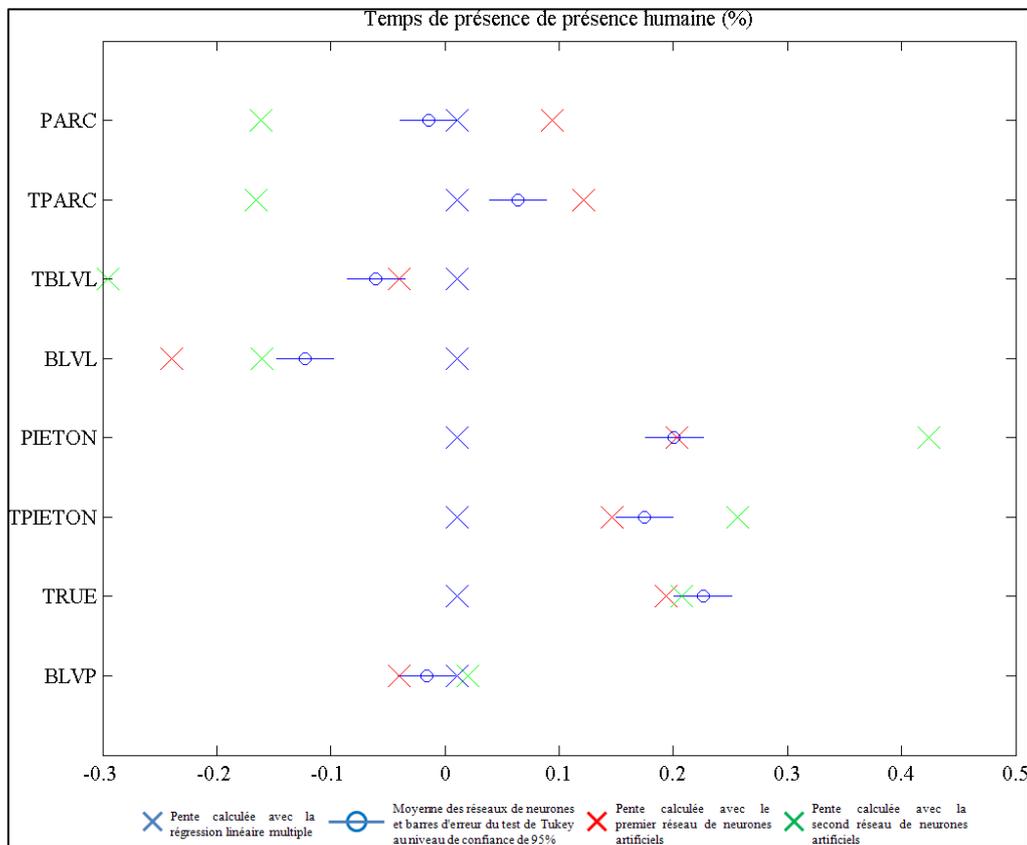


Figure 97 : Figure illustrative du Tableau L pour la variable "Présence de présence humaine (%)".

Contrairement à la variable "Enveloppement" pour laquelle le modèle global ne conduit pas aux résultats trouvés localement, on retrouve avec le modèle global les éléments locaux pour la présence humaine. En effet, la variable "Temps de présence de présence humaine" apparaissait trois fois dans les modèles, deux fois avec une influence négative (BLVL et BLVP) et une fois avec un impact positif (TRUE), ce qui se retrouve ici.

5.2.11.4.6 TEMPS DE PRESENCE DES ELEMENTS NATURELS (%)

Tableau LI : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Présence des éléments naturels (%)".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	18,10	7	2,59	45,08	9E-62
Intra-groupes	228,91	3992	0,06		
Total (Corr.)	247,01	3999			

Tableau LII : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Présence des éléments naturels (%)" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	0,053	0,026	0,092	-0,079	-0,033
Transition (Parc)	0,053	0,157	0,092	0,153	0,094
Transition (Bld / Lyon)	0,053	0,129	0,092	0,356	0,175
Boulevard (Lyon)	0,053	0,022	0,092	0,003	-0,097
Rue piétonne	0,053	0,183	0,092	0,219	0,291
Transition (Piéton)	0,053	0,176	0,092	0,318	0,343
Transition (Rue)	0,053	0,098	0,092	0,134	0,180
Boulevard (Paris)	0,053	0,011	0,092	0,064	-0,012

D'après le Tableau LII et la Figure 98, deux groupes peuvent être formés au regard de l'influence du "Temps de présence des éléments naturels". D'un côté les boulevards, lyonnais et parisien (BLVL et BLVP), et le parc (PARC) où les valeurs de pente calculées sont quasi-nulles (mais positives) et par opposition à ce premier groupe, les cinq autres sites où l'impact du "Temps de présence des éléments naturels" est positif, avec des valeurs de pente allant de 0,098 pour la transition côté rue circulée (TRUE) à 0,183 pour la rue piétonne (PIETON). S'il est assez logique de trouver des valeurs de pentes similaires pour les deux boulevards ou encore pour la rue piétonne et la transition qui s'y trouve, il est en revanche très difficile d'expliquer les similitudes ou les différences entre les différents lieux sur la seule base de la présence plus ou moins élevée d'éléments naturels en chacun des sites étudiés. En effet, au regard des valeurs moyennes de "Temps de présence des éléments naturels" (cf. Figure, § 5.2.10 et Figure111, § 5.2.11.4.14) sur chaque lieu, seul le parc (PARC) se démarque clairement des autres sites avec une valeur moyenne assez élevée. Les différences d'influence de cette variable sur l'agrément sonore en fonction des lieux sont donc probablement liées à d'autres caractéristiques de l'environnement.

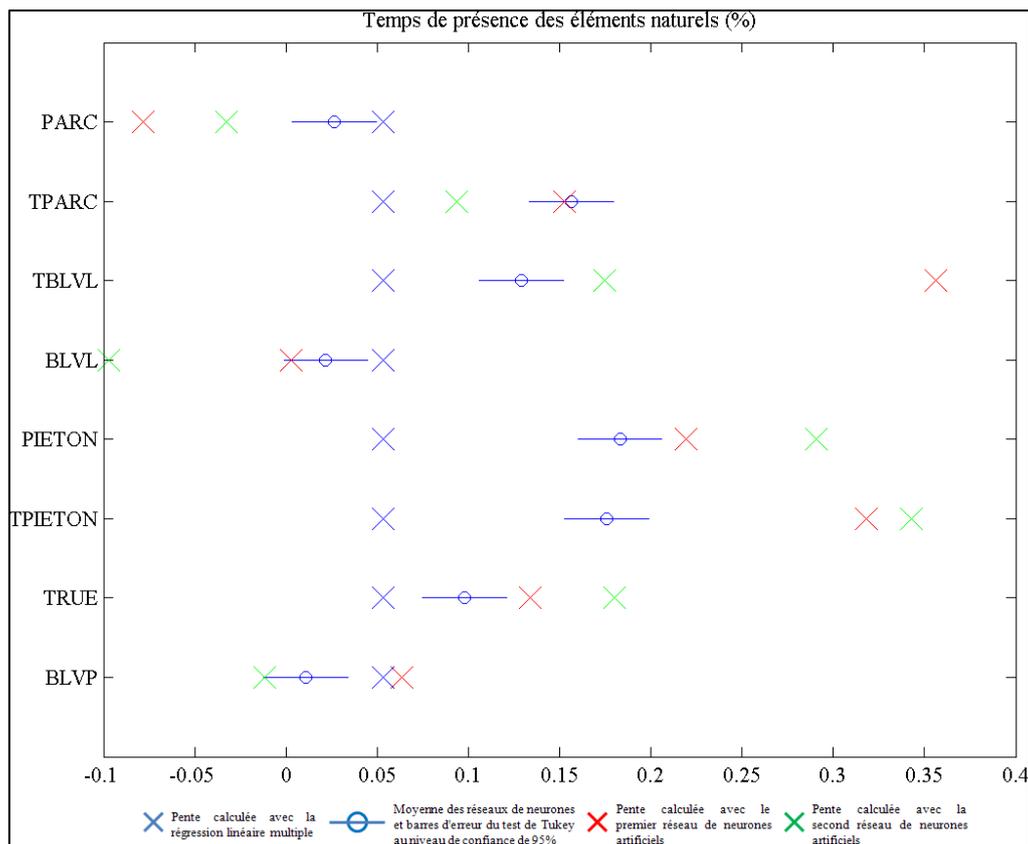


Figure 98 : Figure illustrative du Tableau LII pour la variable "Présence des éléments naturels (%)".

5.2.11.4.7 TEMPS DE PRESENCE DES OISEAUX (%)

Tableau LIII : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Présence des oiseaux (%)".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	9,82	7	1,40	23,44	2E-31
Intra-groupes	239,00	3992	0,06		
Total (Corr.)	248,82	3999			

Le "Temps de présence des oiseaux" est l'une des treize variables pour laquelle aucun résultat remarquable n'apparaît de l'analyse de variance. Bien que le Tableau LIII de l'analyse de variance montre que des moyennes de pentes sont statistiquement différentes ($p = 2E-31$), aucun groupement n'est clairement identifiable comme cela a été possible avec les variables "Agrément visuel" ou "Enveloppement" par exemple. Et même si sur le Tableau LIV et sur la Figure 99 une légère tendance peut laisser apparaître le parc (Parc), la transition côté parc (TPARC) et la rue piétonne (PIETON) comme différents de la transition côté boulevard à Lyon (TBLVL) et des deux boulevards (BLVL et BLVP), les valeurs de pente extrêmement faibles ne permettent pas d'affirmer qu'une augmentation du "Temps de présence des oiseaux"

aura une influence positive sur l'agrément sonore dans les trois premiers lieux cités et négative dans les trois suivants.

Tableau LIV : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Présence des oiseaux (%)" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	0,019	0,049	0,094	0,215	-0,082
Transition (Parc)	0,019	0,046	0,094	0,223	-0,043
Transition (Bld / Lyon)	0,019	-0,060	0,094	-0,071	-0,277
Boulevard (Lyon)	0,019	-0,044	0,094	-0,064	-0,046
Rue piétonne	0,019	0,086	0,094	0,215	0,104
Transition (Piéton)	0,019	0,008	0,094	0,147	0,094
Transition (Rue)	0,019	0,050	0,094	0,109	-0,069
Boulevard (Paris)	0,019	-0,030	0,094	-0,006	-0,303

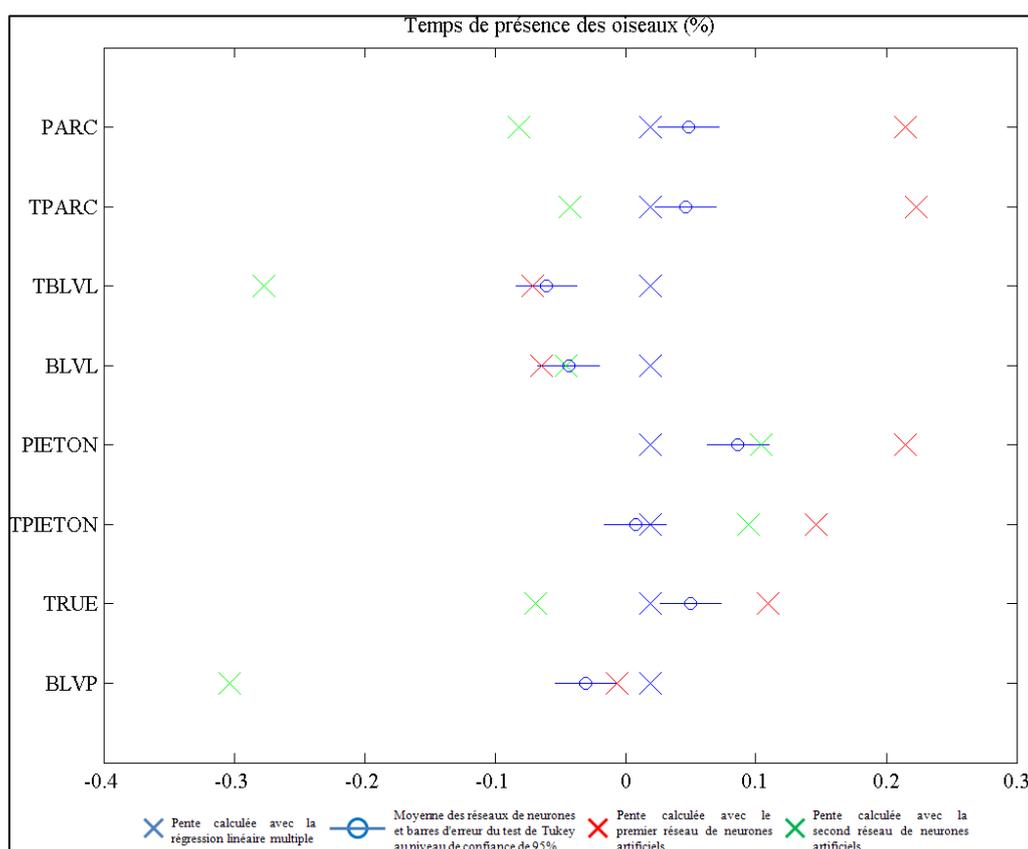


Figure 99 : Figure illustrative du Tableau LIV pour la variable "Présence des oiseaux (%)".

5.2.11.4.8 TEMPS DE PRESENCE DES VEHICULES LEGERS (%)

Tableau LV : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Présence des véhicules légers (%)".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	8,20	7	1,17	21,10	4E-28
Intra-groupes	221,64	3992	0,06		
Total (Corr.)	229,84	3999			

Encore une fois, si le Tableau LV de l'analyse de variance permet d'affirmer que des moyennes de pente sont statistiquement différentes selon certains lieux, seules des tendances non-significatives semblent se dessiner au regard du Tableau LVI et de la Figure 100. Bien que non différents au sens strict du test HSD de Tukey, trois groupes peuvent se remarquer avec notamment la rue piétonne (PIETON) et la transition côté rue piétonne (TPIETON) où l'influence de la "Présence des véhicules légers" est la moins importante, les transitions côté circulé (TBLVL et TRUE) et les boulevards (BLVL et BLVP) où l'impact est plus important et enfin le parc (PARC) et la transition côté parc (TPARC) où la conséquence d'une augmentation du temps de présence des véhicules légers sera la plus remarquable.

Ici aussi, si la différence entre le parc et les boulevards par exemple peut s'expliquer par l'absence de véhicules légers dans le parc, comment expliquer que le temps de présence de ces véhicules légers soit influant dans le parc et pas dans la rue piétonne ? Il est difficile de répondre à cette question, d'autant plus que pour le "Temps de présence de véhicules légers", il n'existe aucune corrélation entre les valeurs de pente calculées par les réseaux de neurones en chaque lieu et les valeurs moyennes de cette variable comme cela sera vu au paragraphe 5.2.11.4.14 (Figure 113).

Tableau LVI : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Présence des véhicules légers (%)" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	-0,121	-0,194	0,090	-0,153	-0,055
Transition (Parc)	-0,121	-0,219	0,090	-0,248	-0,211
Transition (Bld / Lyon)	-0,121	-0,158	0,090	-0,390	-0,197
Boulevard (Lyon)	-0,121	-0,147	0,090	-0,105	-0,142
Rue piétonne	-0,121	-0,094	0,090	0,061	-0,059
Transition (Piéton)	-0,121	-0,070	0,090	-0,154	0,056
Transition (Rue)	-0,121	-0,136	0,090	-0,130	-0,067
Boulevard (Paris)	-0,121	-0,140	0,090	-0,262	0,003

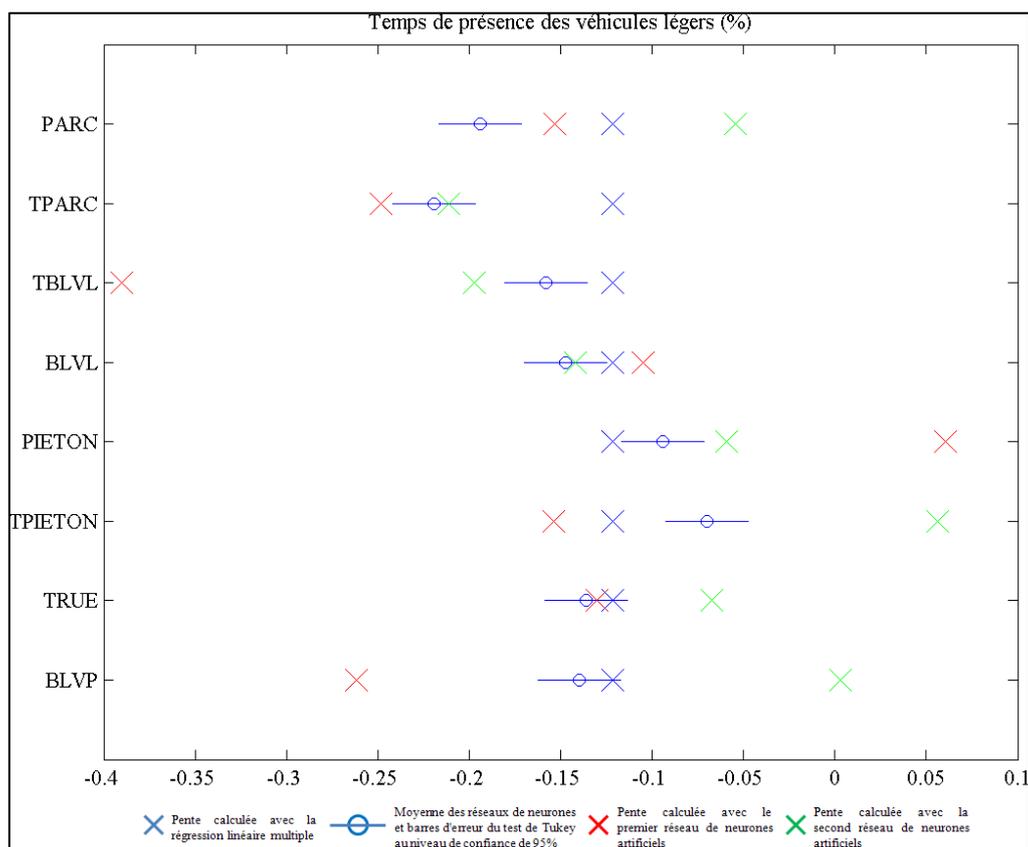


Figure 100 : Figure illustrative du Tableau LVI pour la variable "Présence des véhicules légers (%)".

5.2.11.4.9 SILENCE

Tableau LVII : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Silence".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	148,70	7	21,24	210,96	3E-267
Intra-groupes	401,98	3992	0,10		
Total (Corr.)	550,68	3999			

La première constatation visible sur le Tableau LVIII et sur la Figure 101 est une similarité entre les villes de Lyon et de Paris quant à l'influence de la variable "Silence" selon le lieu étudié. Si l'on considère à Lyon que le parc (PARC) est le lieu le plus silencieux et le boulevard (BLVL) le plus bruyant et de même à Paris où la rue piétonne (PIETON) est l'endroit le plus silencieux et le boulevard (BLVP) le plus bruyant, il est remarquable que la variable "Silence" ait une influence grandissante du lieu le plus silencieux vers le plus bruyant. Autrement dit, plus le lieu est silencieux et moins cette caractéristique a d'influence sur l'agrément sonore (cf. §5.2.11.4.14, Figure 114). Une faible augmentation du "Silence" sur le boulevard à Paris (BLVP) aura un fort impact sur l'agrément sonore, contrairement au parc

à Lyon (PARC), où là, même si le "Silence" reste une variable importante (avec une forte influence comparativement aux autres variables au même endroit), la conséquence d'une variation du silence n'entraînera qu'une modification modérée de l'agrément sonore.

Tableau LVIII : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Silence" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	0,548	0,279	0,122	0,340	0,302
Transition (Parc)	0,548	0,426	0,122	0,497	0,430
Transition (Bld / Lyon)	0,548	0,730	0,122	0,686	0,327
Boulevard (Lyon)	0,548	0,790	0,122	0,387	0,568
Rue piétonne	0,548	0,433	0,122	0,273	0,691
Transition (Piéton)	0,548	0,507	0,122	0,422	0,663
Transition (Rue)	0,548	0,711	0,122	0,327	0,701
Boulevard (Paris)	0,548	0,850	0,122	0,609	0,776

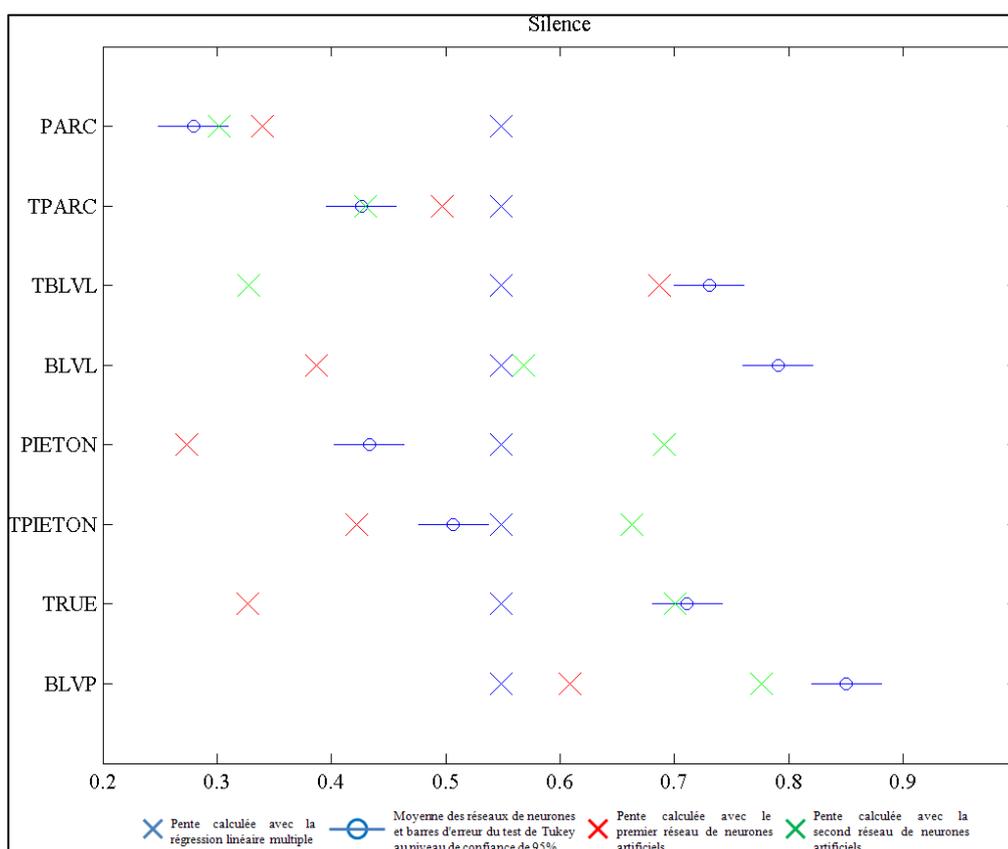


Figure 101 : Figure illustrative du Tableau LVIII pour la variable "Silence".

Parmi les 8 lieux sur lesquels les pentes ont été calculées, seuls quatre couples ne sont pas statistiquement différents d'après le test des comparaisons multiples de Tukey. Il s'agit de :

- la transition côté parc à Lyon (TPARC) et la rue piétonne à Paris (PIETON),
- la transition côté boulevard à Lyon (TBLVL) et le boulevard à Lyon (BLVL),
- la transition côté boulevard à Lyon (TBLVL) et la transition côté rue circulée à Paris (TRUE),
- le boulevard à Lyon (BLVL) et le boulevard à Paris (BLVP).

Plus globalement, la Figure 101 montre une tendance avec trois groupes de lieux définis par l'influence de la variable "Silence", à savoir :

- le parc (Parc) qui est de toute vraisemblance le lieu le plus silencieux et qui est statistiquement différents de tous les autres,
- la transition côté parc (TPARC), la rue piétonne (PIETON) et la transition côté rue piétonne (TPIETON) qui sont des lieux plus bruyants que le parc (PARC),
- la transition côté boulevard (TBLVL), le boulevard à Lyon (BLVL), la transition côté rue circulée (TRUE) et le boulevard à Paris (BLVP) qui sont tous des endroits où les véhicules motorisés sont présents et donc les plus bruyants.

5.2.11.4.10 NIVEAU PERÇU DES KLAXONS

Tableau LIX : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Niveau perçu des klaxons".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	21,45	7	3,06	48,19	4E-66
Intra-groupes	253,82	3992	0,06		
Total (Corr.)	275,27	3999			

Si les boulevards se sont révélés parfois différents des autres sites pour d'autres variables, ceci est également valable pour le "Niveau perçu des klaxons". En effet, le Tableau LX et la Figure 102 montre des différences statistiques entre les deux boulevards (BLVL et BLVP) où l'influence est légèrement positive et les cinq autres lieux où cette fois-ci une augmentation du niveau sonore des klaxons aura tendance à faire baisser l'agrément sonore. Bien qu'*a priori* dérangeant, il n'est pas impossible que dans un contexte de forte circulation (sur un

boulevard), les klaxons soient perçus comme un élément de sécurité et donc ayant globalement un impact positif (bien que pratiquement nul).

Tableau LX : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Niveau perçu des klaxons" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	-0,082	-0,109	0,097	-0,137	-0,098
Transition (Parc)	-0,082	-0,113	0,097	-0,078	-0,024
Transition (Bld / Lyon)	-0,082	-0,070	0,097	-0,071	-0,165
Boulevard (Lyon)	-0,082	0,048	0,097	-0,062	0,001
Rue piétonne	-0,082	-0,131	0,097	-0,046	-0,212
Transition (Piéton)	-0,082	-0,133	0,097	-0,001	-0,524
Transition (Rue)	-0,082	-0,145	0,097	-0,056	-0,104
Boulevard (Paris)	-0,082	0,043	0,097	0,107	-0,032

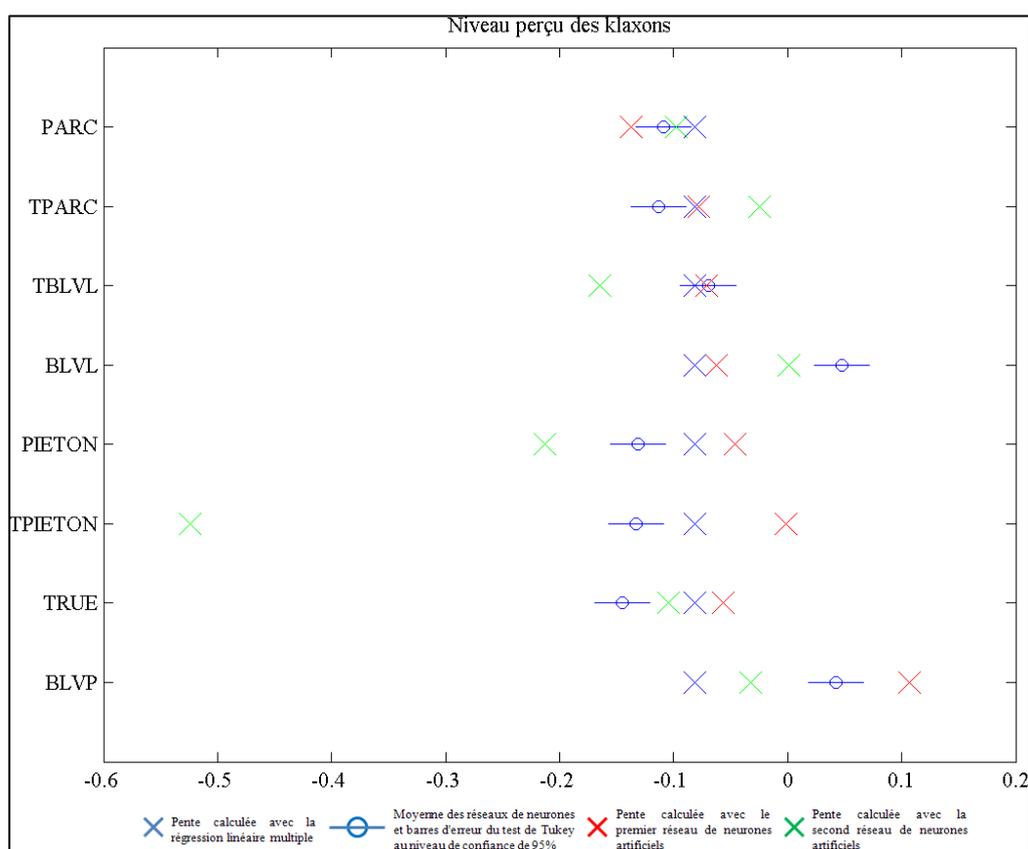


Figure 102 : Figure illustrative du Tableau LX pour la variable "Niveau perçu des klaxons".

5.2.11.4.11 NIVEAU PERÇU DES CYCLOMOTEURS

Tableau LXI : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Niveau perçu des cyclomoteurs".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	7,35	7	1,05	22,90	1E-30
Intra-groupes	183,15	3992	0,05		
Total (Corr.)	190,51	3999			

Tableau LXII : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Niveau perçu des cyclomoteurs" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	-0,047	-0,011	0,082	-0,205	0,023
Transition (Parc)	-0,047	-0,003	0,082	-0,158	-0,045
Transition (Bld / Lyon)	-0,047	-0,055	0,082	-0,034	-0,020
Boulevard (Lyon)	-0,047	-0,114	0,082	-0,057	-0,142
Rue piétonne	-0,047	-0,013	0,082	-0,001	-0,128
Transition (Piéton)	-0,047	-0,002	0,082	-0,162	-0,037
Transition (Rue)	-0,047	-0,094	0,082	-0,142	0,135
Boulevard (Paris)	-0,047	-0,084	0,082	-0,200	0,066

Concernant la variable "Niveau perçu des cyclomoteurs", le Tableau LXII et la Figure 103 montre deux groupes statistiquement différents. D'un côté les lieux circulés (TBLVL, BLVL, TRUE et BLVP) où l'influence du niveau de cyclomoteurs sur l'agrément sonore est négative, et de l'autre le parc (PARC), la transition côté parc (TPARC), la rue piétonne (PIETON) et la transition côté piéton (TPIETON) pour lesquels les valeurs de pentes sont également négatives mais proches de zéro. On retrouve donc ici la position "à part" des boulevards avec une présence des cyclomoteurs qui y est perçue de façon plus négative qu'ailleurs, alors que les klaxons y sont mieux acceptés comme vu au paragraphe précédent.

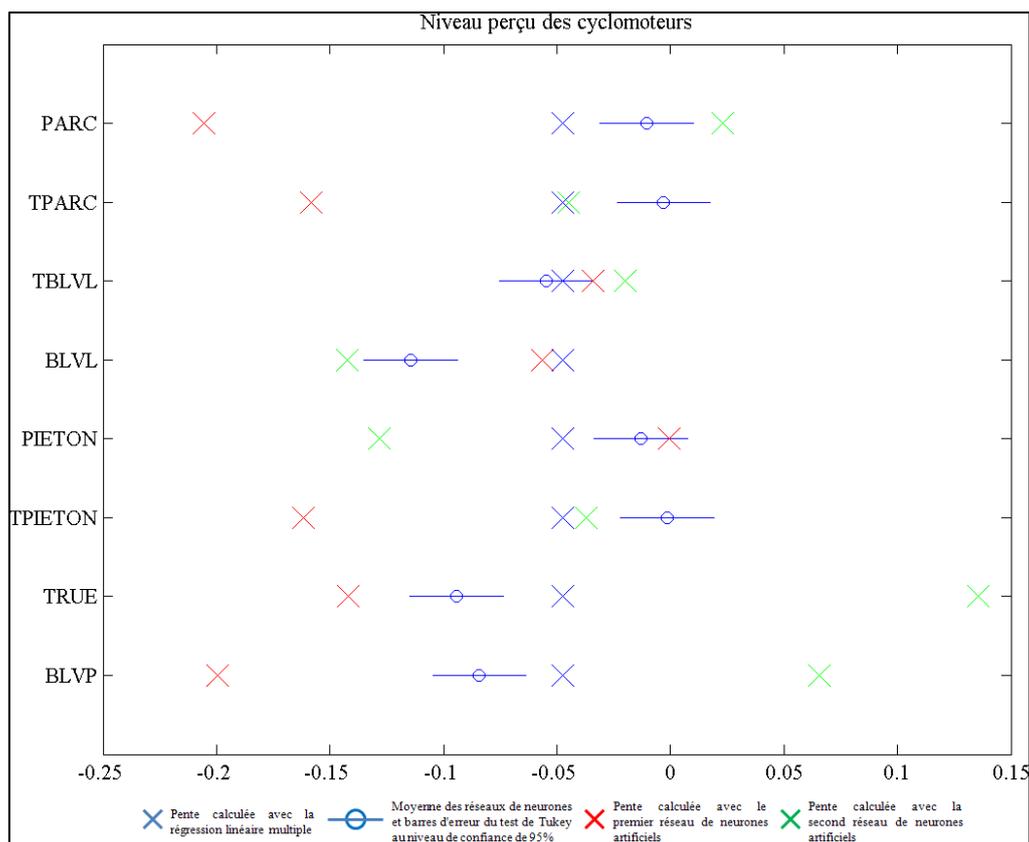


Figure 103 : Figure illustrative du Tableau LXII pour la variable "Niveau perçu des cyclomoteurs".

5.2.11.4.12 NIVEAU PERÇU DES POIDS LOURDS

Tableau LXIII : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Niveau perçu des poids lourds".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	5,31	7	0,76	11,03	7E-14
Intra-groupes	274,35	3992	0,07		
Total (Corr.)	279,66	3999			

Tout comme cela était déjà le cas avec le "Temps de présence des oiseaux", aucune différence de pente remarquable ne ressort entre les différents sites avec la variable "Niveau perçu des poids lourds". Tantôt positives, tantôt négatives, les valeurs de pentes trouvées sont extrêmement faibles et ne permettent pas de mettre en évidence une quelconque influence du niveau perçu des poids lourds sur l'agrément sonore. Tout comme pour le "Temps de présence des oiseaux", cette absence d'influence avec des valeurs de pente proches de zéro pour les huit sites étudiés est en concordance avec le coefficient, également très faible, trouvé dans l'équation de la régression linéaire (10), présentée au paragraphe 5.2.11.2, pour la variable "Niveau perçu des poids lourds".

Tableau LXIV : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Niveau perçu des poids lourds" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	-0,022	0,058	0,101	0,170	0,016
Transition (Parc)	-0,022	0,023	0,101	0,160	0,078
Transition (Bld / Lyon)	-0,022	0,097	0,101	0,100	-0,184
Boulevard (Lyon)	-0,022	-0,011	0,101	0,131	-0,157
Rue piétonne	-0,022	0,016	0,101	0,032	0,186
Transition (Piéton)	-0,022	-0,003	0,101	0,118	0,170
Transition (Rue)	-0,022	-0,021	0,101	0,077	0,041
Boulevard (Paris)	-0,022	0,033	0,101	0,075	-0,208

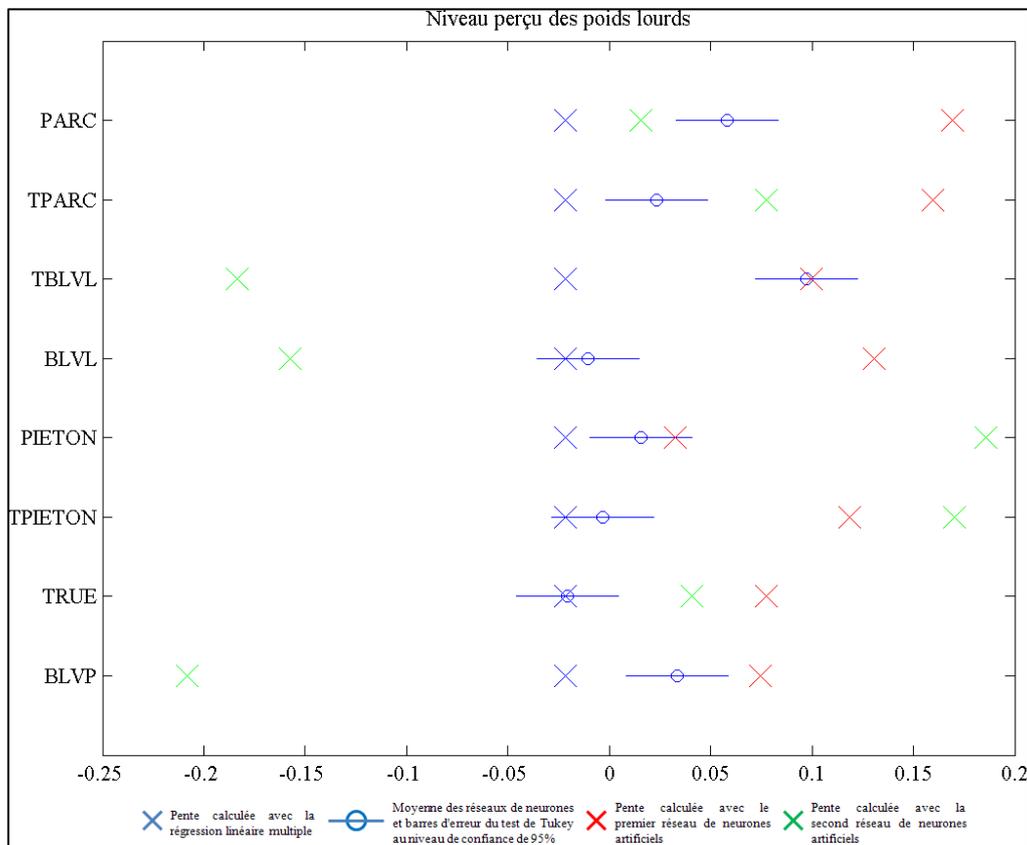


Figure 104 : Figure illustrative du Tableau pour la variable "Niveau perçu des poids lourds".

5.2.11.4.13 ASPECT SURPRENANT

Tableau LXV : Tableau de l'analyse de variance pour la variable "Aspect surprenant".

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	p
Inter-groupes	11,73	7	1,68	22,27	9E-30
Intra-groupes	300,31	3992	0,08		
Total (Corr.)	312,04	3999			

Tableau LXVI : Coefficient de la régression linéaire multiple, moyenne des pentes des 500 réseaux de neurones artificiels, erreur-type issue du test des comparaisons multiples HSD (Tukey) au niveau de confiance de 95%, pente calculée avec le premier réseau de neurones et pente calculée avec le second pour la variable "Aspect surprenant" et pour chacun des 8 lieux.

	REG	Moyenne ANN	Erreur-type (HSD)	ANN(1)	ANN(2)
Parc	-0,065	-0,039	0,105	0,030	-0,194
Transition (Parc)	-0,065	-0,132	0,105	-0,014	-0,313
Transition (Bld / Lyon)	-0,065	-0,239	0,105	-0,063	-0,430
Boulevard (Lyon)	-0,065	-0,201	0,105	-0,025	-0,217
Rue piétonne	-0,065	-0,171	0,105	-0,137	-0,129
Transition (Piéton)	-0,065	-0,162	0,105	-0,004	-0,262
Transition (Rue)	-0,065	-0,149	0,105	-0,091	-0,148
Boulevard (Paris)	-0,065	-0,167	0,105	-0,218	-0,263

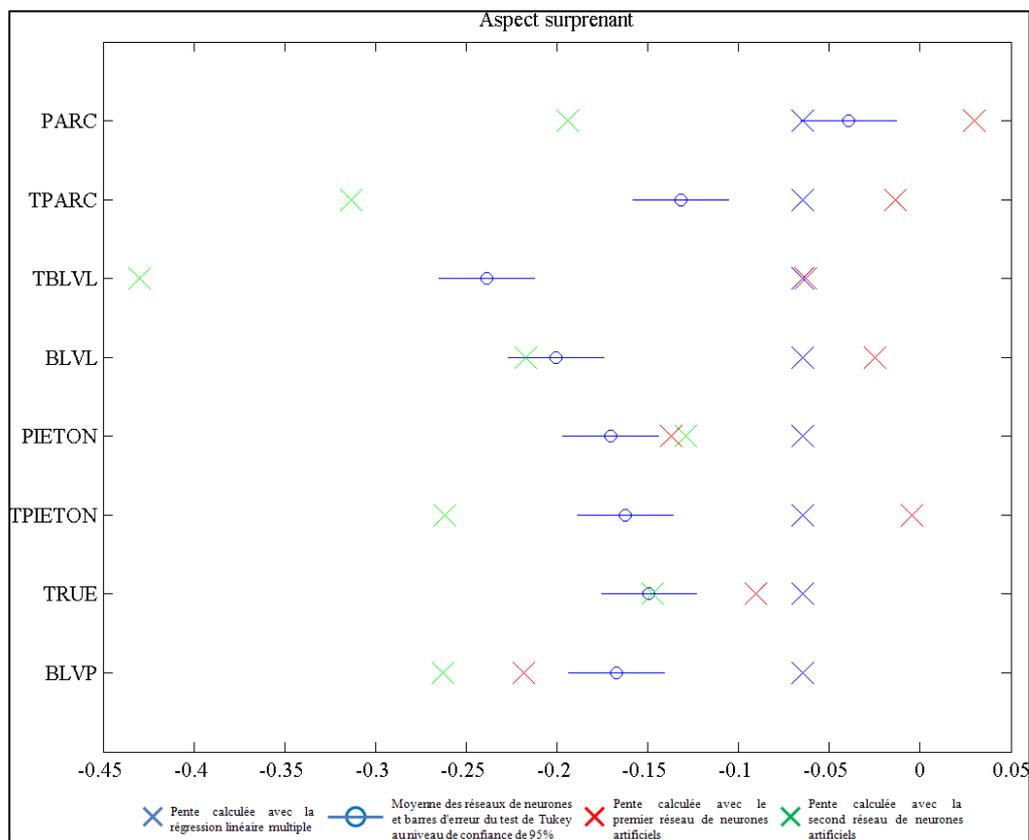


Figure 105 : Figure illustrative du Tableau LXVI pour la variable "Aspect surprenant".

Concernant la variable "Aspect Surprenant", seul le parc apparaît être statistiquement différent des autres lieux avec une influence quasiment nulle et par ailleurs une pente moyenne des réseaux de neurones qui est la plus proche de la pente fournie par la régression (comparativement aux autres lieux).

A ce propos, il est d'ailleurs remarquable que pour toutes les autres variables vues jusqu'ici, les pentes moyennes fournies par les réseaux de neurones se répartissent généralement suivant

les lieux autour de la pente calculée par la régression linéaire multiple alors que dans le cas de l'aspect surprenant, il semble que la régression linéaire multiple sous-estime l'influence assez négative de cette variable (comparativement aux réseaux de neurones artificiels).

5.2.11.4.14 CORRELATIONS ENTRE VALEURS DE PENTES MOYENNES ET VALEURS MOYENNES ESTIMEES POUR CHAQUE VARIABLE

Comme cela a été vu au paragraphe 5.2.11.4.9 pour la variable "Silence" plus un lieu est silencieux et plus la relation entre cette variable "Silence" et l'agrément sonore est faible. Autrement dit, dans un lieu déjà silencieux il faudra une forte augmentation du silence pour avoir un gain conséquent de l'agrément sonore, alors que dans un lieu bruyant, une faible diminution du bruit se traduira par une augmentation notable de l'agrément sonore. Afin de vérifier cette information, nous avons voulu savoir s'il existait pour la variable "Silence", mais également pour toutes les autres variables, une corrélation entre les valeurs moyennes de pente calculées pour chaque variable et les valeurs moyennes de ces variables en chacun des lieux. Pour chacun de ces points (valeur moyenne de la variable, moyenne des pentes calculées pour cette variable) présentés sur les Figure 106 à Figure 118, des corrélations de Bravais-Pearson ont été calculées. Les résultats de ces calculs de corrélation sont présentés dans le Tableau LXVII.

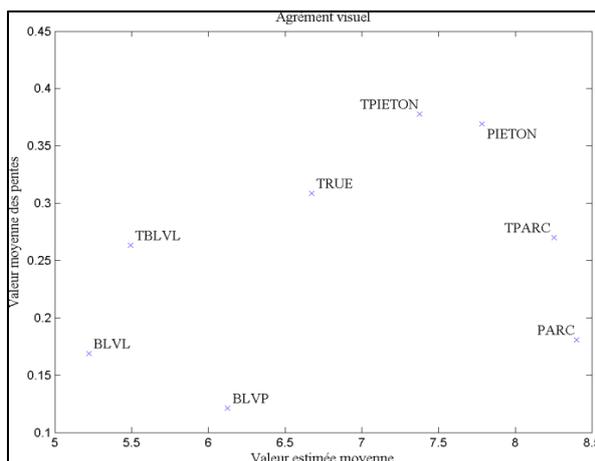


Figure 106 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Agrément visuel".

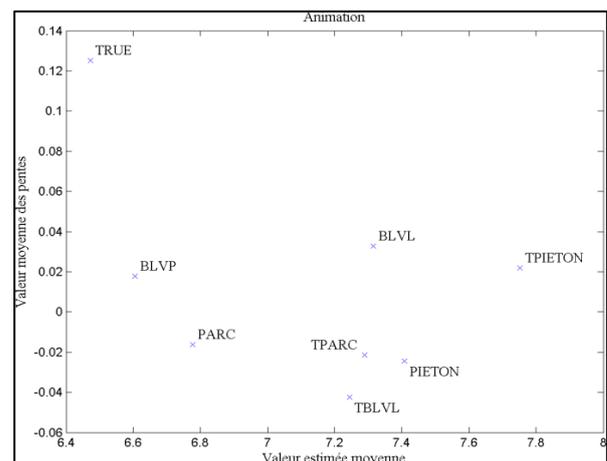


Figure 107 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Animation".

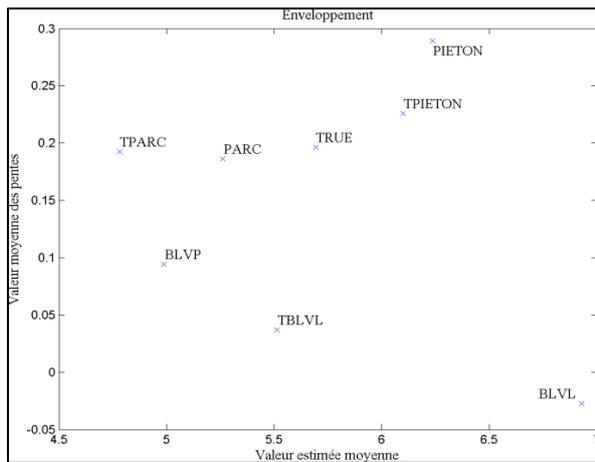


Figure 108 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Enveloppement".

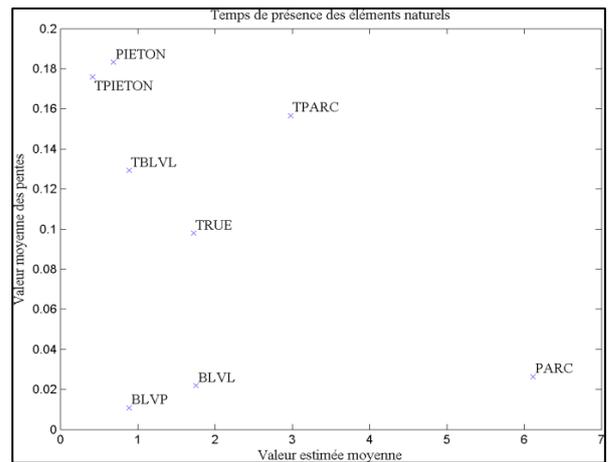


Figure 111 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Temps de présence des éléments naturels".

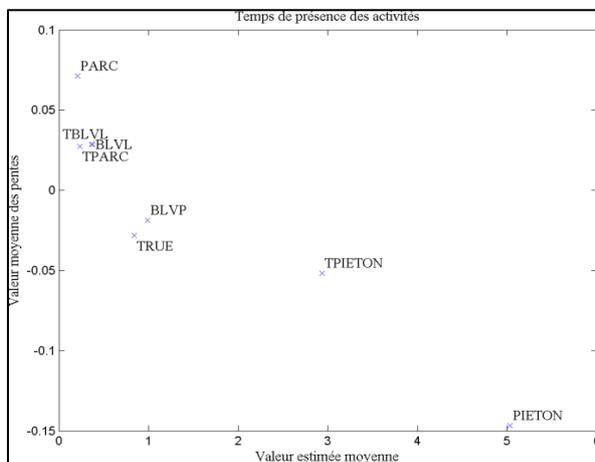


Figure 109 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Temps de présence des activités".

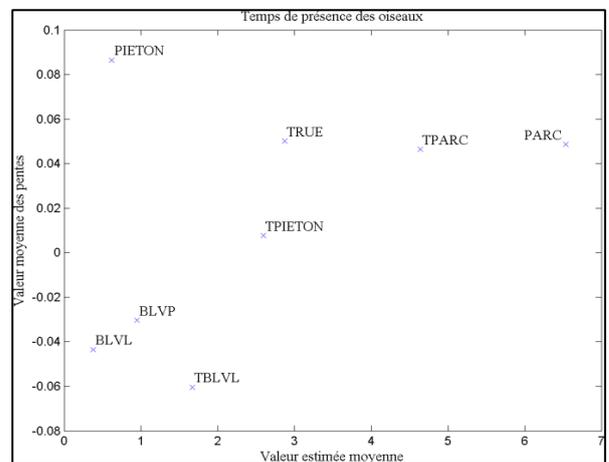


Figure 112 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Temps de présence des oiseaux".

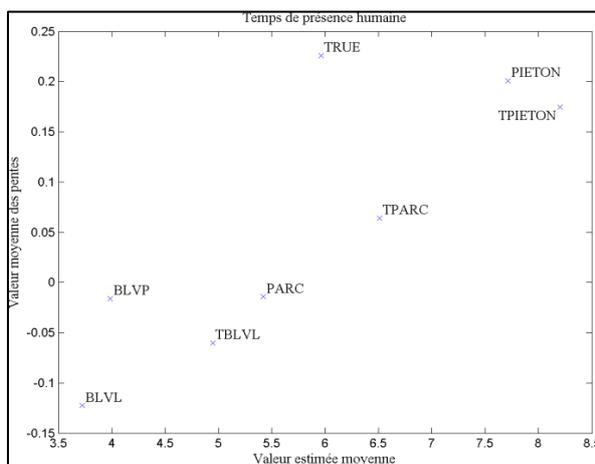


Figure 110 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Temps de présence humaine".

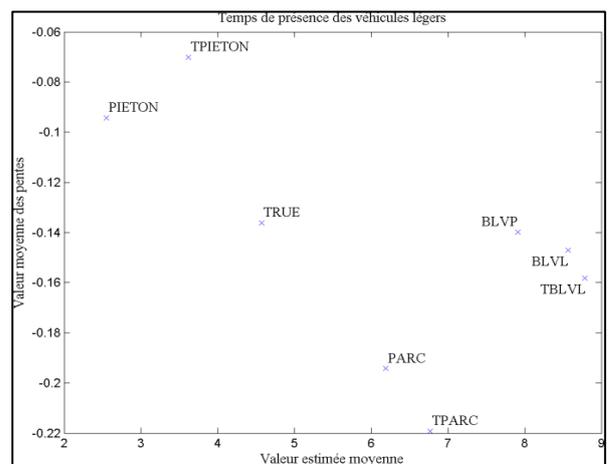


Figure 113 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Temps de présence des véhicules légers".

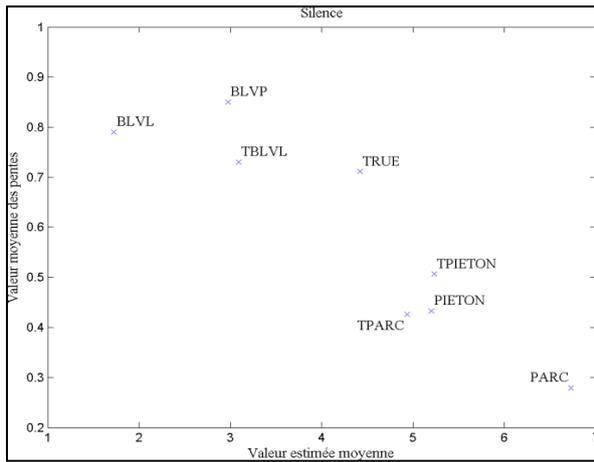


Figure 114 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Silence".

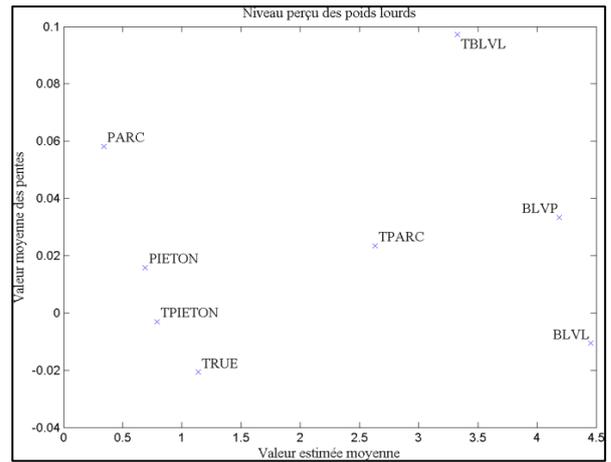


Figure 117 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Niveau perçu des poids lourds".

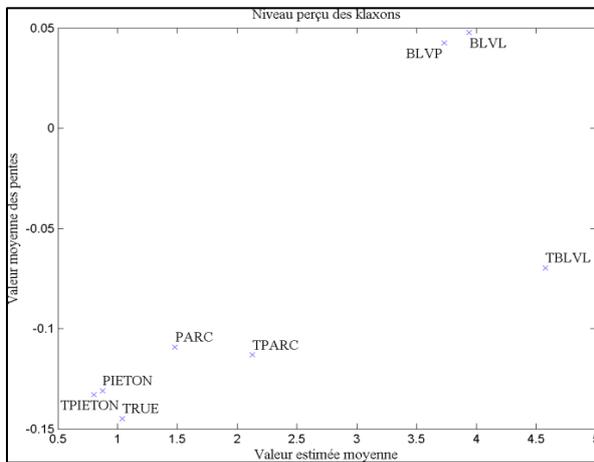


Figure 115 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Niveau perçu des klaxons".

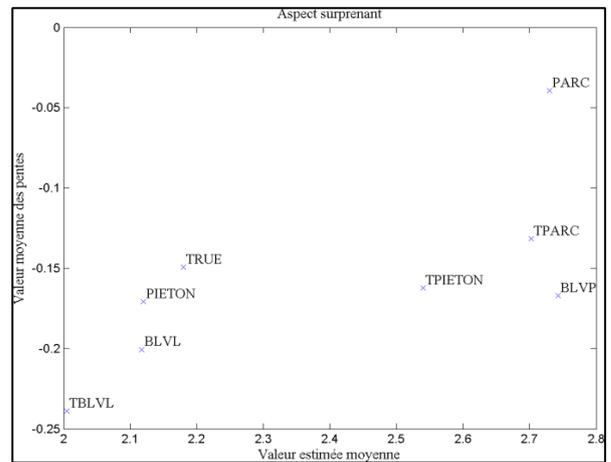


Figure 118 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Aspect surprenant".

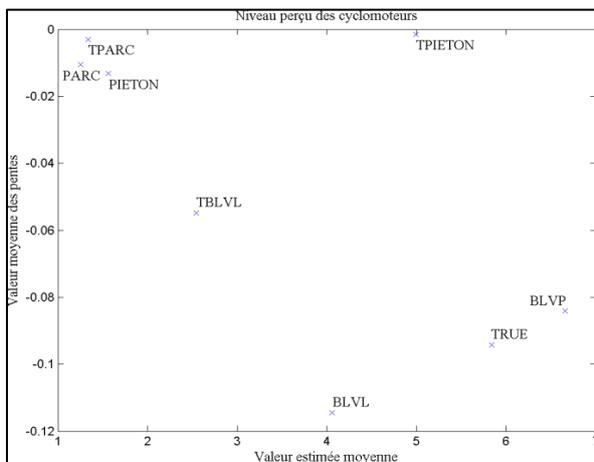


Figure 116 : Moyenne des pentes calculées en fonction des valeurs moyennes de la variable "Niveau perçu des cyclomoteurs".

Tableau LXVII : Corrélations de Bravais-Pearson entre les valeurs moyennes de chaque variable et les valeurs moyennes de pente calculées de ces variables pour les huit lieux étudiés.

Variable	R	p	Corrélation à 95%
Agrément visuel	0,362	0,379	Non
Animation	-0,485	0,223	Non
Enveloppement	-0,206	0,624	Non
Temps de présence des activités	-0,940	0,001	Oui
Temps de présence humaine	0,824	0,012	Oui
Temps de présence des éléments naturels	-0,414	0,308	Non
Temps de présence des oiseaux	0,426	0,292	Non
Temps de présence des véhicules légers	-0,588	0,125	Non
Silence	-0,909	0,002	Oui
Niveau perçu des klaxons	0,798	0,018	Oui
Niveau perçu des cyclomoteurs	-0,627	0,096	Non
Niveau perçu des poids lourds	0,126	0,766	Non
Aspect surprenant	0,695	0,056	Non

Au regard des corrélations de Bravais-Pearson calculées, seules quatre variables présentent une corrélation significative à 95% entre les valeurs moyennes et les moyennes de pente calculées. Ces quatre variables sont le "Temps de présence des activités", le "Temps de présence humaine", le "Silence" et le "Niveau perçu des klaxons". Or, hormis pour le "Silence", les pentes calculées pour les trois variables sont tantôt positives et tantôt négatives, selon le site considéré. Aussi il ne serait pas juste de conclure d'après les corrélations calculées que pour le "Temps de présence des activités" (variable qui présente la plus forte corrélation), plus le temps de présence augmente et plus la relation qui lie cette variable à l'agrément sonore est faible. En effet, au regard de la Figure 109, lorsque le temps de présence des activités est faible (inférieur à 0,5 en moyenne pour les points PARC, TPARC, TBLVL et BLVL), l'impact de cette variable sur l'agrément sonore est certes faible (compris entre 0,027 et 0,071) mais positif, alors que quand ce temps de présence augmente, l'impact augmente proportionnellement mais devient négatif. Il existerait donc un seuil (indéterminable) à partir duquel le sens de pente s'inverserait.

Parmi les quatre variables qui présentent une corrélation entre les valeurs moyennes et les pentes calculées, seule la variable "Silence" permet de tirer une conclusion simple : plus le lieu est bruyant, plus une faible réduction du bruit (ou augmentation du silence) conduira à une forte augmentation de l'agrément sonore.

5.2.11.4.15 COMPARAISON ENTRE LES VALEURS MOYENNES DE PENTE ET LES VALEURS CALCULEES A PARTIR DES DEUX RESEAUX DE NEURONES

Comme expliqué au paragraphe 5.2.11.4.1, nous avons pris soin de représenter sur chaque figure d'analyse de variance, les pentes calculées avec la régression linéaire multiple (coefficient de l'équation de régression) ainsi que celles calculées avec les deux "meilleurs" réseaux de neurones artificiels établis. De cette représentation, il apparaît tout d'abord en comparant la pente de la régression et les moyennes de pentes des 500 réseaux de neurones que ces derniers apportent un vrai plus dans l'interprétation de l'influence d'une seule variable issue d'un modèle global à un niveau local. Par exemple, l'influence de la variable "Silence" diffère selon le lieu considéré. Parfois elle est moins importante que celle mise en évidence avec la régression linéaire multiple (PARC, TPARC et PIETON), parfois supérieure (TBLVL, BLVL, TRUE et BLVP) et parfois similaire (TPIETON).

Par ailleurs, les différentes représentations (Figure 93 à Figure 105) nous amène à nous questionner sur l'interprétation qui peut être faite vis-à-vis des pentes calculés à travers un seul réseau de neurones, aussi bon soit-il. En comparant cette fois ci les moyennes de pente issues des réseaux de neurones avec les pentes calculées avec le premier puis le second réseau de neurones, il est intéressant de constater qu'il n'y a pas de lien entre les moyennes et l'un (ANN(1)) ou l'autre (ANN(2)) réseau. Par exemple pour la variable "Silence" (cf. Figure 101) toutes les configurations possibles se retrouvent sur cette seule variable :

- les valeurs de pente calculées par les deux réseaux de neurones sont proches de la valeur moyenne (PARC),
- la valeur calculée par le premier réseau de neurones est proche de la valeur moyenne mais pas celle calculée par le second réseau de neurones (TBLVL),
- la valeur calculée par le second réseau de neurones est proche de la valeur moyenne mais pas celle calculée par le premier réseau de neurones (TRUE),
- les valeurs des deux réseaux de neurones sont très inférieures à la valeur moyenne (BLVL),
- la valeur du premier réseau de neurones est très inférieure à la moyenne alors que celle du second réseau de neurones est très supérieure (PIETON).

Des remarques similaires peuvent être apportées sur toutes les autres variables. Les résultats sont différents selon que l'on considère les moyennes ou un seul réseau de neurones. Ceci pose donc un problème vis-à-vis des interprétations qui peuvent être faites de l'influence des différentes variables explicatives à partir d'un seul réseau de neurones, même si ce réseau de neurones a été sélectionné sur la base de critères qui tendaient à le rendre "meilleur" que la régression linéaire multiple.

En effet, des différences d'influence des variables en fonction des lieux ne peuvent être mises en évidence qu'à travers les réseaux de neurones (et non avec la régression linéaire multiple comme cela a été montré) et il est donc nécessaire d'établir un grand nombre de réseaux de neurones afin de garantir une certaine validité des résultats obtenus. Cependant, d'un point de vue de la prédiction et de l'indicateur, il n'est pas possible de moyenner des réseaux de neurones et un seul s'impose, d'autant qu'il a été démontré tout au long de cette étude qu'il était possible de déterminer différents modèles de réseaux de neurones tout à fait valides d'un point de vue prédictif comparativement à des modèles de régressions linéaires multiples.

5.2.12 MODELE GLOBAL REDUIT A 6, PUIS 5 VARIABLES

Comme cela a été vu au paragraphe 5.2.11.2, certaines variables dans l'équation (10) du modèle de régression linéaire multiple ont des coefficients nuls ou très faibles, comme par exemple les variables "Présence des activités", "Présence humaine" ou encore "Niveau perçu des poids lourds". Aussi pour ne pas essayer d'expliquer des coefficients peu logiques dans la régression, voire non significatifs, nous avons voulu réduire de nouveau le nombre de variables indépendantes, en utilisant cette fois-ci une méthode de régression pas à pas descendante. En effet, le nombre important de sujets nous permet d'effectuer ici cette sélection de façon plus mathématique et *a posteriori*.

5.2.12.1 REDUCTION DU MODELE

Dans la pratique, en partant de l'équation (10) avec 13 variables présentée au paragraphe 5.2.11.2 il s'agit à chaque étape d'exclure une variable non significative jusqu'au moment où la dernière variable ôtée porte préjudice à la qualité des résultats.

Cette méthode de régression pas à pas descendante conduit donc à la sélection des six variables suivantes : "Agrément visuel", "Animation", "Enveloppement", "Présence des véhicules légers", "Silence" et "Niveau perçu des klaxons".

5.2.12.2 EQUATION DE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

A partir de ces six variables, un nouveau modèle de régression linéaire multiple a donc été établi, toujours suivant la même procédure, c'est-à-dire en sélectionnant des bases de données (construction et test) qui donnera le meilleur résultat de régression possible. L'équation (11) ainsi que le Tableau LXVIII qui reprend les tests de Student sur les coefficients de cette régression sont présentés ci-après.

$$\text{Ag.Son} = - 1,56 + 0,38 * \text{Ag.Vis} + 0,22 * \text{Anim} + 0,10 * \text{Env} - 0,10 * \text{Pres.VL} + 0,65 * \text{Sil} - 0,05 * \text{Son.Klax} \quad (11)$$

Tableau LXVIII : Coefficient, t-Student et valeur de p associées pour chacune des variables de l'équation de régression linéaire multiple.

Variable	Coefficient	t-Student	p
Const	-1,56	-1,83	0,07
Ag.Vis	0,38	5,40	0,00
Anim	0,22	3,38	0,00
Env	0,10	1,97	0,05
Pres.VL	-0,10	-2,13	0,03
Sil	0,65	9,28	0,00
Son.Klax	-0,05	-1,31	0,19

Il est très intéressant de constater qu'en ayant réduit le nombre de variables à six, plus aucune variable ne semble avoir d'influence nulle. La variable "Silence" reste toujours celle qui a le plus d'impact sur l'agrément sonore avec un coefficient de 0,65, suivi de la variable "Agrément visuel" (0,38) comme cela était déjà le cas avec le modèle établi auparavant avec 13 variables. Par ailleurs, le "Niveau perçu des klaxons" est la variable qui a le plus faible coefficient. C'est d'ailleurs la seule variable qui n'est pas significative au regard du test de Student. Aussi, en étant encore plus strict, on peut ne retenir que les cinq variables suivantes : "Agrément visuel", "Animation", "Enveloppement", "Temps de présence des véhicules légers" et "Silence".

5.2.12.3 COMPARAISON ENTRE LA REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE ET LE RESEAU DE NEURONES

Afin de compléter l'étude de ce modèle de qualité sonore avec 5 variables explicatives, un réseau de neurones artificiels a été déterminé. Il ne s'agit pas ici de recommencer une analyse de variance, l'intérêt d'un seul bon réseau de neurones ou d'un grand nombre ayant été démontré au paragraphe précédent avec les modèles à 13 variables. Le but de déterminer un nouveau réseau de neurones est avant tout de pouvoir le comparer avec la régression linéaire multiple d'un point de vue prédictif.

La sélection de ce réseau de neurones artificiels a donc été réalisée en suivant la procédure établie lors de l'analyse des modèles prédictifs lieux par lieux. En effet, en ayant réduit le nombre de variables à cinq, il a dès lors été possible de déterminer un réseau de neurones artificiels meilleur que le modèle de régression linéaire multiple qui satisfasse les deux conditions $R_c^2(ANN) > R_c^2(REG)$ et $R_t^2(ANN) > R_t^2(REG)$. Les résultats de coefficients de corrélation au carré issus de ce réseau de neurones artificiels ainsi que ceux calculés avec la régression linéaire multiple sont présentés dans le Tableau LXIX.

Tableau LXIX : Liste des coefficients de corrélation au carré et de p issus des modèles de régression linéaire multiple et de réseau de neurones.

Base de données	Régression linéaire multiple		Réseau de neurones	
	R ²	p-value	R ²	p-value
Construction	0,56	1,82E-41	0,61	5,54E-47
Test	0,69	9,41E-26	0,76	5,50E-31
Totalité	0,59	1,08E-63	0,64	1,73E-73

Il est remarquable dans ce tableau que les deux modèles de prédictions sont proches en termes de R². Sur la base de test, qui est celle qui représente le mieux la validité des modèles face à de nouvelles données inconnues, le réseau de neurones artificiels semble tout de même pouvoir donner de meilleurs résultats que la régression linéaire multiple.

Nous avons donc à disposition deux modèles de prédiction de l'agrément sonore, basés sur cinq variables perceptives qui sont très proches, même si le réseau de neurones artificiels semble avoir un léger avantage sur la régression linéaire multiple si l'on se base uniquement sur les résultats provenant de la base de test. Ce modèle peut donc être choisi pour servir de base à la construction d'un indicateur de qualité sonore.

5.3 CONCLUSION

Le but du chapitre 5 de ce projet était de définir des modèles de prédiction de l'agrément sonore basés sur les régressions linéaires multiples et sur les réseaux de neurones. A partir de données perceptives nous avons pu dans un premier temps établir des modèles caractéristiques d'ambiances sonores typées (parc, boulevard, rue piétonne) et non typées (zones de transition). Les paramètres qui permettent de définir l'agrément sonore sont donc propres aux lieux étudiés. Il est à noter que le nombre de ces paramètres a entre autre été dicté par des conditions purement mathématiques. En effet compte tenu du nombre réduit de données par lieu, il était nécessaire de réduire le nombre de variables indépendantes afin d'assurer la validité des modèles.

Par la suite, nous avons pu établir des modèles prédictifs globaux qui tiennent compte de l'ensemble des sujets et des lieux étudiés. Dans ces modèles, treize variables ont tout d'abord été retenues pour expliquer l'agrément sonore : "Agrément visuel", "Animation", "Enveloppement", "Temps de présence des activités", "Temps de présence de présence humaine", "Temps de présence des éléments naturels", "Temps de présence des oiseaux", "Temps de présence des véhicules légers", "Silence", "Niveau perçu des klaxons et sirènes", "Niveau perçu des cyclomoteurs", "Niveau perçu des poids lourds" et Surprenant. Parmi ces treize variables, le silence est en toute logique celui qui a la plus grande importance, vient ensuite l'agrément visuel.

En développant la réduction du nombre de variables, celui-ci a été ramené à cinq, à savoir : "Agrément visuel", "Animation", "Enveloppement", "Temps de présence des véhicules légers" et "Silence". Là encore, le silence et l'agrément visuel se révèlent être les deux variables les plus influentes sur l'agrément sonore.

Si on s'attarde à la comparaison des deux types de modèles, régressions linéaires multiples et réseaux de neurones artificiels, ces derniers se révèlent être de meilleurs prédicteurs de l'agrément sonore, du moins sur la base de comparaison que nous avons choisi, c'est-à-dire sur le coefficient de corrélation entre valeurs mesurées et valeurs prédites. Qu'il s'agisse de modèles locaux ou d'un modèle global, il a presque toujours été possible de déterminer un modèle de réseau de neurones meilleur d'un point de vue prédictif que le modèle de régression linéaire multiple (même si la différence reste parfois limitée). Un indicateur de qualité sonore

construit sur ce dernier modèle semble donc être un choix pertinent. Mais quelles sont les qualités de cet indicateur ?

En se référant aux critères permettant de qualifier les indicateurs énoncés au paragraphe 2.4, les deux modèles (régressions linéaires et réseaux de neurones) ont été notés suivant une notation en 4 points allant de pauvre à excellent. Ces notations sont détaillées ci-après et présentées dans le Tableau LXX.

Parmi tous les critères, certains ne posent aucune ambiguïté vis-à-vis de l'indicateur proposé (qu'il s'agisse des régressions linéaires multiples ou des réseaux de neurones artificiels). Ainsi une note de 4 peut être donnée à l'indicateur de qualité sonore en ce qui concerne la fiabilité, puisque répétée sur une même population et presque en même temps, la mesure de cet indicateur donnera la même valeur. De même, l'indicateur est interprétable puisqu'il permet une lecture facile. Il se situe sur une échelle entre 0 et 10 où 0 représente une très mauvaise qualité sonore alors que 10 symbolise une qualité excellente. Enfin, l'indicateur proposé ne nécessite nullement des données qui vont à l'encontre de la préoccupation éthique.

Du point de vue de la validité, difficile de dire que l'indicateur établi (basé sur les régressions ou sur les réseaux de neurones) mesure avec certitude la qualité de l'environnement sonore. En effet, il a été établi pour cela, mais il n'est pas impossible que derrière la qualité sonore se cachent d'autres facteurs. Aussi, sur l'échelle en 4 points proposée, seule une note de 3 est attribuée à l'indicateur en termes de validité.

Pour ce qui est de la mesurabilité, de la disponibilité des données et de la pertinence, une note de 2 est donnée à l'indicateur (suivant les deux méthodes). Les données d'entrées de l'indicateur font appel à un grand nombre de sujets ce qui traduit à la fois par un temps de recueil assez long et un coût financier qui peut être assez élevé.

Enfin, deux critères méritent d'être discutés puisqu'ils n'ont pas la même valeur suivant que l'indicateur se base sur les régressions linéaires multiples ou sur les réseaux de neurones artificiels. En effet "un indicateur transparent est celui qu'il est possible de comprendre et possible de reproduire pour des utilisateurs qui le souhaitent". Si les régressions linéaires multiples sont aisément compréhensibles à partir de l'équation de régression, il n'en va pas de même pour les réseaux de neurones artificiels qui ne laissent apparaître que le résultat. Même si au cours du travail présenté ici, il a été possible de connaître d'une certaine façon les liens qui unissent l'agrément sonore aux autres variables explicatives, les réseaux de neurones

restent tout de même peu transparents. Ainsi, du point de vue de la transparence, une note de 4 est attribuée aux régressions linéaires multiples et seulement 2 pour les réseaux de neurones. En revanche, dans le complément d'information donnée par le groupe de recherche COST 356 [JOURMARD 2010] à propos de chaque critère, il est précisé que "les indicateurs devraient réagir clairement et rapidement à des changements significatifs dans le phénomène qu'ils indiquent". Aussi, de par la nature de la relation entre la qualité sonore et les variables explicatives, les réseaux de neurones artificiels semblent être des modèles plus sensibles que les régressions linéaires multiples. Ainsi une note de 2 est donnée à ces dernières et 3 aux premiers cités.

Tableau LXX : Evaluation de la qualité des indicateurs proposés

	Régressions linéaires multiples	Réseaux de neurones artificiels
Validité	xxx	xxx
Fiabilité	xxxx	xxxx
Sensibilité	xx	xxx
Mesurabilité	xx	xx
Disponibilité des données	xx	xx
Préoccupation éthique	xxxx	xxxx
Transparence	xxxx	xx
Interprétabilité	xxxx	xxxx
Pertinence	xx	xx
Faisabilité	xxx	xxx

x=pauvre; xx=limité; xxx=bon; xxxx=excellent

Au regard du Tableau LXX, il apparaît que les deux modèles prédictifs se valent hormis sur le critère de la transparence et de la sensibilité. En effet, les deux types de modèles sont censés prédire la même valeur et sont construits à partir des mêmes données. Ce qui les différencie est simplement la façon dont ces deux modèles sont construits. De par leur côté "boîte noire" et leur aspect aléatoire, les réseaux de neurones artificiels sont moins compréhensibles que les régressions linéaires multiples.