

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la  
technologie  
Département : D'architecture  
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم :.....  
المرجع :.....

Thèse présentée en vue de l'obtention  
du diplôme de

## Doctorat en Architecture

Spécialité : Architecture, environnement et patrimoine.

# Morphologie urbaine et pollution sonore : étude de cause à effet. Cas de la ville de Biskra.

Présentée par : Bouzir Tallal Abdel Karim

Soutenue publiquement le .....

### Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mr BELAKEHAL Azzedine	Professeur	Univ. de Biskra	Président
Mr ZEMMOURI Nouredine	Professeur	Univ. de Biskra	Rapporteur
Mme DEBBACHE Samira	Professeur	Univ. de Constantine	Examinatrice
Mme ROUAG SAFFIDINE Djamilia	professeur	Univ. de Constantine	Examinatrice
Mr BELGHAR Nouredine	M.C.A	Univ. de Biskra	Examineur



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la  
technologie  
Département : D'architecture  
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم :.....  
المرجع :.....

Thèse présentée en vue de l'obtention  
du diplôme de

## Doctorat en Architecture

Spécialité : Architecture, environnement et patrimoine.

# Morphologie urbaine et pollution sonore : étude de cause à effet. Cas de la ville de Biskra.

Présentée par : Bouzir Tallal Abdel Karim

Soutenue publiquement le .....

### Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mr BELAKEHAL Azzedine	Professeur	Univ. de Biskra	Président
Mr ZEMMOURI Nouredine	Professeur	Univ. de Biskra	Rapporteur
Mme DEBBACHE Samira	Professeur	Univ. de Constantine	Examinatrice
Mme ROUAG SAFFIDINE Djamilia	professeur	Univ. de Constantine	Examinatrice
Mr BELGHAR Nouredine	M.C.A	Univ. de Biskra	Examineur



## **Remerciement**

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier tout particulièrement mon Directeur de thèse, le Professeur **Nourdinne ZEMMOURI** pour m'avoir guidé pendant ces années, pour sa disponibilité avec son sourire optimiste, son soutien, ses idées, ses conseils, et surtout pour la confiance qu'il m'a accordée depuis le choix du thème de cette thèse.*

*Je souhaite remercier le Professeur **Azzedine BELAKEHAL**, le Président du jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail de recherche. Je remercie également le Docteur **Noureddine BELGHAR** de l'Université de Biskra ainsi que les professeurs **Samira DEBBACHE** et **Djamila Rouag SAFFIDINE** de l'université de Constantine de nous faire l'honneur d'être membres du jury et d'évaluer ce travail doctoral.*

*J'aimerais remercier également le Professeur **Abderrahmane BERKOUK** pour ses orientations, notamment en méthodologie de recherche, et je tiens à remercier profondément le Professeur **Said MAZOUZ** pour ses conseils fructueux lors des journées doctorales, ainsi que mon collègue et mon ami, le Docteur **Djihed BERKOUK** pour son soutien, ses commentaires et ses critiques pendant tout notre parcours.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui ont participé à ces travaux, notamment l'équipe d'acquisition des données, avec laquelle il était parfois nécessaire de négocier !!; que ce soit pour des mesures in situ, des enregistrements, ou encore pour faire passer les entretiens : **Bouzir Okba** et **Mohamed, Bakiri Hassan** et **Houssain, Bendahmane Sohaib, Zaroil mohamed, Fayçal** et **Walid Bouzir**. Sans cette équipe, ce travail n'aurait jamais pu être réalisé.*

*J'ai également une pensée pour toutes les personnes qui ont accepté de donner de leurs temps pour répondre au questionnaire et participer aux tests d'écoutes. Leurs précieuses réponses sont la base de ce travail.*

*Merci à ma famille, mes amis et mes collègues pour leur soutien moral et scientifique lors de la réalisation de ce travail et en particulier ma cousine **Saliha Kadari** pour avoir consacré de son temps et de sa patience à la lecture et à la correction de mon manuscrit.*

*J'en profite également pour dédier ce travail :*

*À la mémoire de mon père **Bouzir Ghazali**, que Dieu le garde dans son vaste paradis.*

*À ma très chère mère, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études, sans toi, ce travail n'aurait jamais vu le jour.*

*À mon oncle pour son soutien.*

*À Mes frères et mes sœurs.*

*Et finalement, À la mémoire de mon enseignant*

***Kamal Boulenoir**,*

*Que Dieu le garde dans son vaste paradis.*

## Résumé

La présente recherche analyse la relation entre la morphologie urbaine et l'environnement sonore, sachant que la ville de Biskra a été considérée comme contexte de cette étude. Le travail d'analyse a été réalisé sur trois étapes. Dans la première, nous avons effectué une campagne de mesures *in situ* dans les différentes entités urbaines représentatives à l'aide d'un sonomètre (Landtek SL5868P), afin d'évaluer la situation sonore actuelle de cette ville en la reliant aux caractéristiques morphologiques des tissus urbains. Dans la deuxième étape une évaluation subjective de l'environnement sonore a été effectuée à l'aide de l'utilisation d'un questionnaire qui repose sur la méthode d'écoute réactivée. Les résultats de ces deux parties ont montré que la ville de Biskra souffre d'un problème de pollution sonore, due principalement au bruit routier, et qu'il existe une significative relation entre la morphologie urbaine, le type de paysage sonore et le taux de pollution acoustique. D'autre part, la recherche a visé dans la troisième étape à étudier l'effet des indicateurs physiques des morphologies urbaines sur la distribution de bruit routier et sur les variations d'intensité sonore au sein des quartiers ainsi qu'au niveau des façades, en utilisant la méthode de la cartographie sonore. Le résultat de cette partie a montré l'existence d'une très forte relation entre les indicateurs physico-morphologiques, la qualité de l'environnement sonore et la répartition de bruit notamment routier. L'analyse croisée des résultats a montré que l'effet de la morphologie urbaine sur la qualité de l'environnement sonore est très significatif, nous devons le prendre en considération dès les premières lignes d'esquisse afin d'assurer des ambiances sonores urbaines confortables et saines.

**Mots clés :** Morphologie urbaine ; Pollution sonore ; Trafic routier ; Cartographie du bruit ; Soundscape ; Indicateurs de qualité sonore.

## Abstract

The present research analyzes the relationship between urban morphology and the sound environment of the city of Biskra. The analysis work was done in three stages. In the first, we conducted an in-situ measurement in the various representative urban entities by using a sound level meter (Landtek SL5868P) to evaluate the current sound situation of this city by linking it to the morphological characteristics of the urban fabrics. In the second step, a subjective assessment of the sound environment was conducted using a questionnaire based on the reactivated listening method. The results of these two parts showed that the city of Biskra suffers from a noise pollution problem, mainly due to road noise and that there is a significant relationship between the urban morphology, the soundscape type and the noise pollution rate. On the other hand, this research aimed in the third stage at studying the effect of the physical indicators of urban morphologies on the road noise distribution and on the variations of sound intensity within the districts as well as on the facades level by using the noise mapping method. The result of this part showed the existence of a very strong relationship between the physico-morphological indicators, the sound environment quality and the road noise distribution. The cross-analysis of the results showed that the effect of urban morphology on the sound environment quality is very significant; we must consider it from the first lines of design to ensure comfortable and healthy urban soundscapes.

**Key words:** Urban morphology; noise pollution; road traffic; noise mapping; soundscape; Sound quality indicators.

# Table des matières

Table des matières

<b>Remerciement</b> .....	<b>5</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>7</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>8</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>9</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>14</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>21</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Notion de base d'acoustique et de propagation sonore</b> .....	<b>8</b>
I _ 1 Introduction.....	9
I _ 2 Notions de base en acoustique .....	9
I _ 2 _ 1 Onde mécanique.....	9
I _ 2 _ 2 Onde acoustique.....	10
I _ 2 _ 3 Le son .....	10
I _ 2 _ 4 Caractéristiques fondamentales du son .....	11
I _ 2 _ 5 Intervalle fréquentiel audible .....	15
I _ 2 _ 6 Champ auditif.....	16
I _ 3 Phases de la propagation sonore .....	17
I _ 3 _ 1 Émission .....	17
I _ 3 _ 2 Propagation.....	17
I _ 3 _ 3 Réception.....	25
I _ 4 Modes de représentation du son .....	28
I _ 4 _ 1 Présentation en 2D .....	28
I _ 4 _ 2 Présentation en 3D .....	30
I _ 5 Conclusion .....	31
<b>Chapitre II : Morphologie urbaine et propagation sonore</b> .....	<b>32</b>
II _ 1 Introduction.....	33
II _ 2 Morphologie urbaine.....	33
II _ 3 Forme urbaine .....	34

II _ 3 _ 1	Eléments de la forme urbaine .....	34
II _ 3 _ 2	Approches morphologiques.....	36
II _ 4	Éléments constitutifs d'un tissu urbain .....	38
II _ 4 _ 1	Voies .....	38
II _ 4 _ 2	Quartiers.....	44
II _ 5	Forme urbaine et environnement sonore.....	49
II _ 5 _ 1	Indicateurs morphologiques.....	49
II _ 5 _ 2	Indicateurs morphologiques et développement durable.....	49
II _ 5 _ 3	Indicateurs Morphologie et environnement sonore .....	50
II _ 5 _ 4	Relation entre propagation sonore et forme urbaine .....	51
II _ 5 _ 5	Relation entre la propagation sonore et l'espace vert.....	52
II _ 5 _ 6	Relation entre propagation sonore et forme de la rue .....	53
II _ 5 _ 7	Effet de la morphologie des façades .....	55
II _ 5 _ 8	Effet de l'alignement à l'échelle de la rue .....	56
II _ 5 _ 9	Effet de la transition spatiale.....	57
II _ 6	Conclusion .....	58
<b>Chapitre III</b>	<b>: Paysage, environnement et pollution sonore .....</b>	<b>59</b>
III _ 1	Introduction.....	60
III _ 2	Paysage.....	60
III _ 2 _ 1	Paysage urbain (urbanscape).....	60
III _ 2 _ 2	Paysage visuel (landscape) .....	61
III _ 2 _ 3	Paysage olfactif (smellscape).....	61
III _ 3	Paysage sonore (soundscape) .....	61
III _ 3 _ 1	Composantes de paysage sonore : .....	63
III _ 3 _ 2	La structure d'un paysage sonore.....	65
III _ 3 _ 3	L'équilibre d'un paysage sonore .....	66
III _ 3 _ 4	Types de paysages sonores.....	67
III _ 4	Paysage pollué.....	68

III _ 4 _ 1 Pollution.....	68
III _ 4 _ 2 Pollution sonore.....	69
III _ 4 _ 3 Effet de la pollution sonore sur la santé.....	69
III _ 4 _ 4 Effet de pollution sonore sur la biodiversité .....	72
III _ 5 Lutte contre la pollution sonore.....	73
III _ 5 _ 1 Actions préventives .....	73
III _ 5 _ 2 Actions opérationnelles .....	74
III _ 5 _ 3 Actions répressives .....	74
III _ 5 _ 4 Lutte contre la pollution sonore en Algérie.....	74
III _ 6 Outils et méthodes d'étude et d'analyse des environnements sonores.....	78
III _ 6 _ 1 Mesures in situ.....	79
III _ 6 _ 2 Questionnaires.....	79
III _ 6 _ 3 Enregistrement sonore .....	80
III _ 6 _ 4 Cartes de bruit .....	81
III _ 7 Conclusion .....	82
<b>Chapitre IV : Évaluation quantitative de l'environnement sonore .....</b>	<b>84</b>
IV _ 1 Introduction.....	85
IV _ 2 Présentation du cas d'étude .....	85
IV _ 3 Déroulement de la première partie .....	87
IV _ 4 Évaluation et analyse de la pollution sonore dans la ville de Biskra.....	88
IV _ 4 _ 1 Choix des stations de mesure.....	88
IV _ 4 _ 2 Vision morphologique de la ville de Biskra.....	88
IV _ 4 _ 3 Échantillonnage des points des mesures .....	96
IV _ 4 _ 4 Protocole de mesure .....	101
IV _ 4 _ 5 Résultats des mesures.....	103
IV _ 4 _ 6 Analyse des résultats.....	105
IV _ 4 _ 7 Conclusion de la première phase : .....	114
IV _ 5 Évaluation et analyse de la pollution sonore dans les jardins publics de la ville .....	116

IV _ 5 _ 1 Introduction.....	116
IV _ 5 _ 2 Déroulement de la deuxième phase .....	116
IV _ 5 _ 3 Cas d'études et protocole de mesure.....	116
IV _ 5 _ 4 Résultats et discussion.....	119
IV _ 5 _ 5 Conclusion de la deuxième partie .....	122
IV _ 6 Conclusion .....	123
<b>Chapitre V : Évaluation subjective de l'environnement sonore.....</b>	<b>124</b>
V _ 1 Introduction.....	125
V _ 2 Choix des stations d'enregistrement et de mesure .....	125
V _ 2 _ 1 Description des stations de mesure et d'enregistrement.....	126
V _ 3 Méthodologie .....	132
V _ 3 _ 1 Mesure d'intensité sonore .....	133
V _ 3 _ 2 Procédure d'enregistrement .....	135
V _ 3 _ 3 Analyse des enregistrements sonores.....	139
V _ 3 _ 4 Traitement des données sonores.....	139
V _ 3 _ 5 Questionnaire .....	145
V _ 3 _ 6 Choix des sujets et échantillonnage .....	145
V _ 3 _ 7 Choix des items.....	145
V _ 4 Analyse des résultats.....	149
V _ 4 _ 1 Section 1 (Question 1/2).....	149
V _ 4 _ 2 Section 2 (Question 3/4).....	152
V _ 4 _ 3 Corrélation entre les variables subjectives et objectives .....	153
V _ 4 _ 4 Conclusion .....	158
<b>Chapitre VI : Effet de la morphologie urbaine sur l'environnement sonore .....</b>	<b>159</b>
VI _ 1 Introduction.....	160
VI _ 2 Effet des caractéristiques morphologiques sur le noisescap.....	160
VI _ 2 _ 1 Méthode expérimentale.....	160
VI _ 2 _ 2 Tissus étudiés.....	162

VI _ 2 _ 3 Caractérisation des morphologies urbaines.....	163
La porosité (ROS) :.....	165
Compacité :.....	165
La densité : .....	165
VI _ 2 _ 4 Cartographie du bruit .....	166
VI _ 2 _ 5 Calcul des cartes de bruit .....	166
VI _ 2 _ 6 Propriétés du calcul .....	167
VI _ 2 _ 7 Cartes sonores .....	168
VI _ 2 _ 8 Analyse des résultats.....	170
VI _ 2 _ 9 Discussion et analyse des résultats .....	174
VI _ 3 Effets des caractéristiques morphologiques sur l'exposition des façades au bruit.....	178
VI _ 3 _ 1 Niveau d'exposition des façades au bruit routier .....	178
VI _ 3 _ 2 Résultats du calcul.....	179
VI _ 3 _ 3 Interprétation des résultats.....	181
VI _ 4 L'effet de l'altitude de l'étage sur le niveau d'exposition .....	183
VI _ 4 _ 1 Méthode expérimentale.....	183
VI _ 4 _ 2 Résultats du calcul et analyse.....	185
VI _ 4 _ 3 Conclusion .....	187
<b>Conclusion générale et perceptives .....</b>	<b>188</b>
<b>Référence.....</b>	<b>194</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>215</b>
<b>Contributions personnelles et valorisation du travail de thèse.....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Liste des figures

Figure 0-1 : Exemple de morphologies urbaines de Biskra (Google Maps) .....	1
Figure I-1: Propagation d'onde mécanique ( <a href="http://www.sonetenvironnement.sitew.com">http://www.sonetenvironnement.sitew.com</a> ) ..	10
Figure I-2: Mécanisme de propagation des ondes sonores ( <a href="http://tpeson-verre.weebly.com">http://tpeson-verre.weebly.com</a> ) .....	10
Figure I-3: Audiogramme des sons de notre environnement ( <a href="http://www.jtc.org">http://www.jtc.org</a> ) .....	11
Figure I-4: Plage des fréquences audible (Shipman, 2012).....	12
Figure I-5: Forme d'ondes sonores (haute / basse fréquence) (Shipman, 2012).....	12
Figure I-6: Illustration de l'intensité sonore d'une source ponctuelle (Shipman, 2012).....	13
Figure I-7: Amplitude sonore ( <a href="http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr">http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr</a> ).....	13
Figure I-8: L'Addition logarithmique du dB ( <a href="http://www.bruitparif.fr/environnement-sonore/tout-savoir-sur-les-decibels">http://www.bruitparif.fr/environnement-sonore/tout-savoir-sur-les-decibels</a> ) .....	14
Figure I-9 : Fréquences audible par l'homme est quelques animaux (Munot et Nève, 2002) .....	16
Figure I-10 : Champ auditif humain ( <a href="http://anso.pagesperso-orange.fr">http://anso.pagesperso-orange.fr</a> ).....	17
Figure I-11: Mécanisme de la propagation sonore (NGUYEN, 2007) .....	17
Figure I-12 : Réflexion spéculaire .....	18
Figure I-13 : Réflexion diffuse .....	18
Figure I-14 : Illustration du phénomène de la diffraction (Benson, 2015).....	19
Figure I-15 : Illustration du phénomène de la réfraction (Benson, 2015).....	20
Figure I-16 : Comportement de l'onde sonore devant un obstacle ( <a href="http://www.bruitsociete.ca">http://www.bruitsociete.ca</a> ) .....	20
Figure I-17 : Coefficient d'absorption acoustique de certains matériaux ( <a href="http://www.bruitsociete.ca">http://www.bruitsociete.ca</a> ).....	21
Figure I-18: Effet de la température et de l'humidité relative sur l'absorption atmosphérique ( <a href="https://acoustique-de-l-environnement/propagation-acoustique-en-milieu-exterieur">https://acoustique-de-l-environnement/propagation-acoustique-en-milieu-exterieur</a> ) .....	21
Figure I-19 : Effet du vent sur la propagation sonore (Sakuma et al, 2014). .....	22
Figure I-20 : Effet du vent sur la propagation sonore (Parnell, 2015) .....	23
Figure I-21 : Effet de la température sur la direction des ondes sonores (Cowan, 1993) .....	23
Figure I-22 : L'effet de l'humidité relative sur la l'atténuation sonore (Eargle, 2013) .....	24
Figure I-23 : Principaux paramètres affectant la propagation sonore dans l'extérieure (Fernando, 2012) .....	24

Figure I-24 : Effet du sol (Vuillier, 2009) .....	25
Figure I-25 : L'anatomie de l'oreille humaine (Marieb et al, 2010) .....	26
Figure I-26 : exemple d'un sonomètre (Maekawa et Lord, 2004) .....	27
Figure I-27 : Pondération fréquentielle du sonomètre (Maekawa et Lord, 2004).....	28
Figure I-28 : Spectre sonore (Sueur et al, 2008) .....	29
Figure I-29 : Plan dynamique (Sueur et al, 2008) .....	29
Figure I-30 : Un spectrographe (Katz, 2013) .....	30
Figure I-31 : Spectrogramme 2D et 3D (Nguyen 2007).....	31
Figure II-1 : Les éléments constitutifs de la forme urbaine (Auteur).....	34
Figure II-2 : Les éléments constitutifs d'un paysage urbain (Nguyen, 2007).....	37
Figure II-3 : Schéma de Hiérarchisation de la voirie (Adeline, 2013) .....	39
Figure II-4 : Type de maillage urbain (Pane, 1999).....	39
Figure II-5 : Alignement du bâti (Google maps).....	40
Figure II-6 : Les trois formes des rues (Nguyen, 2007) .....	41
Figure II-7 : Principales rues de Biskra (Google maps).....	42
Figure II-8 : Avenu El Zatcha, rue principale (Auteur).....	42
Figure II-9 : Rue Mohamed Chérif, voie artérielle (Auteur).....	43
Figure II-10 : Rue Hasnaoui Aissa, voie de desserte (Auteur).....	43
Figure II-11 : Ruelle Achoure Zidane (Auteur). .....	44
Figure II-12 : Deux quartiers contrastés morphologiquement (Google maps).....	45
Figure II-13 : Exemple d'une activité gênante dans les zones résidentielles (Auteur). .....	46
Figure II-14 : Exemple d'une salle des fêtes (Auteur). .....	46
Figure II-15 : Place de Dalhaa (Auteur). .....	47
Figure II-16 : Exemple des formes des placettes (Nguyen, 2007) .....	47
Figure II-17 : Jardin 5 juillet (Auteur).....	48
Figure II-18 : Jardin 5 juillet (Auteur).....	48
Figure II-19 : Spectrogramme d'un paysage sonore d'un jardin (Auteur).....	49
Figure II-20 : Spectrogramme d'un paysage sonore d'une rue (Auteur). .....	49
Figure II-21 : Illustration relation morphologie urbaine _ environnement sonore (Auteur). .....	52
Figure II-22 : Coupe d'une rue en U (Auteur) .....	53
Figure II-23 : Rue Ouaman Madani (rue en U) (Auteur) .....	54
Figure II-24 : Rue en U de Harat el oued (Auteur). .....	54
Figure II-25 : Réflexion sonore diffuse dans rue en U (Nguyen, 2007).....	54
Figure II-26 : Coupe d'une rue en L (Auteur).....	55

Figure II-27 : Illustration d'effet des éléments des façades sur la propagation sonore (Auteur)	56
Figure II-28 : Effet de l'alignement sur la propagation sonore (Auteur).	57
Figure II-29 : Transition spatiale (Nguyen, 2007).	57
Figure II-30 : Transition spatiale de la rue à la place photo dans le quartier Boukhari (Auteur).	58
Figure II-31 : Transition spatiale (Nguyen, 2007).	58
Figure III-1 Principales sources de bruit dans la ville (Auteur de Pijanowski et al, 2010)...	62
Figure III-2 : Composants du paysage sonore (Pijanowski et al, 2011).	63
Figure III-3 : Exemple des sources principales du bruit (Bouzir, Zemmouri ; 2017).	65
Figure III-4 Relation fond / signal sonore (Auteur).	65
Figure III-5 : Structure du paysage sonore (Auteur).	66
Figure III-6 : Spectrogramme d'un paysage hi-fi extrait de la ville de Sidi Okba (Auteur).	67
Figure III-7 : Spectrogramme d'un paysage LO-FI extrait de la ville de Sidi Okba (Auteur)	68
Figure III-8 : Spectrogramme contrasté Lo_Fi / Hi_Fi extrait de la ville de El Kantra (Auteur)	68
Figure III-9 : Effets de bruit sur santé. ( <a href="http://www.auditionplus.fr/prestations-draguignan">http://www.auditionplus.fr/prestations-draguignan</a> )	69
Figure III-10: Effet de niveau de bruit ambiant sur la puissance acoustique du chant du « Rossignol Philomèle », (Plus le niveau de bruit ambiant est élevé, plus le volume de chant est élevé) (Brumm, 2004)	72
Figure III-11 : Effet de bruit routier sur la présence des oiseaux (Reijnen , 2006).	72
Figure III-12 : Le NF S 31-130, mise en place du sonomètre (Sémidor et al, 2010).	79
Figure III-13 : Utilisation du paysage sonore dans les études de la biodiversité (Pijanowski et al, 2011).	80
Figure III-14 : Processus de la cartographie sonore. (Murphy et King, 2014).	81
Figure III-15 : Carte du bruit de Linares (Jaén, Espagne) ( <a href="https://commons.wikimedia.org">https://commons.wikimedia.org</a> )	82
Figure IV-1 : Situation de la ville de Biskra (google)	85
Figure IV-2 : Caractéristiques climatiques de Biskra (planificateur.a-contresens.net)	86
Figure IV-3 : Réseau routier et ferroviaire de la ville de Biskra (Google maps).	87
Figure IV-4 : Méthodologie d'investigation (Auteur).	88

Figure IV-5 : Différentes typologies des tissus urbains de la ville de Biskra (Bouzir et Zemmouri, 2017).....	89
Figure IV-6 : Image satellitaire du tissu ancien urbain de la ville de Biskra (Google Maps).....	90
Figure IV-7 : Image satellitaire d'un exemple du tissu auto-construit non planifié (Star El Mlouk) (Auteur) .....	91
Figure IV-8 : Photo du tissu auto-construit non planifié (Star El Mlouk) (Auteur).....	91
Figure IV-9 : Photo représentant la relation entre la ruelle et la maison (Auteur).....	92
Figure IV-10 : Image satellitaire du quartier colonial (Google Maps).....	92
Figure IV-11 : Le réseau de la trame routière du quartier colonial (Auteur) .....	93
Figure IV-12 : Quartier colonial (Auteur). .....	93
Figure IV-13 : Tissus auto-construits planifiés (Hai El moudjahidine, quartier les 17 coopératives) (Google Maps) .....	94
Figure IV-14 : Exemples d'activités bruyantes. (Auteur). .....	95
Figure IV-15 : Image satellitaire, quartier d'habitats collectifs (Google).....	95
Figure IV-16 : Localisation des stations de mesure dans l'ancien tissu. (Auteur).....	97
Figure IV-17 : Localisation des stations de mesure dans le quartier colonial. (Auteur).....	97
Figure IV-18 : Localisation des stations de mesure dans les tissus urbains auto-construits non planifiés. (Auteur) .....	98
Figure IV-19 : Localisation des stations de mesure dans les lotissements. (Auteur).....	99
Figure IV-20 : Localisation des stations de mesure dans les quartiers d'habitat collectif. (Auteur). .....	100
Figure IV-21 : Localisation des stations de mesure dans les voies et les places publiques. (Auteur) .....	101
Figure IV-22 : Mise en place de sonomètre (Bouzir et Zemmouri, 2017). .....	102
Figure IV-23 : Sonomètre utilisé Landtek SL5868P. ....	102
Figure IV-24 : Localisation de l'ensemble des stations de mesure (Auteur). .....	103
Figure IV-25 : la différence entre le niveau d'intensité sonore mesuré le weekend et les jours de semaine (Auteur) .....	106
Figure IV-26 : la différence entre le niveau d'intensité sonore mesuré le weekend et les jours de semaine (Auteur). .....	107
Figure IV-27 : Fluctuations de l'intensité sonore sur l'ensemble du paysage urbain. (Auteur). .....	108
Figure IV-28 : Classification de l'ensemble des environnements sonores selon le HUD... ..	113

Figure IV-29 : Carte Google montrant l'emplacement des jardins sélectionnés à Biskra (Auteur). .....	117
Figure IV-30 : Localisation des Stations de mesure. (Auteur). .....	118
Figure IV-31 : Jardin 5 juillet. (Auteur). .....	119
Figure IV-32 : Résultat des mesures par jardin et par station de mesure. (Auteur). .....	120
Figure IV-33 : Illustration de l'effet de la surface du jardin sur la répartition de bruit routier (Auteur). .....	121
Figure IV-34 : Diagramme de dispersion .....	121
Figure IV-35 : Diagramme de dispersion .....	121
Figure V-1 : Emplacement des stations de mesure (Auteur). .....	126
Figure V-2 : Zone 1, 2 (Auteur). .....	126
Figure V-3 : Zone 4 (Auteur). .....	127
Figure V-4 : Zone 5 (Auteur). .....	127
Figure V-5 : Zone 6 (Auteur). .....	128
Figure V-6 : Zone 7 (Auteur). .....	128
Figure V-7 : Zone 8 (Auteur). .....	129
Figure V-8 : Zone 4. (Auteur). .....	129
Figure V-9 : Zone 12, 20. (Auteur). .....	130
Figure V-10 : Zone 13, 14. (Auteur). .....	130
Figure V-11 : Zone 16, 17 (Auteur). .....	130
Figure V-12 : Zone 18, 19 (Auteur). .....	131
Figure V-13 : Zone 22, 23 (Auteur). .....	131
Figure V-14 : Photo zone 24, 25 (Auteur). .....	131
Figure V-15 : Méthodologie d'évaluation (Auteur). .....	132
Figure V-16 : Landtek SL5868P ( <a href="http://www.landteknet.com.cn">www.landteknet.com.cn</a> ) .....	133
Figure V-17 : Fluctuations de l'intensité sonore sur l'ensemble des stations de mesure (Auteur). .....	134
Figure V-18 : Nature des environnements sonores. (Auteur). .....	135
Figure V-19 : Localisation des sources sonores dans l'espace Source (Beznosiuk, 2017). .....	136
Figure V-20 : Perception de la différence de temps et d'intensité sonore entre les deux oreilles. Source (Beznosiuk, 2017) .....	136
Figure V-21 : Enregistrement binaural tête artificielle, humaine ( <a href="http://www.meta-media.fr">http://www.meta-media.fr</a> ) .....	137

Figure V-22 : Différence d'intensité sonore entre l'oreille droite et l'oreille gauche ( <a href="http://www.meta-media.fr">http://www.meta-media.fr</a> ). .....	137
Figure V-23 : La transauralisation à la base de 5 haut-parleurs (Emerit et al, 2013). .....	138
Figure V-24 : Matériel d'enregistrement et de traitement des signaux sonores(Auteur). ...	138
Figure V-25 : Spectrogramme (Auteur). .....	139
Figure V-26 : Type des paysages sonores étudiés (Auteur). .....	140
Figure V-27 : Spectrogramme des pistes 5, 8, 13 (Auteur). .....	140
Figure V-28 : Zone N 22. Photo et spectrogramme (Auteur). .....	141
Figure V-29 : Zone n 25 (Auteur). .....	142
Figure V-30 : Point 25. Image et spectrogramme (Auteur). .....	142
Figure V-31 : Exemple d'une feuille d'Excel utilisé pendant l'enquête (Auteur). .....	147
Figure V-32 : Casques utilisé « Sony le MDR-ZX660AP». (Auteur). .....	147
Figure V-33 : Déroulement du questionnaire. (Auteur). .....	148
Figure V-34 : Déroulement du questionnaire (Auteur). .....	149
Figure V-35 : Moyen des réponses question 1 et 2 (Auteur). .....	149
Figure V-36 : Classement des environnements sonores selon l'agréabilité (Auteur). .....	150
Figure V-37 : Classement des environnements sonores selon l'intensité sonore perçue (Auteur). .....	151
Figure V-38 : Classification des environnements sonores selon l'intensité sonore perçue et l'agréabilité (Auteur). .....	151
Figure V-39 : Une relation cohérente entre l'agréabilité et l'intensité sonore (Auteur). ....	152
Figure V-40 : Une relation inverse entre bruit mécanique (Question 3) et non mécanique (Auteur). .....	152
Figure V-41 : Une relation inverse entre bruit mécanique (Question 3) et non mécanique (Question4) (Auteur). .....	153
Figure V-42 : Corrélation entre les variables de questionnaire (Auteur). .....	155
Figure V-43 : Corrélation Leq, l'intensité sonore perçut et l'agréabilité (Auteur). .....	156
Figure V-44 : Echelle de jugement de l'intensité perçu (Auteur). .....	156
Figure V-45 : Corrélation leq, la présence des sons mécanique et non mécanique (Auteur). .....	157
Figure V-46 : Relation leq, type de paysage sonore (Hi_Fi, Lo_Fi) (Auteur). .....	157
Figure VI-1 : Exemple d'une carte sonore (Murphy et King, 2010). .....	161
Figure VI-2 : Méthodologie de la troisième partie. (Auteur). .....	161
Figure VI-3 : Emplacement des échantillons sélectionnés (Google Earth). .....	162

Figure VI-4 : Illustration du rapport entre la surface vide et la surface totale (Porosité) (Huang and al, 2007) .....	165
Figure VI-5 : Illustration du rapport entre la zone construite et la surface totale (densité)	165
Figure VI-6 : Modélisation (3D) des formes urbaines. (Auteur).....	167
Figure VI-7 : Pourcentage d'exposition par zone. (Auteur). .....	171
Figure VI-8 : Pourcentages de zone A et C dans chaque quartier. (Auteur). .....	172
Figure VI-9 : Diagrammes de dispersion (Auteur).....	174
Figure VI-10 : Zonage d'exposition pour le quartier 500 et 200 logements. (Auteur).....	174
Figure VI-11 : Illustration l'effet de l'orientation des bâtiments protecteurs. (Auteur).....	176
Figure VI-12 : Illustration de l'effet de la hauteur du bâtiment sur la propagation du son (hauteur réduite). (Auteur). .....	176
Figure VI-13 : Illustration de l'effet de la hauteur du bâtiment sur la propagation du son (hauteur importante). (Auteur). .....	177
Figure VI-14 : Illustration de l'effet de l'éloignement de la source. (Auteur).....	177
Figure VI-15 : Pourcentage des façades dans chaque zone. (Auteur).....	179
Figure VI-16 : Diagramme de dispersion. (Auteur). .....	181
Figure VI-17 : Diagramme de dispersion. (Auteur). .....	182
Figure VI-18 : Output spectre. (Auteur).....	183
Figure VI-19 : l'intensité sonore p1 (RDC et de R+3). (Auteur). .....	185
Figure VI-20 : l'intensité sonore p2 (RDC et de R+3). (Auteur). .....	185
Figure VI-21 : La différence entre l'intensité sonore au niveau de RDC et de R+3 pour le P 1 et P2 (Auteur). .....	186
Figure VI-22 : Effet de la hauteur des façades sur la propagation de bruit routier (Auteur). .....	186

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Célérité du son dans quelques milieux ( <a href="http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr">http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr</a> ) .....	15
Tableau 2 : Exemple d'indicateurs morphologiques liés au microclimat (Auteur). ....	50
Tableau 3 : Exemple des indicateurs morphologiques liés à l'environnement sonore (Bouzir, Zemmouri; 2017). ....	51
Tableau 4 : Classements des sources de bruit mécanique (Auteur de Gaulin, 2000). ....	64
Tableau 5 : Facteurs non acoustiques influant sur la gêne (Marquis, 2005) ....	70
Tableau 6 : Comparaison entre les normes nationales et internationales des limites de l'intensité sonore dans les espaces publics. (Auteur) ....	77
Tableau 7 : Comparaison entre les normes nationales et internationales des limites de l'intensité sonore dans les jardins publics. (Auteur) ....	77
Tableau 8 : Liste des routes desservant la ville de Biskra (Auteur) ....	86
Tableau 9 : Distribution des stations de mesure (Auteur). ....	96
Tableau 10 : Nombre et localisation des stations de mesure dans l'ancien tissu (Auteur) ...	96
Tableau 11 : Nombre et localisation des stations de mesure dans le quartier colonial (Auteur) .....	97
Tableau 12 : Nombre et localisation des stations de mesure dans les tissus auto-construits non planifiés (Auteur). ....	98
Tableau 13 : Nombre et localisation des stations de mesure dans les lotissements (Auteur). .....	99
Tableau 14 : Nombre et localisation des stations de mesure dans les quartiers d'habitat collectif (Auteur). ....	100
Tableau 15 : Nombre et localisation des stations de mesure dans les voies et les places publiques. (Auteur). ....	101
Tableau 16 : Les conditions climatiques pendant l'acquisition des données ( <a href="http://www.historique-meteo.net/">http://www.historique-meteo.net/</a> ) ....	102
Tableau 17 : Les niveaux sonores mesurés dans la ville de Biskra. (Auteur). ....	103
Tableau 18 : Les valeurs limites permises de bruit en milieu urbain. (Auteur). ....	108
Tableau 19 : Le taux de pollution sonore dans les zones résidentielles selon les recommandations internationales. (Auteur). ....	110
Tableau 20 : Classifications des paysages sonores selon le classement de l'HUD. ....	112

Tableau 21 : les jardins étudiés (Auteur).....	117
Tableau 22 : Niveau de bruit maximal autorisé (Auteur).....	118
Tableau 23 : Résultat des mesures. (Auteur).....	119
Tableau 24 : Résultat du test de corrélation Pearson (Auteur).....	120
Tableau 25 : Résultat des mesures (Auteur).....	133
Tableau 26 : Classification des paysages sonores Lo-Fi / Ho-Fi .....	140
Tableau 27 : Spectrogrammes des paysages Lo-Fi .....	142
Tableau 28 : Spectrogrammes des paysages Hi-Fi.....	144
Tableau 29 : Résultats de test de Pearson (Auteur).....	154
Tableau 30 : Vue satellitaire des quartiers sélectionnés. (Auteur).....	162
Tableau 31 : les indicateurs physiques pour la caractérisation des morphologies urbaines (Bouzir et Zemmouri, 2017).....	164
Tableau 32 : les Indicateurs quantitatifs des tissus étudiés. (Auteur).....	165
Tableau 33 : Niveau de trafic lors de la simulation. (Auteur).....	166
Tableau 34 : les conditions météorologiques. (Auteur).....	167
Tableau 35 : Cartes du bruit (Noise maps). (Auteur).....	168
Tableau 36 : niveau d'exposition. (Auteur). .....	171
Tableau 37 : Pourcentage d'exposition par zones. (Auteur).....	171
Tableau 38 : Résultat du test de corrélation de Pearson. (Auteur).....	173
Tableau 39 : les trois niveaux d'exposition des façades. (Auteur).....	178
Tableau 40 : méthode de calcul de niveau d'exposition. (Auteur).....	178
Tableau 41 : résultats des calculs de niveau d'exposition. (Auteur). .....	179
Tableau 42 : Résultat du test de corrélation Pearson.....	180
Tableau 43 : la localisation des points étudiés. (Auteur).....	183
Tableau 44 : l'intensité sonore P1, P2 (Auteur). .....	185

# Introduction générale

Le développement urbain actuel des villes algériennes a provoqué une détérioration de l'ensemble des paramètres du standard de bien-être, développant ainsi une pathologie urbaine sans précédent qui touche profondément les composants essentiels du confort de l'habitant. Le confort acoustique est considéré comme l'un de ces composants qui deviennent de plus en plus problématiques. Malheureusement, ce sujet reste dans l'ombre pour les concepteurs, les décideurs et les chercheurs dans le domaine de l'architecture, de l'urbanisme et des sciences du bâtiment en Algérie.

Par rapport à cette essentielle composante de la ville, l'intérêt de la présente recherche doctorale vient du fait qu'une analyse urgente de l'état actuel de l'environnement acoustique doit être établie afin de déterminer les stratégies à développer pour une ville durable avec un environnement agréable notamment acoustiquement.

Dans le Sud-Est de ce pays, la ville de Biskra se caractérise par trois périodes essentielles de développement urbain : (i) la période précoloniale, (ii) la période coloniale, et (iii) la période postcoloniale. Chaque période a contribué au développement du tissu urbain de cette ville, ce qui a donné lieu à une série de morphologies urbaines très riche, comme le montre la figure ci-dessous.



Figure 0-1 : Exemple de morphologies urbaines de Biskra (Google Maps)

En effet, le réseau routier urbain de cette ville mal adapté aux nouvelles données (densité et transport) devient une source de gêne, de pollution et de mal-vivre affectant l'ambiance des zones environnantes. C'est pour cela que l'établissement d'un réseau routier durable est nécessaire pour ce développement, car il représente une variable importante dans l'environnement urbain, non seulement en termes de confort, mais aussi de santé.

La présente étude s'inscrit dans le cadre des stratégies du développement durable qui visent à assurer un environnement sain et confortable pour les habitants, de même, le but de cette recherche est d'effectuer une évaluation de la situation actuelle de l'environnement acoustique des différentes composantes morphologiques de cette ville, en se concentrant sur la propagation et le comportement des ondes sonores en relation avec les différentes formes urbaines, afin de définir l'effet de la morphologie urbaine sur l'environnement sonore.

Quatre étapes principales caractérisent ce travail de recherche ; dans une première étape, nous allons présenter les grands axes, les concepts et les définitions concernant la science des morphologies urbaines, de la pollution et de l'environnement sonore, afin de bien déterminer les limites de ce domaine de recherche. Ensuite, nous allons nous focaliser sur la pollution sonore, qui est classée comme le troisième type de pollution environnementale le plus dangereux pour la santé de l'homme après la pollution de l'air et de l'eau (Zannin et al, 2006), par l'évaluation de l'environnement sonore de la ville de Biskra à l'aide d'une campagne de mesure *in situ* à l'aide d'un sonomètre, et en confrontant les résultats des mesures aux recommandations nationales et internationales.

Dans une étape suivante, et dans le but d'évaluer subjectivement les environnements sonores de cette ville algérienne, nous allons réaliser une série d'enregistrements sonores binauraux couplés à des mesures d'intensité sonore *in situ*, par l'utilisation d'un questionnaire après une restitution sonore des environnements enregistrés. Puis, nous allons effectuer à la fin de cette étape, une analyse, en croisant les résultats des mesures d'intensité sonore, du questionnaire et le classement de Schäfer, afin de déterminer la relation entre ces trois indicateurs de l'évaluation de la qualité sonore.

Dans une dernière étape, et dans le but de déterminer la relation entre la nuisance sonore, et la morphologie urbaine, nous allons utiliser la méthode de la cartographie sonore, en créant des scénarios avec des différentes morphologies urbaines et le même niveau de trafic routier, à l'aide d'un logiciel de prédiction de bruit.

## 1. Problématique

Au cours de ces dernières années, le problème de la pollution sonore est devenu plus évident que jamais, en raison de la forte urbanisation de la ville de Biskra. Ce phénomène dépend essentiellement de trois paramètres, qui sont : (i) la source, (ii) le récepteur et (iii) la morphologie urbaine qui représentent le lieu de transition, où les ondes sonores se propagent du corps émetteur au corps récepteur.

Dans cette recherche, qui s'inscrit dans l'axe de la maîtrise des ambiances sonores urbaines, nous nous sommes concentrés après l'évaluation quantitative et qualitative du paysage sonore sur l'effet de la morphologie urbaine sur l'environnement sonore, afin de déterminer la façon dont les caractéristiques morphologiques des entités urbaines existantes à Biskra influent sur les variations d'intensité sonores et la distribution de bruit surtout routier, ce qui nous permet de faire progresser la prise en compte de la qualité environnementale sonore dès les premières lignes d'esquisse urbaine.

En fait, ce travail de recherche qui a été structuré en deux parties se déroule autour de deux questions fondamentales :

- Face au fort développement urbain et à l'utilisation intensive des moyens de transport mécanique, quel est l'état de l'environnement sonore de la ville de Biskra vis-à-vis des recommandations nationales, internationales et par rapport à l'évaluation subjective des habitants de cette ville ?
- Dans le but de déterminer les différents types de morphologie urbaine qui répond mieux aux nouveaux défis d'acoustique urbaine et d'éclairer la nature de la relation entre le tissu urbain et l'environnement sonore, nous avons posé la question suivante: quel est l'impact des caractéristiques physio-morphologiques des entités urbaines sur l'environnement sonore notamment la distribution de bruit routier ?

## 2. Hypothèses de la recherche

En tant que chercheurs, nous avons énoncé plusieurs hypothèses qui présupposent que la ville de Biskra souffre sévèrement d'une pollution sonore causée principalement par le trafic routier, ce qui affecte la qualité de vie et menace la santé des habitants ainsi que l'équilibre de l'environnement. D'autre part, nous croyons que la relation significative qui relie les indicateurs physiques de la morphologie urbaine et la distribution du bruit de la route, affecte indirectement le taux de cette pollution.

### 3. État de l'art

Plusieurs études ont été réalisées et continuent de l'être dans plusieurs villes, afin d'évaluer quantitativement la qualité de l'environnement sonore ainsi que le niveau de pollution sonore, comme le travail de Piccolo et al (2005) ; Ozer et al (2009) ; Ehrampoush et al (2012) ; Al-Ghonamy (2009a, 2010b) ; Banihani et al (2012) ; El-Sharkawy et al 2012 ; Jamrah et al (2006) et Hunashal et Patil (2012), où l'environnement sonore a été mesuré respectivement dans les villes : Messina (Italie) ; Tokat (Turquie) ; Yazd city (Iran) ; Al-Khobar et Al-Dammam (Royaume d'Arabie Saoudite) ; Amman (Jordan) ; Kolhapur (Inde). À l'aide des indicateurs sonores qui sont variés d'une étude à l'autre selon l'objectif, le matériel et les logiciels utilisés pendant l'acquisition et le traitement des données ( $leq_{24h}$ ,  $leq_{1h}$ ,  $leq_{30sec}$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$ ,  $LA90\%$ ,  $LA50\%$ ,  $LA10\%$ ). Dans le but de normaliser ces indicateurs et face au prix élevé des instruments de mesure, qui reste un obstacle devant ce type de recherches notamment dans les pays en voie de développement, plusieurs recherches publiées récemment ont proposé d'utiliser les smartphones, afin de quantifier l'ambiance sonore (Maisonneuve et al, 2009a, 2009b, 2010c ; Ricciardi et al, 2015), en développant des applications téléphoniques (Stevens et D'Hondt, 2010 ; Martí et al, 2012; Kardous et Shaw, 2017).

Par ailleurs, et en contraste avec l'axe de recherche qui s'intéresse à la pollution sonore où la communauté scientifique travaillait sur l'environnement sonore du point de vue de la gêne et de la nuisance, un deuxième axe était développé sur la base de la notion de soundscape inventée par le Canadien Schäfer dans son livre « The tuning of the world », comme le résultat d'une volonté des compositeurs de voir l'environnement sonore d'un point de vue positif (Brocolini, 2012). L'évaluation de paysage sonore dans ce cas nécessite la prise en compte, en plus des seules mesures acoustiques, des aspects humains comme le ressenti des sujets et leurs jugements. Donc, dépasser la dimension physique mesurable de l'environnement sonore à une deuxième dimension sensible (perceptible). En utilisant plusieurs méthodologies développées récemment à l'image de la promenade sonore (Sémidor et al, 2010 ; Adams et al, 2008 ; Yong Jeon et al, 2013 ; Liu et al, 2014), la carte mentale sonore (Amphoux, 2003 ; Marry et Delabarre, 2011), l'écoute réactivée (Amphoux, 2003) et le parcours commenté (Thibaud, 2003 ; Sémidor et al, 2010).

Un troisième axe de recherche est né de la volonté d'estimer et de représenter l'impact des infrastructures de transport sur l'environnement, en s'appuyant sur des simulations numériques à l'aide des logicielles de prédiction des bruits issus des infrastructures de

transports terrestres, aériens et des bruits industriels afin d'avoir des cartes sonores (noise Maps) (Murphy et King, 2014).

#### **4. Objectifs et structure de la recherche**

Partant de cet état de l'art, et afin d'atteindre l'objectif principal de cette étude qui consiste, en couplant des campagnes de mesures, d'enregistrement in situ, des enquêtes auprès du citoyen et des simulations numériques permettant d'évaluer la qualité de l'environnement sonore dans la ville de Biskra et de caractériser l'effet de la morphologie urbaine sur la distribution de bruit routier, le travail de recherche a été structuré comme ci-dessous

Dans cette thèse de doctorat, nous avons abordé en premier lieu et dans le premier chapitre les notions de base de l'acoustique, en nous focalisant sur les caractéristiques fondamentales des sons, comme (i) la fréquence (ii) l'intensité (iii) la puissance sonore et autre. Ensuite, nous avons mis l'accent sur les trois phases du son au champ libre qui sont : (i) l'émission (ii) la réception et (iii) la propagation. À la fin de ce chapitre et après l'identification des principaux instruments de mesure du son et la présentation de ses modes de fonctionnement, nous avons déterminé les principaux modes de représentation des indicateurs sonores mesurables.

Dans le deuxième chapitre, différentes définitions scientifiques ont été présentées à partir de la littérature concernant la morphologie urbaine, ses caractéristiques, ses composants et ses approches. À la suite, nous avons tenté de définir les principales caractéristiques morphologiques qui ont un impact sur la propagation sonore.

D'autre part, nous avons focalisé notre recherche documentaire dans le troisième chapitre sur la notion de paysage sonore, sur ses types, ses composants ainsi que sur sa structure. En outre, nous nous sommes concentrés sur la notion de la pollution sonore en mettant l'accent sur ses sources, ses effets sur la santé de l'habitant et l'environnement ainsi que sur les principales opérations de la lutte contre ce phénomène. À la fin de ce chapitre, nous avons identifié les principales méthodes d'étude et d'analyse de l'environnement urbain.

Après la réalisation d'une analyse morphologique et à la base d'une acquisition des données in situ, une évaluation quantitative de l'environnement sonore globale de la ville de Biskra a été effectuée dans le quatrième chapitre.

Dans le cinquième chapitre, des enregistrements sonores binauraux couplés à des mesures d'intensité sonore sont effectués dans des points représentatifs afin d'évaluer subjectivement l'environnement sonore de la ville de Biskra par l'utilisation d'un questionnaire. Ensuite, et d'après les résultats des tests de corrélation de Pearson, nous avons lié statistiquement entre la qualité sonore perçue par les sujets, le niveau d'intensité mesuré in situ et le classement de paysages sonores proposé par Schaefer et Gleize (1976).

D'après les résultats du cinquième chapitre, nous avons trouvé que le problème de la pollution sonore est assez grave dans cette ville dû principalement au niveau d'intensité très élevée résultant du fort trafic routier. Par ailleurs, et dans le but de définir la relation entre ce paramètre qui affecte la qualité de vie et la morphologie urbaine, nous avons évalué le noisescap dans plusieurs quartiers existants dans la ville étudiée, en utilisant le logiciel de prédiction de bruit « Code Tympan© ». Finalement, le travail de cette recherche a été achevé par une conclusion générale et une présentation des perceptives.

**Partie théorique (Revue de la littérature)**

**Chapitre I : Notion de base d'acoustique et  
de propagation sonore**

## **I\_1 Introduction**

Dans ce présent chapitre théorique, nous allons aborder la nature physique du son, ainsi que les notions de base d'acoustique en champ libre, en nous concentrant sur les caractéristiques physiques fondamentales des sons liées à notre thématique de recherche à l'image de la fréquence, l'intensité, le timbre, le niveau et la pression sonore. Ensuite, nous allons mettre l'accent sur les particularités de la propagation sonore en champ libre, comme la réflexion, la réverbération et la diffraction dans la deuxième partie de ce chapitre, en la reliant aux caractéristiques physiques du site et du climat afin de déterminer l'ensemble des phénomènes qui influent sur la propagation sonore notamment en milieu urbain.

Nous consacrerons la troisième partie de ce chapitre sur le phénomène de réception sonore en décrivant brièvement le champ auditif, l'intervalle fréquentiel audible ainsi que l'anatomie et le fonctionnement de l'oreille humaine pendant le captage et la transformation des signaux acoustiques en informations sonores.

Enfin, et après l'identification des principaux instruments de mesure du son, ainsi que ses modes de fonctionnement, nous allons déterminer dans la dernière partie de ce chapitre théorique les principaux modes de représentation des caractéristiques sonores mesurables.

## **I\_2 Notions de base en acoustique**

D'après Rossi (2007) et Vorländer (2007), l'acoustique est la science qui étudie les sons (des infrasons aux ultrasons), ses sources, sa propagation ainsi que ses caractéristiques physiques (Larousse).

### **I\_2\_1 Onde mécanique**

L'onde mécanique est le phénomène de propagation de l'énergie et non le matériel, résultant de la perturbation mécanique d'un milieu élastique (Séguin, Julie et Benjamin, 2010 ; Hagopian et Machi, 2014). Contrairement aux ondes lumineuses, il est impératif de noter que les ondes acoustiques ne se propagent pas dans le vide, mais seulement de proche en proche dans des milieux matériels (Lonngren et al, 2007 ; Aalok et harsha, 2002).

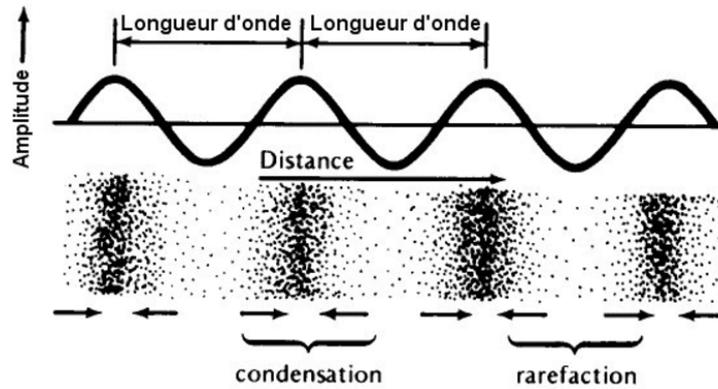


Figure I-1: Propagation d'onde mécanique (<http://www.sonetenvironnement.sitew.com>)

### I\_2\_2 Onde acoustique

Dans la littérature scientifique, plusieurs chercheurs ont affirmé que les ondes acoustiques sont des ondes mécaniques d'une fréquence qui varie entre 20Hz et 20 KHz.

### I\_2\_3 Le son

Le son, c'est le phénomène physique résultant d'une variation rapide de la pression de l'air ou d'un autre milieu élastique qui génère une sensation d'audition. En fait, il est classé selon sa fréquence en trois grands types : (i) infrasons, (ii) son audible et (iii) ultrasons, comme indiquent Vijayakumari (2015) ; Aalok (2002) ; Narinder et al (2006) ; Smith (2007) ; Shipman (2012) ; Müller et al (2012) ; Smith (2007) et Aalok et al (2002).

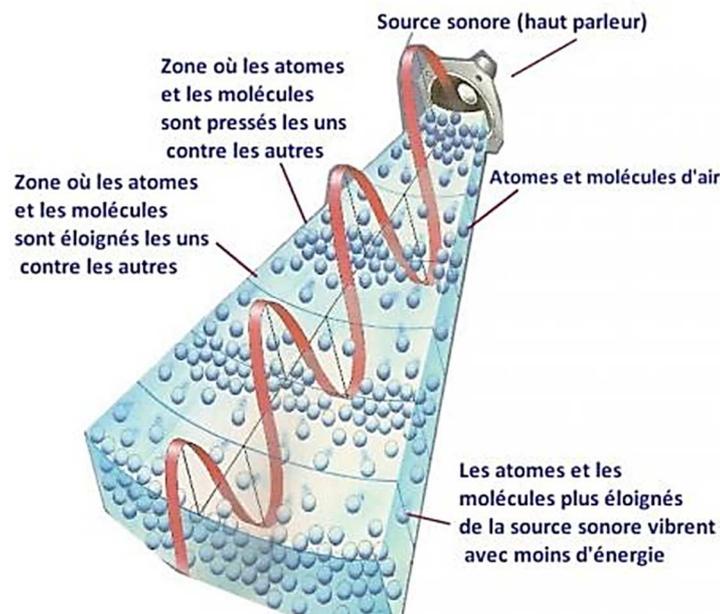


Figure I-2: Mécanisme de propagation des ondes sonores (<http://tpeson-verre.weebly.com>)

## I\_2\_4 Caractéristiques fondamentales du son

En écoutant un son, nous pouvons définir s'il est grave ou aigu, intense ou faible, nous pouvons même le localiser dans l'espace et identifier son origine, en fonction d'un ensemble de caractéristiques physiques qui sont : (i) la fréquence sonore (hauteur) ; (ii) la puissance, (iii) l'intensité acoustique et (iv) le niveau sonore (L).

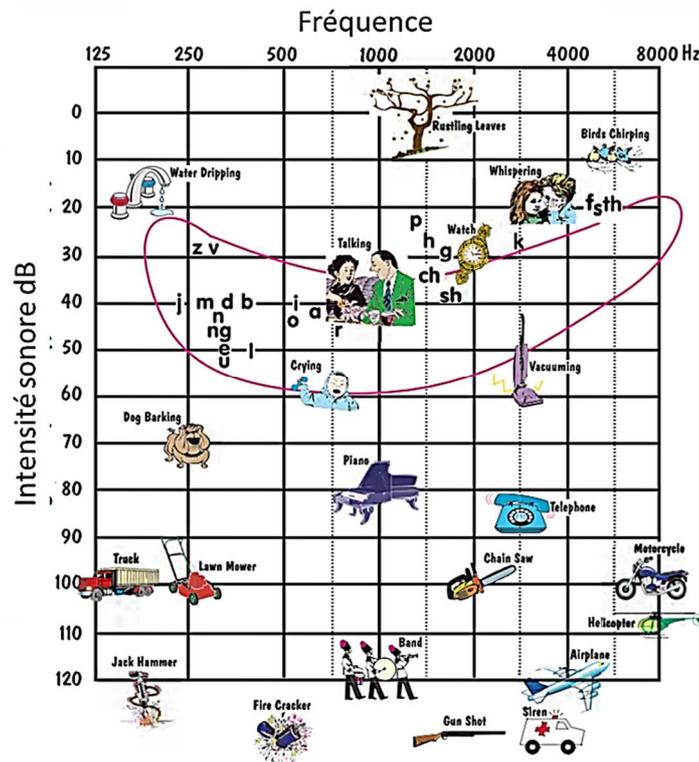


Figure I-3: Audiogramme des sons de notre environnement (<http://www.jtc.org>)

### I\_2\_4\_1 Fréquence sonore (hauteur)

Le son est un phénomène physique qui engendre un sentiment d'audition, résultant d'une variation rapide dans la pression de l'air ou d'autre milieu élastique. Selon Hagopian et Machi (2014) ; Munot et al (2002) la fréquence en hertz (Hz) définit le nombre de ces variations par seconde (c'est-à-dire le nombre d'oscillations périodiques) selon la plage des fréquences, les ondes sonores peuvent être classées en trois types qui sont :

- Les infrasons :  $f < 20 \text{ Hz}$  ;
- Les sons audibles :  $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ KHz}$ , perceptibles par l'être humain ;
- Les ultrasons :  $f > 20 \text{ KHz}$ . (Shipman et al, 2012 ; Narinder et al, 2006).

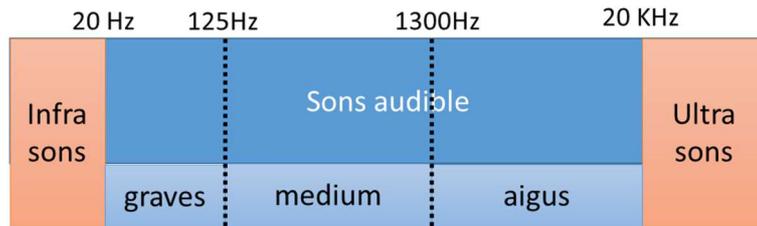


Figure I-4: Plage des fréquences audibles (Shipman, 2012)

En outre, les sons perceptibles par l'être humain sont ainsi classés selon sa fréquence en trois hauteurs suivant : (i) des sons graves, (ii) médiums et (iii) aigus. Sachant que plus la fréquence de l'onde touche une basse valeur, plus le son devient grave, comme le montre la figure (I-5).

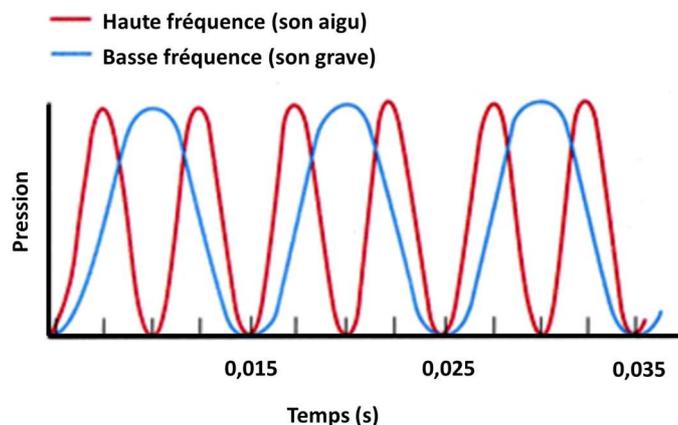


Figure I-5: Forme d'ondes sonores (haute / basse fréquence) (Shipman, 2012)

### **I \_ 2 \_ 4 \_ 2 Puissance et l'intensité acoustique :**

Avant de définir le niveau sonore (L) en dB, qui est la valeur la plus utilisée dans les sciences d'acoustique environnementale, l'accent doit d'abord être mis sur l'intensité et la puissance sonores :

### **I \_ 2 \_ 4 \_ 3 Puissance sonore P :**

D'après Kang (2006), la puissance sonore est la quantité d'énergie émise par une source sonore dans une unité de temps exprimée en (W).

### **I \_ 2 \_ 4 \_ 4 Intensité sonore I :**

L'intensité sonore a été définie par Giancoli (1993) comme la quantité d'énergie qui traverse une surface d'un (1) m<sup>2</sup> dans une seconde (t=1s). Elle est exprimée en (w/m<sup>2</sup>).

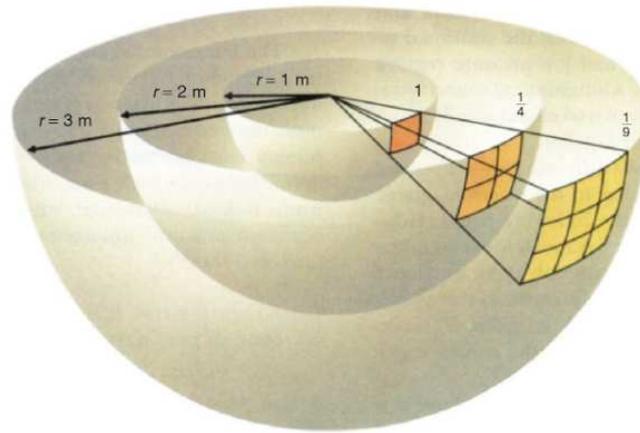


Figure I-6: Illustration de l'intensité sonore d'une source ponctuelle (Shipman, 2012)

### I\_2\_4\_5 Niveau sonore (L)

Le niveau de la pression acoustique est une caractéristique sonore liée à la notion du volume sonore perçu par l'oreille. Ce paramètre, dépend de l'amplitude (Gain maximum du mouvement vibratoire) exprimée en dB.

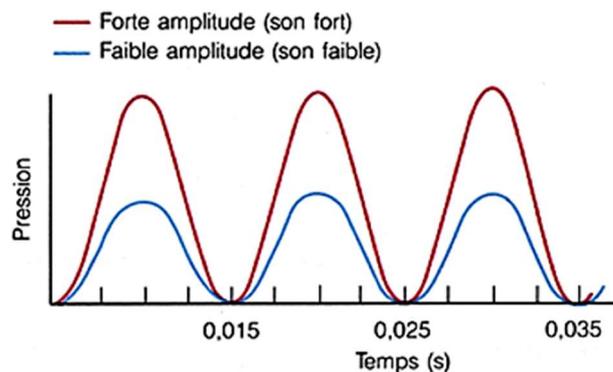


Figure I-7: Amplitude sonore (<http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr>)

### I\_2\_4\_6 Décibel dB

L'oreille de l'être humain est sensible aux pressions acoustiques (en Pascal, Pa) allant de 0.00002 à 200 Pa, dans un rapport de 1 à 10 000 000. À ce sujet, et dans le but de simplifier la caractérisation des niveaux sonores, les acousticiens ont adopté le dB, une échelle réduite qui représente une unité algorithmique sans dimension. En outre, Battersby (2016), Crocker (2007) et Hertig et al (2006) assurent que cette échelle exprime 10 fois le logarithme d'un rapport entre deux puissances sonores, comme démontré ci-dessous.

$$\text{dB} = 10 \log \frac{p_1}{p_0}$$

- Le  $P_1$  et définir la puissance mesurée ;
- le  $P_0$  est une puissance de référence fixée à 20  $\mu\text{Pa}$ .

**a) Addition et soustraction de décibel dB**

L'environnement sonore est composé d'un ensemble de sons de plusieurs origines, fréquence et intensité. Le niveau sonore global d'un environnement est le résultat d'une addition logarithmique et non algébrique d'intensités sonores (Battersby, 2016 ; Berger, 2003). À savoir, le doublement d'une source sonore ne double pas l'intensité, mais il donne une addition de 3 dB, alors que la multiplication d'une source sonore par 10 augmente l'intensité sonore par 10 dB. D'autre part et dans le cas où la différence entre deux sons est plus ou moins égale à 10dB, la valeur de l'addition est égale à 0,5 dB. Donc, nous pouvons ignorer le son faible, car il sera complètement masqué par le son fort (Norton et al, 2003). Voir figure I-8.

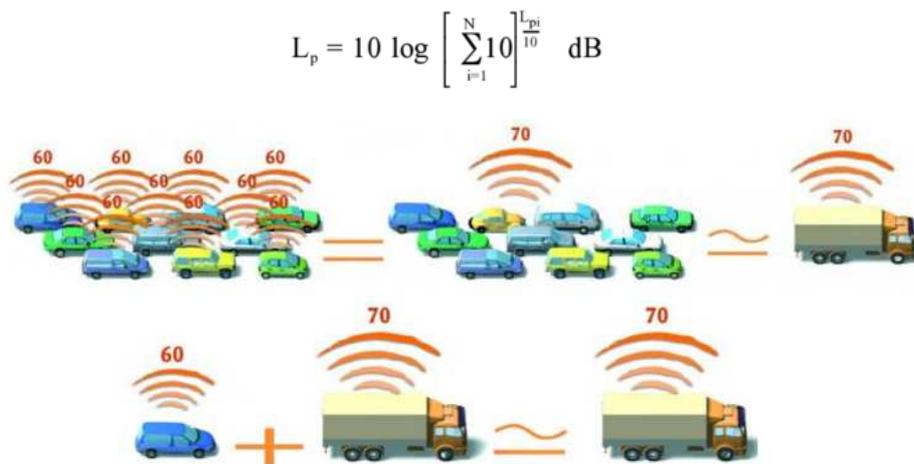


Figure I-8: L'Addition logarithmique du dB (<http://www.bruitparif.fr/environnement-sonore/tout-savoir-sur-les-decibels>)

**I\_2\_4\_7 Timbre**

Plusieurs chercheurs ont défini le timbre de plusieurs façons. À ce sujet, Roy (2004) affirme que le timbre est « l'ensemble des caractères du son qui le réfèrent à un instrument donné ». Par conséquent, le timbre est l'ensemble des caractéristiques physiques qui nous permet d'identifier subjectivement un son par rapport à un autre, même dans le cas où ces deux sons ont la même hauteur, la même intensité et la même durée. D'autre part, Tarasti (2012) a défini ce terme comme la couleur du son qui est indépendant de l'intensité et de la fréquence (Larousse).

### I\_2\_4\_8 Vitesse du son :

La vitesse du son lors de sa propagation varie d'un milieu à un autre, cela dépend de la compressibilité de ce milieu (gaz, liquide, solide) et de la masse volumique de ses particules (Hagopian et al 2014 ; Giancoli, 1993). La célérité des ondes sonores est exprimée en :

$$Vv = \sqrt{(\text{élasticité}/\text{masse volumique})}$$

Tableau 1 : Célérité du son dans quelques milieux (<http://www.cyberphon.ish-lyon.cnrs.fr>)

Phase du milieu	Nature du milieu	Vitesse du son (m/s)
Gazeux	Dioxyde de Carbone (CO <sub>2</sub> )	260
Gazeux	Oxygène	320
Gazeux	Air	330
Gazeux	Helium	930
Gazeux	Hydrogène	1270
Liquide	Mercure	1450
Liquide	Eau douce	1460
Liquide	Eau de mer	1520
Solide	Bois de pin	3320
Solide	Acier	5000
Solide	Verre	5500
Solide	Granite	5950

### I\_2\_5 Intervalle fréquentiel audible

Le spectre optique représente la partie du spectre électromagnétique visible par l'homme, elle est comprise entre l'infrarouge et l'ultraviolet (Jacquot et Voilley, 2012 ; Andrieu, 2016). La même chose pour l'ouïe, notre merveilleux système auditif est également lié aux fréquences, une onde mécanique devient une onde audible seulement si sa plage de fréquence est comprise entre 16 Hz (infrasons) et 16 à 20 KHz (ultrasons), cet intervalle dépend aussi des conditions physiologiques telles que l'âge et la génétique de l'être humain (Hamayon, 2010).

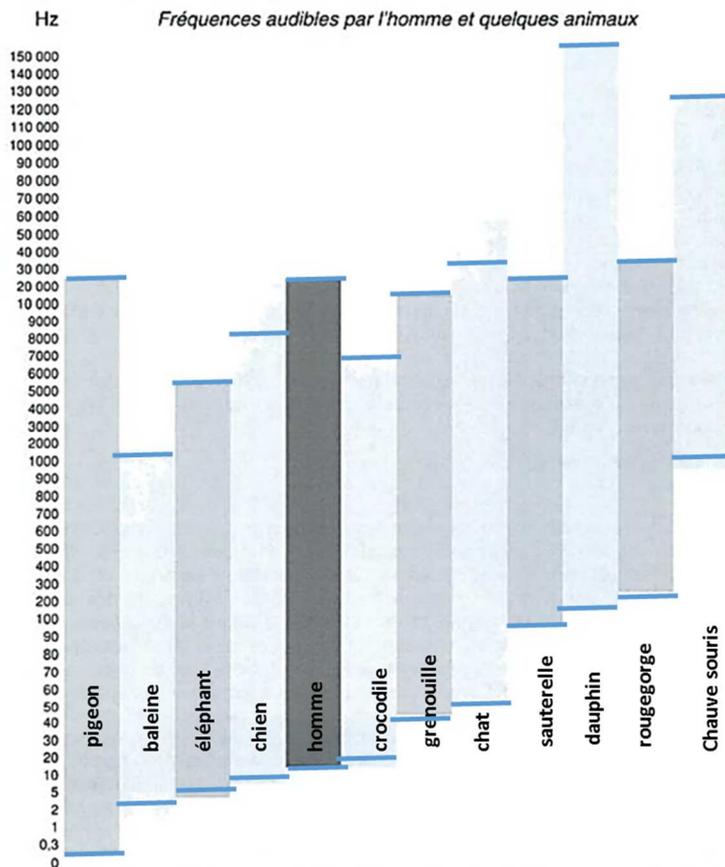


Figure I-9 : Fréquences audible par l'homme et quelques animaux (Munot et Nève, 2002)

### I\_2\_6 Champ auditif

Le champ auditif humain est défini comme la zone de sensibilité de l'oreille de l'être humain limitée par le seuil d'audibilité et de douleur. De même, Munot et al (2002) et Serway (1992) indiquent qu'il dépend de deux variables : la fréquence et l'intensité sonore.

À ce sujet, Munot et al (2002) et Serway (1992) affirment que le seuil d'audibilité est la pression sonore minimale à une fréquence donnée entre 20 Hz et 20 kHz qui peut provoquer une sensation auditive. Alors que, le seuil de douleur est la pression sonore maximale à une fréquence donnée, au-delà de cette pression, les ondes sonores peuvent causer des sensations douloureuses ainsi que des déformations irréversibles sur le système auditif (Munot et al, 2002 ; Serway, 1992).

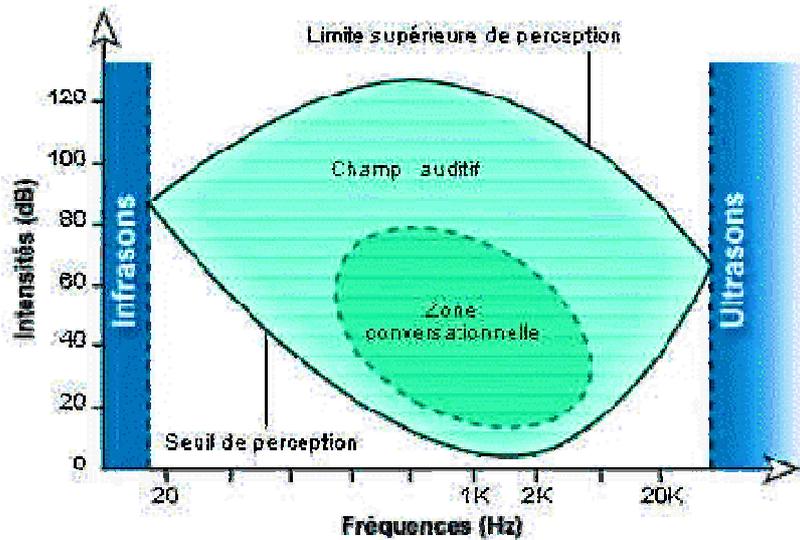


Figure I-10 : Champ auditif humain (<http://anso.pagesperso-orange.fr>)

Selon ce diagramme, nous pouvons remarquer que la sensibilité de l'oreille humaine aux basses fréquences est inférieure à celle des fréquences moyennes et hautes.

### I\_3 Phases de la propagation sonore

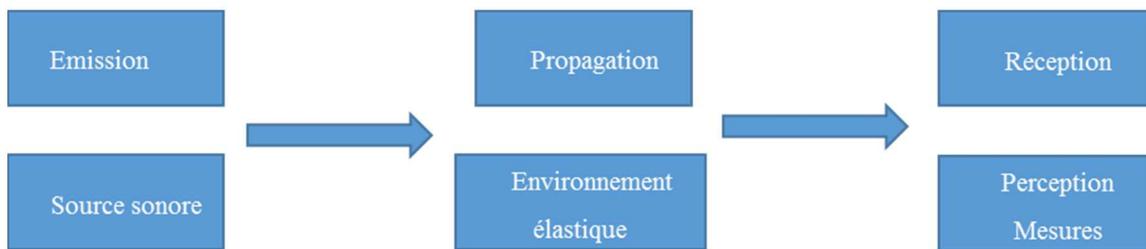


Figure I-11: Mécanisme de la propagation sonore (NGUYEN, 2007)

#### I\_3\_1 Émission

L'émission est un acte causé par une source sonore, c'est le résultat de l'agitation d'un environnement immédiat tel que l'air par exemple, ce qui produit des ondes mécaniques caractérisées par des fréquences audibles variant entre 15 et 20 KHz.

#### I\_3\_2 Propagation

Les vibrations sonores se propagent par le transfert de l'énergie dans des milieux matériels qui peuvent être aériens ou solidiens, de particule à particule adjacente. Une grande ressemblance entre la propagation des ondes lumineuses et sonores en champs libre peut être observée, d'où nous pouvons le résumer dans deux types de propagations : directe et indirecte comme l'affirme Thomas (2006).

La propagation directe (champ sonore direct) est l'incident où l'onde sonore ne fait face à aucun obstacle physique pendant leur trajet, de la source au récepteur. Par contre dans le deuxième type de propagation (indirect), l'onde sonore est confrontée à des obstacles physiques durant son trajet vers le récepteur, ce qui provoque à son tour des phénomènes physiques tels que : la diffraction, la diffusion et la réflexion. Dans ces cas, les obstacles se comportent comme des sources secondaires, car ils réémettent une partie de l'énergie sonore reçue par le champ acoustique (Thomas, 2006).

### I\_3\_2\_1 Réflexion

D'après Dunn et al (2015), la réflexion est le phénomène de rebondissement des ondes sonores face à la surface réfléchissante pendant leur propagation, elle dépend principalement de la surface et de la propriété de réflexion du matériau qui est définie par le coefficient de réflexion. Il varie entre 1 (parfaitement réfléchissant) et 0 (non réfléchissant). À ce sujet, il existe deux types de réflexion qui sont : (i) la réflexion spéculaire et (ii) la réflexion diffuse. Voir les figures I-12,13.

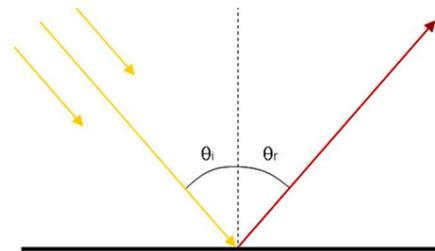


Figure I-12 : Réflexion spéculaire

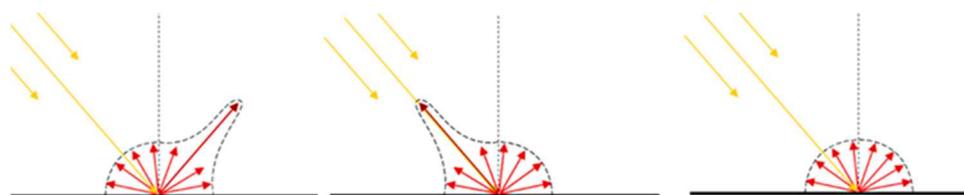


Figure I-13 : Réflexion diffuse

#### a) Réflexion spéculaire

La réflexion spéculaire est une réflexion exprimée par la loi de *Descartes*, où l'angle de la réflexion est symétrique à l'angle de l'incidence par rapport à la normale. De plus, Embrechts (2002) et Baukal (2003) affirment que la réflexion spéculaire se produit uniquement sur des faces planes, infinies et rigides.

## b) Réflexion diffuse

La réflexion sera diffuse lorsque l'onde sonore incidente se réfléchira dans plusieurs directions. En outre, Embrechts (2002) souligne qu'elle se produit sur des faces planes, rigides et de taille finie, c'est-à-dire que la longueur de l'onde est égale à la largeur de l'obstacle.

### I\_3\_2\_2 Diffraction

La diffraction selon Benson et al (2015), définit l'étalement ou le changement de la direction des ondes sonores devant les extrémités des corps, les trous ou les fentes. En diffraction, les obstacles sont devenus des sources sonores secondaires, car ils émettent une partie de l'énergie sonore reçue sous forme d'ondes diffractées, voir figure I-14. D'autre part, Baukal (2003) montre que la diffraction est considérée comme l'un des principaux défis de l'isolation acoustique.

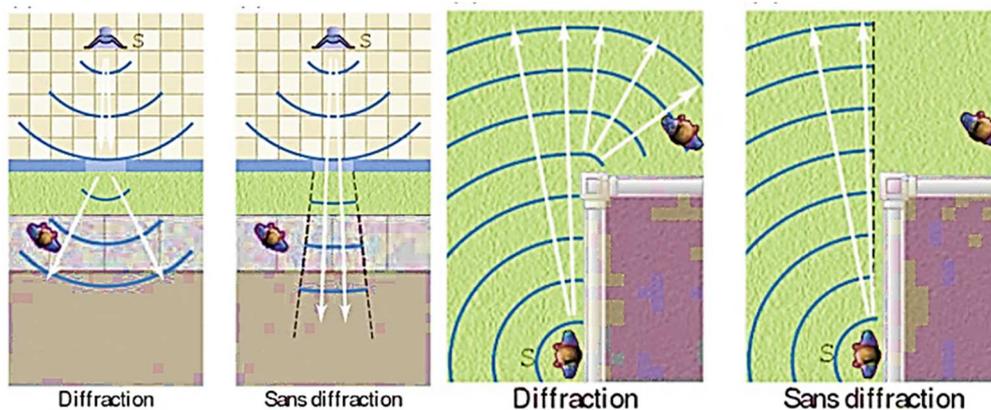


Figure I-14 : Illustration du phénomène de la diffraction (Benson, 2015).

### I\_3\_2\_3 Réfraction

Au cours de sa propagation, l'onde sonore peut traverser différents environnements tels que l'air et l'eau. Ce changement de milieu de propagation affecte la vitesse de l'onde sonore, ce qui provoque un écart par rapport à sa direction. De même, Baukal (2003) et Dunn et al (2015) ont défini la diffraction comme le mécanisme par lequel l'onde sonore change sa direction lors de sa propagation d'un milieu à l'autre en raison du changement de vitesse.

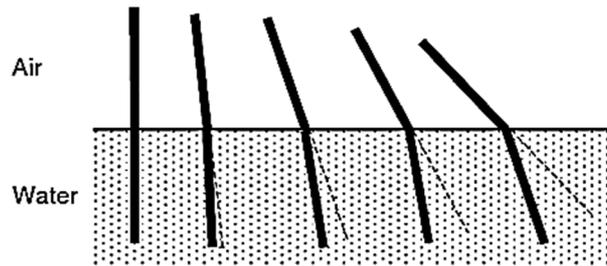


Figure I-15 : Illustration du phénomène de la réfraction (Benson, 2015).

### I\_3\_2\_4 Absorption

Une partie de l'énergie sonore reçue par les corps notamment poreux, tel que les fibres de verre ou les fibres minérales peut être absorbée, cette absorption résulte de la transformation de l'énergie sonore en énergie calorifique et parfois mécanique, elle est caractérisée par un coefficient d'absorption qui définit la capacité d'absorption sonore de chaque matériau et elle dépend de la fréquence des ondes sonores ainsi que de ses angles d'incidence, voir figure I-17. (Baukal, 2003 ; Dunn et al, 2015).

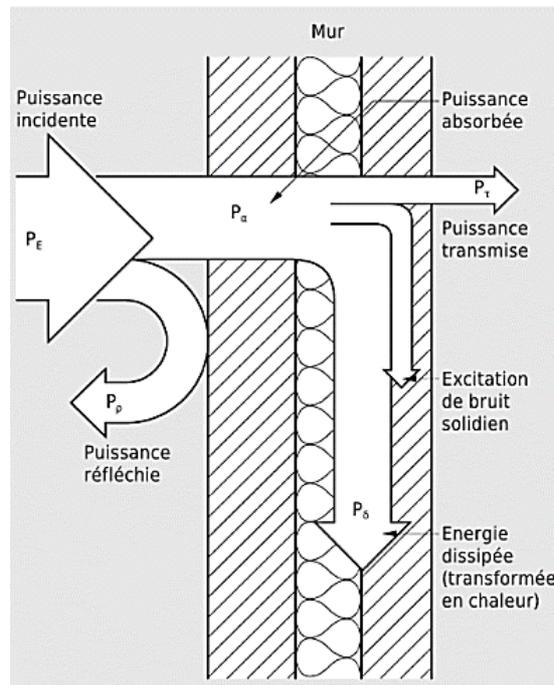


Figure I-16 : Comportement de l'onde sonore devant un obstacle

(<http://www.bruitsociete.ca>)

Coefficient d'absorption des matériaux ( $\alpha$ )	Bandes d'octave en Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Brique naturelle	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Brique peinte	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Béton	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Bloc de béton peint	0,1	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Linoléum	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Bois	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
Verre 4mm	0,35	0,25	0,2	0,1	0,05	0,05
Verre 6mm	0,15	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Plâtre sur support solide	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Plâtre sur armature	0,1	0,1	0,06	0,05	0,04	0,03
Laine de verre, 25mm entre 24 et 48 kg/m <sup>3</sup>	0,08	0,25	0,65	0,85	0,8	0,75
Laine de verre, 51mm entre 24 et 48 kg/m <sup>3</sup>	0,17	0,55	0,8	0,9	0,85	0,8
Laine de 25mm + vide d'air 25mm	0,15	0,55	0,8	0,9	0,85	0,8
Mousse de polyuréthane 6mm	0,05	0,07	0,1	0,2	0,45	0,81
Fibre minérale 12,7mm	0,05	0,15	0,45	0,7	0,8	0,8
Moquette	0,05	0,05	0,1	0,2	0,45	0,65

Figure I-17 : Coefficient d'absorption acoustique de certains matériaux (<http://www.bruitsociete.ca>)

a) Absorption atmosphérique

Le phénomène d'absorption atmosphérique est défini comme la diminution graduelle de la quantité de l'énergie des ondes sonores dans l'espace extérieur en fonction de la distance. Cette atténuation de l'énergie sonore dépend de plusieurs phénomènes, tels que la masse volumique, l'humidité relative et la température de l'air, comme le montre la figure I-18, et elle dépend également des caractéristiques du son, comme la fréquence et l'intensité sonore. Selon Junker et al (2006) la dissipation des ondes sonores s'exprime en dB/KM.

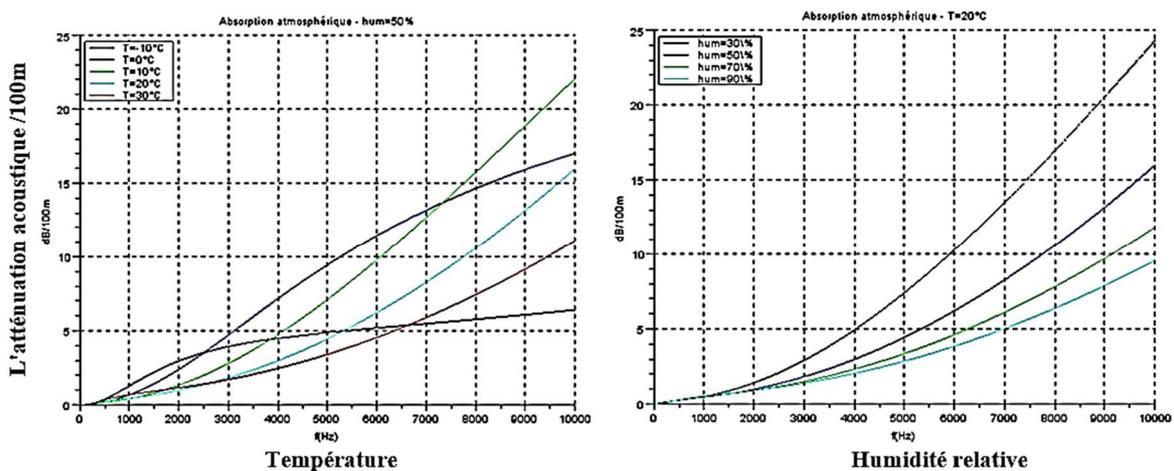


Figure I-18: Effet de la température et de l'humidité relative sur l'absorption atmosphérique (<https://acoustique-de-l-environnement/propagation-acoustique-en-milieu-exterieur>)

### I\_3\_2\_5 Effets micro météorologiques

En plus des phénomènes physiques énumérés dans ce chapitre, d'autres paramètres peuvent affecter également la propagation sonore en champ libre comme les phénomènes météorologiques tels que le vent, la température et l'humidité.

Dans l'espace urbain, l'impact des phénomènes météorologiques sur la propagation du son est très modéré par rapport à ses effets sur la propagation du son à longue distance, comme le cas de la propagation de bruit des éoliennes et des autoroutes vers les agglomérations urbaines.

#### a) Effets du vent

Selon Eargle (2013), la vitesse des ondes sonores qui se propagent dans la direction du vent est égale à sa vitesse plus la vitesse du vent. De ce fait, le vent a un impact qui ne peut être négligé lors de l'étude des phénomènes acoustiques au niveau des espaces extérieurs, car il peut influencer la vitesse des ondes sonores ainsi que sa direction.

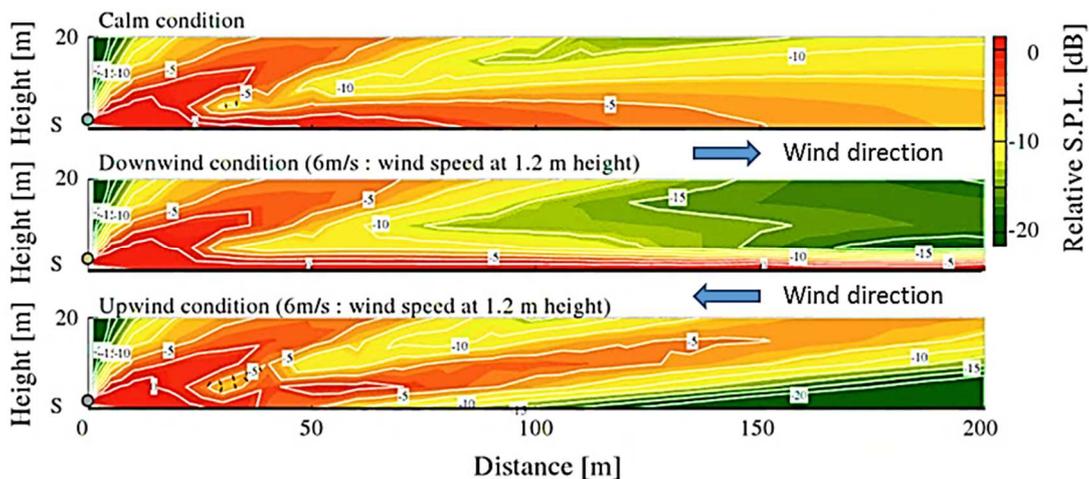


Figure I-19 : Effet du vent sur la propagation sonore (Sakuma et al, 2014).

D'autre part, la direction du vent influence également la répartition des ondes sonores, elle oriente les ondes propagées dans la direction du vent vers le sol, tandis qu'elle dirige les ondes propagées contre la direction du vent vers le haut, ce qui crée des zones d'ombre (Cowan, 1993 ; Wang at al, 2005 ; Ballou, 2003 ; Eargle, 2013).

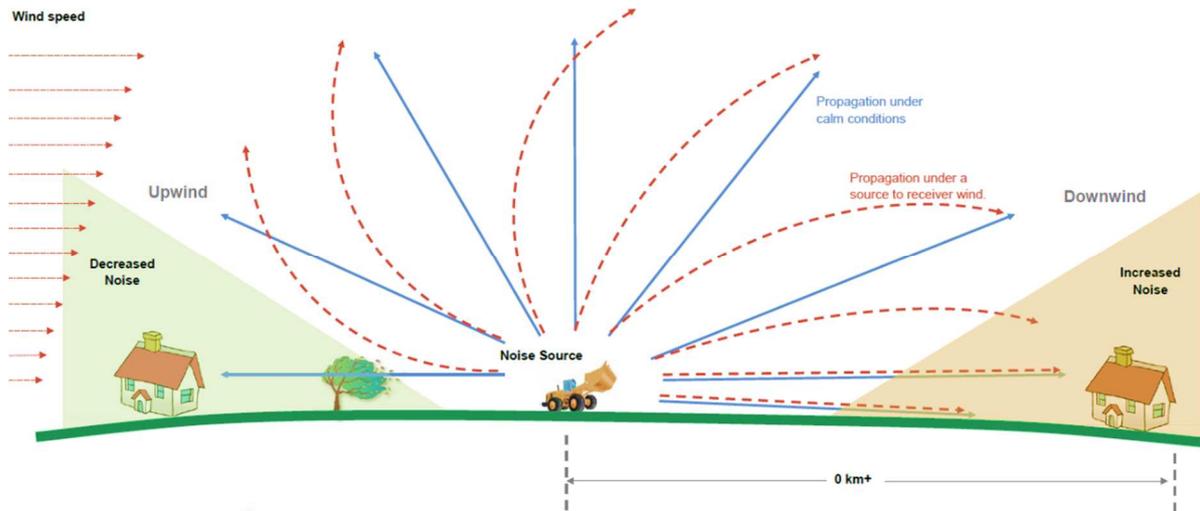


Figure I-20 : Effet du vent sur la propagation sonore (Parnell, 2015)

### b) Effet de la température

Les effets de la température sur la propagation du son sont très significatifs. En effet, le son se propage plus rapidement dans l'air chaud, car il est moins dense comparé à l'air froid. D'autre part, les gradients de la température en fonction de la hauteur affectent également la propagation sonore et notamment la direction des ondes, comme le montre la figure I-21. (Dunn et al, 2015 ; Wang et Pereira, 2012)

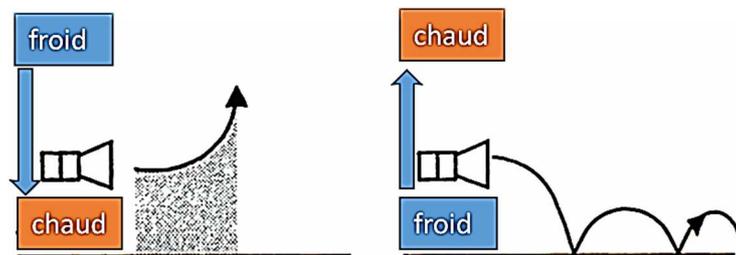


Figure I-21 : Effet de la température sur la direction des ondes sonores (Cowan, 1993)

D'après Ahnert et Steffen (2000), l'augmentation de la température en fonction de la hauteur dirige les ondes sonores vers le sol, par contre, la diminution de la température dirige les ondes sonores vers le haut en résultant des zones ombragées acoustiquement (shadow area).

### c) Effets de l'humidité relative

L'atténuation de l'énergie des ondes sonores dans l'air est également affectée par l'humidité relative. Nous pouvons remarquer d'après la figure I-22, que la diminution sonore en fonction de l'éloignement atteint ses niveaux maximaux entre les valeurs d'humidité 15 et 20%. Ensuite, elle diminue avec l'augmentation du taux de l'humidité de l'air, ce qui peut s'expliquer selon Eargle (2013) par la différence entre la densité de l'air sec et l'air humide.

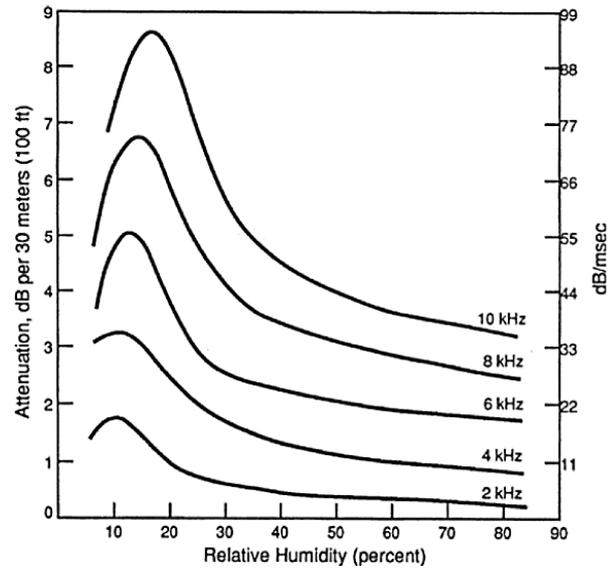


Figure I-22 : L'effet de l'humidité relative sur la l'atténuation sonore (Eargle, 2013)

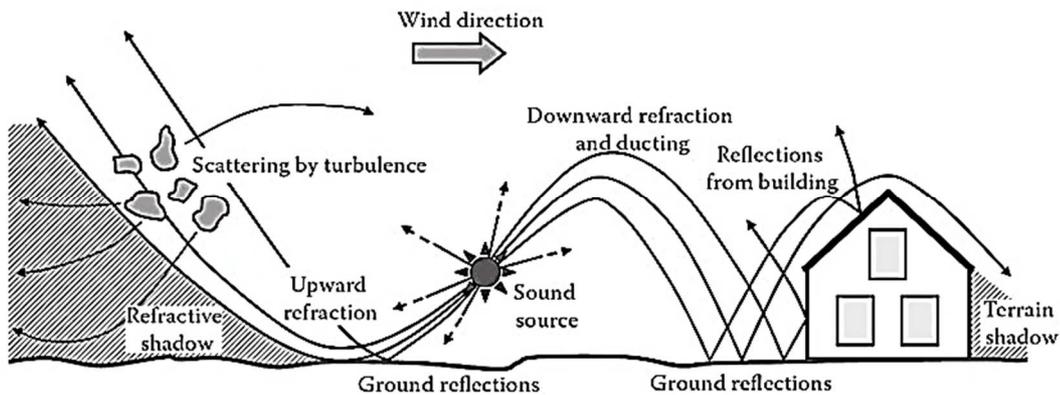


Figure I-23 : Principaux paramètres affectant la propagation sonore dans l'extérieur (Fernando, 2012)

### I\_3\_2\_6 Effet du sol :

Le sol agit sur la propagation des ondes sonores dans l'espace extérieur et surtout pour des longues distances, ce phénomène doit être pris en compte lors de l'étude, la mesure, la prédiction et l'analyse des situations sonores.

L'atténuation du son dû aux effets du sol est le résultat de phénomène d'absorption sonore et de l'intersection entre les ondes directes de la source et réfléchies par la surface du sol, ce qui provoque un champ d'interférence et engendre une perte d'énergie (Junker, 2006). D'autre part, Vuillier (2009) affirme que plus la source sonore a une basse altitude et a une fréquence sonore aiguë, plus l'atténuation sonore est importante, voir la figure I-24.

La résistance du sol dépend de :

- la fréquence du son ;
- la hauteur de la source sonore par rapport au sol (l'angle d'incidence) ;
- et la propriété absorption du sol.

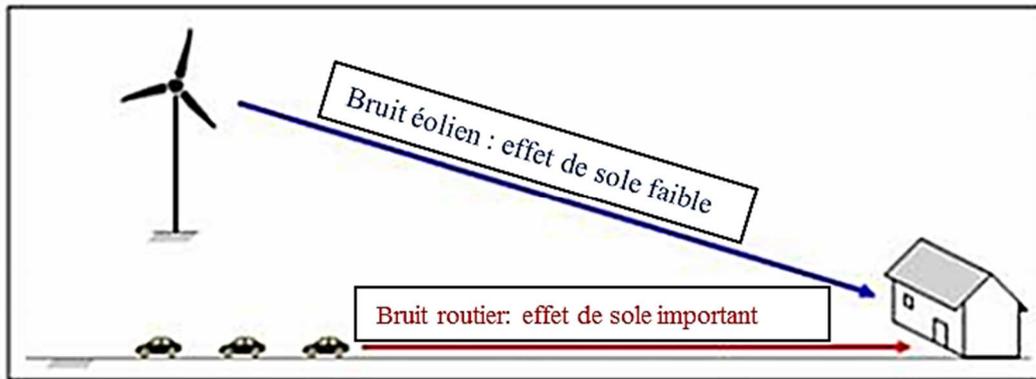


Figure I-24 : Effet du sol (Vuillier, 2009)

### I\_3\_3 Réception

#### I\_3\_3\_1 Système auditif

Le sens de l'ouïe est l'un des sens les plus importants pour les êtres vivants, nous pouvons fermer nos yeux, mais nous ne pouvons pas déconnecter nos oreilles de notre environnement. En nous basant sur l'ouïe, nous communiquons et nous découvrons notre environnement acoustiquement, ce qui renforce notre perception visuelle et olfactive. Dans les paragraphes ci-dessous, nous allons expliquer brièvement le fonctionnement du système auditif.

##### a) Oreille humaine

L'oreille, est un appareil qui joue un rôle dans l'équilibre de l'être humain en plus de son rôle fondamental qui est : (i) la réception, (ii) la transmission, et (iii) la transformation des signaux sonores en des informations audibles (capter et déchiffrer les ondes sonores). Cet organe est constitué de trois partis (figure I-25) qui sont : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne (Poirier, 1980 ; Marieb et al, 2010 ; Simon et al, 2008 ; Tortora et al, 2017).

L'oreille externe comprend le pavillon qui recueille les ondes sonores et les dirige par le canal auditif externe qui joue le rôle d'un amplificateur, vers le tympan. Le tympan est considéré comme une petite membrane qui se déforme sous l'effet des variations de pression, provoquant des vibrations transmissent au osselet fixé au tympan.

L'oreille moyenne se compose d'une chambre d'air de 1 à 2 cm<sup>3</sup> qui comprend :

- La chaîne des ossicules qui contient le marteau, qui reçoit à son tour les vibrations sonores provenant du tympan et le transmet à l'enclume, ensuite à l'étrier, qui joue le rôle d'un piston agit sur le liquide de l'oreille interne (Poirier, 1980 ; Marieb et al, 2010 ; Simon et al, 2008 ; Tortora et al, 2017).
- L'oreille interne comprend : (i) l'organe vestibulaire, qui est un organe sous forme d'escargot, responsable de l'équilibre des êtres humains et de la perception de positionnement angulaire de la tête, et (ii) la cochlée qui est un sac membraneux contient du liquide et un grand nombre de cellules ciliées ; les vibrations provoquées par l'osselet (l'étrier) bougent le liquide qui met en mouvement les cellules ciliées qui détectent et transmettent ces mouvements en signaux électriques, et se récupèrent ensuite par le nerf auditif qui transmet ces signaux au cerveau qui le decode afin nous entendions (Poirier, 1980 ; Marieb et al, 2010 ; Simon et al, 2008 ; Tortora et al, 2017).

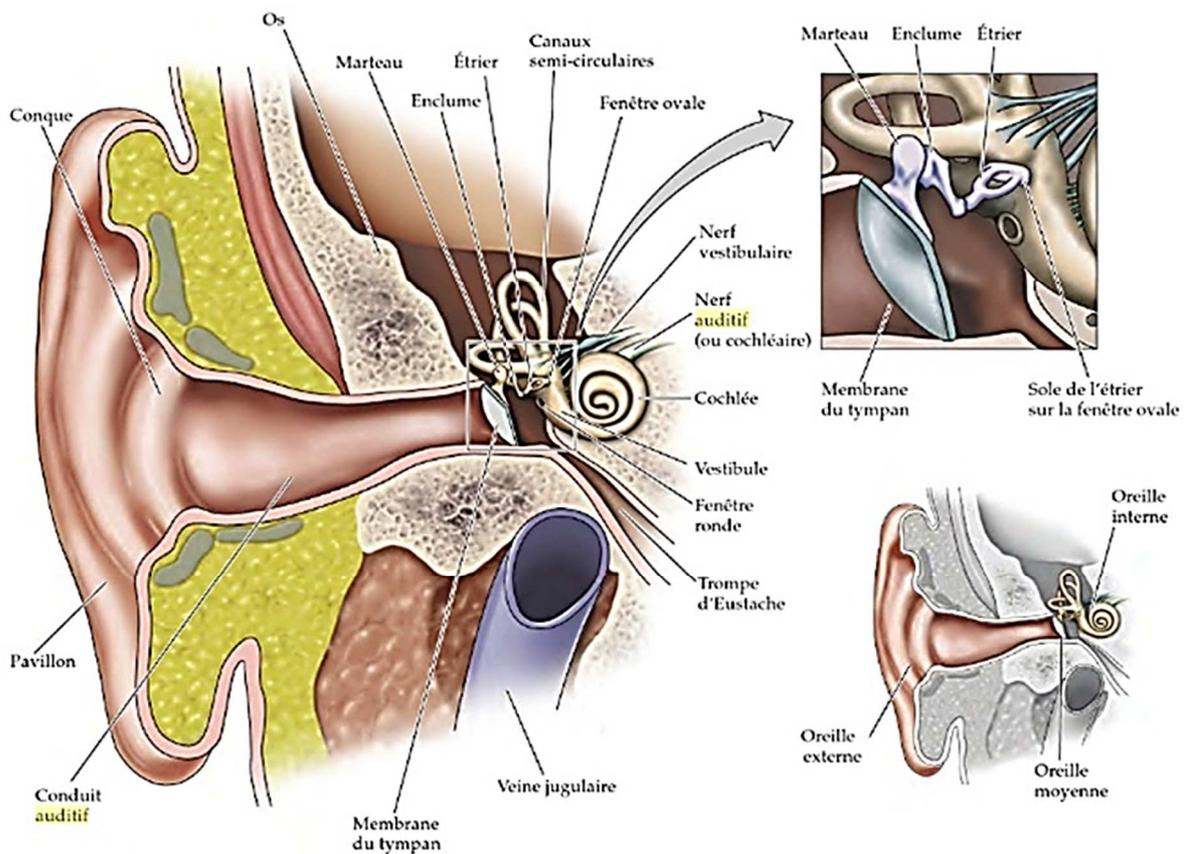


Figure I-25 : L'anatomie de l'oreille humaine (Marieb et al, 2010)

### I\_3\_3\_2 Instruments de mesure

#### a) Sonomètre

Selon Boyes (2010) et Fahy et Walker (1998), le sonomètre est un instrument utilisé pour mesurer le niveau de pression acoustique (une grandeur liée au volume perçu par l'oreille humaine). C'est un outil indispensable dans les études d'acoustique architecturale et urbaine, car il permet de définir le niveau sonore émis par une source bien définie telle que les routes, les usines ou les machines afin de déterminer leurs impacts sur leurs environnements sonores.

D'autre part, le sonomètre permet de définir le taux de pollution sonore dans les zones urbaines ou architecturales sensibles, comme les hôpitaux, et il sert aussi à évaluer la répartition des niveaux sonores dans les espaces architecturaux, comme les salles de classe et les théâtres dans le but d'évaluer les performances acoustiques de ces lieux.

Le principe de fonctionnement de cet instrument est basé sur sa capacité à capter les variations de pression sonore par un microphone et à le transformer en un signal électrique. À ce niveau, le signal est filtré par cet instrument selon le type de fréquence, et est multiplié par lui-même afin d'obtenir sa pression en dB (Barron, 2002 ; Baukal, 2003 ; Maekawa et Lord, 2004 ; Fahy et Walker, 1998 ; Berger, 2003).

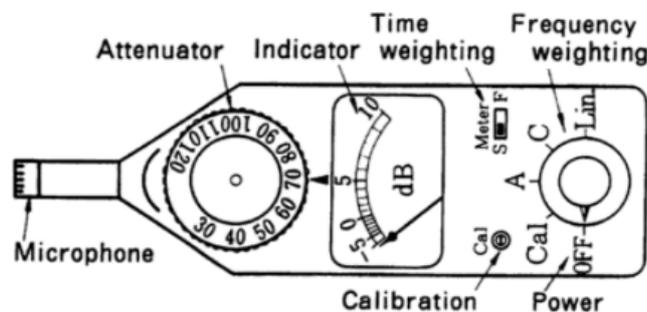


Figure I-26 : exemple d'un sonomètre (Maekawa et Lord, 2004)

#### b) Pondération fréquentielle

La plage fréquentielle des ondes sonores audibles varie seulement entre 20 Hz et 20 KHz. En outre, il convient également de noter que nos oreilles sont plus sensibles aux fréquences moyennes comprises entre 500 Hz et 6 KHz. Afin de prendre en compte la perception de l'oreille humaine et pour obtenir des mesures proches de ce que nous entendons et percevons, les instruments de mesures récentes sont adoptés par des filtres de pondération de fréquence (A, C, Z) (Baukal, 2003 ; Maekawa et Lord, 2004 ; Fahy et Walker, 1998 ; Berger, 2003).

La pondération A est la plus utilisée dans le domaine d'acoustique environnementale, car elle permet de mesurer les ondes de la plage fréquentielle qui varie entre 500 Hz et 6 KHz, et qui représente la zone la plus sensible de l'oreille humaine (Rossi, 2007).

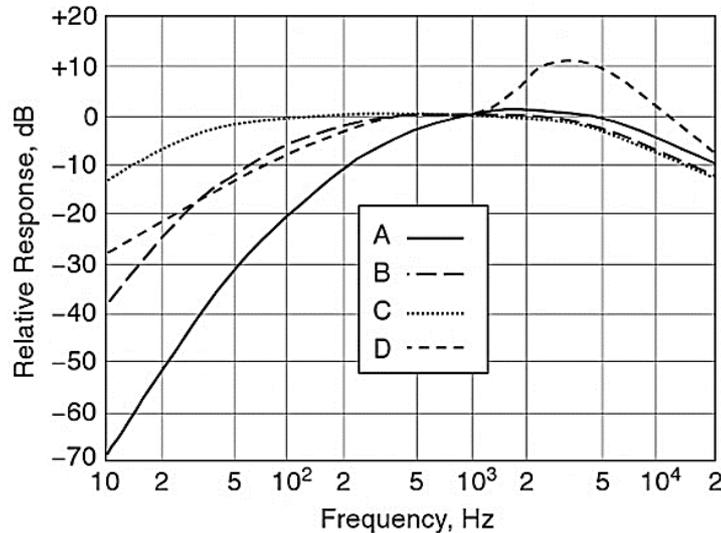


Figure I-27 : Pondération fréquentielle du sonomètre (Maekawa et Lord, 2004)

### c) Pondération temporelle

Dans les sonomètres récents, nous pouvons trouver aussi deux types de pondération temporelle selon le temps de réponse (Rossi, 2007 ; Müller et Möser, 2012), qui sont : (i) la pondération temporelle rapide (Fast) qui fonctionne d'une manière très similaire à celle de l'oreille, elle correspond à une constante du temps de 125 Millisecondes ; et (ii) la pondération temporelle Lente (Sslow) correspond à une constante de temps de 1 seconde.

## I\_4 Modes de représentation du son

Pour simplifier, l'étude du son qui est un phénomène complexe et notamment audible, plusieurs essais ont été faits afin d'avoir une représentation visuelle de ce dernier, selon ces trois grandeurs fondamentales et mesurables qui sont : (i) l'intensité, (ii) la fréquence et (iii) le temps.

### I\_4\_1 Présentation en 2D

Afin d'analyser et d'étudier un signal sonore, trois types de présentation graphique en deux dimensions (2D) peuvent être utilisés. Ces présentations dépendent de l'intensité en dB, la fréquence en Hz et le temps en second (Vogel, 1999).

### I\_4\_1\_1 Plan mélodique

D'après Vogel (1999), le plan mélodique est la courbe qui permet de définir l'évaluation de la fréquence (Hz) selon le temps, afin de suivre les variations et les pics fréquentiels et les hauteurs des sons en fonction du temps.

### I\_4\_1\_2 Spectre sonore

Le spectre sonore est le diagramme de l'amplitude (dB) en fonction de la fréquence (Hz) voir la figure I-28. Il permet de visualiser la hauteur des signaux sonores (grave, aigu) et ses changements en fonction de l'intensité. D'autre part, il permet de visualiser l'émergence ainsi que le déplacement des pics fréquentiels comme l'affirme Vogel (1999).

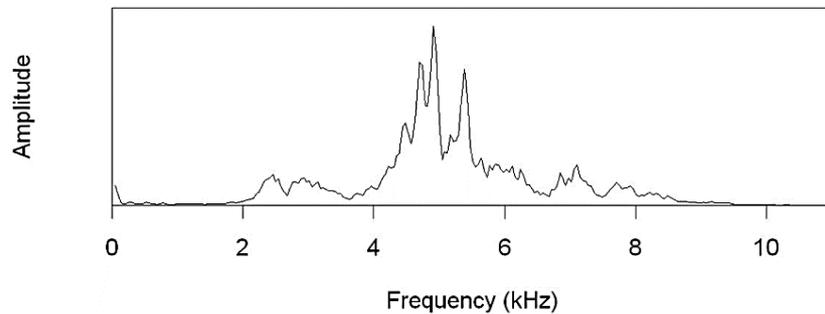


Figure I-28 : Spectre sonore (Sueur et al, 2008)

### I\_4\_1\_3 Plan dynamique

Le plan dynamique est le diagramme qui permet de visualiser l'évaluation de l'intensité sonore (dB) par rapport au temps (s), et de déterminer le temps d'émergence, l'intensité ainsi que la durée des signaux sonores (Vogel, 1999), voir la figure I-29.

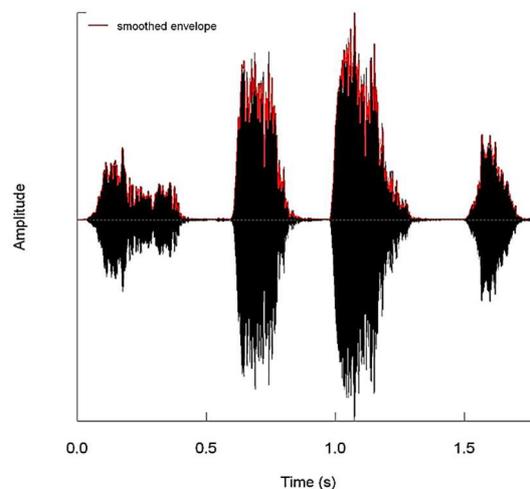


Figure I-29 : Plan dynamique (Sueur et al, 2008)

## I\_4\_2 Présentation en 3D

### I\_4\_2\_1 Spectrogramme

Le spectrogramme a été dessiné la première fois par un appareil qui s'appelle le spectrographe inventé en 1940. C'est une machine créée pour les militaires pendant la Deuxième Guerre mondiale et elle est améliorée dans les années 1950 par Manfred Schroeder (Katz, 2013).



Figure I-30 : Un spectrographe (Katz, 2013)

Le spectrogramme est une représentation graphique qui permet de visualiser l'invisible, c'est la traduction visuelle du signal sonore qui permet de déterminer l'évaluation de la fréquence et de l'amplitude en fonction du temps. Dans cette représentation graphique, (i) l'axe des x représente le temps et (ii) l'axe des Y représente les fréquences, et (iii) le fond de diagramme représente l'intensité sonore, soit par une palette de niveau de gris sinon par une palette colorée. Il existe également d'autres spectrogrammes 3D, où l'amplitude était visualisée par un troisième axe des Z (Maravitti, 2013).

Au début, il était très compliqué d'avoir des spectrogrammes, car cela exigeait l'utilisation d'équipements spéciaux, comme le sonagramme. Par contre, de nos jours et grâce au développement numérique et technologique, c'est très facile d'obtenir le spectrogramme d'une bande sonore à l'aide de logiciels open source, comme le Seewave ou des autres logiciels commercialisés à l'image du logiciel Raven.

Donc, lire, analyser et interpréter un spectrogramme dans les études de l'acoustique urbain ou bien architectural est le nouveau défi des chercheurs, comme nous pouvons le remarquer dans les études de Semidor (2006a, b), et Djellali (2013, 2014).

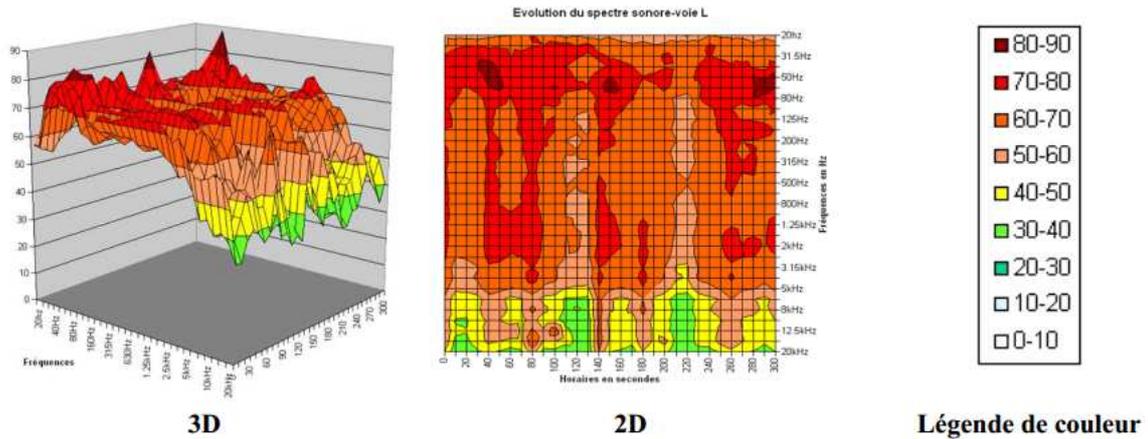


Figure I-31 : Spectrogramme 2D et 3D (Nguyen 2007)

### I\_5 Conclusion

A travers l'étude bibliographique qui a été faite dans ce chapitre, nous avons pu identifier les grands concepts ainsi que les caractéristiques physiques fondamentales de ce domaine de recherche, notamment celles qui sont liées à notre thème d'étude à l'image de la fréquence, l'intensité, le timbre, le niveau et la pression acoustique.

En effet, et en plus des notions de base de l'acoustique, nous avons cerné la recherche bibliographique dans la deuxième partie de ce chapitre sur la notion de l'audition d'un point de vue physique en déterminant la notion du champ auditif et de l'intervalle fréquentiel audible.

Par ailleurs, cette partie théorique a porté aussi sur les trois phases des ondes sonores à l'extérieur en se focalisant beaucoup plus sur la propagation de ces ondes en champ libre notamment urbain, afin d'identifier les différents paramètres physiques et environnementaux qui influent sur l'environnement sonore comme la réflexion, la diffraction, la température de l'air, la vitesse et la direction du vent. En fait, ces paramètres peuvent affecter également la précision des mesures et la qualité des enregistrements sonores effectués dans la deuxième partie de ce travail de recherche.

Finalement, nous consacrerons la dernière partie à identifier les différents instruments de mesure d'intensité sonore utilisés dans les études de l'acoustique urbaine, ses modes de fonctionnement ainsi que les modes de présentation des indicateurs sonores mesurables.

**Chapitre II : Morphologie urbaine et  
propagation sonore**

## **II \_ 1 Introduction**

Dans le chapitre précédent, nous avons abordé les différents concepts et notions de base physiques de l'acoustique en mettant l'accent sur le phénomène de la propagation des ondes sonores en champ libre.

Alors que dans ce deuxième chapitre, différentes définitions scientifiques sont présentées à partir de la littérature scientifique du domaine concernant la morphologie et la forme urbaine, en passant par ses éléments constitutifs (les quartiers, les voies ...etc.), ses caractéristiques, ses composants ainsi que ses différentes approches d'étude et d'analyse.

Ensuite, nous identifions les différents indicateurs morphologiques utilisés dans des études préalables pour déterminer le lien entre la morphologie urbaine et les autres phénomènes environnementaux tels que la vitesse du vent, l'îlot de chaleur et la ventilation, dans le but de présenter les principales caractéristiques physiques des tissus urbains qui ont un impact sur la nature de l'environnement urbain, notamment sonore, d'après une recherche bibliographique.

En outre, cette partie constitue une transition pour aborder la thématique des paysages sonores urbains et des pollutions sonores analysés dans le chapitre suivant (ch III).

## **II \_ 2 Morphologie urbaine**

Entre théorie et objet d'étude, la morphologie urbaine représente une notion très vaste, complexe et polymorphe. Elle est définie comme l'image de la ville après une évaluation spontanée ou planifiée, résultant d'événements historique, culturel et politique (lois et règlements), dans laquelle la ville a été créée et s'est développée (Athamena. 2012). Une autre définition élaborée par Adolphe (2001) a défini la morphologie comme le résultat des interrelations complexes entre plusieurs phénomènes sociaux, religieux, économiques, physiques, géométriques et naturels.

D'autre part, d'autres auteurs ont défini la morphologie urbaine comme la science qui se focalise sur la forme physique des agglomérations urbaines afin de comprendre ses caractéristiques, sa structure et sa forme ainsi que ses processus de développement (Schirmer, Axhausen, 2016 ; Moudon, 1997 ; Alain, 2004 ; De Smet, 2012), Ce qui permet de clarifier la nature de la relation entre la morphologie urbaine et les activités urbaines (transport public, commerce), les phénomènes environnementaux (micro climat, ventilation...) ainsi que les phénomènes psychologiques comme la peur et les crimes (Cozens, 2002 ; Luymes, 1995).

## II \_ 3 Forme urbaine

La forme urbaine est une notion polymorphe qui définit les caractéristiques des entités urbaines sur la base de l'intersection des trois éléments, qui sont le temps, l'homme et la nature. Par ailleurs, elle peut également se définir en se reliant à l'aspect physique des tissus urbains par l'ensemble de ses caractéristiques physiques représentées essentiellement par la structure et la géométrie du bâti. D'autre part, Moudon (1997) et Levy (2005) ont défini la forme urbaine comme la relation entre les trois composantes physiques fondamentales d'un tissu urbain qui sont les bâtiments et sa relation avec l'extérieur, les parcelles, les voiries et les rues.

La forme urbaine est constituée de deux échelles : (i) L'échelle macro qui englobe des grands tissus urbains et même des villes, les détails observés à ce niveau sont la structure du tissu, la forme des parcelles et la structure des voies. (ii) L'échelle micro se concentre sur des composants spécifiques à l'image d'une rue, d'un carrefour ou d'une impasse, nous pouvons avoir plus de détails concernant les entités étudiées dans cette échelle, qui arrive jusqu'à la couleur et la texture du bâti (Oliveira, 2016 ; Dempsey et al, 2010).

Il convient de noter, qu'en plus des caractéristiques physiques, la forme urbaine comprend également d'autres caractéristiques non physiques, à savoir la densité démographique, la religion et l'appartenance ethnique de la population (Dempsey et al, 2010).

### II \_ 3 \_ 1 Eléments de la forme urbaine

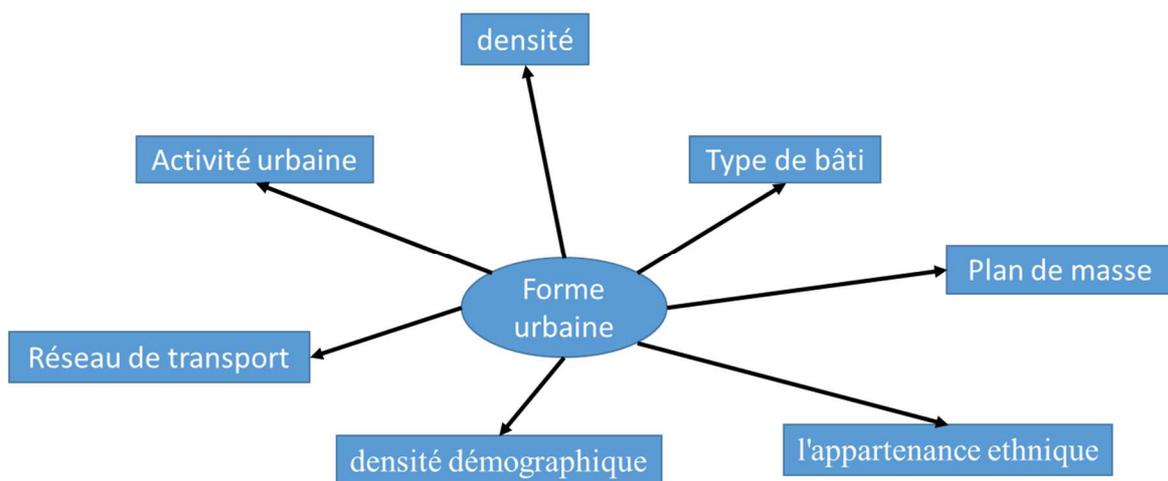


Figure II-1 : Les éléments constitutifs de la forme urbaine (Panerai, 2001)

La morphologie urbaine est constituée de cinq éléments, classés en deux catégories, physiques et non physiques (Dempsey et al, 2010), nous pouvons mentionner parmi eux :

### **II \_ 3 \_ 1 \_ 1 Densité démographique**

La densité, est un concept utilisé pour déterminer le rapport entre deux éléments. D'après Churchman (1999), la densité résidentielle détermine le nombre d'habitants qui habite dans une zone définie, tandis que la densité de la population détermine le nombre de populations qui utilise un espace bien défini.

La densité est une notion objective mesurable, mais elle a également un autre aspect subjectif, dépendant des caractéristiques morphologiques de lieu et de la sensation des usagers d'espace. Un espace statistiquement non dense peut être perçu comme très dense par les usages de l'espace s'il est fermé, une rue étroite en forme de U par exemple (Churchman, 1999 ; Xiao, 2017).

### **II \_ 3 \_ 1 \_ 2 Accessibilité (Transport et infra structure)**

L'accessibilité est la possibilité d'accéder à une zone urbaine ou à un bâtiment, elle est définie par Des Rosiers et Xiao (2000, 2017) comme la capacité des personnes à se déplacer pour participer aux différentes activités qui se déroulent dans l'environnement urbain. Par ailleurs, Hansen (1959) a défini l'accessibilité comme la possibilité d'interaction entre l'homme et son environnement, elle est étroitement liée aux moyens de transport et au réseau des voiries, ce qui détermine le taux de cette accessibilité de faible à forte (Talen, 2003).

### **II \_ 3 \_ 1 \_ 3 Activités urbaines (land use)**

Ce terme se réfère aux différentes activités qui se déroulent dans un tissu urbain. En plus de l'activité principale, qui est le logement, il existe aussi d'autres activités nécessaires à l'être humain dans son contexte de vie, à l'image des services tertiaires, des activités commerciales, de détente, de loisir et de transport. En outre, d'autres activités temporaires artistiques, religieuses, commerciales et sociales peuvent également être présentes, notamment au niveau des rues et des placettes. Selon Grant (2002), le type et le taux des activités urbaines peuvent influencer la qualité de vie, les environnements et les ambiances urbains. Par exemple, la présence d'un aéroport ou une prison réduit la satisfaction des personnes de leur espace de vie.

### **II \_ 3 \_ 1 \_ 4 Disposition urbaine**

Disposition urbaine, c'est la traduction du terme anglais (urban layout), elle détermine la structure des rues, la trame des réseaux routiers ainsi que la géométrie du bâti et du vide. D'après Hiller (1996), la disposition urbaine affecte significativement le comportement des personnes en espaces extérieurs, en particulier sur leur mouvement et leur répartition dans les agglomérations. L'aménagement urbain peut même affecter la localisation des activités dans les villes, ce qui influence indirectement leur fonctionnement (Porta, Hanson, 2009 ; Hiller et Hanson, 1989).

### **II \_ 3 \_ 1 \_ 5 Enveloppe architecturale**

C'est l'ensemble des caractéristiques de la façade urbaine telles que la texture, les matériaux de construction, la couleur, la hauteur, le style architectural ainsi que les éléments des façades. L'enveloppe architecturale affecte la perception des habitants de leur paysage urbain particulièrement le paysage visuel et même sonore (Dempsey et al, 2010).

### **II \_ 3 \_ 2 Approches morphologiques**

Face à la complexité de la notion de la forme urbaine et de l'intersection de nombreux paramètres qui l'affectent, cinq approches fondamentales peuvent être distinguées (Lévy, 2005).

#### **II \_ 3 \_ 2 \_ 1 L'approche de la forme urbaine comme forme d'un paysage urbain**

Dans cette approche, la forme urbaine est l'image d'une partie de la ville qu'on voit d'un seul regard (Dempsey et al, 2010 ; Lévy, 2005 ; Astex et al, 1980). Ce paysage est peut-être aussi celui de l'appareil photo ou d'un dessinateur (Vincent). selon Lynch (1999), le paysage urbain est le panorama de la ville. En outre, le paysage urbain est également défini comme l'ensemble des formes qui ont une signification et qui sont perçues différemment par les utilisateurs des espaces urbains (Rimbert, 1973 ; Michel, 2007).

Le paysage urbain est constitué essentiellement de 5 composants qui sont selon k. Lynch : les voies, les quartiers, les nœuds, les limites et les points de repère (Lynch, 1999 ; Nguyen, 2007), voir la figure ci-dessous.

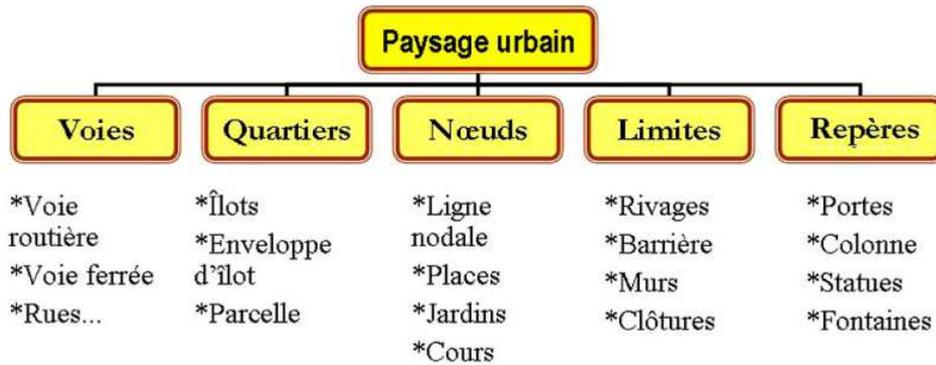


Figure II-2 : Les éléments constitutifs d'un paysage urbain (Nguyen, 2007)

Nous pouvons remarquer dans cette structure proposée par Lynch, l'absence d'un composant essentiel du paysage de la ville, qui est l'ensemble des activités qui se déroulent dans le contexte urbain à l'image des marchés, des magasins et des restaurants.

Pour le paysage sonore, les principaux éléments qui l'influencent sont : les voies, les quartiers, les nœuds ainsi que les fontaines et d'autres sources sonores du cinquième composant de la structure de Lynch (repère). D'autre part, la composante « limites » peut également influencer indirectement le paysage sonore en agissant comme barrière antibruit (Nguyen, 2007).

### II \_ 3 \_ 2 \_ 2 L'approche de la forme urbaine comme forme sociale

Cette approche se concentre sur les caractéristiques sociales (démographiques, ethniques ou religieux) de la population qui vit dans une zone urbaine, pendant l'étude et l'analyse morphologique (Grafmeyer et Joseph, 1990 ; Antoni, 2013 ; Roncayolo, 1996).

### II \_ 3 \_ 2 \_ 3 L'approche de la forme urbaine comme forme bioclimatique

Cette approche vise à étudier la forme urbaine d'un point de vue environnemental, afin de comprendre la relation entre les caractéristiques morphologiques (orientation, densité / porosité, hauteur, compacité ...) et d'autres phénomènes qui peuvent affecter le confort et la qualité de vie tels que l'îlot de chaleur, l'écoulement de l'air, la propagation de CO<sub>2</sub> et la pollution sonore (Escourrou, 1991 ; Escourrou, 1980 ; Mouffok et al, 2017).

### II \_ 3 \_ 2 \_ 4 L'approche de la forme urbaine comme forme de tissu urbain

Cette approche met l'accent sur les caractéristiques physiques de la forme urbaine et les interrelations entre ses composantes telles que les parcelles, les routes, les espaces bâtis, les espaces vides, les espaces verts et les rues...etc. (Panerai et Langé, 2001).

### **II \_ 3 \_ 2 \_ 5 L'approche de la forme urbaine comme forme des tracés urbains**

Cette approche vise à étudier les formes géométriques des plans urbains (vue aérienne), en se concentrant sur les lignes et les grands axes des formes urbaines (ville organique, ville en damier et ville radioconcentrique).

### **II \_ 4 Éléments constitutifs d'un tissu urbain**

Les éléments constitutifs d'un tissu urbain sont nombreux, ils sont trois selon Conzen (Lévy, 2005) : (i) le vide, (ii) le bâti et (iii) les activités, alors qu'ils sont cinq composants d'après Nguyen (2007) : l'espace de circulation (voirie, rues), les quartiers (ilot, parcelle), les espaces extérieurs (jardin, parc, place, placette) et les limites (naturelle aux bien artificielles).

#### **II \_ 4 \_ 1 Voies**

Le système de circulation représenté par les voies est l'un des éléments structurants de la ville qui ont contribué à sa forme actuelle, elles sont définies comme l'espace extérieur public où les gens se déplacent entre les différentes activités et les espaces de la ville, à pied ou en utilisant un moyen de transport (Adeline, 2013).

Suivant la dimension des rues, la logique de la circulation, le flux de trafic et les types d'espaces qu'ils connectent, nous pouvant distinguer plusieurs types des voiries comme : les allées piétonnes, les voies mécaniques (voitures et tramways), les canaux et les chemins de fer, sinon selon une autre hiérarchisation : les voies transit, artère, desserte et distribution, ou bien les voiries primaires, secondaire et terrassière.

De même, il est intéressant de noter que face aux changements et au développement rapide et continu des villes, les rues sont les éléments les plus résistants et les plus stables.

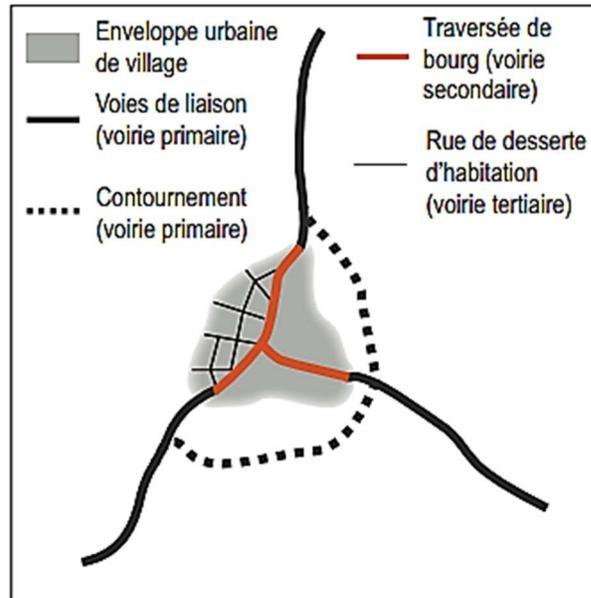


Figure II-3 : Schéma de Hiérarchisation de la voirie (Adeline, 2013)

Selon Gauthiez (2003) le classant des voiries dans son contexte (rues, avenues, boulevards...) permet d'obtenir plusieurs unités urbaines telle que :

- i. Les mailles primaires : des formes urbaines limitées par des voies principales.
- ii. Les mailles secondaires : des formes urbaines limitées par des voies secondaires.
- iii. Les mailles tertiaires : ce sont les composantes les plus petites ; des entités urbaines limitées par des voies terrassière et de desserte (Nguyen, 2007).

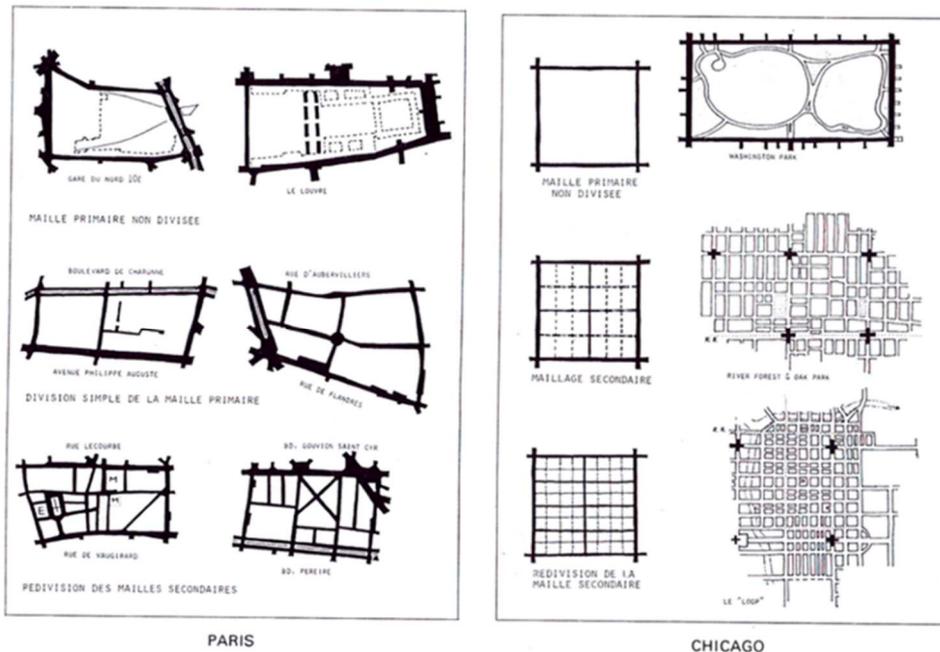


Figure II-4 : Type de maillage urbain (Pane, 1999).

## II\_4\_1\_1 Caractéristiques des rues

### a) Alignement du bâti

L'alignement correspond à la relation et l'implantation des bâtiments l'une par rapport à l'autre et par rapport à l'espace public. Elle dépend de la forme de la parcelle, les caractéristiques du terrain (pente, type de sol, proximité du réseau hydrologique.), ainsi que les éléments préexistants (bâtiments, nature, paysage) (Hanin et al, 2013). Généralement, trois types d'alignement caractérisent les zones urbaines, qui sont : (i) Alignement en ordre continu, (ii) Alignement en ordre semi-continu (iii) Alignement en ordre discontinu et groupé.



ordre continu



ordre semi continu



ordre discontinu,



groupé

Figure II-5 : Alignement du bâti (Google Maps).

### b) Prospect

C'est une valeur mesurable qui définit le rapport entre la largeur des rues et la hauteur des bâtiments qu'il limite (Oliveira, 2016 ; Samira, 2016). À partir de ce ratio nous pouvons définir trois formes des rues qui sont : (i) La forme canyon avec une valeur de ratio  $H/W > 2$  (la forme la plus utilisée dans l'architecture traditionnelle des zones arides à cause de son efficacité

devant les conditions climatiques), (ii) la forme dièdre  $0.5 < H/W < 1$  et (iii) la forme dégagée  $H/W < 0.25$ . (Samira, 2016).

Cette caractéristique physique est fortement liée à la qualité de vie, car elle affecte le microclimat, la ventilation et l'écoulement de l'air ainsi que la propagation de  $CO_2$  et de bruit.

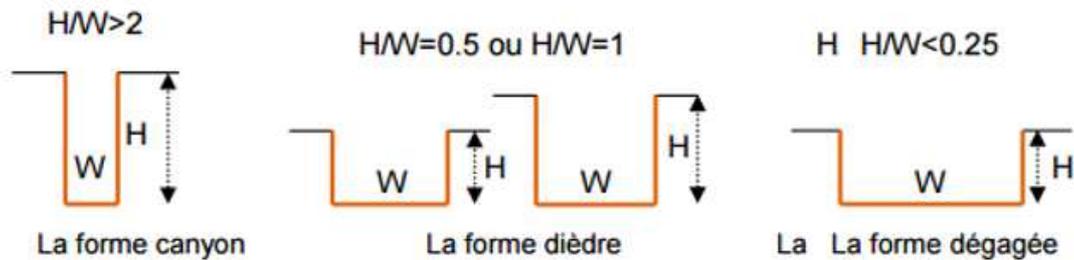


Figure II-6 : Les trois formes des rues (Nguyen, 2007)

### c) Rapport chaussé – trottoir

La relation entre la chaussée et le trottoir a été changée avec le temps, au début, la priorité a été accordée aux piétons, mais avec l'avènement des voitures et, peu à peu, la surface des trottoirs a été diminuée au profit de la chaussée goudronnée, ce qui a influé directement sur la qualité de l'environnement et augmente le taux de pollution des villes, notamment acoustiquement (Nguyen, 2007).

### d) Profil en long et l'élévation

Le profil en long d'une rue résume l'expérience visuelle des usagers des espaces urbains, cette expérience dépend du mode de vie, d'alignement du bâtiment, du rythme et de diversité architecturale, de la couleur et de la texture du bâti ainsi que de la présence de végétation.

### e) Végétation

En plus de ses effets positifs sur le micro climat, la vitesse du vent et d'autres paramètres liés au confort des habitants, la végétation contribue également au profil et à la structure des rues, d'autre part, elle est parmi les caractéristiques des rues les plus remarquées par les usagers de l'espace public, car elle donne une certaine homogénéité et un rythme aux espaces extérieures.

## II \_ 4 \_ 1 \_ 2 Hiérarchisation des rues

La hiérarchisation des rues dépend de plusieurs paramètres, nous pouvons citer entre autres les normes des pays, la culture de la société et les conditions climatiques de la région.

Le classement des rues le plus souvent est le suivant :

**a) Rues principales**

Ce sont les rues structurantes qui traversent la ville, généralement elles sont des grands boulevards de doubles voies avec une largeur importante permettant le stationnement de chaque côté. La priorité dans ces rues est accordée à la circulation et non à la desserte.



Figure II-7 : Principales rues de Biskra (Google Maps).



Figure II-8 : Avenue El Zatcha, rue principale (Auteur).

**b) Voies artérielles**

Ce sont des routes avec un important flux de circulation, elles servent à acheminer le trafic entre les différents quartiers. Ce sont des rues intermédiaires reliées entre les routes principales et les voies de desserte.



Figure II-9 : Rue Mohamed Chérif, voie artérielle (Auteur).

### c) Voies de desserte

Ce sont les rues qui contribuent à la desserte locale, elles assurent la distribution de flux à l'intérieur des tissus urbains, comme elles peuvent assurer la liaison inter quartier. La vitesse dans ces rues est généralement limitée (zone 30).



Figure II-10 : Rue Hasnaoui Aissa, voie de desserte (Auteur).

### d) Voies de distribution (ruelles, impasses)

Ce sont les voies qui desservent les bâtiments, elles sont considérées dans la culture de cette région comme des espaces semi-publics, car elles assurent la distribution directe aux maisons qui limitent ces allées ou ces impasses.



Figure II-11 : Ruelle Achoure Zidane (Auteur).

Dans cette ville, nous avons remarqué l'absence totale d'un réseau de pistes cyclables et la présence d'un faible réseau pour les piétons ce qui a encouragé l'utilisation des voitures, et augmente le taux de pollution environnementale notamment la pollution de l'air et la pollution sonore.

## II \_ 4 \_ 2 Quartiers

La notion du quartier est une notion très vaste, elle est définie en 1961 par Jane Jacobs comme l'ensemble des organes contribue à l'autogestion urbaine et qui se base sur le rôle des habitants. D'autre part un autre auteur a défini le quartier comme le tissu urbain pourvu des équipements d'intérêt public accessibles aux habitants et qui se caractérise par une sous-culture et une sous-identité ainsi qu'une certaine autonomie locale. Alors que nous trouvons des autres définitions du quartier qui basent beaucoup plus sur les notions sociales comme les relations entre les habitants à l'image de l'amitié et le voisinage (Ananian ,2010 ; Bromberger, 2001 ; Bourdin, 2003).

Le quartier est donc l'élément constitutif de la ville qui représente le territoire d'une communauté où elle pratique des activités quotidiennes économiques, sociales et autres, notons que la ville n'a jamais été le résultat d'addition des quartiers successifs, mais c'est le résultat des interactions entre ces derniers au niveau du plan social, économique, culturel .etc. (Ananian ,2010 ; Bromberger, 2001 ; Bourdin, 2003).



Figure II-12 : Deux quartiers contrastés morphologiquement (Google Maps).

Morphologiquement, le quartier se compose de plusieurs éléments, nous tenterons de détailler les plus importants dans les paragraphes ci-dessous.

#### **II \_ 4 \_ 2 \_ 1 Parcellaire**

C'est la plus petite unité urbaine, elle correspondant à des propriétés privées ou publiques, avec des tailles et des formes différentes selon la région et ses conditions environnementales et climatiques, ainsi que la culture de la communauté, le cout de foncier et les règlements de pays.

#### **II \_ 4 \_ 2 \_ 2 Ilots**

C'est l'unité élémentaire d'agglomérations urbaines, elle s'est composée essentiellement des parcelles bâties ou non bâties et bordées par des rues et des boulevards, sinon par des limites naturelles.

#### **II \_ 4 \_ 2 \_ 3 Activités urbaines**

C'est l'ensemble des activités terrassières, commerciales et/ou loisirs qui se déroulent dans un quartier. Généralement, c'est la loi qui organise le type et le positionnement des activités dans le périmètre urbain. Mais malgré cela, nous avons remarqué dans la ville de Biskra la présence de certaines activités gênantes dans des quartiers résidentiels ce qui a influencé la qualité environnementale de ces derniers notamment acoustiquement comme les stations de lavage, les salles des fêtes et autres.



Figure II-13 : Exemple d'une activité gênante dans les zones résidentielles (Auteur).



Figure II-14 : Exemple d'une salle des fêtes (Auteur).

## II \_ 4 \_ 2 \_ 4 Espaces publics

La notion de l'espace public est très ancienne, elle est définie comme la partie du tissu urbain accessible au public à l'image des rues, des jardins, des places et des placettes. Plusieurs activités se déroulent dans ses espaces tels que la circulation, le commerce, la détente et les loisirs (Sutton, 2008 ; Nissen, 2008).

### a) Places et placettes

Ce sont les espaces non construits et aménagés qui représentent les lieux de rencontre, de jeu et de détente. L'importance de ces composants varie d'une ville à l'autre en relation avec la culture de la société, mais elles ont toujours une valeur symbolique puisqu'elles sont parmi les éléments qui contribuent à l'identité de la ville. Par ailleurs, plusieurs activités temporaires ou permanentes peuvent se dérouler dans les placets tels que des événements culturels, artistiques et religieux ainsi que des marchés hebdomadaires.

Les places sont généralement caractérisées par un revêtement du sol différent du revêtement des rues qui les entourent et par la présence de mobilier urbain, de végétation, des espaces d'eau. (Sutton, 2008 ; Yang et Kang, 2005).



Figure II-15 : Place de Dalhaa (Auteur).

Le paysage sonore des places publiques est caractérisé principalement par une forte présence de biophony et de géophonie ainsi que des sons humains non mécaniques, sauf dans le cas où ces places urbaines sont bordées ou traversées par des routes mécaniques de fort flux. Le paysage sonore se caractérise essentiellement dans ces cas, par une forte présence de bruit mécanique qui masque les autres sons de la ville.

Les places publiques peuvent prendre plusieurs formes selon leur contexte urbain comme le montre la figure II-16

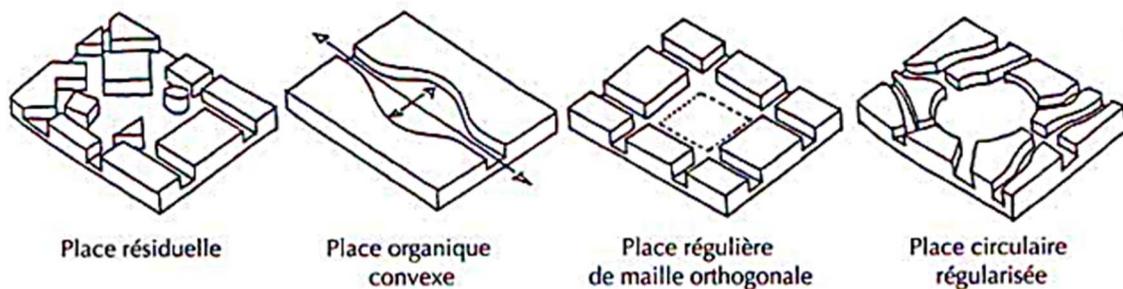


Figure II-16 : Exemple des formes des placettes (Nguyen, 2007)

### b) Parcs et jardins publics

Ce sont des espaces accessibles au public, consacrés spécialement à la végétation, comme il peut également être aménagé par des aires de jeux et des buvettes, généralement ils situés à proximité de grands groupes d'habitations (Sutton, 2008 ; Mehdi et al, 2012). En raison de ses effets sur le micro climat (rafraîchissement et refroidissement) les jardins publics sont

devenus des éléments essentiels dans la composition et le planning des villes des zones chaudes comme le cas de Biskra.



Figure II-17 : Jardin 5 juillet (Auteur).



Figure II-18 : Jardin 5 juillet (Auteur).

Les jardins publics sont souvent marqués par des paysages sonores HI-FI, caractérisés par une forte présence des sons naturels et une faible présence de bruit mécanique.

Les deux figures ci-dessous illustrent la différence entre un paysage sonore d'un jardin et d'une rue.

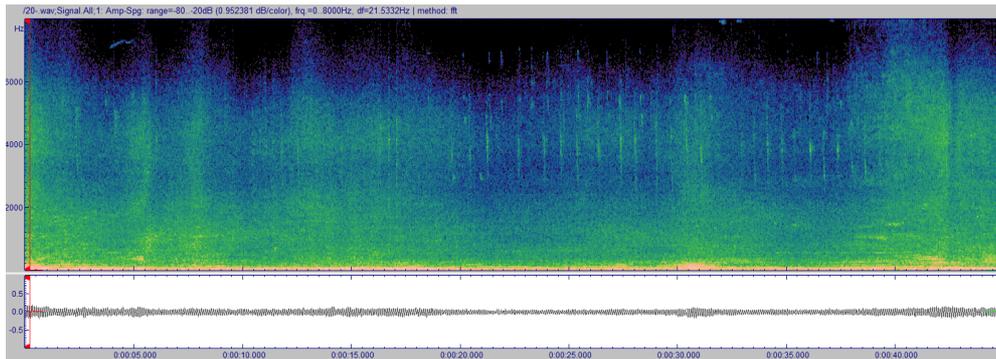


Figure II-19 : Spectrogramme d'un paysage sonore d'un jardin (Auteur).

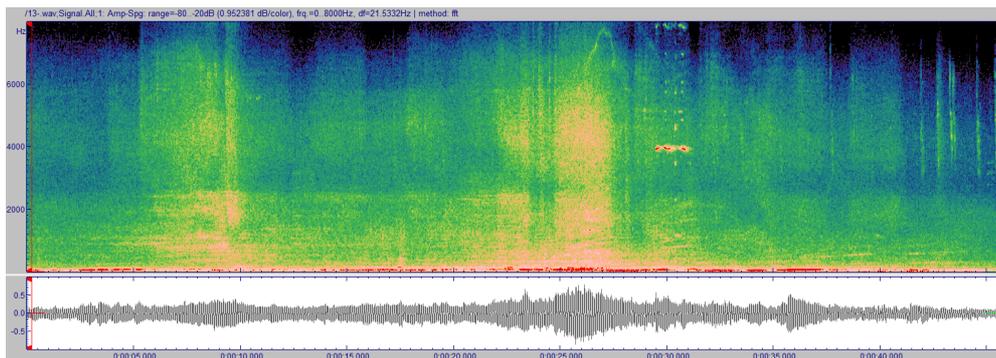


Figure II-20 : Spectrogramme d'un paysage sonore d'une rue (Auteur).

Les taches qui se trouvent dans le spectrogramme de rue correspondant au son d'anthrophony

## II \_ 5 Forme urbaine et environnement sonore

### II \_ 5 \_ 1 Indicateurs morphologiques

La mesure de la morphologie urbaine est un type d'analyse morphologique très importante et indispensable dans les études visant à étudier la relation entre la morphologie urbaine et d'autres variables environnementales, sociales ou bien économiques, cette méthode se base sur les calculs des indicateurs physiques des tissus urbains (Kotharkar, 2014).

### II \_ 5 \_ 2 Indicateurs morphologiques et développement durable

Au cours des dernières années, l'importance de la morphologie urbaine dans les perspectives du développement durable est devenue plus évidente, en raison de ses effets directs et appréciables sur la qualité de vie et le confort des habitants.

Plusieurs études ont récemment été publiées afin de bien révéler la relation entre la morphologie urbaine et le micro climat, la consommation énergétique, l'émission et la propagation de co2 (Wei et al, 2016 ; Tsoka, 2011 ; Carolina, 2016 ; Yu et al, 2009 ; Mouffok

et al, 2017) ainsi que la pollution sonore et la distribution de bruit (Wang et Kang, 2011 ; Hao et al, 2015 ; Silva et al, 2014).

Dans la majorité de ces études, les chercheurs ont opté pour la mesure de la morphologie urbaine sur la base d'une série des indicateurs physico-morphologiques qui se changent d'une étude à l'autre selon la méthode et les objectifs de la recherche.

Le tableau ci-dessus représente des exemples des indicateurs morphologiques calculés dans des études préalables dans le but de définir la relation entre la morphologie urbaine et des autres indicateurs environnementaux.

Tableau 2 : Exemple d'indicateurs morphologiques liés au microclimat (Auteur).

domaine de recherche	Les indicateurs morphologiques mesurés
Énergie et bioclimatique (Salat, 2007)	Moyenne et écart-type de la hauteur du bâtiment, moyen et standard déviation de la hauteur de la végétation, histogrammes de hauteur du bâtiment, hauteur moyenne du bâtiment, densité de végétation Hauteur, surface des murs, rapport hauteur / largeur, facteur de vue de ciel, rugosité, surface de la végétation, les routes et les toits, et l'orientation moyenne des rues.
Ventilation (Hsie, 2008)	Hauteur moyenne du bâtiment, écart type de la hauteur du bâtiment, densité et volume de Bâti, building Frontal. Indice de zone ( $\lambda f$ ), Ratio d'aspect complet, Surface de construction pour planifier le ratio de surface et rapport de hauteur à largeur
Modèle thermodynamique (Long et al, 2003)	Densité du bâtiment, densité végétale, densité routière, hauteur du bâtiment, Périmètre de construction et volume de construction
Performance environnementale (Adolphe, 2001)	Densité, rugosité, Porosité, Sinuosity, Occlusivity, Compacité, Contiguity, Solar admittance, and Mineralization

### II \_ 5 \_ 3 Indicateurs Morphologie et environnement sonore

D'autre part, Plusieurs études récentes ont mis l'accent sur la relation entre les indicateurs morphologiques et le paysage sonore, en particulier la distribution du bruit routier (Oliveira et al, 2010 ; Margaritis et al, 2016 ; Wang, et al, 2011). Le tableau suivant représente un exemple des indicateurs morphologiques utilisés dans ces types des travaux de recherche.

Tableau 3 : Exemple des indicateurs morphologiques liés à l'environnement sonore (Bouzir, Zemmouri; 2017).

Auteur	Intitulé de la recherche	Indicateurs quantitatifs de la morphologie urbaine
Lígia T. Silva, Marta Oliveira, José F. Silva (Silva et al, 2014)	Urban form indicators as proxy on the noise exposure of buildings.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compacité</li> <li>- Porosité</li> <li>- Complexité</li> </ul>
Yiying Hao et al (Hao et al, 2015)	On the relationship between traffic noise resistance and urban morphology in low-density residential areas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Building Plan Area Fraction (BPAF)</li> <li>- Road Area Fraction (RAF)</li> <li>- Distance of First-row Building to Road (DFBR)</li> <li>- Complete Aspect Ratio (CAR)</li> <li>- Building Surface Area to Plan Area Ratio (BSAPAR)</li> <li>- Building Frontal Area Index (BFAI)</li> <li>- Height-to-Width Ratio (HWR)</li> </ul>
U.W. Tang (Tang et Wang, 2007)	Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: Results from a modeling system, Environ.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Building Height</li> <li>- Width of streets</li> <li>- Percentage of surface streets / total area</li> <li>- Coefficient building occupancy, green - areas, water areas</li> </ul>
Bo Wang and Jian Kang. (Wang et Kang, 2011)	Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: À comparative study between UK and China.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coefficient building occupancy, landscaped outdoor spaces and streets</li> </ul>

## II \_ 5 \_ 4 Relation entre propagation sonore et forme urbaine

La morphologie urbaine influence indirectement l'environnement sonore, en raison de l'effet de ses composants et ses caractéristiques physiques sur la trajectoire et le comportement des ondes sonores, pendant leur propagation de la source au récepteur (Oliveira et Silva, 2010 ; Magrini et Lisot, 2015).

Parmi les éléments morphologiques qui influencent le paysage sonore nous pouvons citer ; le type et la dimension des rues, la densité urbaine, la hauteur des bâtiments, la structure et la géométrie du bâti, le type de matériaux de construction et les éléments des façades.

Selon les études de Cathrine Semidor, c'est la morphologie urbaine qui est la responsable de la façon par lequel nous percevons notre paysage sonore (Semidor, 2006 ; Venot et Sémidor, 2006 ; Semidor, 2004).

Une meilleure compréhension de la relation entre les éléments morphologiques et le paysage sonore peut nous aider en tant que concepteurs à intervenir afin d'améliorer l'environnement sonore à l'échelle de la morphologie urbaine et avant d'arriver aux solutions techniques coûteuses au niveau des façades (Magrini et Lisot, 2015).

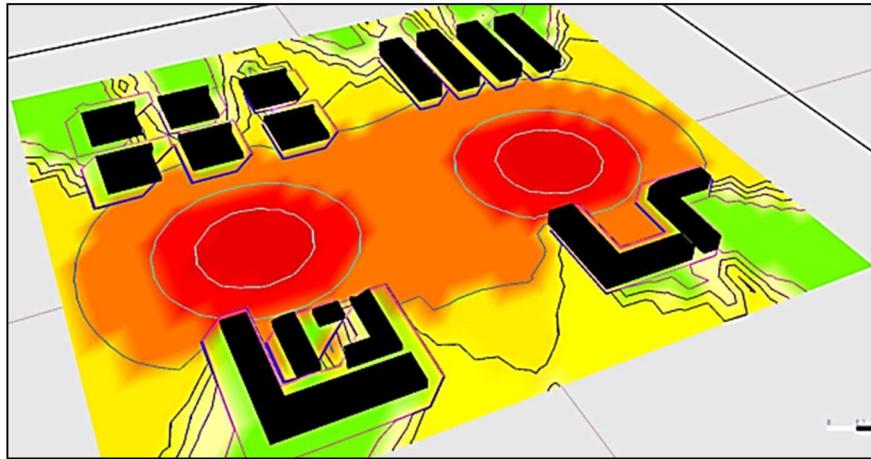


Figure II-21 : Illustration relation morphologie urbaine \_ environnement sonore (Auteur)

## II \_ 5 \_ 5 Relation entre la propagation sonore et l'espace vert

La végétation a plusieurs effets significatifs sur la qualité de vie, en raison de ses effets importants sur les ambiances urbaines olfactives, thermique et même sonore (Givoni, 1998).

Avec une densité et une composition végétale bien étudiée, nous pouvons utiliser la végétation comme un écran anti bruit afin de protéger nos espaces de bruit notamment routier. Les écrans antibruit végétaux peuvent être considérés comme une solution verte, durable et très utile dans la lutte contre le bruit, car il peut nous offrir une réduction d'intensité sonore qui peut atteindre 11 dB (Ozdemir et al, 2014). Le point de faible de ces écrans verts est sa largeur très importante qui peut arriver jusqu'à 20m, dont nous ne pouvons pas l'assurer dans les zones urbaines (Ow et Ghosh, 2017; Van Renterghem et al, 2012; Van Renterghem et al, 2014).

Une autre série d'études a été réalisée par Margaritis (2016), en se concentrant sur la végétation comme un ensemble afin de déterminer la relation entre les espaces verts, les jardins

publics et la pollution sonore, et il constate à la fin de ses recherches qu'il existe un impact direct et positif des espaces verts sur le taux de pollution sonore des zones urbaines (Margaritis et Kang, 2017 ; Margaritis et Kang 2016).

## II \_ 5 \_ 6 Relation entre propagation sonore et forme de la rue

### a) Rues en U

Selon la normalisation française, les rues en U sont des rues bordées par des bâtiments avec une hauteur moyenne de 5 m et un rapport entre la largeur de rue et la hauteur du bâti qui est moins ou égale à 0.2 (Nguyen, 2007). Nous pouvons trouver ce type des rues particulièrement dans les anciens tissus de la ville de Biskra comme Star El Mlouk, Sidi Barkat et El Dalaa.

Cette forme géométrique favorise le phénomène de réflexion ce qui provoque une augmentation du niveau sonore de la rue. Dans ces cas, et en plus des ondes sonores directes, les usagers de l'espace reçoivent également les ondes sonores réfléchies.

Il est important de noter que le niveau sonore global dans ces rues dépend principalement de l'intensité sonore de la source et du coefficient de réflexion des matériaux de construction.

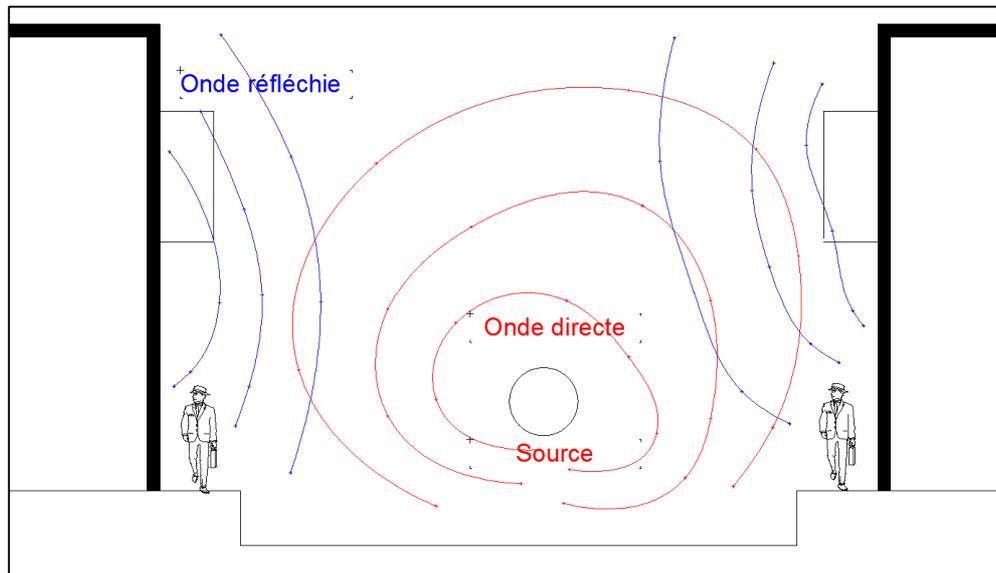


Figure II-22 : Coupe d'une rue en U (Auteur)



Figure II-23 : Rue Ouaman Madani (rue en U) (Auteur)

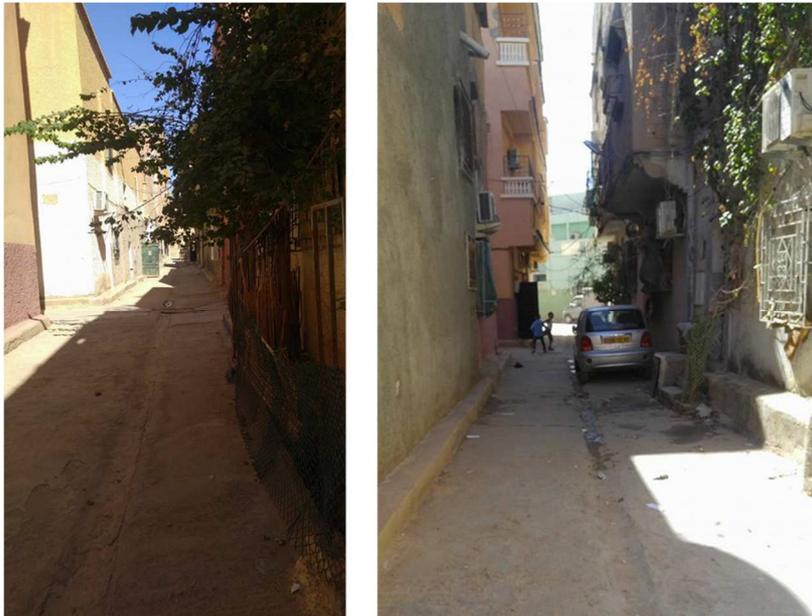


Figure II-24 : Rue en U de Harat el oued (Auteur).

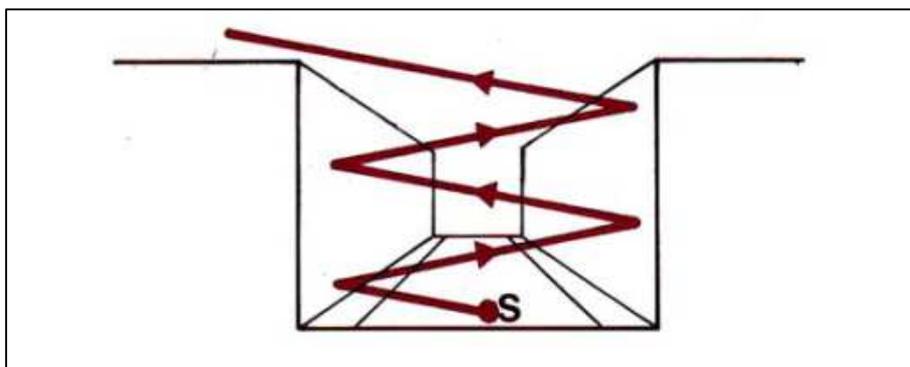


Figure II-25 : Réflexion sonore diffuse dans rue en U (Nguyen, 2007)

**b) Rues en L**

Dans ce type des rues qui sont plus ouvertes en forme de L ou de U mais avec une largeur plus importante que le premier type le rapport de Hauteur/Largeur est plus grand que 0.2.

L'environnement sonore des rues en L est constitué principalement par des ondes sonores directes et des ondes réfléchies sur les façades positionnées sur un seul côté de la route. Il est a noté que le récepteur du côté de la façade reçoit des ondes directes de la source cumulée avec celles réfléchies, par contre le récepteur du côté ouvert de la rue reçoit que les ondes directes de la source, le phénomène de réflexion et absent dans ce côté de la rue.

D'autre part, les dimensions des rues influent également le comportement des ondes sonores dans l'espace urbain. Plus la distance entre la source et les façades est petite, plus le phénomène de réflexion et plus important, ce qui augmente le niveau de l'intensité sonore. Par contre, plus la distance entre source et façades est grande, plus le phénomène de réflexion et faible.

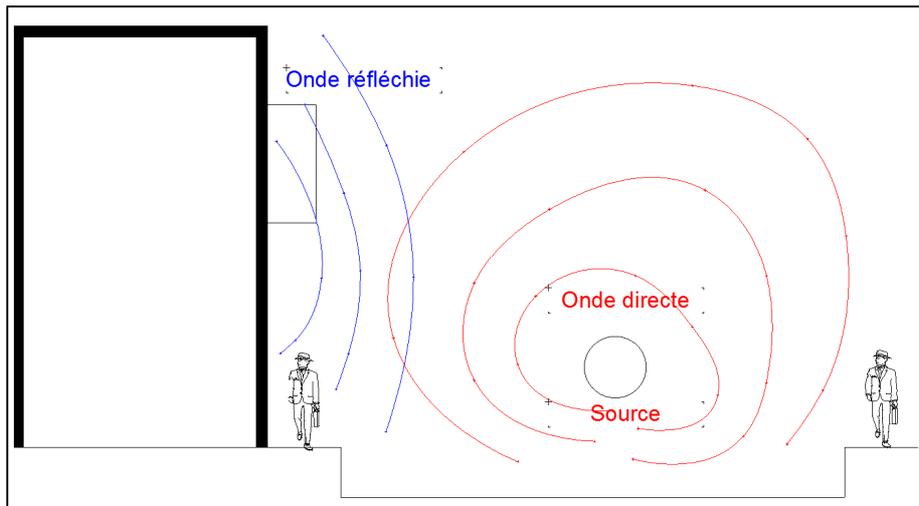


Figure II-26 : Coupe d'une rue en L (Auteur)

**II\_5\_7 Effet de la morphologie des façades**

La hauteur, les matériaux de construction ainsi que les éléments des façades tels que les auvents, les balcons, les brises solaires et les arcades affectent la propagation des ondes ce qui influence indirectement sur la nature des environnements sonores des rues. En plus du paysage visuel, le paysage sonore dépend aussi de la morphologie des façades (Picaut et al, 2004).

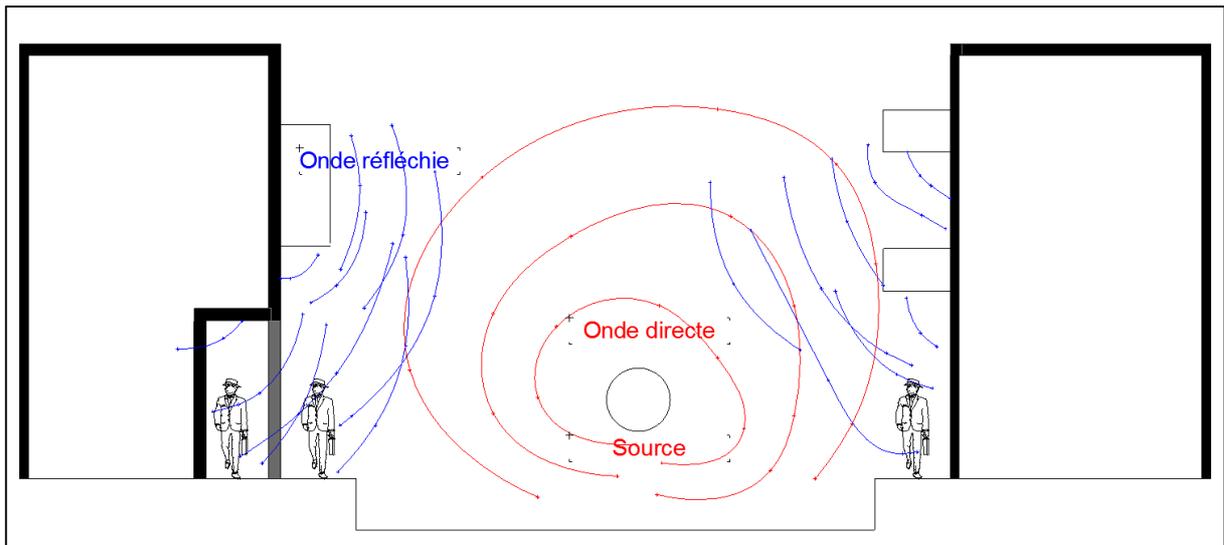


Figure II-27 : Illustration d'effet des éléments des façades sur la propagation sonore (Auteur)

### II \_ 5 \_ 8 Effet de l'alignement à l'échelle de la rue

L'alignement des façades exprime son positionnement par rapport aux deux rives de la route, deux types principaux d'alignement peuvent être observés dans la ville de Biskra :

- i. L'alignement régulier : se caractérise par une continuité et un alignement du bâti par rapport à la rue, nous trouvons ce type d'alignement dans les lotissements de la ville comme Haï el moudjahidines et les grands boulevards comme l'avenue el Zaatcha et Amir Abdelkader.
- ii. L'alignement irrégulier : se caractérise par une discontinuité et une disposition non alignée du bâti par rapport à la rue, nous le trouvons surtout dans les anciens et les autos construites tissus urbains à l'image de Kablouti et vieux Biskra. Voir illustration II-28

La présence d'obstacles physiques dans l'environnement urbain est plus importante dans les rues irrégulières par rapport aux rues régulières, ce qui provoque et favorise le phénomène de diffraction des ondes sonores sur les coins des bâtiments saillants et les angles cachés. En plus des ondes directes et réfléchies, les ondes diffuses seront perçues par les usagers de ces espaces dans ce type des rues.

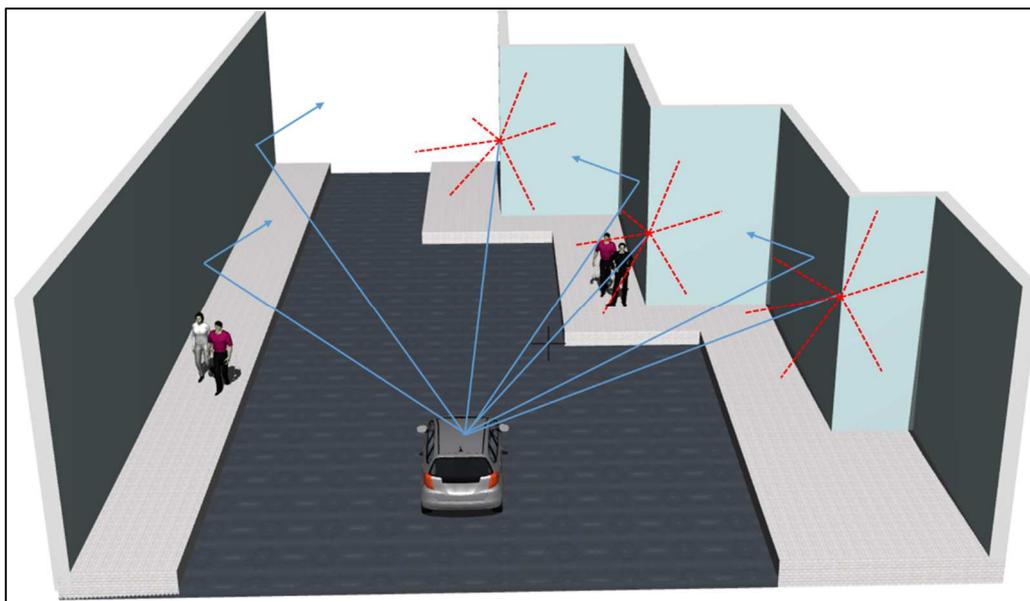


Figure II-28 : Effet de l'alignement sur la propagation sonore (Auteur).

### II \_ 5 \_ 9 Effet de la transition spatiale

Chaque morphologie urbaine affecte par ses caractéristiques d'une façon ou d'une autre sur la propagation des ondes sonores et la nature des soundscapes, ce qui peut expliquer le changement de l'ambiance sonore pendant la transition d'une morphologie urbaine à l'autre.

Suite à des parcours enregistrés dans des différentes villes comme Alger, Bordeaux, Bruxelles, Grenoble (Djellali et al, 2013), il a été conclu qu'il existe une relation forte entre le type de paysage sonore et la structure spatiale. D'après Semidor (2006a b, 2004c) les caractéristiques morphologiques influent sur la perception sonore même si les composants de paysage sonore sont les mêmes.

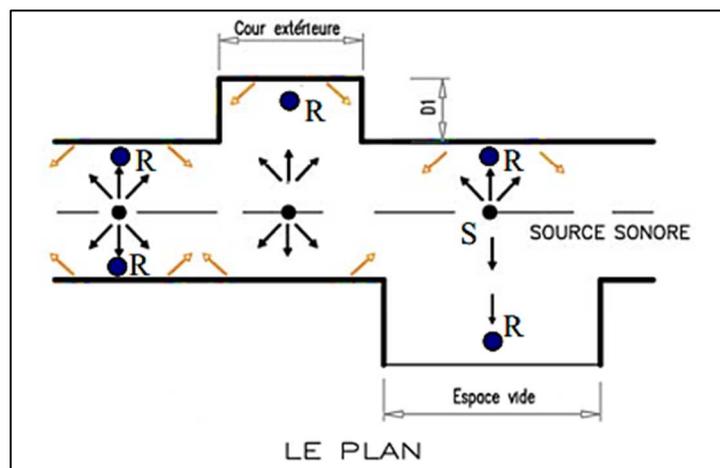


Figure II-29 : Transition spatiale (Nguyen, 2007)



Figure II-30 : Transition spatiale de la rue à la place photo dans le quartier Boukhari (Auteur).

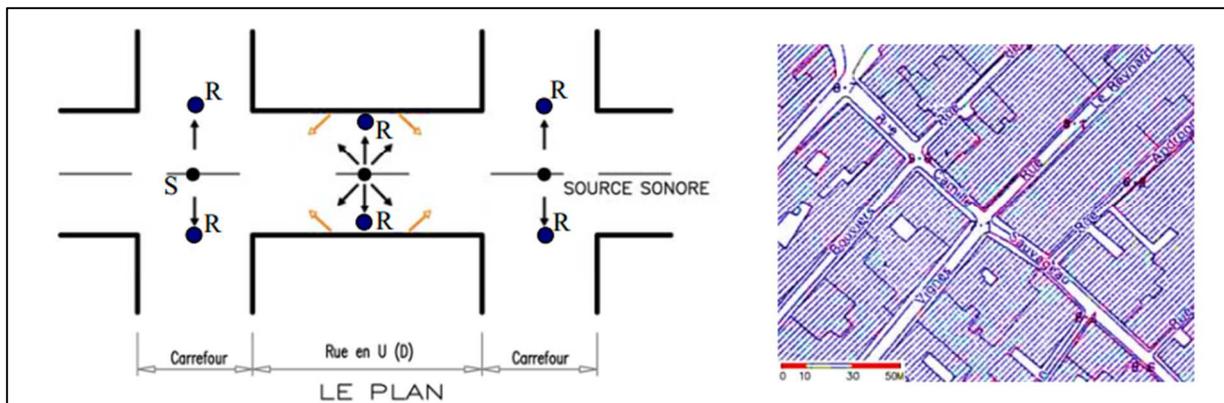


Figure II-31 : Transition spatiale (Nguyen, 2007)

## II \_ 6 Conclusion

Dans un premier temps, et à partir de la littérature, nous avons présenté dans cette partie les différentes définitions concernant la morphologie urbaine, la forme urbaine, ses caractéristiques physiques ainsi que ses éléments constitutifs tels que les parcellaires, les ilots et les espaces publics.

Dans un deuxième temps, nous avons focalisé dans la deuxième partie de ce chapitre qui vise à comprendre la nature de la relation qui relie entre la morphologie urbaine et son environnement immédiat, sur le lien entre les caractéristiques et la composition des entités urbaines, comme la forme, la géométrie du bâti, la densité, la forme des rues d'un côté et l'environnement, notamment sonore de l'autre côté, par conséquent, nous avons souligné le rôle important de la morphologie urbaine sur la propagation sonore. En basant sur la relation entre la distribution des niveaux sonores et la morphologie urbaine, nous allons nous concentrer dans le troisième chapitre sur la notion de paysage sonore urbain, qui est le résultat de l'intersection entre les caractéristiques physiques des ondes sonores et du tissu urbain.

**Chapitre III : Paysage, environnement et  
pollution sonore**

### **III \_ 1 Introduction**

Le thème de recherche de cette thèse nécessite une bonne connaissance des concepts d'acoustique urbaine, c'est pour cela que nous allons focaliser notre recherche documentaire dans ce troisième chapitre sur la notion de paysage sonore, sur ses types (Hi\_Fi, Lo\_Fi), ses composants (anthrophony, géophonie, biophonie) ainsi que sa structure, afin de le définir dans son sens le plus large en associant la définition des environnements sonores et celle des ambiances urbaines. Ensuite, nous allons concentrer dans la deuxième partie de ce chapitre théorique, sur la notion de la pollution sonore en mettant l'accent sur sa définition, ses sources, ses effets sur la santé humaine et sur l'environnement. En outre, nous allons définir les principales opérations de la lutte contre ce phénomène, en mettant l'accent sur la légalisation algérienne contre le bruit urbain.

Finalement, nous allons consacrer la dernière partie de ce chapitre à identifier et à analyser les principales méthodes récentes d'étude et d'analyse de l'environnement sonore urbain telles que les mesures in situ, les questionnaires, les enregistrements et la cartographie sonore, tout en abordant les avantages et les inconvénients de chaque méthodologie de recherche.

### **III \_ 2 Paysage**

Le paysage est défini comme la vue d'ensemble d'un endroit quelconque (ville, forêt, etc.). C'est la partie terrestre vue par un observateur (le Robert, Larousse), comme il peut être également défini comme les résultats d'intersection entre le champ visuel humain et les caractéristiques d'un lieu naturel ou bien urbain.

#### **III \_ 2 \_ 1 Paysage urbain (urbanscape)**

Le paysage urbain est peut-être la prise d'un photographe, le tableau d'un dessinateur ou la vue d'un observateur d'une partie de la ville (Carrozza, 1996 ; Roger et Brunet, 1995 ; Vincent Jost).

Nous pouvons noter que les auteurs de ces définitions ont résumé le paysage urbain dans l'étroite définition de paysage visuel et ont ignoré l'expérience olfactive et sonore des êtres humains pendant la découverte et l'utilisation des espaces urbains, bien que ces deux paramètres affectent également la perception du paysage urbain.

Dans une étude réalisée au Canada, dans le but d'analyser le paysage urbain de la ville de Montréal, à partir d'une série de photos et de pistes sonores enregistrées dans cette ville, il a

été conclu que l'analyse sonore ne remplace jamais l'analyse visuelle du paysage urbain, mais il permet d'extraire des informations supplémentaires très utiles qui complètent l'analyse visuelle du paysage.

En se basant sur cette étude ainsi que plusieurs auteurs (Dubois et al, 2006 ; McLean et al, 2017 ; Raimbault et Dubois, 2005), nous pouvons définir le paysage urbain comme l'ensemble de sous- paysages suivants : (i) le paysage olfactif, (ii) le paysage sonore et (iii) le paysage visuel qui est, généralement, le plus important, car il domine sur les autres sous-paysages dans la plupart du temps.

### **III \_ 2 \_ 2 Paysage visuel (landscape)**

Il s'agit de l'ensemble d'informations visuelles obtenues d'une composition urbaine par un observateur comme la texture, la couleur, la composition géométrique, la végétation et la présence humaine (Donadieu et Mazas, 2002 ; Roger, 1995).

### **III \_ 2 \_ 3 Paysage olfactif (smellscape)**

C'est un nouveau concept inventé en 1990 par Porteous (Dann, 2002) pour décrire l'ensemble des odeurs qui caractérisent un espace et le rendent différent olfactivement par rapport aux autres endroits de la ville.

Le paysage olfactif tout comme le visuel change d'un lieu à un autre. Une grande différence peut-être observée entre le paysage olfactif d'un boulevard où nous pouvons sentir l'odeur du diesel, un marché, un jardin ou une placette publics (Malnar et Vodvarka, 2004 ; Dufft, 2009).

### **III \_ 3 Paysage sonore (soundscape)**

Le paysage sonore est la traduction d'un nouveau concept « soundscape » inventé par le Canadien Schafer en 1976 dans son ouvrage «The Soundscape, our sonic environment and the tuning of the world», pour décrire l'ensemble des sons perçus par l'être humain dans son environnement et sans jugement positif ou négatif (Semidor, 2004, 2006 ; Balaý, 2003).

Suite à la définition de Schafer, qui a laissé un grand écho dans plusieurs disciplines, d'autres chercheurs ont développé d'autres définitions afin de mieux décrire ce terme à l'image de la définition de Botteldooren et al. (2006) qui définit le paysage sonore comme un environnement créé par ou avec le son ou celui de Farina (2004, 2014) qui définit le paysage

sonore comme une composition acoustique résultante d'une combinaison soit volontaire ou spontanée de sons naturels et/ou urbains.

Le paysage sonore urbain est l'ensemble des sons et des bruits résultant des activités humaines dans l'espace public, comme le commerce, les travaux, les loisirs et le transport, qui dominant généralement par son bruit sur les autres composantes de paysage sonore (Botteldooren et al, 2006).

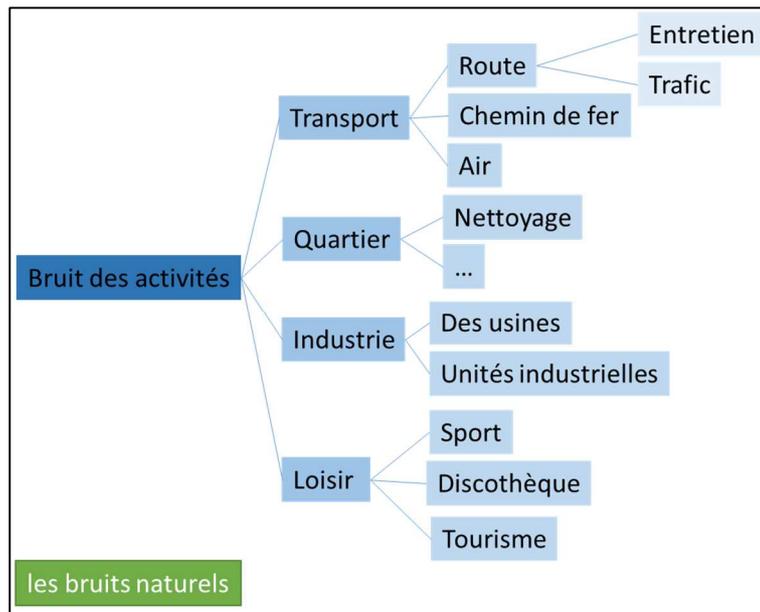


Figure III-1 Principales sources de bruit dans la ville (Auteur de Pijanowski et al, 2010)

Selon une autre approche développée dans le laboratoire de recherche CRESO, le paysage sonore peut avoir une double signification, un sens représentatif et un autre sensible (Amphaux, 2001).

- i. La partie représentative : Pour présenter un paysage, le dessinateur dessine un tableau, le photographe prend une photo, alors que le musicien enregistre une séquence sonore. Cette bande sonore représente un paysage sonore selon le CRESSON (Amphaux, 1997).
- ii. La partie réalité (sensibilité immédiate) : Cette partie se base sur la définition du paysage visuel comme «une partie de pays que la nature présente à un observateur » portant de ça le paysage sonore, est défini « comme une séquence de temps que la nature présente à l'oreille d'un auditeur » (Amphaux, 1997).

En résumé, le paysage sonore est un concept qui englobe l'ensemble des sons d'origines humaines et naturelles qui permet aux auditeurs d'avoir une représentation auditive de leur environnement et de sentir l'espace autrement.

### III \_ 3 \_ 1 Composantes de paysage sonore :

D'après Pijanowski et al (2011a, 2011b) le paysage sonore se compose de trois éléments qui sont :

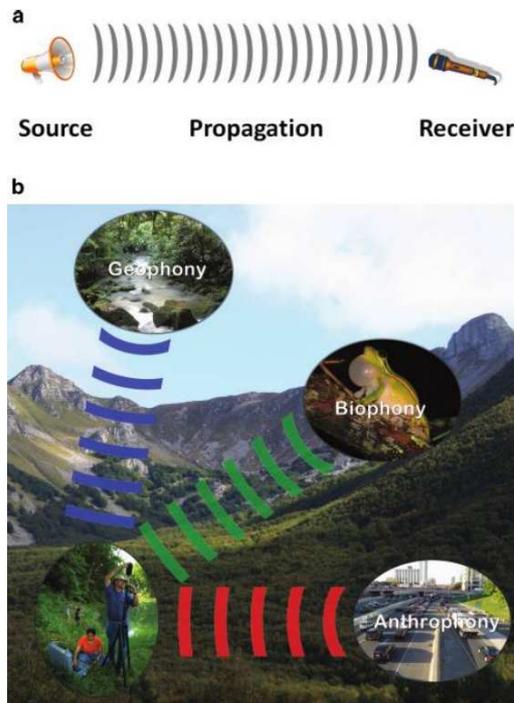


Figure III-2 : Composants du paysage sonore (Pijanowski et al, 2011).

#### III \_ 3 \_ 1 \_ 1 La biophonie :

C'est l'ensemble des sons émis par les organismes vivants comme les insectes, les mammifères et les oiseaux.

#### III \_ 3 \_ 1 \_ 2 La géophonie :

C'est l'ensemble des sons provenant d'éléments naturels comme le vent, la pluie, le tonnerre et les vagues de la mer.

#### III \_ 3 \_ 1 \_ 3 L'anthroponie :

Ce sont les sons issus des activités humaines comme la circulation routière, le transport aérien ou ferroviaire, les événements sportifs, culturels ou festifs.

L'anthroponie se compose essentiellement de sons humains et de sons mécaniques.

##### a) Les sons humains

Tous les sons générés par l'être humain, par ses instruments et ses machines à l'exception des sons mécaniques.

**b) Les sons mécaniques**

C'est l'ensemble des sons d'origine mécanique générés surtout par les moyens de transport. Vu l'importance de ce type de bruit sur l'environnement, la qualité de vie ainsi que la santé humaine, il a reçu beaucoup d'attention dans les perspectives des organisations internationales de la protection de la santé et de l'environnement, les politiques des états notamment des pays développés ainsi que dans le domaine de recherche scientifique.

De nombreux chercheurs ont proposé des classements des sources de bruit mécanique afin de faciliter l'étude de son impact sur l'environnement dont nous pouvons citer entre autres (Gaulin, 2000) : le guide du bruit des transports terrestres (CETUR, 1980), le modèle de prévision allemand des niveaux sonores et le modèle américain FHWA TNM. (Gaulin, 2000). Voir tableau 4

Tableau 4 : Classements des sources de bruit mécanique (Auteur de Gaulin, 2000)

guide du bruit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les véhicules légers (véhicules de Poids inférieur à 3.5 tonnes)</li> <li>- les véhicules lourds (véhicules de PTAC supérieur à 3.5 tonnes)</li> <li>- les deux roues motorisées : 1) les motocyclettes (cylindrée supérieure à 125 cm<sup>3</sup>). 2) les vélomoteurs (cylindrée comprise entre 50 et 125 cm<sup>3</sup>) et les cyclomoteurs (cylindrée inférieure à 50 cm<sup>3</sup>).</li> </ul>
Le modèle de prévision allemand RLS 90	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les véhicules légers, dont le PTAC, est inférieurs à 2.8 tonnes.</li> <li>- Les poids lourds dont le PTAC est supérieur à 2.8 tonnes.</li> </ul>
Le modèle américain FHWA TNM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les véhicules légers (véhicules de Poids inférieur à 4.5 tonnes)</li> <li>- les poids lourds "Medium trucks" (véhicules de PTAC entre 4.5 et 12 tonnes)</li> <li>- les trains routiers "Heavy trucks" (véhicules de PTAC supérieur à 12 tonnes)</li> <li>- les autobus conçus pour transporter neuf passagers ou plus (pas d'indications de poids total).</li> <li>- les motocycles : tout véhicule ayant deux ou trois pneumatiques</li> </ul>

Il convient de noter que l'environnement sonore de la ville de Biskra souffre principalement de bruit d'autobus de transport public qui sont dans un état très dégradé et, de mobylettes très bruyantes et largement utilisées.



Figure III-3 : Exemple des sources principales du bruit (Bouzir, Zemmouri ; 2017).

### III \_ 3 \_ 2 La structure d'un paysage sonore

Les éléments structurants d'un paysage sonore sont : (i) les sonorités maitresses ou toniques, (ii) les signaux sonores et (iii) les marqueurs sonores.

#### III \_ 3 \_ 2 \_ 1 Sonorités maitresses ou toniques (keynote sounds)

C'est le fond et l'arrière-plan d'un paysage sonore, et c'est le seuil à partir duquel nous pouvons entendre les autres sons de l'environnement. Ces sons continus et homogènes ne sont conscientisés qu'avec une écoute attentive, car ils sont ignorés par notre système auditif (Tiger, 2014 ; Pauline), comme les sons du fond d'une forêt ou le bruit d'une cafétéria lors d'une discussion avec un ami.

#### III \_ 3 \_ 2 \_ 2 Signaux sonores

C'est l'ensemble des sons du premier plan, ce sont les événements sonores qui attirent l'attention, comme le nom propre d'une personne dans un espace public ou les cornes de voitures. Ils sont caractérisés par une intensité plus élevée que celle du fond sonore et d'une courte durée (Wissmann, 2014).

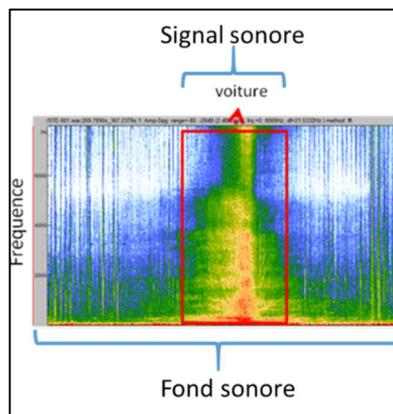


Figure III-4 Relation fond / signal sonore (Auteur).

### III \_ 3 \_ 2 \_ 3 Marqueurs sonores (soundmarks)

Les marqueurs sonores sont les sons qui marquent un espace et le rendent différent des autres espaces de la ville. Ces marqueurs donnent une certaine identité sonore aux entités urbaines. Ils peuvent être sous la forme du son d'une fontaine, d'une station du tramway ou même sous la forme d'abolement habituel du chien d'un voisin dans un quartier résidentiel (Wissmann, 2014).

### III \_ 3 \_ 3 L'équilibre d'un paysage sonore

L'harmonie et l'équilibre entre les composants des paysages sonores dépend de la nature de l'espace : (i) urbain, (ii) rural ou (iii) naturel (Pijanowski et al, 2011).

Dans l'espace naturel par exemple, nous trouvons que le paysage sonore est constitué principalement de la géophonie et la biophonie, généralement dans ces endroits, la géophonie représente le fond sonore alors que l'ensemble des sons de la biophonie, comme les cris des animaux et les chants d'oiseaux, représente les marqueurs et les signaux sonores.

Dans l'espace rural, la troisième composante du paysage sonore « anthropony » participe à la composition sonore. Une certaine harmonie entre les sons de la biophonie et de l'anthropony peut être observée dans ces zones, cependant, dans les espaces urbains, les paysages sonores sont caractérisés par la domination des sons humains particulièrement mécanique sur les autres composants de paysage sonore.

Les trois cercles de la figure III-5 nous permettent de définir l'équilibre entre les composants des paysages sonores des zones rurales, naturelles et urbaines.

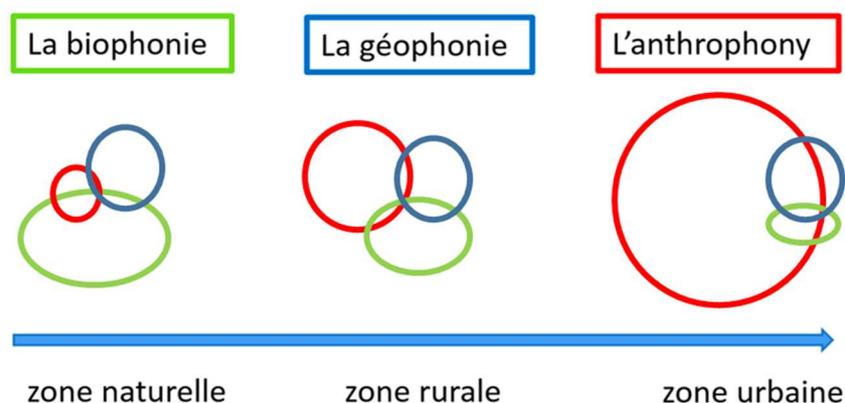


Figure III-5 : Structure du paysage sonore (Auteur).

### III \_ 3 \_ 4 Types de paysages sonores

Shafer (1979) a classé les paysages sonores en deux grands types selon le type et la relation entre ces composantes.

#### III \_ 3 \_ 4 \_ 1 LO-FI (Haute-Fidélité)

Ce sont les paysages où nous pouvons clairement identifier et entendre chaque composante de l'environnement sonore, en particulier les sons de la biophonie et de la géophonie, c'est un paysage panoramique, on entend plus loin et plus clair. Ce type de paysage se trouve habituellement dans des endroits où la présence de l'anthrophonie est faible, tel que les zones naturelles, rurales et dans les jardins et les espaces verts des villes (Schafer, 1979a, 2003b ; Péneau et al, 1998).

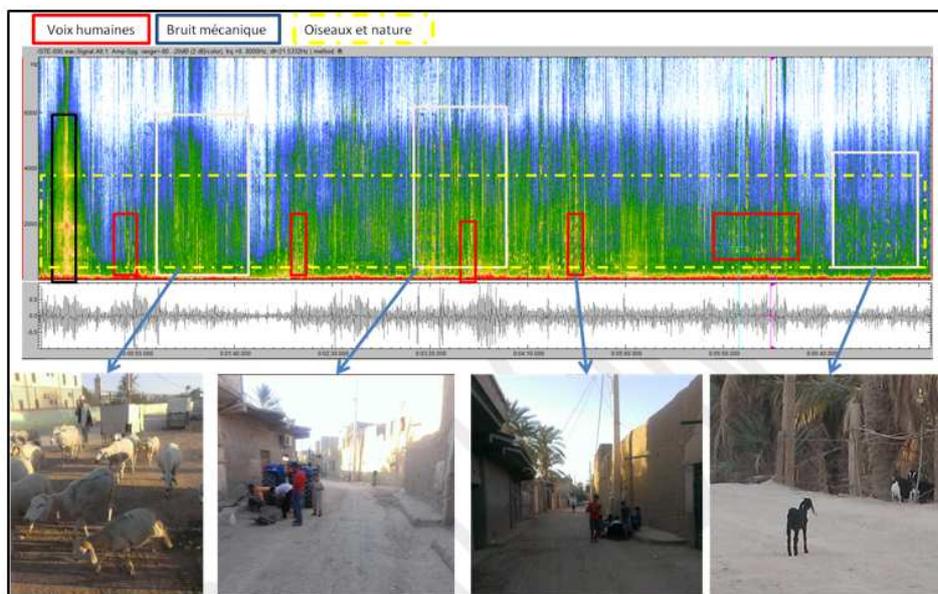


Figure III-6 : Spectrogramme d'un paysage hi-fi extrait de la ville de Sidi Okba (Auteur)

#### III \_ 3 \_ 4 \_ 2 HI-FI (Basse Fidélité)

Les paysages sonores LO\_FI sont marqués par une immense superposition des informations sonores, ce qui provoque la disparition des signaux sonores individuels dans le bruit général (Schafer et Gleize, 1979) et influe sur notre capacité de comprendre, de reconstruire des images mentales et d'identifier des espaces d'après ce que nous entendons (Wrightson, 2000 ; Péneau et al, 1998), comme il peut être également un signe de vie, de mouvement et de sécurité. Ce type de paysage sonore est devenu de nos jours, parmi d'autres caractéristiques, l'un des principaux de la ville moderne.

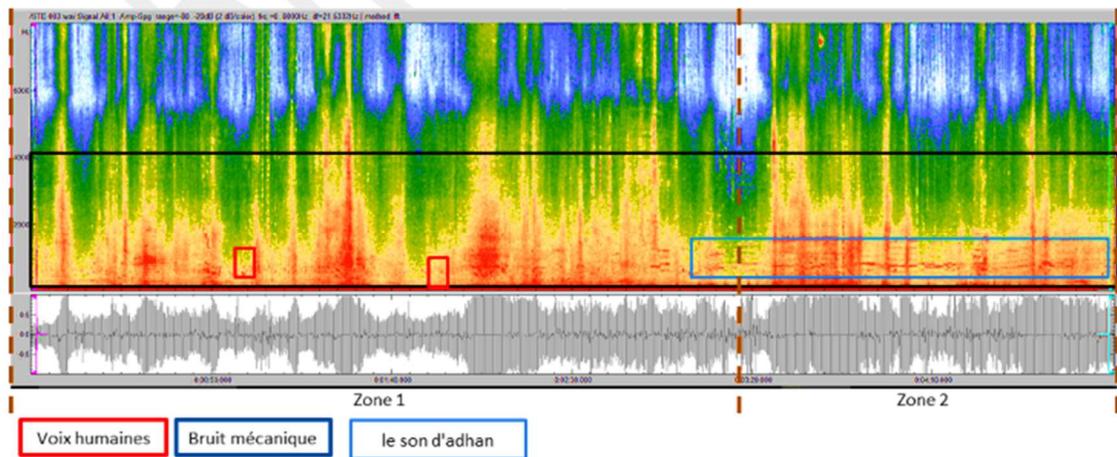


Figure III-7 : Spectrogramme d'un paysage LO-FI extrait de la ville de Sidi Okba (Auteur)

Ces deux notions représentent selon Schafer, le contraste entre les paysages sonores préindustriels et post-industriels (Wrightson, 2000).

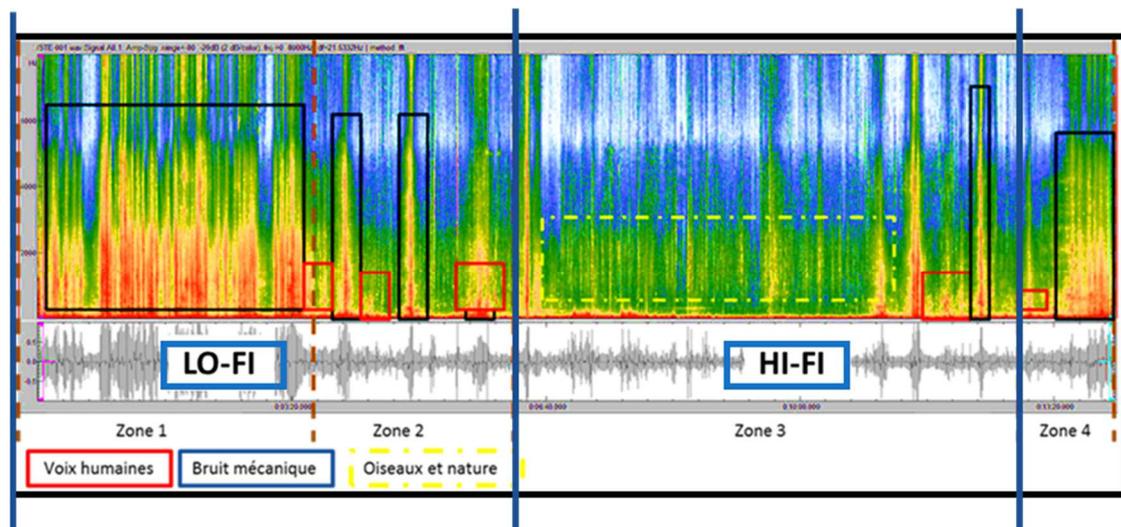


Figure III-8 : Spectrogramme contrasté Lo-Fi / Hi-Fi extrait de la ville de El Kantra (Auteur)

### III \_ 4 Paysage pollué

#### III \_ 4 \_ 1 Pollution

C'est une dégradation ou une alternance de l'environnement, résultant des activités humaines, sous forme de substances, qui peuvent mettre en danger la santé de l'homme et l'écosystème terrestre à l'image des substances chimiques, radioactives, naturelles, sinon sous forme de vibrations, de chaleur ou de diverses nuisances acoustiques, olfactives (Tairou, 2013 ; Tsagué, 2009 ; Directive européenne, 2000 ; Larousse).

### III \_ 4 \_ 2 Pollution sonore

La pollution sonore est un terme qui décrit des situations sonores bruyantes où le niveau de bruit dépasse les valeurs limites d'intensité sonore proposées par les agences internationales de protection de l'environnement et de la santé comme des seuils d'innocuité vis-à-vis de la santé humaine et l'équilibre de l'écosystème. Ce type de pollution est principalement causé par les moyens de transport (routier, ferroviaires, aériens), le bruit de voisinage, d'usines et d'autres activités humaines (Tripathy, 2008 ; Agarwal, 2005 ; Raven et al, 2009)

### III \_ 4 \_ 3 Effet de la pollution sonore sur la santé

Au-delà de ces effets sur le confort et la qualité de vie, le bruit peut entraîner aussi des risques sérieux et multiples pour la santé humaine, classés en deux catégories : des effets auditifs et d'autres non auditifs (Van Oyen, 2010 ; Joumard, 2011 ; Salem, 2006).

#### III \_ 4 \_ 3 \_ 1 Effets auditifs

Le bruit a plusieurs effets sur le système auditif comme les dommages à l'oreille moyenne due à l'impulsion du bruit à des niveaux élevés et les dommages à l'oreille interne due à une exposition prolongée à des sons intenses (Kryter, 2013 ; Marquis-Favre, 2005 ; Basner et al, 2014).

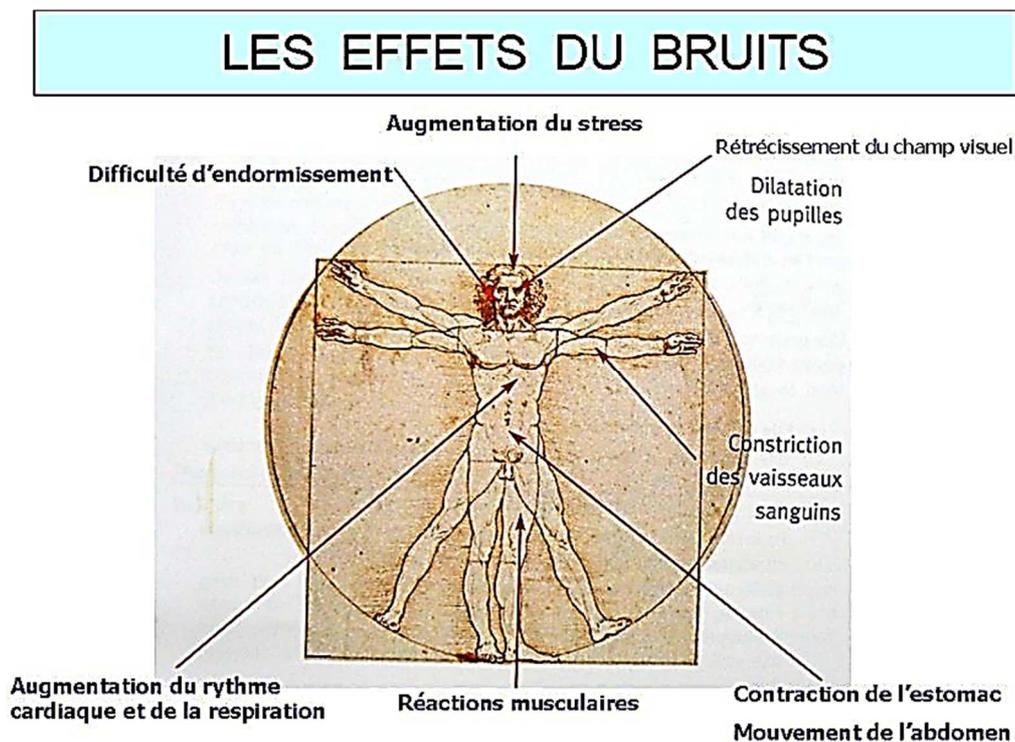


Figure III-9 : Effets de bruit sur santé. (<http://www.auditionplus.fr/prestations-draguignan>)

**III \_ 4 \_ 3 \_ 2 Effets non auditifs****a) Nuisance**

Nous avons choisi de commencer cette partie par l'effet le plus connu du bruit sur l'être humain, qui est la nuisance sonore, un concept psychologique à multiples facettes, qui représente l'ensemble des réactions psychologiques négatives résultant de l'exposition au bruit (Guski et al, 1999 ; Clark et al, 2007 ; Nelson, 1987). La nuisance sonore est devenue l'une des principales caractéristiques des villes modernes, c'est le problème le plus signalé par les habitants. Il dépend principalement de l'origine, du niveau et de la durée du bruit ainsi que du temps d'émergence (jour/nuit), et à d'autres effets psychologiques (non acoustiques) tels que la capacité à résister, la peur associée à la source de bruit, la colère (WHO, 2000).

Tableau 5 : Facteurs non acoustiques influant sur la gêne (Marquis, 2005)

<b>Facteurs d'attitude</b>	<b>Facteurs socio-démographiques / situationnels</b>
Peur liée à la source	Sexe, âge, situation maritale, niveau d'éducation
Attitude envers la source	Statut social, revenu
Sensibilité au bruit	Type d'habitation, taille, insonorisation
Type d'activité	Propriété ou location de l'habitation
Perception du voisinage	Temps passé à domicile
Perception globale de l'environnement	Niveau d'exposition au bruit au travail

**b) Hypertension artérielle et maladie cardiaque coronaire**

C'est compliqué de déterminer les paramètres qui ont un impact direct sur le système cardiovasculaire humain, en raison de la difficulté à se focaliser séparément sur un seul paramètre et en négliger d'autres (comme le tabagisme, les activités physiques, l'âge et le régime alimentaire), mais d'après des études récentes, la relation entre le bruit et les pathologies cardiovasculaires étant approuvées. Selon Babisch (2000a, 2008b) et Hammoudi (2013), le bruit peut provoquer une augmentation de la tension artérielle diastolique et de la pression artérielle moyenne.

**c) Système respiratoire et le système digestif**

Le bruit entraîne une augmentation de la consommation d'oxygène, ce qui accélère le rythme respiratoire, d'autre part, le bruit peut également causer des troubles digestifs, comme une diminution de la sécrétion de la salive et de la fonction intestinale (Marquis-Favre et al, 2005).

**d) Stress**

Le stress est l'un des principaux effets de la pollution sonore sur la santé humaine, il représente une notion largement utilisée par les scientifiques et le milieu médical afin de définir l'ensemble des réactions physiques et psychologiques résultant des stimuli et d'agression externes telle que le bruit (Selye, 1976 ; Faye et al, 2003). Ces réactions sont nombreuses et différentes d'une personne à l'autre.

**e) Trouble du sommeil**

Le bruit notamment routier est devenu l'une des principales causes de troubles du sommeil, une exposition nocturne au bruit peut entraver sur la capacité de s'endormir, la qualité, la durée du sommeil et provoquer des réveils répétitifs (Fidell et al, 1995 ; Jakovljević et al, 2006 ; Stošić et al, 2009).

**f) Santé psychologique**

Une étude menée au Japon autour des aéroports militaires, en examinant plus de 6000 habitants, a constaté que les gens exposés régulièrement à des niveaux de bruit qui dépasse le 70 dB ont des taux plus élevés d'instabilité mentale (Hiramatsu et al, 1997). Selon d'autres études, le bruit est fortement lié à des symptômes psychologiques tels que les symptômes de l'anxiété et de la dépression (Tarnopolsky et al, 1978 ; Stansfeld et al, 1993).

**g) Statistiques alarmantes**

Selon des statistiques récentes concernant l'effet du bruit notamment routier sur la santé humaine, établies par l'agence européenne de l'environnement (European Environment Agency, 2014) :

- i. Plus de 20 millions de personnes vivant dans la zone européenne souffrent de nuisance sonore.
- ii. Plus de 8 millions de personnes en Europe souffrent de troubles du sommeil dû au bruit.
- iii. Le bruit est responsable de plus de 10000 décès chaque année en Europe.
- iv. Le bruit entraîne chaque année plus de 900 000 cas d'hypertension en Europe.
- v. Le bruit entraîne l'hospitalisation de 43000 personnes chaque année en Europe.

Sur la base de ces statistiques alarmantes, nous devons changer notre vision et notre comportement face au bruit, d'un facteur qui peut affecter la qualité de vie et réduire le degré du confort à un risque majeur et sérieux pour la santé publique.

### III \_ 4 \_ 4 Effet de pollution sonore sur la biodiversité

Le bruit influe aussi sur la biodiversité et l'écosystème. Il a un impact nocif sur les insectes, les oiseaux et les mammifères, surtout ceux qui utilisent les signaux sonores pour communiquer, se repérer et se déplacer.

Si nous prenons le cas des oiseaux, les résultats de l'effet de masquage causé par le bruit de la circulation sur les chants de ces derniers sont les suivants :

- i. Échapper vers d'autres endroits plus calmes.
- ii. Changer la fréquence de chant.
- iii. Chanter plus haut, plus tôt (chanter à l'aube), et/ou changer le rythme de chant.

Ces changements dans les caractéristiques des signaux sonores perturbent la communication entre ces êtres vivants, ce qui affecte leur présence dans l'espace urbain ainsi que leur reproduction (Reijnen et al, 1996 ; McClure et al, 2013 ; Summers et al, 2011 ; Parris et al, 2009).

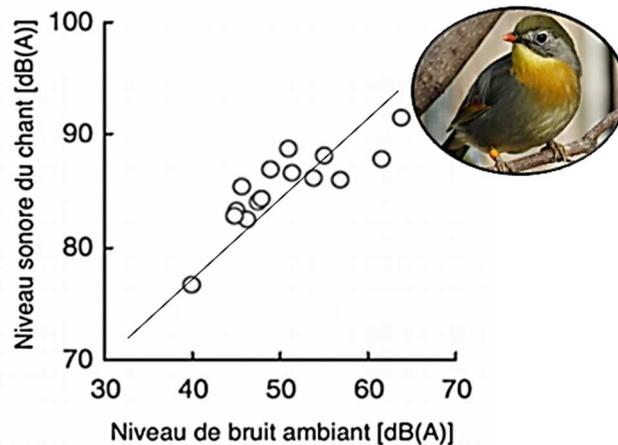


Figure III-10: Effet de niveau de bruit ambiant sur la puissance acoustique du chant du « Rossignol Philomèle », (Plus le niveau de bruit ambiant est élevé, plus le volume de chant est élevé) (Brumm, 2004)

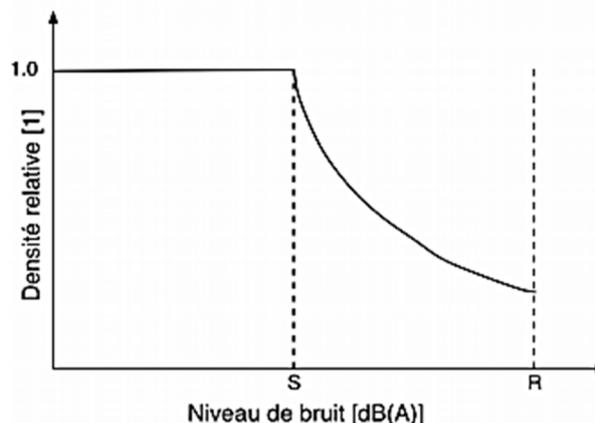


Figure III-11 : Effet de bruit routier sur la présence des oiseaux (Reijnen , 2006)

Comme nous pouvons voir dans figure ci-dessus, au-delà d'une valeur (S) l'intensité sonore peut affecter gravement la densité des oiseaux dans l'environnement.

### **III \_ 5 Lutte contre la pollution sonore**

L'urbanisation forte ainsi que l'explosion démographique qui continue d'augmenter jour après jour, affecte l'équilibre de l'écosystème, pollue l'environnement et dégrade la qualité de vie. Pour limiter ces effets nuisibles de l'homme sur la nature et retrouver l'équilibre entre les deux, chaque pays a proposé une série de lois concernant la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution notamment sonore.

La lutte contre le bruit est une opération très ancienne. Nous pouvons la retrouver dans l'histoire de la Rome antique, sous la forme d'une loi proposée par Jules César, afin de limiter la gêne occasionnée par les chariots (Olivier, 2000). D'autre part, au seizième siècle, Élisabeth I avait adopté une loi interdisant la musique dans la rue afin de réduire la nuisance sonore à l'extérieur (Rozec et Ritter, 2003).

En outre, il convient de mentionner également que le médecin Robert Koch (Prix Nobel de médecine) (1843-1910) avait prédit que le jour viendrait, où l'homme se battrait contre le bruit de la même manière que le choléra ou la peste (Jaworski, 2012 ; Muller et Scharlach, 2000).

Ces dernières années, les effets de ce problème sur la qualité de vie sont devenus plus évidents que jamais. Selon l'EEA, « ...le bruit est responsable de plus de 900000 cas d'hypertension chaque année (European Environment Agency, 2014).

À notre avis, nous nous sommes approchés du jour prévu par Robert Koch. C'est pourquoi, la lutte contre ce phénomène est devenue une urgence, des actions rapides doivent être engagées dans l'immédiat afin de corriger ces situations alarmantes à l'image de :

#### **III \_ 5 \_ 1 Actions préventives**

##### **III \_ 5 \_ 1 \_ 1 Sensibilisation**

Un grand manque d'information et de sensibilisation concernant les effets de bruit sur l'environnement et surtout sur la santé publique a été observé pendant notre recherche, même chez les classes cultivées. C'est pourquoi la première action qui doit être effectuée, afin d'améliorer un environnement sonore, est la sensibilisation de la population sur les risques sérieux et multiples pouvant être engendrés par le bruit sur sa santé et son environnement en

général. Par le biais des écoles primaires, des associations et des médias, nous devons bien mettre l'accent sur ce phénomène.

### **III \_ 5 \_ 1 \_ 2 Cartographie sonore**

La deuxième chose et, conformément au droit des citoyens d'accéder à l'information, les gens doivent être informés sur le niveau d'intensité sonore de leur environnement de vie. C'est pourquoi un grand projet a été réalisé en Europe, afin d'offrir des cartes de bruit des grandes villes au public et aux autorités, dans le but de définir l'état des situations sonores actuelles de ces villes, les principales sources de bruit, de déterminer les zones sous-exposées et surexposées, afin d'avoir une idée claire sur l'exposition de la population et des bâtiments sensibles au bruit. Par ailleurs, le coût élevé de ces cartes et le manque de connaissance de son importance représentent des obstacles à sa réalisation dans les pays en développement.

### **III \_ 5 \_ 2 Actions opérationnelles**

Afin de réduire le taux de pollution sonore, des interventions opérationnelles doivent être appliquées au niveau de ces champs d'intervention (Brown, 2015) :

- i. Intervenir au niveau de la source par la réduction du niveau de bruit émis par la source elle-même.
- ii. Intervenir au niveau du lieu de transition : faire en sorte d'éloigner la distance entre les émetteurs et les récepteurs, utiliser des obstacles contre la propagation de bruit comme les écrans anti bruit.
- iii. Intervenir au niveau des récepteurs : bien protéger et isoler les récepteurs, changer le comportement et les opinions des récepteurs concernant les sources (Brown, 2015).

### **III \_ 5 \_ 3 Actions répressives**

Face au phénomène de nuisance sonore, les législateurs des pays ainsi que les organisations internationales de la protection de l'environnement et de la santé comme l'OMS, EPA USA, ont élaboré des lois, des règlements et des normes concernant la lutte contre le bruit et la pollution sonore, l'application de ces règlements et le respect de ces normes varient d'un pays à l'autre, selon la volonté étatique et la sensibilisation de la communauté.

### **III \_ 5 \_ 4 Lutte contre la pollution sonore en Algérie**

La lutte contre le bruit est malheureusement encore faible dans les pays du Maghreb, dont l'Algérie. Cela se manifeste clairement dans la faible législation concernant la lutte contre la pollution sonore, ainsi que la faible présence du thème d'acoustique urbaine dans le milieu

académique et dans les laboratoires de recherche. Par exemple, aucune ville du grand Maghreb ne possède une carte de bruit.

### **III \_ 5 \_ 4 \_ 1 Étude critique des lois existantes**

La législation algérienne a élaboré dès les années quatre-vingt, plusieurs lois et règlements concernant la lutte contre la pollution sonore (Gramez, 2010). Pourtant, l'application de ces règlements reste très faible et reste pour lettre morte.

#### **a) Loi n° 83-03 du 5 février 1983.**

La lutte contre le bruit dans la législation algérienne a été commencée par les 3 articles du cinquième chapitre de la loi n° 83-03.

##### **Article 119 :**

*«Les immeubles, les établissements industriels, artisanaux ou agricoles et autres édifices, les animaux, les véhicules et autres objets mobiliers possédés, exploités ou détenus par toute personne physique ou morale sont construits, exploités ou utilisés de manière à satisfaire aux dispositions prises en application de la présente loi afin d'éviter l'émission de bruits susceptibles de causer une gêne excessive de nature à incommoder la population ou à nuire à sa santé.»*

##### **Article 120 :**

*«Lorsque les émissions de bruits sont susceptibles de constituer un gêne excessif pour la population ou de nuire à sa santé, les personnes visées à l'article 119 doivent mettre en œuvre toutes les dispositions utiles pour les supprimer.»*

##### **Article 120 :**

*«Les prescriptions visées aux articles 119 et 120 font l'objet de décrets qui déterminent notamment :*

*1) les cas et conditions dans lesquels doit être interdite ou réglementée l'émission des bruits. 2) les délais dans lesquels il doit être satisfait à ces dispositions pour les immeubles, établissements, autres édifices, animaux, véhicules et autres objets mobiliers existants à la date de publication de chaque décret. 3) les cas et conditions dans lesquels le ministre chargé de l'environnement doit, avant l'intervention de la décision judiciaire, prendre, en raison de l'urgence, toutes les mesures exécutoires destinées d'office à faire cesser le trouble. »*

Cet article rend les gens responsables devant la loi pour tout le bruit qu'ils causent, s'ils affectent la qualité de vie ou menacent la santé humaine. Cette loi oblige les responsables des bruits à prendre les mesures nécessaires rapidement, afin de réduire cette nuisance sonore. Mais sans définir les niveaux d'intensité maximum, autoriser selon le temps (jour/nuit) ni selon la zone (zone résidentielle / zone industrielle).

**b) Décret exécutif n° 93 -184 du 27 juillet 1993 :**

Dans les articles suivants, un règlement de l'émission sonore a été réalisé afin de renforcer l'application de la loi 83-03. Des niveaux d'intensité sonore limite sont proposés selon le temps de l'exposition jour/nuit, et selon la zone urbaine (zone résidentielle / zone industrielle), au-delà de ces limites maximales le son est devenu une nuisance, ce qui demande l'application des articles de la loi 83\_03.

**Article 2 :**

*«Les niveaux sonores maximums admis dans les zones d'habitation et dans les voies et lieux publics ou privés sont de 70 décibels (70 DB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 45 décibels (45 DB) en période nocturne (22 heures à 6 heures).»*

**Article 3 :**

*«Les niveaux sonores maximums admis au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignement et dans les aires de repos et de détente ainsi que dans leur enceinte sont de 45 décibels (DB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 40 décibels en période nocturne (22 h à 6 h).»*

**Article 4 :**

*«Sont considérés comme une atteinte à la quiétude du voisinage, une gêne excessive, une nuisance à la santé et une compromission de la tranquillité de la population toutes les émissions sonores supérieures aux valeurs limites indiquées aux articles 2 et 3 ci-dessus.»*

Les recommandations du législateur national sont conformes aux recommandations internationales sauf pour les zones résidentielles, où la valeur proposée dans le décret 93-184 dépasse les normes internationales, et, où le niveau de bruit maximal autorisé ne dépasse pas 55 dB au lieu de 70dB, qui est l'équivalent de la valeur autorisée dans les zones industrielles dans d'autres pays, à l'image de l'Arabie saoudite voire tableau 6 et 7.

Tableau 6 : Comparaison entre les normes nationales et internationales des limites de l'intensité sonore dans les espaces publics. (Auteur)

Pays	Zone industrielle	Zone commerce, résidentielle (mixte)	Zone résidentielle
Algérie (Décret exécutif n°93-184)	-	70	70
l'Inde (Kumar, 2011)	75	65	55
Arabie saoudite (Al-Ghonamy, 2010)	70	65-60	55
Bangladesh (Amin et al, 2010)	75	65	55
OMS (WHO, 1999)	-	70	55
Brésil (Zannin et al, 2002)	70	60	55

Tableau 7 : Comparaison entre les normes nationales et internationales des limites de l'intensité sonore dans les jardins publics. (Auteur)

Organisation / pays	Les niveaux de bruit maximum autorisés dans les jardins et les places publics
Germany	55 dB
Egypt (Al-Ghonamy, 2009)	45 dB
India	50 dB
World Health Organization (WHO, 1999)	55 dB
Environmental Protection Agency of U.S.A. (US EPA; 2001)	45 dB
Algeria (Décret exécutif n°93-184)	45 dB

### c) La loi n° 03-10 du 19 juillet 2003

En accord avec les perspectives du développement durable relatives à la protection de l'environnement, les suivants articles descriptifs concernant les prescriptions de protection contre la pollution sonore ont été élaborés par le législateur en 2003.

#### **Article 72 :**

*« Les prescriptions de protection contre les nuisances acoustiques ont pour objet, de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers nuisibles à la santé des personnes, à leur causer un trouble excessif ou à porter atteinte à l'environnement. »*

#### **Article 73 :**

*« Sans préjudice des dispositions législatives en vigueur, les activités bruyantes exercées dans les entreprises, les établissements, les entres d'activités ou les installations*

*publiques ou privées établies à titre permanent ou temporaire et ne figurant pas dans la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi que les activités bruyantes sportives et de pleins airs susceptibles de causer des nuisances sonores, sont soumises à des prescriptions générales. »*

**Article 74 :**

*« Lorsque les activités visées à l'article 73 ci-dessus sont susceptibles, par le bruit qu'elles provoquent, de présenter les dangers ou causer les troubles mentionnés à l'article 72 ci-dessus, elles sont soumises à autorisation. »*

**Article 75 :**

*« Les dispositions de l'article 74 ci-dessus ne sont pas applicables aux activités et installations relevant de la défense nationale, des services publics de protection civile et de lutte contre l'incendie, ainsi qu'aux aménagements et infrastructures de transports terrestres soumis aux dispositions de textes législatifs spécifiques. »*

**d) Document Technique Réglementaire DTR**

Ce document représente la méthode nationale de l'évaluation de l'isolement acoustique et de l'indice d'affaiblissement sonore des parois vis-à-vis au bruit arien, le document DTR a été élaboré et approuvé par la commission technique permanente, ensuite, publié dans le Journal officiel, dans le but de standardiser la vérification de la conformité des constructions vis-à-vis des règlements de nuisance sonore et de valoriser la qualité acoustique des parois.

**III \_ 6 Outils et méthodes d'étude et d'analyse des environnements sonores**

Deux principaux axes de recherche caractérisent le domaine de l'acoustique urbaine, le premier axe se concentre sur les sons de l'environnement en tant que sources de nuisance contre lesquels nous devons lutter et contrôler en raison de ses effets nocifs sur la santé, le confort et l'environnement.

D'autre part, et après l'invention du concept du paysage sonore dans les années 1970, un autre axe de recherche a été développé, en mettant l'accent sur le paysage sonore en tant qu'ambiance, leur qualité dépend de la nature de ses sources et de la sensation des êtres humains qui vivent l'expérience sonore. Parfois, les gens favorisent le bruit surtout dans les espaces extérieurs parce qu'ils le considèrent comme un signe de vie, de mouvement et de sécurité (Vogiatzis et Remy, 2017 ; Brocolini et al, 2013).

Compte tenu de la complexité et de la multidisciplinarité du concept de paysage sonore, plusieurs méthodes d'analyse et d'évaluation ont été proposées par plusieurs chercheurs au cours de ces dernières années. Celles-ci incluent :

### III \_ 6 \_ 1 Mesures in situ

La mesure du bruit est la méthode classique pour étudier un environnement sonore, c'est l'opération qui nous permet de mesurer l'intensité du son à l'aide d'un sonomètre en respectant l'une des normes de mesure, qui sont multiples. Nous pouvons citer par exemple, le NF S 31-010, où le sonomètre doit être placé à une distance minimale de deux mètres de tous les obstacles réfléchissants, et à une hauteur de 1.5 mètre du sol, comme il existe le NF S 31-130 qui recommande de placer le sonomètre à une hauteur de 5 mètres et à une distance de 2 mètres des façades (Sémidor et al, 2010 ; Rozec et Rumeau, 2000).



Figure III-12 : Le NF S 31-130, mise en place du sonomètre (Sémidor et al, 2010).

### III \_ 6 \_ 2 Questionnaires

L'évaluation du côté subjectif du paysage sonore dépend essentiellement de la sensation et du ressenti des gens. C'est comme la musique, le jugement peut varier d'une personne à une autre. L'absence d'un indicateur physique mesurable ou d'une échelle de jugement qui permet d'évaluer la qualité sonore conduit les spécialistes à mener des enquêtes in situ ou sur des écoutes réactivées afin d'évaluer cette qualité (Sémidor et al, 2010).

### III \_ 6 \_ 3 Enregistrement sonore

L'enregistrement du paysage sonore est une nouvelle approche utilisée en premier lieu dans la science de la biodiversité, afin de déterminer les types d'animaux et des insectes qui vivent dans l'endroit où a lieu l'étude, d'analyser ses modes de communication, et de caractériser ses signaux sonores (Pijanowski et al, 2011 ; Farina et al, 2014 ; Sueur et al 2014).

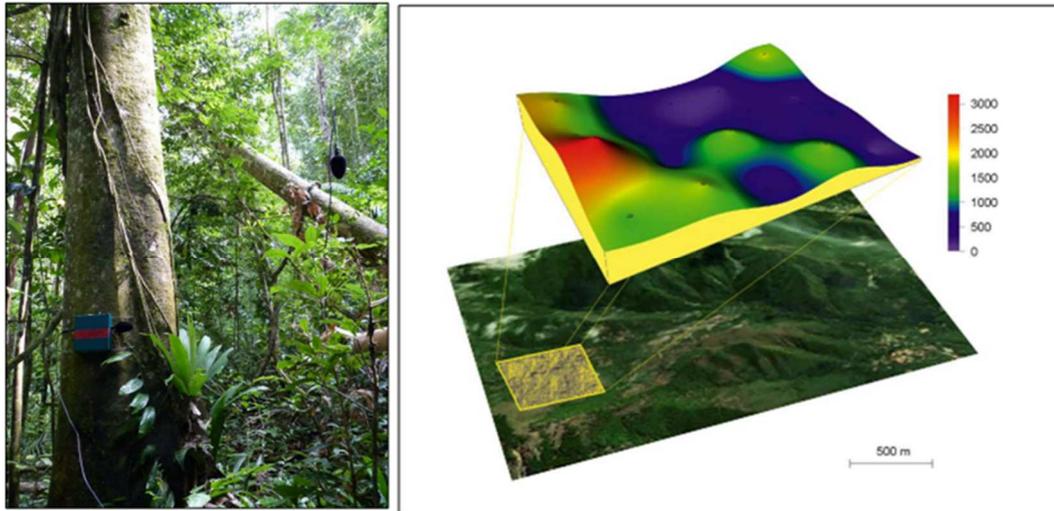


Figure III-13 : Utilisation du paysage sonore dans les études de la biodiversité (Pijanowski et al, 2011).

Cette nouvelle technique a été adoptée par Cathrine Semidor (Semidor, 2004) pour les études de l'acoustique urbaine sous la forme d'une méthode nommée la promenade sonore. Cette méthode permet d'enregistrer le paysage sonore tel qu'il est vécu par l'utilisateur de l'espace.

Le traitement des pistes audio enregistrées avec des logiciels spécialisés tels que Seewav (Sueur et al, 2008) nous permettra d'extraire des informations supplémentaires sur l'environnement sonore à l'image de l'origine des sons, les sons dominants, la fréquence et l'intensité des composants en forme de spectrogramme qui est la traduction visuelle des paysages sonores (Semidor, 2004 ; Venot et Sémidor, 2006). D'un autre côté, les bandes sonores enregistrées peuvent également être utilisées pour l'exécution des questionnaires afin d'évaluer la qualité d'un environnement à partir des écoutes réactivées dans le laboratoire (Grosjean et Thibaud, 2001 ; Augoyard, 2001).

### III \_ 6 \_ 4 Cartes de bruit

La cartographie sonore est une méthode d'analyse, d'évaluation et de représentation des environnements sonores, elle nous permet d'établir un état des lieux des situations sonores des villes et d'identifier les zones bruyantes et calmes dans le périmètre d'étude afin de déterminer le taux d'exposition de la population et des bâtiments sensibles comme les hôpitaux et les écoles au bruit.

Les cartes sonores sont réalisées à la base d'une acquisition des données in situ concernant le trafic routier (taux de circulation par heure, la vitesse des voitures, la présence de poids lourd), le trafic ferroviaire (vitesse et type des trains), la présence des aéroports et les activités industrielles.

À cause de ses effets importants sur le comportement des ondes sonores dans l'espace urbain, les conditions météorologiques (météorologiques) comme la température, le vent et la pression atmosphérique ainsi que les caractéristiques morphologiques de la zone d'étude à l'image de la hauteur des bâtiments, largeur des rues, type de pavage ...etc. sont indispensables pour les calculs des cartes sonores (Murphy et King, 2014).

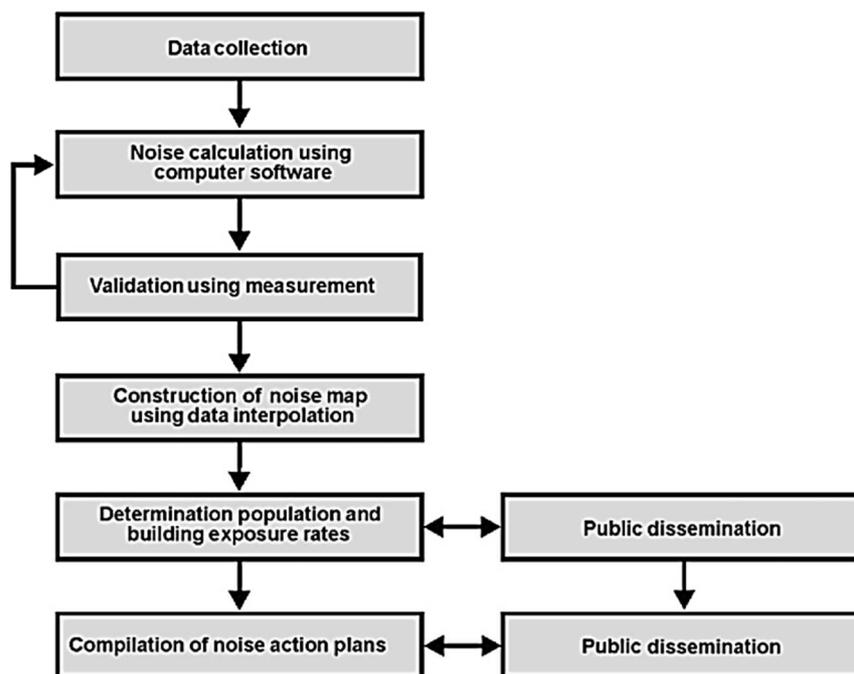


FIGURE 4.1 Schematic of the noise mapping process.

Figure III-14 : Processus de la cartographie sonore. (Murphy et King, 2014)



Figure III-15 : Carte du bruit de Linares (Jaén, Espagne) (<https://commons.wikimedia.org>)

### III \_ 7 Conclusion

La focalisation de notre recherche documentaire dans ce troisième chapitre théorique sur la notion de paysage sonore, sur ses types (Hi\_Fi, Lo\_Fi), ses composants (anthropony, géophonie, biophonie) ainsi que sa structure, nous a permis de bien définir ce concept dans son sens le plus large, en nous appuyant sur les différentes définitions scientifiques et institutionnelles répertoriées dans la littérature.

Par ailleurs, nous nous sommes concentrés dans la deuxième partie de ce chapitre sur la notion de la pollution sonore en mettant l'accent sur sa définition, ses sources, ses effets sur la santé et sur l'environnement ainsi que sur les principales opérations de la lutte contre ce phénomène notamment en Algérie, en nous focalisant sur les lois de la lutte contre la pollution sonore.

Finalement, les récents axes de recherche de cette thématique ainsi que les principales méthodes d'étude d'acoustique urbaine sont détaillés dans la dernière partie de ce chapitre, en se concentrant sur les méthodes que nous allons utiliser dans la partie pratique de cette recherche (les mesures sur terrain, le questionnaire, les enregistrements et la cartographie sonores).

**Partie expérimentale :**  
**Mesure, Enregistrement et Simulation**  
**numérique**

**Chapitre IV : Évaluation quantitative de  
l'environnement sonore**

## IV \_ 1 Introduction

Dans cette partie, nous allons nous focaliser sur la pollution sonore, qui est le troisième type de pollution environnementale le plus dangereux pour la santé de l'homme (Zannin et al, 2006).

Nous commençons ce chapitre en décrivant la méthode de mesure d'intensité sonore ainsi que les outils de mesure utilisés lors de cette investigation sur le terrain, qui vise à étudier et à évaluer les environnements sonores afin de déterminer sa qualité. Ensuite nous allons échantillonner et localiser les stations de mesure pour couvrir la ville dans sa globalité, puis, dans l'étape suivante, nous allons décrire brièvement les principales caractéristiques physiques des environnements de ces dernières.

La présente partie sera basée sur une étude comparative et une analyse des niveaux sonores réels existants sur l'ensemble de la ville de Biskra, mesurée par soixante-deux (62) stations de mesure réparties sur les entités urbaines représentatives et vingt-sept (27) stations réparties sur les sept (7) principaux jardins de la ville de Biskra, par rapport aux recommandations nationales et internationales concernant les niveaux limites de bruit urbain.

## IV \_ 2 Présentation du cas d'étude

Cette étude a été effectuée dans la ville de Biskra, une très ancienne ville située au sud-est de l'Algérie, à environ 34°.48 de latitude et 5°.44 de longitude, sur une superficie de 21 671 km<sup>2</sup> et une altitude de 120 m . Biskra se caractérise par un climat rigoureux sec et aride avec une température qui varie annuellement entre 11 à 35 c° et une perception très faible qui ne dépasse pas généralement 200 mm par an (Farhi, 2002 ; Hamel et Mazouz, 2007 ; Matallah, 2015, Berkouk et Mazouz, 2017 ; Berkouk, 2017).



Figure IV-1 : Situation de la ville de Biskra (google)

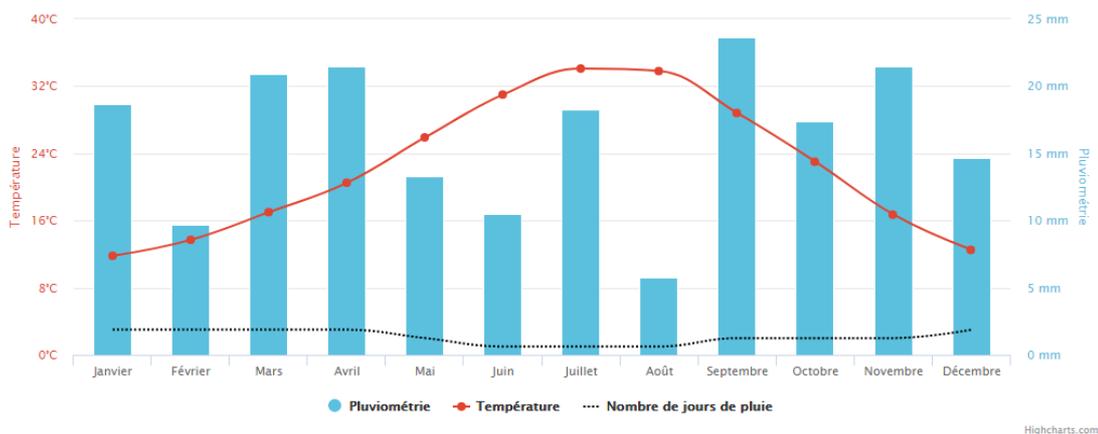


Figure IV-2 : Caractéristiques climatiques de Biskra (planificateur.a-contresens.net)

En plus de l'axe ferroviaire qui traverse la ville, et, qui sert principalement au transport des marchandises, Biskra est desservie par cinq routes nationales, ce qui en fait un point de transition très important entre le sud et le nord du pays (voir tableau 8). Les statistiques concernant le niveau de trafic moyen journalier à l'annuel dans ces routes sont, à ce jour malheureusement indisponible.

Tableau 8 : Liste des routes desservant la ville de Biskra (Auteur)

Route Numéro	Parcours
La route n 3 (1864)	Skikda _ Biskra _ Djanet
La route n 31 (1929)	Biskra _ Ghassira _ Batna
La route n 46	Biskra _ Djelfa
La route n 83	Biskra _ Sidi Okba _ Tébessa
La route n 87 (1980)	RN3 Branise _ Chmora _ Batna



Figure IV-3 : Réseau routier et ferroviaire de la ville de Biskra (Google Maps).

### IV \_3 Déroulement de la première partie

Une évaluation quantitative de l'environnement sonore de Biskra a été menée dans cette partie structurée en deux phases :

Dans la première phase, et après une analyse morphologique, le taux de la pollution sonore a été évalué dans toutes les entités urbaines représentatives de la ville. D'autre part, et dans le but d'avoir une évaluation plus globale de l'environnement sonore, nous avons mesuré dans la deuxième phase, l'environnement sonore au sein des jardins publics qui constituent des composantes très importantes dans les villes caractérisées des zones arides et sec comme le cas de Biskra.

Les résultats des mesures d'intensité sonore sont comparés avec les limites sonores autorisées dans les espaces urbains par les recommandations nationales et internationales.

Le schéma ci-dessous résume les étapes de la méthodologie utilisée dans cette partie.

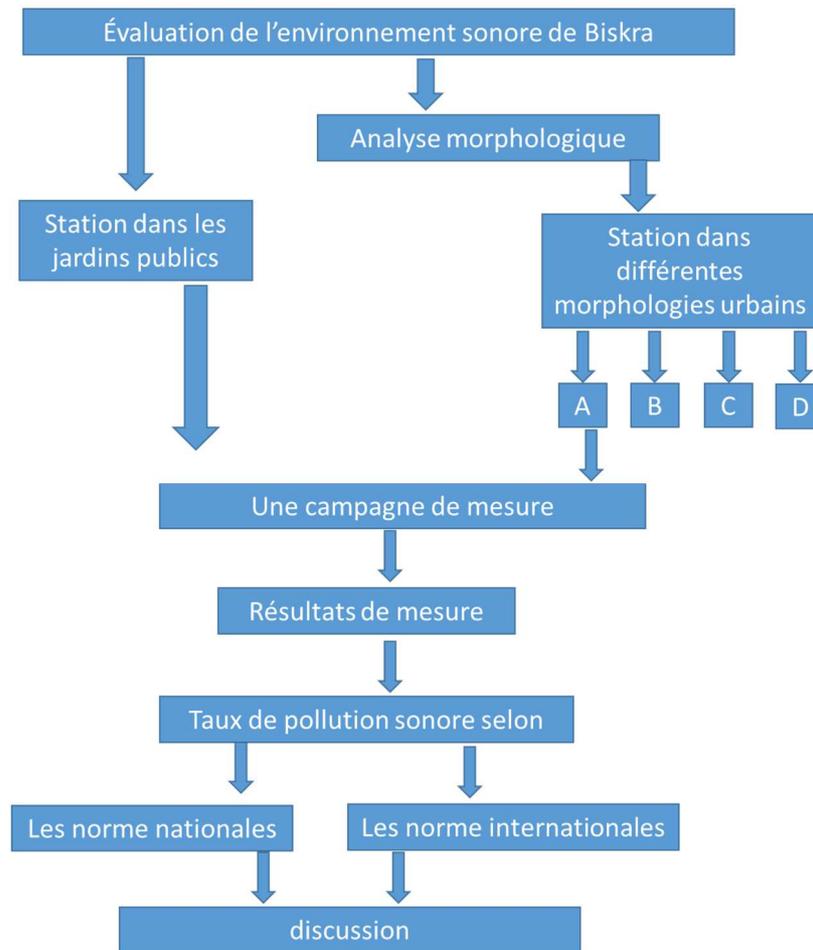


Figure IV-4 : Méthodologie d'investigation (Auteur).

## IV \_ 4 Évaluation et analyse de la pollution sonore dans la ville de Biskra

### IV \_ 4 \_ 1 Choix des stations de mesure

Afin de choisir des stations de mesure qui représentent les différents paysages urbains existant à Biskra, nous avons commencé cette phase par une analyse morphologique de différentes entités urbaines existantes.

### IV \_ 4 \_ 2 Vision morphologique de la ville de Biskra

Un paysage morphologique très hétérogène caractérise la ville de Biskra (Hamel et Mazouz, 2007), D'après un simple parcours dans la ville de Biskra, il est facile de remarquer que ses périodes historiques sont fortement gravées dans ses paysages urbains (Bouzir et Zemmouri, 2017), comme l'illustre la figure IV-5.



Figure IV-5 : Différentes typologies des tissus urbains de la ville de Biskra (Bouzir et Zemmouri, 2017).

#### IV \_ 4 \_ 2 \_ 1 L'ancien noyau

L'ancien noyau de cette ville correspond au vieux Biskra, il se caractérise principalement par son plan organique et très dense, ses rues étroites, ses ruelles ainsi que ses impasses. Les petits commerces situés aux rives des grandes rues représentent les activités principales dans ces lieux, alors que nous avons remarqué une présence moins intense des activités au sein des quartiers, mais ils existent. Nous pouvons trouver quelques ateliers artisanaux (soudeurs, menuisiers) dans certains endroits.

De nombreuses parties de ces zones urbaines sont renouvelées, en utilisant des nouveaux matériaux de construction ainsi qu'une nouvelle architecture, mais le plan général de ces quartiers reste le même, grâce aux structures routières qui résistent face aux changements rapides que vit cette ville.



Figure IV-6 : Image satellitaire du tissu ancien urbain de la ville de Biskra (Google Maps)

Un grand contraste dans le niveau de flux routier peut être facilement remarqué entre les rues de desserte situées à l'intérieur de ces quartiers denses, marqués par une faible présence de voitures, une rare présence des camions et une très faible vitesse de circulation due aux caractéristiques morphologiques de ces zones urbaines qui limitent et réduisent par la largeur de ses rues et par ses impasses le champ de mouvement des voitures. En revanche, les voies qui entourent ces quartiers se caractérisent par une forte présence des voitures, des camions et des bus de transport public.

#### IV \_ 4 \_ 2 \_ 2 Les tissus auto-construits spontanés

Les tissus auto-construits sont des tissus spontanés, issus du savoir-faire des habitants de la région, afin de répondre à ses besoins face aux conditions climatiques et économiques pendant la période de sa réalisation. Une imitation de l'architecture et de l'urbanisme de la vieille ville peut être observée dans ces quartiers, qui se caractérisent par ses plans organiques très denses, un prospect élevé (rapport largeur de rue /hauteur de bâtiment), et, une hiérarchie dimensionnelle des rues, allant d'une largeur de 3m pour les impasses à 12 m pour les voies secondaires, qui relie souvent des noyaux urbains (des places urbaines) qui représentent le lieu de plusieurs activités.



Figure IV-7 : Image satellitaire d'un exemple du tissu auto-construit non planifié (Star El Mlouk) (Auteur)



Figure IV-8 : Photo du tissu auto-construit non planifié (Star El Mlouk) (Auteur)

Dans ces quartiers comme dans les quartiers de l'ancienne ville, nous pouvons remarquer la présence d'un flou dans les limites entre le semi-privé, le semi-public et le public, ce qui a développé un aspect d'intimité aux ruelles de ces quartiers où les portes des maisons mènent directement à la rue. Voir figure IV-9



Figure IV-9 : Photo représentant la relation entre la ruelle et la maison (Auteur)

Le flux routier dans ce type de quartiers est très faible. Le réseau routier à la forme d'un labyrinthe sert uniquement les quartiers. C'est pour cela qu'il est rarement utilisé par des étrangers, sauf dans le cas des grandes rues traversantes.

#### IV \_ 4 \_ 2 \_ 3 Le tissu colonial

C'est un quartier qui appartient à la période coloniale, il représente une architecture et un urbanisme étrangère pour cette ville et cette région, implantée par les Français dans le nord de la ville, sous la forme d'un plan en damier bordé par une gare ferroviaire, jardin et deux axes principaux (boulevard de la république et boulevard Amir Abdelkader).

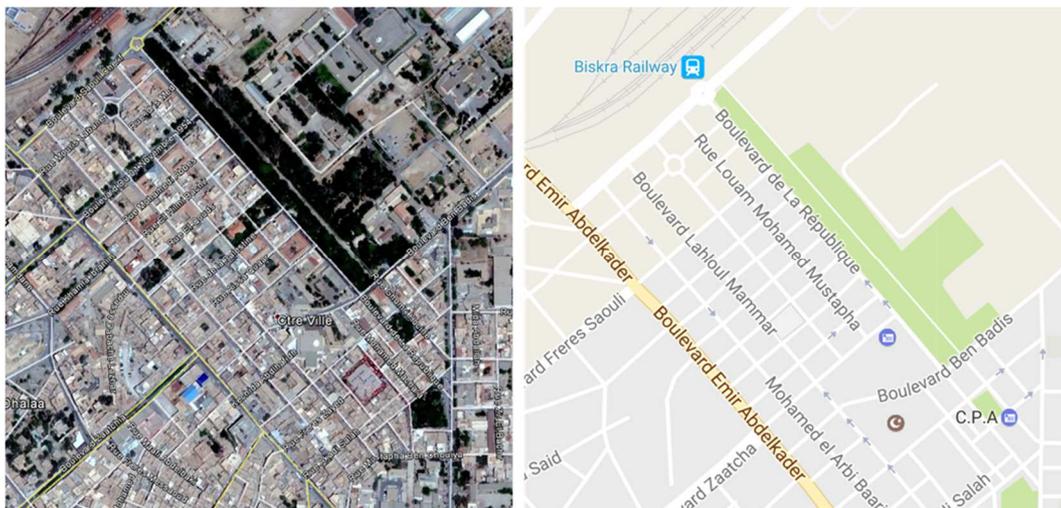


Figure IV-10 : Image satellitaire du quartier colonial (Google Maps)

La structure urbaine de ce tissu se caractérise par son plan régulier en damier, ses bâtiments à faible hauteur (Rdc+1) construits principalement en pierre et en argile, et une

hiérarchisation routière allant des voies principales qui entourent ce quartier à des voies secondaires qui traversent ce tissu et se relient entre ses quatre extrémités. Les activités principales dans ce quartier sont commerciales et tertiaires comme le montre la figure IV-11



Figure IV-11 : Le réseau de la trame routière du quartier colonial (Auteur)



Figure IV-12 : Quartier colonial (Auteur).

Ce quartier, situé entre deux boulevards très encombrés, qui le bordent du nord et du sud, ce qui le rend un lieu de transition, traversé par des centaines de véhicules justes pour se déplacer du boulevard de la république au boulevard d'El Amir Abdelkader et l'inverse. D'autre

part, les activités tertiaires et commerciales de ce quartier en font un lieu d'attraction, ce qui affecte également le taux de trafic routier dans cette zone urbaine.

Par contre, nous pouvons remarquer également que les zones qui sont loin des rues traversantes et des activités urbaines commerciales et tertiaires sont caractérisées par un très faible flux routier.

#### IV \_ 4 \_ 2 \_ 4 Tissu contemporain

À la base d'un plan urbain d'inspiration occidentale, basé sur la standardisation, le tissu contemporain dans la ville de Biskra comme dans d'autres villes algériennes se compose essentiellement de lotissements et de quartiers d'habitat collectif.

##### a) Lotissements

C'est un mode d'urbanisation standard qui se trouve dans tout le territoire national, il vise à répondre aux exigences d'urbanisme, d'hygiène, de sécurité et de transport, sans tenir compte les conditions climatiques, sociales ou culturelles de la région, et, c'est pourquoi, ces lotissements sont devenus des zones résidentielles similaires et sans identité régionale.



Figure IV-13 : Tissus auto-construits planifiés (Hai El moudjahidine, quartier les 17 coopératives) (Google Maps)

Plusieurs types d'activités urbaines se déroulent dans ces tissus, tels que le commerce, les services tertiaires et les artisanats. Il est intéressant de noter qu'il y a des activités dans ces zones résidentielles qui influencent directement la qualité de vie, en particulier acoustiquement, comme les stations de lavage des voitures et les salles de fêtes, (voir figure IV-15).



Salle des fêtes



Atelier de menuiserie



Atelier de soudure

Figure IV-14 : Exemples d'activités bruyantes. (Auteur).

### b) Quartiers d'habitat collectif

Ce sont des zones résidentielles construites dans une politique d'urbanisation nationale, afin de répondre aux besoins de logement, à la base des plans standard (type), en ignorant toutes les caractéristiques de la région, climatiques, sociales et culturelles. Ils sont généralement situés au bord des rues principales et desservis par des petites voies de desserte.



Figure IV-15 : Image satellitaire, quartier d'habitats collectifs (Google)

Les activités dans ces entités urbaines sont presque inexistantes surtout à l'intérieur des quartiers, mais nous pouvons trouver des activités commerciales, des cafés et des petits restaurants à l'extrémité de certains quartiers, le long des grands boulevards, comme le cas de la cité de 200 logements.

#### IV \_ 4 \_ 3 Échantillonnage des points des mesures

Dans le but de couvrir la ville dans sa globalité, 62 points répartis sur toutes les entités urbaines représentatives existantes dans la ville de Biskra ont été sélectionnés. Les tableaux et les cartes ci-dessous montrent le nombre et le positionnement des stations de mesure.

Tableau 9 : Distribution des stations de mesure (Auteur).

Tissu urbain	Nombre des stations de mesure
Ancien tissu	9
Quartier colonial	6
Autos construits non planifiés	13
Auto construit planifié (lotissements)	13
Habitat collectif	11
Voies et places publiques	10

#### IV \_ 4 \_ 3 \_ 1 Stations de mesure dans l'ancien tissu

Tableau 10 : Nombre et localisation des stations de mesure dans l'ancien tissu (Auteur)

Num	code	Latitude	Longitude
1	A1	34°50'7.18"N	5°43'49.63"E
2	A2	34°50'13.97"N	5°44'15.12"E
3	A3	34°50'11.21"N	5°44'7.65"E
4	A4	34°50'3.13"N	5°44'13.44"E
5	A5	34°49'58.36"N	5°43'38.54"E
6	A6	34°49'56.48"N	5°43'26.69"E
7	A7	34°50'6.00"N	5°43'43.26"E
8	A8	34°50'13.02"N	5°44'0.88"E
9	A9	34°50'18.12"N	5°44'9.58"E



Figure IV-16 : Localisation des stations de mesure dans l'ancien tissu. (Auteur)

#### IV\_4\_3\_2 Stations de mesure dans le quartier colonial

Tableau 11 : Nombre et localisation des stations de mesure dans le quartier colonial (Auteur)

Num	code	Latitude	Longitude
1	B1	34°51'28.01"N	5°43'37.51"E
2	B2	34°51'15.16"N	5°43'37.39"E
3	B3	34°51'29.79"N	5°43'30.45"E
4	B4	34°51'24.35"N	5°43'39.68"E
5	B5	34°51'22.44"N	5°43'38.35"E
6	B6	34°51'24.94"N	5°43'30.50"E

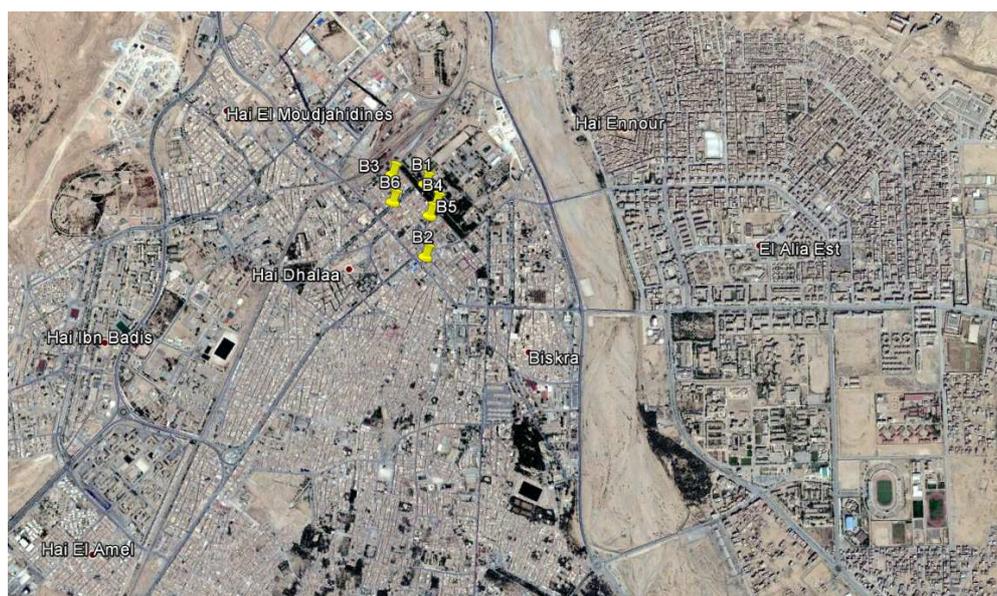


Figure IV-17 : Localisation des stations de mesure dans le quartier colonial. (Auteur)

**IV \_ 4 \_ 3 \_ 3 Stations de mesure dans les tissus auto-construits non planifiés**

Tableau 12 : Nombre et localisation des stations de mesure dans les tissus auto-construits non planifiés (Auteur).

Num	code	Latitude	Longitude
1	C1	34°52'2.34"N	5°44'16.76"E
2	C2	34°52'4.26"N	5°44'22.45"E
3	C3	34°51'49.30"N	5°44'34.17"E
4	C4	34°51'4.38"N	5°43'38.68"E
5	C5	34°51'3.49"N	5°43'42.36"E
6	C6	34°51'6.16"N	5°43'20.32"E
7	C7	34°51'11.53"N	5°43'27.90"E
8	C8	34°51'27.21"N	5°43'59.14"E
9	C9	34°50'27.45"N	5°42'46.81"E
10	C10	34°50'39.49"N	5°43'6.65"E
11	C11	34°50'40.22"N	5°43'18.19"E
12	C12	34°50'59.68"N	5°43'50.87"E
13	C13	34°50'25.88"N	5°43'48.54"E

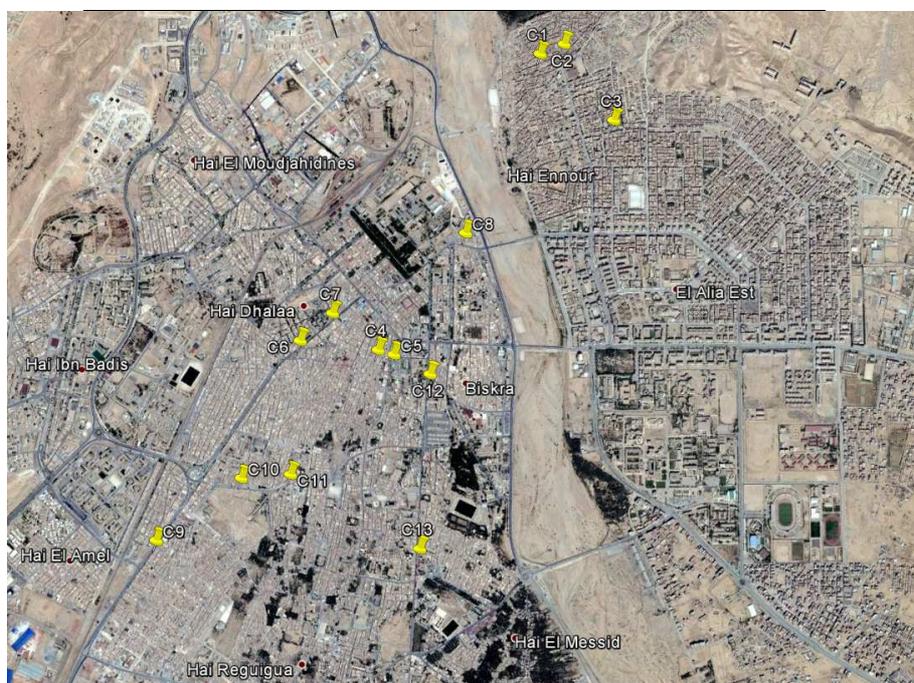


Figure IV-18 : Localisation des stations de mesure dans les tissus urbains auto-construits non planifiés. (Auteur)

**IV \_ 4 \_ 3 \_ 4 Stations de mesure dans les tissus urbains contemporains**

**a) Auto construit planifié (lotissements)**

Tableau 13 : Nombre et localisation des stations de mesure dans les lotissements (Auteur).

Num	code	Latitude	Longitude
1	D1	34°51'29.99"N	5°42'47.18"E
2	D2	34°51'27.57"N	5°42'46.07"E
3	D3	34°51'25.63"N	5°42'50.67"E
4	D4	34°51'35.36"N	5°42'56.97"E
5	D5	34°51'30.91"N	5°42'57.47"E
6	D6	34°51'35.54"N	5°42'53.24"E
7	D7	34°51'30.39"N	5°42'42.37"E
8	D8	34°51'29.57"N	5°42'43.86"E
9	D9	34°51'13.32"N	5°45'18.48"E
10	D10	34°51'27.09"N	5°45'18.65"E
11	D11	34°51'19.10"N	5°45'22.71"E
12	D12	34°51'19.97"N	5°42'56.63"E
13	D13	34°51'29.32"N	5°44'32.23"E

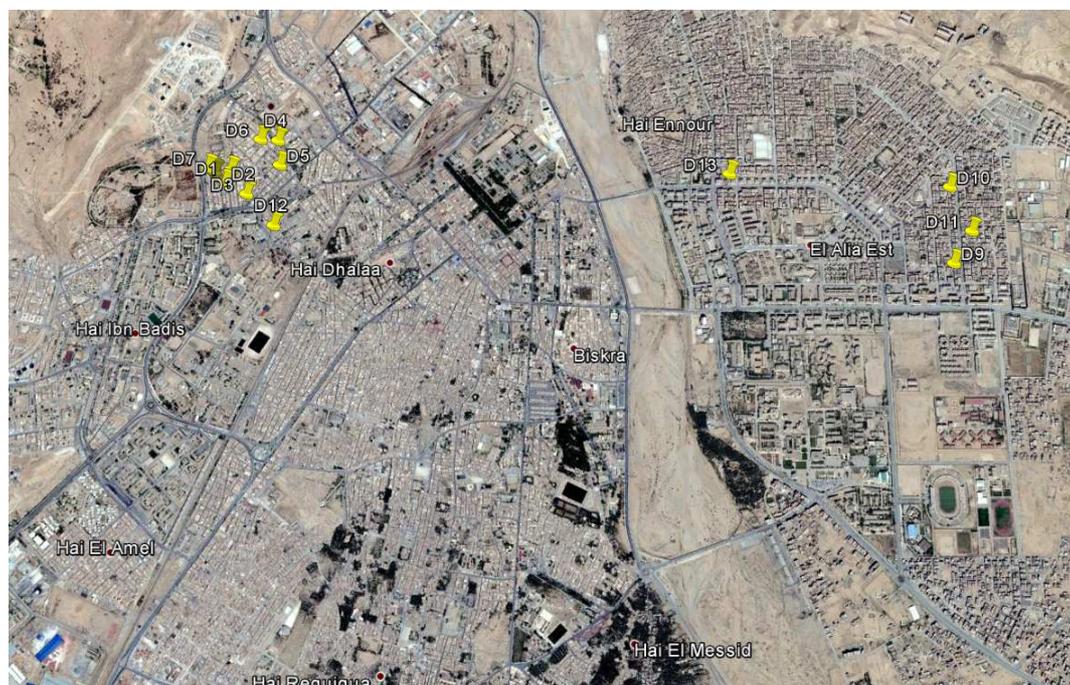


Figure IV-19 : Localisation des stations de mesure dans les lotissements. (Auteur)

**b) Les quartiers d'habitat collectif**

Tableau 14 : Nombre et localisation des stations de mesure dans les quartiers d'habitat collectif (Auteur).

N	code	Latitude	Longitude
1	E1	34°51'14.18"N	5°44'30.53"E
2	E2	34°51'20.45"N	5°44'33.74"E
3	E3	34°51'23.55"N	5°44'38.22"E
4	E4	34°51'5.41"N	5°44'57.66"E
5	E5	34°51'8.79"N	5°45'12.92"E
6	E6	34°51'11.80"N	5°42'39.37"E
7	E7	34°51'11.77"N	5°42'33.23"E
8	E8	34°51'29.44"N	5°44'23.12"E
9	E9	34°50'53.85"N	5°42'3.30"E
10	E10	34°51'24.30"N	5°45'0.19"E
11	E11	34°51'8.06"N	5°45'3.58"E

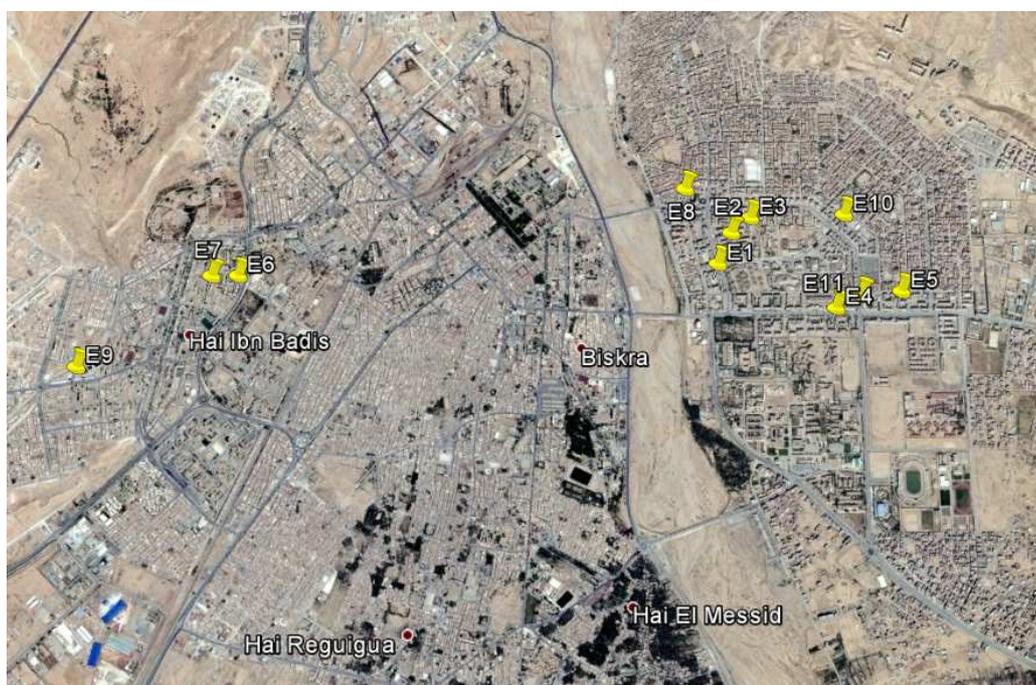


Figure IV-20 : Localisation des stations de mesure dans les quartiers d'habitat collectif. (Auteur).

#### IV \_ 4 \_ 3 \_ 5 Stations de mesure dans les voies et les places publiques

Tableau 15 : Nombre et localisation des stations de mesure dans les voies et les places publiques. (Auteur).

Num	code	Latitude	Longitude
1	F1	34°50'35.49"N	5°44'48.82"E
2	F2	34°50'28.92"N	5°44'36.30"E
3	F3	34°51'6.79"N	5°44'10.26"E
4	F4	34°51'7.08"N	5°44'27.67"E
5	F5	34°51'12.93"N	5°43'10.81"E
6	F6	34°50'59.77"N	5°42'24.28"E
7	F7	34°50'42.15"N	5°42'21.83"E
8	F8	34°50'54.86"N	5°42'32.93"E
9	F9	34°50'42.55"N	5°42'54.78"E
10	F10	34°51'7.98"N	5°43'46.63"E



Figure IV-21 : Localisation des stations de mesure dans les voies et les places publiques. (Auteur)

#### IV \_ 4 \_ 4 Protocole de mesure

Une campagne de mesure a été effectuée in situ afin de mesurer le niveau sonore équivalent ( $Leq_{1min}$ ) pendant une minute, à l'aide d'un sonomètre Landtek SL5868P, avec une pondération temporelle Fast et fréquentielle A.

## Chapitre 4 : Évaluation quantitative de l'environnement sonore de Biskra

Conformément aux normes de l'AFNOR (AFNOR, 1996), le sonomètre était placé à une distance minimale de 2m de toutes les parois et les obstacles réfléchissants, et, à une hauteur de 1,5 m du sol. Les mesures sont effectuées pendant les jours ouvrables et les weekends et hors heures de pointe. En effet, ces derniers ne représentent pas l'environnement sonore de la ville, mais seulement des situations extrêmes pour de courtes durées. Les mesures sont effectuées dans des conditions climatiques idéales, pas de vent ni de pluie.

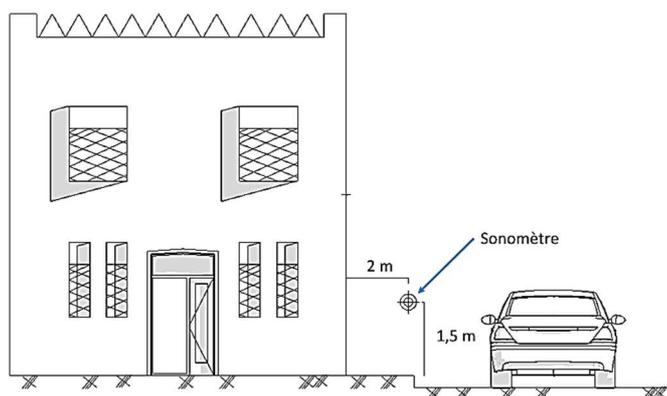


Figure IV-22 : Mise en place de sonomètre (Bouzir et Zemmouri, 2017).



Figure IV-23 : Sonomètre utilisé Landtek SL5868P.

Tableau 16 : Les conditions climatiques pendant l'acquisition des données (<http://www.historique-meteo.net/>)

	La date	heure	température	Humidité	vent
Le	04/11/2016	9-11 h	26°C	27 %	Faible
week-end	05/11/2016	9-11 h	25°C	35 %	Faible
Jour de	09/11/2016	9-11 h	17°C	50 %	Faible
semaine	10/11/2016	9-11 h	19°C	47 %	Faible

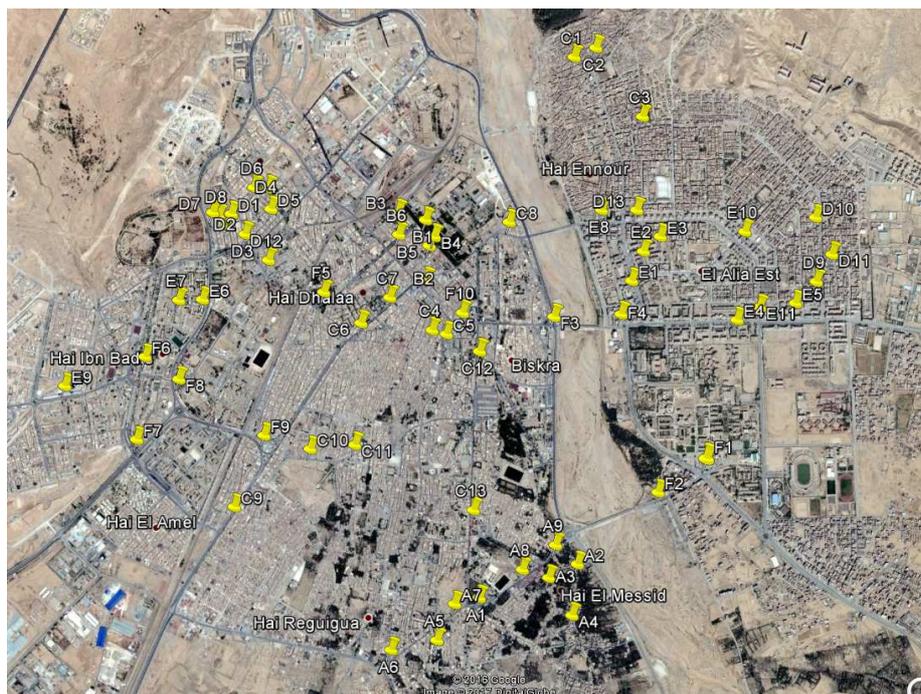


Figure IV-24 : Localisation de l'ensemble des stations de mesure (Auteur).

#### IV \_ 4 \_ 5 Résultats des mesures

Tableau 17 : Les niveaux sonores mesurés dans la ville de Biskra. (Auteur).

N point	Leq <sub>1min</sub> week-end dB(A)	Leq <sub>1min</sub> jour de sem dB(A)	Coordonnées GPS	
Les résultats des mesures dans l'ancien tissu urbain				
A1	70,1	73,2	34°50'7.18"N	5°43'49.63"E
A2	57,6	55,3	34°50'13.97"N	5°44'15.12"E
A3	58,7	57,2	34°50'11.21"N	5°44'7.65"E
A4	66,3	72,6	34°50'3.13"N	5°44'13.44"E
A5	54,4	60,2	34°49'58.36"N	5°43'38.54"E
A6	71,9	69,9	34°49'56.48"N	5°43'26.69"E
A7	72,2	72,2	34°50'6.00"N	5°43'43.26"E
A8	71,4	74,3	34°50'13.02"N	5°44'0.88"E
A9	67,9	69,7	34°50'18.12"N	5°44'9.58"E
Les résultats des mesures dans le quartier colonial				
B1	68,7	74,1	34°51'28.01"N	5°43'37.51"E
B2	73,7	73,2	34°51'15.16"N	5°43'37.39"E
B3	52,9	58,8	34°51'29.79"N	5°43'30.45"E

Chapitre 4 : Évaluation quantitative de l'environnement sonore de Biskra

B4	54,3	56,7	34°51'24.35"N	5°43'39.68"E
B5	50,4	54,2	34°51'22.44"N	5°43'38.35"E
B6	65,1	65,8	34°51'24.94"N	5°43'30.50"E
Les résultats des mesures dans les quartiers auto-construits non planifiés				
C1	68,7	70,4	34°52'2.34"N	5°44'16.76"E
C2	70,2	73,3	34°52'4.26"N	5°44'22.45"E
C3	70,3	73,2	34°51'49.30"N	5°44'34.17"E
C4	60,6	63,2	34°51'4.38"N	5°43'38.68"E
C5	70,9	72,2	34°51'3.49"N	5°43'42.36"E
C6	71,3	73	34°51'6.16"N	5°43'20.32"E
C7	71,1	73,7	34°51'11.53"N	5°43'27.90"E
C8	72,6	70,9	34°51'27.21"N	5°43'59.14"E
C9	70,9	74,5	34°50'27.45"N	5°42'46.81"E
C10	70,2	73,3	34°50'39.49"N	5°43'6.65"E
C11	66,4	72,3	34°50'40.22"N	5°43'18.19"E
C12	74,2	75,8	34°50'59.68"N	5°43'50.87"E
C13	71,5	70,6	34°50'25.88"N	5°43'48.54"E
Les résultats des mesures dans les quartiers autos construits planifiés				
D1	55	54,1	34°51'29.99"N	5°42'47.18"E
D2	69,2	69,6	34°51'27.57"N	5°42'46.07"E
D3	70	71,2	34°51'25.63"N	5°42'50.67"E
D4	53,7	54,3	34°51'35.36"N	5°42'56.97"E
D5	51,7	55,8	34°51'30.91"N	5°42'57.47"E
D6	61,2	64,7	34°51'35.54"N	5°42'53.24"E
D7	54,3	56,3	34°51'30.39"N	5°42'42.37"E
D8	66,2	64,7	34°51'29.57"N	5°42'43.86"E
D9	68,1	69,5	34°51'13.32"N	5°45'18.48"E
D10	70	71,2	34°51'27.09"N	5°45'18.65"E
D11	53,7	54,2	34°51'19.10"N	5°45'22.71"E
D12	70,4	73,7	34°51'19.97"N	5°42'56.63"E
D13	69,4	70,2	34°51'29.32"N	5°44'32.23"E
Les résultats des mesures dans les quartiers d'habitat collectif				

E1	54,3	56,3	34°51'14.18"N	5°44'30.53"E
E2	63,2	62,7	34°51'20.45"N	5°44'33.74"E
E3	60,6	64,2	34°51'23.55"N	5°44'38.22"E
E4	66,3	63,8	34°51'5.41"N	5°44'57.66"E
E5	68,9	71,5	34°51'8.79"N	5°45'12.92"E
E6	53,3	54,5	34°51'11.80"N	5°42'39.37"E
E7	65,4	66,8	34°51'11.77"N	5°42'33.23"E
E8	72,8	72,8	34°51'29.44"N	5°44'23.12"E
E9	68,7	70,4	34°50'53.85"N	5°42'3.30"E
E10	70,1	71,8	34°51'24.30"N	5°45'0.19"E
E11	72,1	73,5	34°51'8.06"N	5°45'3.58"E
Les résultats des mesures dans les voies et places publiques				
F1	74,3	74,2	34°50'35.49"N	5°44'48.82"E
F2	70,2	72,6	34°50'28.92"N	5°44'36.30"E
F3	70,4	73	34°51'6.79"N	5°44'10.26"E
F4	68,7	69,6	34°51'7.08"N	5°44'27.67"E
F5	67,4	67,6	34°51'12.93"N	5°43'10.81"E
F6	70,1	69,4	34°50'59.77"N	5°42'24.28"E
F7	70,1	73,2	34°50'42.15"N	5°42'21.83"E
F8	69,2	73,1	34°50'54.86"N	5°42'32.93"E
F9	70,8	70,3	34°50'42.55"N	5°42'54.78"E
F10	72	72,7	34°51'7.98"N	5°43'46.63"E

#### IV \_ 4 \_ 6 Analyse des résultats

##### IV \_ 4 \_ 6 \_ 1 Intensité sonore à Biskra

D'après le tableau 17 qui résume les résultats de nos campagnes de mesure, il est clair que le niveau sonore de la ville de Biskra varie durant les jours de semaine entre 54.1 dB mesurés dans Hai El Mojahidine (D1) et 75.8 dB dans le boulevard d'EL Azilat (C12). Alors que le niveau sonore mesuré les weekends est légèrement faible par rapport à celle des jours ouvrables, il varie entre 50.4 dB dans le quartier colonial (B5) et 74.3 dB dans le vieux Biskra (C12).

IV \_ 4 \_ 6 \_ 2 Le niveau d'intensité sonore le weekend et les jours de semaine

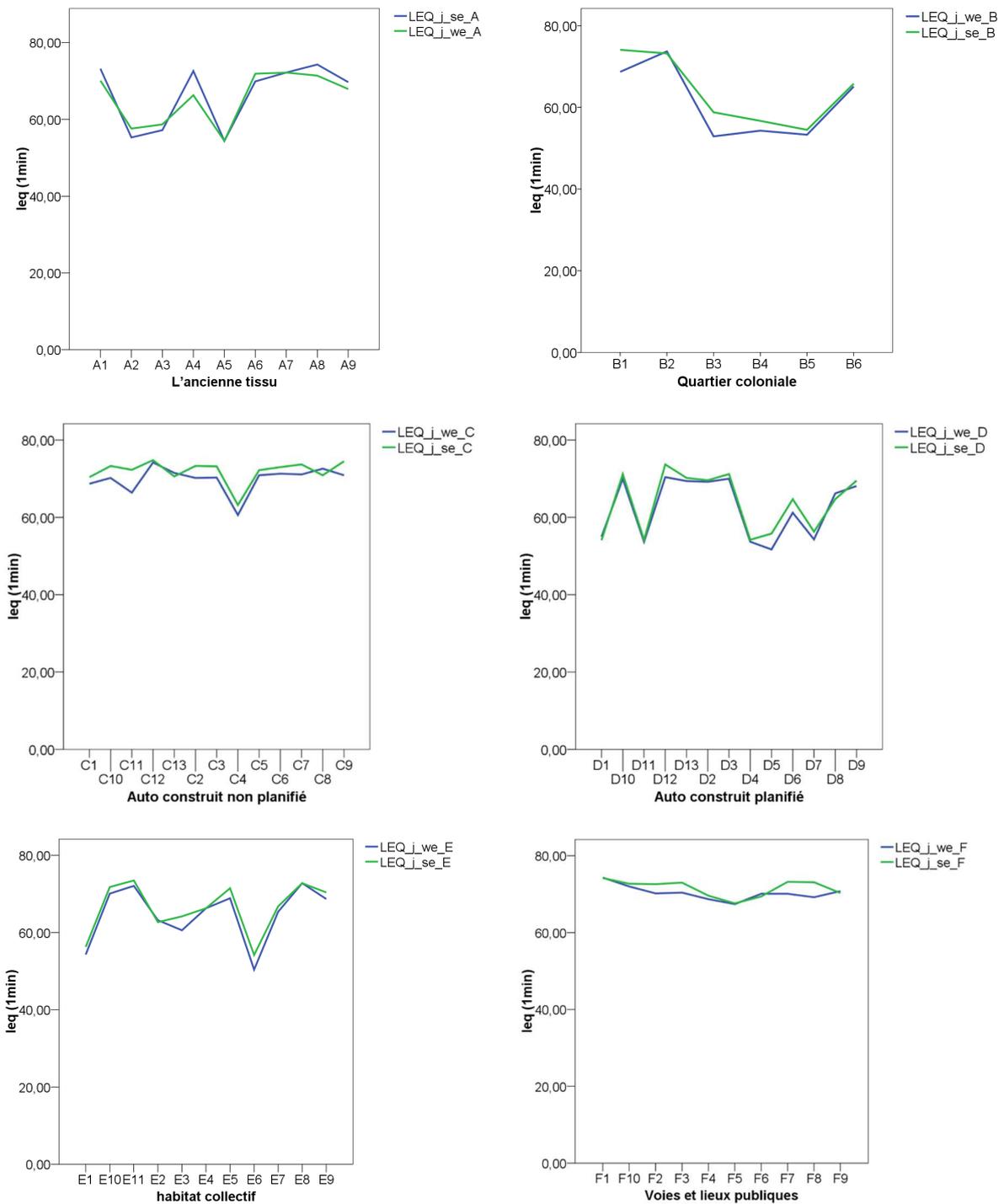


Figure IV-25 : la différence entre le niveau d'intensité sonore mesuré le weekend et les jours de semaine (Auteur)

Nous pouvons remarquer d'après la figure IV-28 que, la différence entre le niveau d'intensité sonore mesuré les weekends et les jours de semaine dans toutes les entités urbaines est très faible, il peut même être négligé dans certains endroits.

Cette différence ne dépasse pas le 3 dB dans 73 % des points mesurés. Ces valeurs convergentes peuvent s'expliquer d'une part, par l'augmentation de l'intensité sonore due à l'augmentation de la vitesse des véhicules pendant les weekends à cause du faible flux de trafic routier, et d'autre part, par les événements spéciaux de fin de semaine comme les marchés qui se trouvent dans plusieurs endroits de la ville affectant l'environnement sonore, comme illustre la figure ci-dessous.

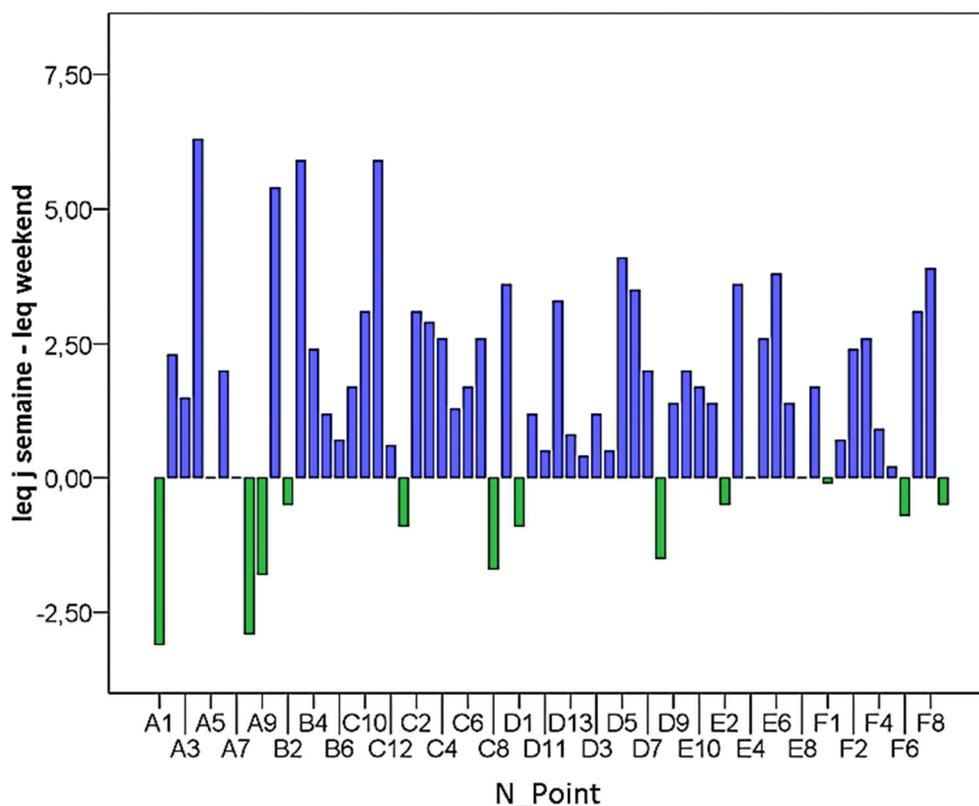


Figure IV-26 : la différence entre le niveau d'intensité sonore mesuré le weekend et les jours de semaine (Auteur).

#### IV \_ 4 \_ 6 \_ 3 Le taux de pollution sonore

##### a) Le taux de pollution sonore selon les recommandations nationales.

Le niveau sonore maximum admis dans les zones d'habitation, les voies et lieux publics ou privés en Algérie est de 70 décibels en période diurne (Décret exécutif n°93-184). Cette valeur est conforme aux normes internationales telles que celle de l'OMS (Berglund et al, 1999), à l'exception des zones résidentielles où ce niveau dépasse de loin la valeur recommandée. Voir tableau 18.

Tableau 18 : Les valeurs limites permises de bruit en milieu urbain. (Auteur).

Pays	Industrielle	Commerce, résidentiel (mixte)	Résidentielle
Algérie (Décret exécutif n°93-184)	-	70	70
l'Inde (Kumar, 2011)	75	65	55
Arabie saoudite (Al-Ghonamy, 2010)	70	65-60	55
Bangladesh (Amin et al, 2014)	75	65	55
OMS (Berglund et al, 1999)	-	70	55
Brésil (Zannin, 2002)	70	60	55

En comparant les résultats des mesures avec les valeurs limites de décret 93-184, nous pouvons remarquer que 54.84 % des niveaux sonores mesurés en jours de semaine et plus de 45 % des niveaux sonores mesurés le weekend ont dépassé la valeur maximale autorisée par la loi algérienne.

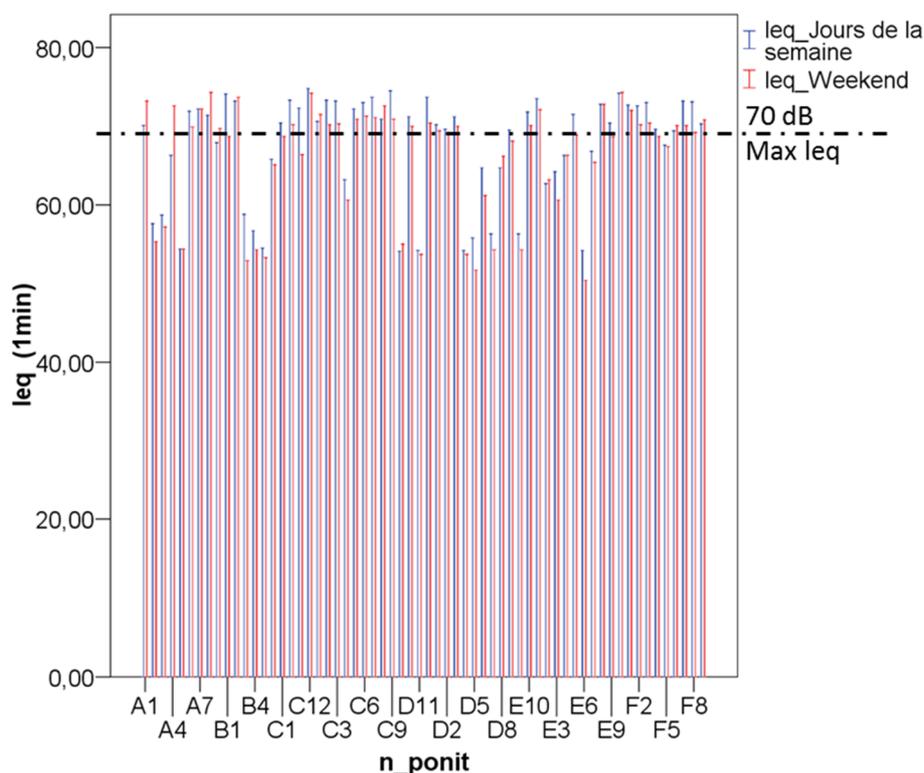


Figure IV-27 : Fluctuations de l'intensité sonore sur l'ensemble du paysage urbain. (Auteur).

**b) Le taux de pollution sonore vis à vis les recommandations internationales.**

La comparaison entre les valeurs mesurées dans les quartiers de la ville de Biskra et les limites établies pour les zones résidentielles par les organisations internationales comme l'OMS montre clairement que le problème de la pollution sonore est très évident dans cette ville, avec une gravité qui varie d'une zone urbaine à l'autre.

Il ressort de tableau 19 que 89% des valeurs mesurées dans l'ancien tissu urbain de la ville de Biskra ont dépassé la limite de l'intensité sonore dans les normes internationales en jours de semaine comme en week-end. Alors que 83,34% des valeurs mesurées en semaines et 50 % des valeurs mesurées en weekends dans le quartier colonial ont dépassé les valeurs autorisées d'intensité sonore.

Dans les quartiers auto-construits non planifiés, toutes les intensités sonores mesurées pendant les jours de semaine ainsi que les weekends dépassent la valeur limite. D'autre part, dans les quartiers auto-construits planifiés comme le cas de quartier de Hai el Moudjahidine et le quartier de 17 coopérative, 77% des niveaux sonores mesurés en jours ouvrables et 62% en weekends dépassent les limites d'intensité sonore dans les normes internationales.

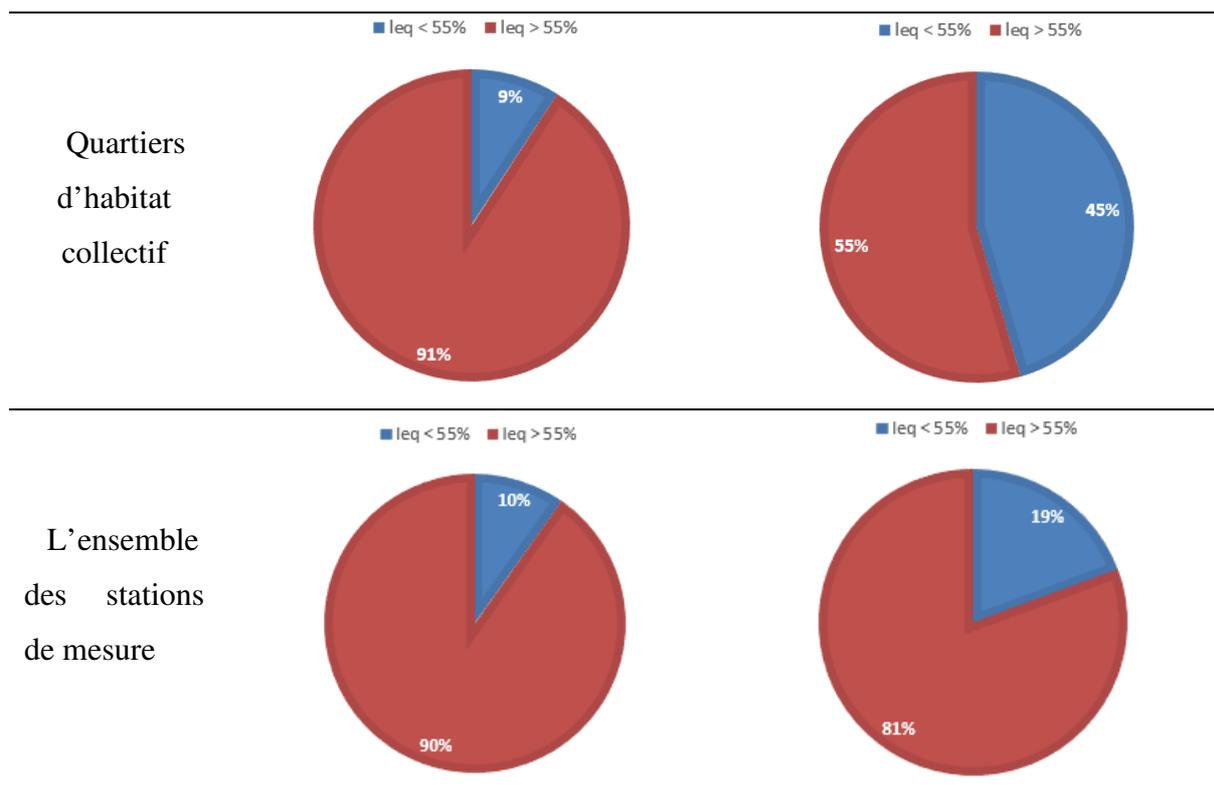
Dans les quartiers d'habitat collectif, 90.91 % des résultats de mesure les jours de semaine et 54.55 % durant les weekends ont dépassé la limite de bruit admissible.

D'une façon globale, 90 % des valeurs mesurées en jours de semaine et 81% des valeurs mesurées les weekends ont dépassé la limite d'intensité sonore recommandée par l'OMS (55 dB) pour les zones résidentielles. Voir tableau 19.

Remarque : Dans cette partie, les valeurs mesurées dans les voies et les places publiques n'ont pas été prises en considération, car cette limite de bruit est proposée seulement pour les zones résidentielles.

Tableau 19 : Le taux de pollution sonore dans les zones résidentielles selon les recommandations internationales. (Auteur).

Tissu urbain	Leq (A) (1min) (j semaine)	Leq (A) (1min) (j weekend)
Ancien tissu	<p>■ leq &lt; 55% ■ leq &gt; 55%</p> <p>11% 89%</p>	<p>■ leq &lt; 55% ■ leq &gt; 55%</p> <p>11% 89%</p>
Quartier colonial	<p>■ leq &lt; 55% ■ leq &gt; 55%</p> <p>17% 83%</p>	<p>■ leq &lt; 55% ■ leq &gt; 55%</p> <p>50% 50%</p>
Auto construit non planifié	<p>■ leq &lt; 55% ■ leq &gt; 55%</p> <p>0% 100%</p>	<p>■ leq &lt; 55% ■ leq &gt; 55%</p> <p>0% 100%</p>
Lotissement	<p>■ leq &lt; 55% ■ leq &gt; 55%</p> <p>23% 77%</p>	<p>■ leq &lt; 55% ■ leq &gt; 55%</p> <p>38% 62%</p>



### c) Classification des environnements sonores

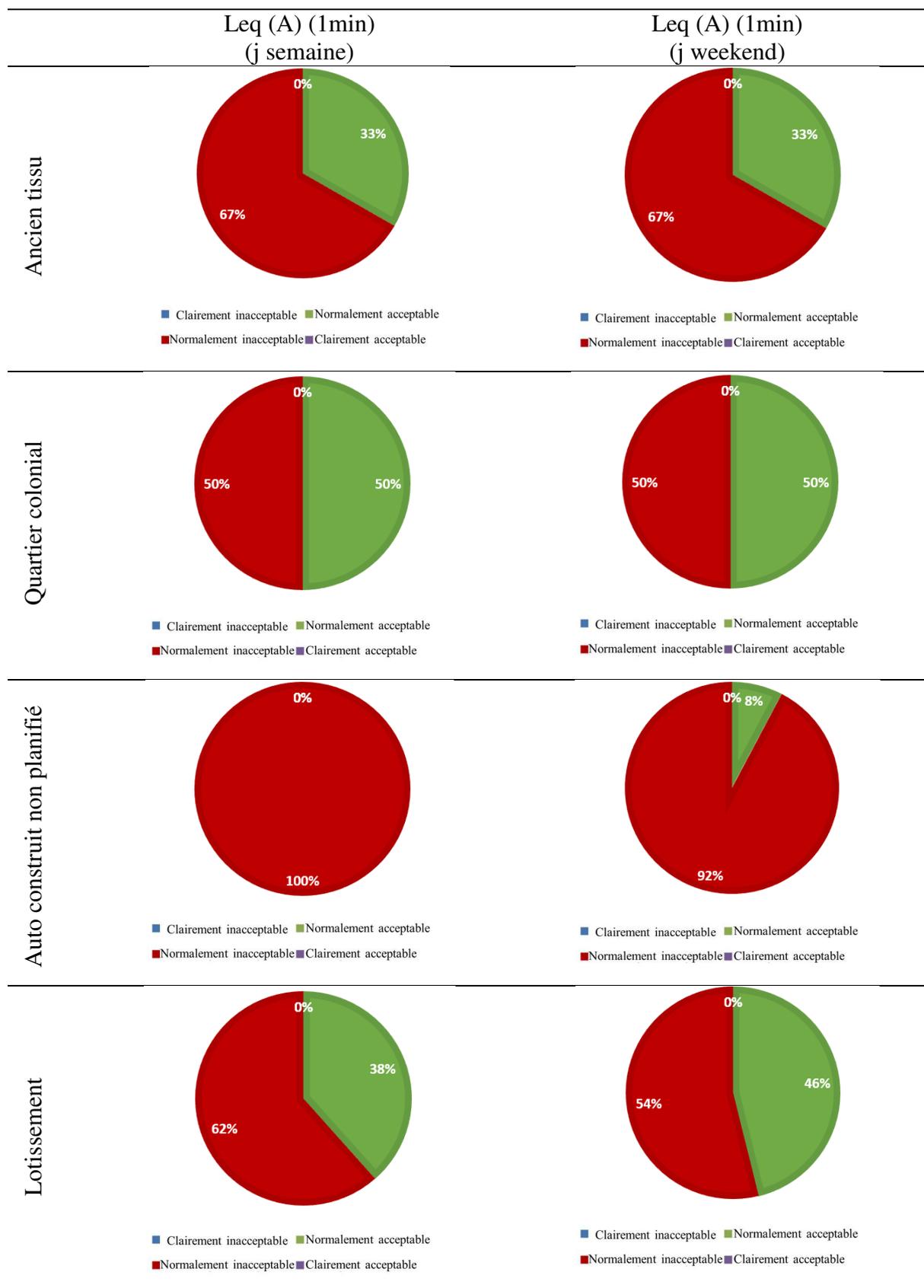
Dans cette partie, une classification des environnements sonores étudiés a été menée à la base d'une échelle proposée par le département du logement et du développement urbain des États-Unis (HUD). Cette classification très utilisée récemment (Zanin et al., 2002; Tsai et al., 2009; Cohen et al., 2014), nous permet de classer les environnements sonores des zones résidentielles en fonction de leur intensité en 4 catégories qui sont :

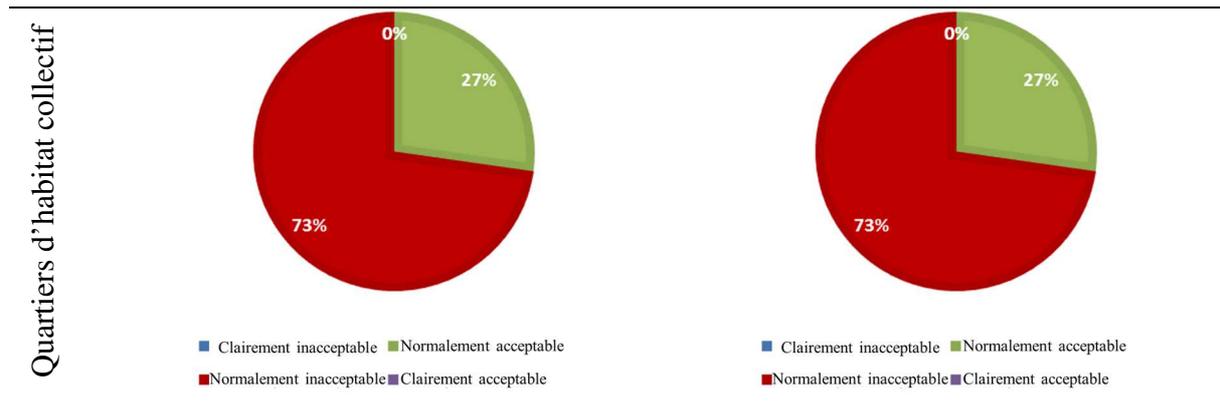
1. Clairement acceptable : LAeq < 49 dB (A)
2. Normalement acceptable : 49 dBA < LAeq < 62 dB (A)
3. Normalement inacceptable : 62 dBA < LAeq < 76 dB (A)
4. Clairement inacceptable : LAeq > 76 dB (A)

Remarque : Les valeurs mesurées dans les voies et les places publiques n'ont pas été prises en considération dans cette classification, car elle est proposée uniquement pour les zones résidentielles.

Le tableau ci-dessous montre la nature des environnements sonores étudiés dans cette recherche.

Tableau 20 : Classifications des paysages sonores selon le classement de l'HUD.





Les environnements sonores dans les zones étudiées varient entre « normalement acceptable » et « normalement inacceptable ». Les deux autres catégories : « clairement acceptables » et « clairement inacceptables » ne sont pas présentes parmi ces cas d'études.

Le pourcentage le plus élevé des intensités sonores « normalement acceptables » est marqué dans le quartier colonial, avec une valeur égale à 50 % durant les jours de semaine comme les weekends, suivi par les tissus urbains auto-construits planifiés (lotissement) où le niveau sonore "clairement acceptable" représente 46% des résultats des mesures durant les weekends et 38 % les jours de semaine.

Le niveau sonore "clairement acceptable" représente 33 % des valeurs mesurées en weekends comme en jours de semaine dans l'ancien tissu, et il représente 27 % des niveaux mesurés en jours ouvrables et en weekends dans les quartiers d'habitats collectifs.

Aucun niveau sonore "clairement acceptable" n'a été enregistré les jours de semaine dans les tissus auto-construits non planifiés, alors que le niveau "normalement acceptable" ne représente que 8% des résultats des mesures les weekends.

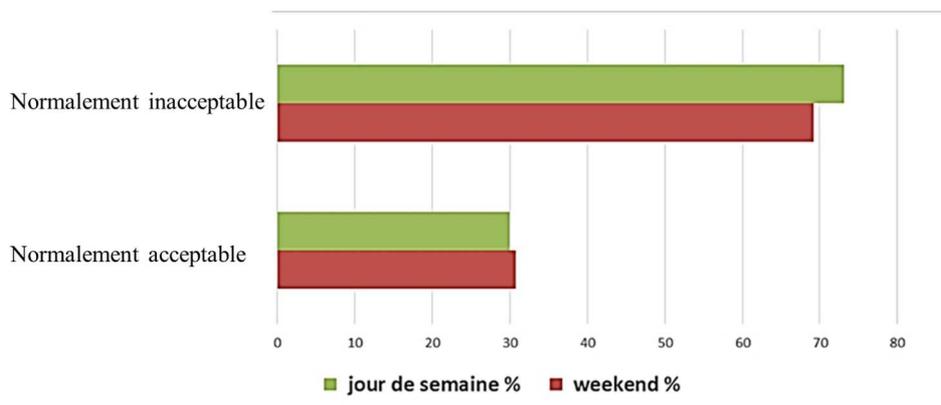


Figure IV-28 : Classification de l'ensemble des environnements sonores selon le HUD

Plus de 73% des points mesurés dans cette étude les jours de semaine ont des valeurs d'intensité sonore classées comme clairement inacceptables, d'autre part, 69% des

environnements sonores mesurés les weekends sont clairement inacceptables selon le classement de HUD.

Remarque : Dans ce classement, nous n'avons pas pris en considération les valeurs mesurées dans les voies et les places publiques.

### **IV \_ 4 \_ 7 Conclusion de la première phase :**

Dans la première partie de ce chapitre, la méthode de mesure de bruit in situ ainsi que les instruments de mesures utilisés ont été présentés. Ensuite, et dans une deuxième étape, une campagne de mesure in situ a été effectuée pour évaluer l'environnement sonore de cette ville, ce qui nous a permis de comparer la nature de paysages sonores de différentes entités urbaines analysée précédemment après l'échantillonnage et la localisation des différentes stations de mesure.

D'après cette investigation sur le terrain, il est clair que le problème de la pollution sonore dans la ville de Biskra est très évident. En comparant les valeurs mesurées dans cette ville avec les limites d'intensité sonore dans les normes nationales et internationales, nous avons trouvé que le niveau sonore de la ville de Biskra varie durant les jours de semaine entre 54.1 dB (D1) et 75.8 dB (C12). Alors qu'il est légèrement faible pendant le weekend si nous le comparons avec l'intensité sonore mesurée les jours ouvrables, il varie entre 50.4 dB (B5) et 74.3 dB (C12). Alors que plus de 54.84 % des niveaux sonores mesurés en jours de semaine et 45 % des niveaux sonores mesurés les weekends dans la ville de Biskra ont dépassé la valeur maximale autorisée par la loi algérienne, donc, ces environnements sonores sont pollués acoustiquement selon le décret 93-184.

D'autre part, la différence entre le niveau d'intensité sonore mesuré les weekends et les jours de semaine dans toutes les entités urbaines est très faible, elle ne dépasse pas le 3 dB dans 73% des points mesurés, il peut même être négligé dans certains endroits.

En outre, la comparaison entre les valeurs mesurées dans les quartiers de la ville de Biskra et les limites établies pour les zones résidentielles par les organisations internationales comme l'OMS montre clairement que 90 % des valeurs mesurées en jours de semaine et 81% des valeurs mesurées les weekends dans l'ensemble des stations de mesures ont dépassé la limite d'intensité sonore recommandée par l'OMS (55 dB) pour les zones résidentielles.

Par ailleurs, le classement des environnements sonores selon le classement de (HUD) a montré que 73% des points mesurés dans cette étude les jours de semaine ont des valeurs d'intensité sonore classées comme clairement inacceptables, alors que ce pourcentage est légèrement faible les weekends il égale à 69% des environnements sonores mesurés.

## Chapitre 4 : Évaluation quantitative de l'environnement sonore de Biskra

Cet état de fait affecte la biodiversité naturelle de cette ville, la qualité de vie voire la santé des habitants, c'est pour cela que, des actions rapides doivent être prises afin de corriger cette situation sonore.

## **IV \_ 5 Évaluation et analyse de la pollution sonore dans les jardins publics de la ville**

### **IV \_ 5 \_ 1 Introduction**

Dans la deuxième étape de cette première partie de notre recherche, et, dans le but d'avoir une évaluation plus vaste et globale de la situation sonore de la ville de Biskra, nous allons mesurer l'environnement sonore dans les principaux jardins publics de cette ville. En fait, ces espaces publics sont des éléments fondamentaux et des espaces clés dans la composition urbaine des villes des zones arides comme le cas de Biskra, et, ils représentent le lieu de rencontre, l'espace de jeux et de repos et qui marque la présence de la nature dans les milieux urbains.

Dans cette phase, nous allons utiliser la même méthode de mesure et les mêmes instruments utilisés dans la phase précédente pour l'objectif de réaliser une étude comparative des niveaux sonores des principaux jardins publics du Biskra vis-à-vis les niveaux de bruit recommandés dans les normes nationales et internationales.

### **IV \_ 5 \_ 2 Déroulement de la deuxième phase**

Cette étape a été basée sur des mesures in situ d'intensité sonore afin de définir le taux de pollution sonore des jardins de Biskra, en comparant les valeurs mesurées avec les recommandations nationales et internationales.

Dans la deuxième partie de cette phase, nous avons effectué des tests de corrélation de Pearson, qui consiste en un test statistique qui permet d'analyser les relations linéaires entre deux ou plusieurs variables (Howitt, D. et al, 2003), afin de définir la relation qui peut exister entre la pollution sonore, la surface des jardins et sa distance du centre-ville, la zone la plus encombrée, et supposant le plus bruyant dans les villes.

### **IV \_ 5 \_ 3 Cas d'études et protocole de mesure**

Les sept principaux jardins publics de Biskra ont été sélectionnés afin d'évaluer leur environnement sonore. La figure IV-30 montre l'emplacement de ces jardins, tandis que le tableau 21 donne plus de détails.

27 stations ont été localisées d'une manière qui permet de couvrir le paysage sonore de chaque jardin, afin de mesurer le niveau sonore équivalent ( $L_{eq} 1min$ ), à l'aide d'un sonomètre type Landtek SI5868P. Les stations ont été placées à une distance minimale de 2 m de tous les murs et les obstacles réfléchissants et une hauteur de 1,5 m conformément aux normes d'AFNOR (AFNOR, N., 1996).

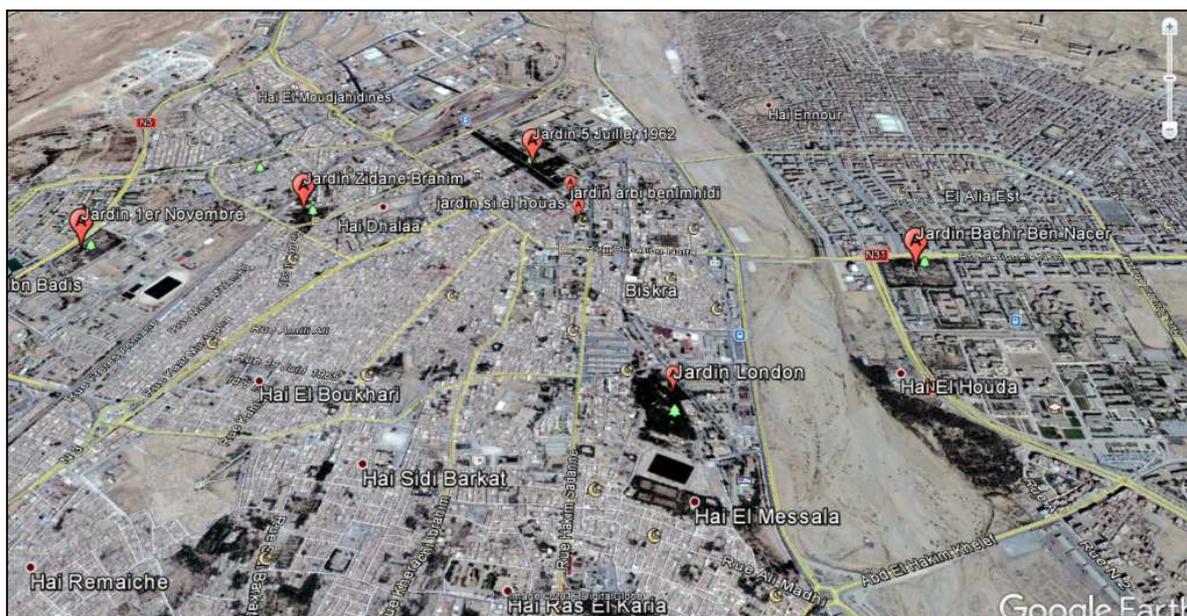


Figure IV-29 : Carte Google montrant l'emplacement des jardins sélectionnés à Biskra (Auteur).

Tableau 21 : les jardins étudiés (Auteur).

Nom du jardin	Surface m <sup>2</sup>	Distance du centre-ville en mètres	Nombre des stations de mesure
Bachir Ben Nacer	30120.72	2200	5
5 Juillet 1962	38814.20	450	5
Zidane Brahim	9014.82	950	5
1er Novembre	30148.63	1900	5
Landon	40230.50	2300	5
Larbi Ben Mhidi	1018.50	230	2
Si el Haoues	3938.32	350	2

Il est important de noter que le niveau maximal de bruit autorisé dans les zones de repos et de détente recommandées dans les normes algériennes est inférieur à 55 dB (Décret exécutif n ° 93-184) conformément aux recommandations des organisations internationales de la protection de l'environnement et de la santé, voir le tableau 22.

Tableau 22 : Niveau de bruit maximal autorisé (Auteur).

Organisation / pays	Niveaux de bruit maximum autorisés dans les jardins publics et les places urbaines
Allemagne (DIN 18005 Teil 1, 1987)	55 dB
Egypte (Al-Ghonamy, 2009)	45 dB
Inde (ministère de l'Environnement et des Forêts, 2000)	50 dB
Organisation mondiale de la santé (OMS, 1999)	55 dB
Agence de protection de l'environnement des États-Unis (U.S. Office of Noise Abatement & Control, 1974)	45 dB
Algérie (Décret exécutif n° 93-184, Algérie, 1993)	45 dB

Les résultats des mesures sont présentés dans le tableau 23. Toutes les mesures sont effectuées le week-end entre 9 h et 11 h et dans des conditions météorologiques idéales (sans vent et sans pluie).



Figure IV-30 : Localisation des Stations de mesure. (Auteur).



Figure IV-31 : Jardin 5 juillet. (Auteur).

#### IV \_ 5 \_ 4 Résultats et discussion

##### IV \_ 5 \_ 4 \_ 1 Résultats des mesures

Comme le montre le tableau 23 qui résume les résultats des mesures, la moyenne de l'intensité sonore mesurée dans les jardins publics de Biskra varie entre le niveau le plus bas 56,38 dB mesurés dans le jardin Landon au plus haut 62,55 dB mesuré dans le jardin Larbi Ben Mhidi.

Tableau 23 : Résultat des mesures. (Auteur).

Nom du jardin	Niveaux de bruit Leq1min dB (A)					Niveaux de bruit moyens dB (A)
	P1	P2	P3	P4	P5	
Bachir Ben Nacer	64.6	59.2	59.9	60.9	58.4	60.60
5 Juillet 1962	61.4	53.1	55.5	63.7	57.3	58.2
Zidane Brahim	62.2	63.3	56.8	60.1	58.5	60.18
1er Novembre	69.2	69.9	55.3	54.1	55.9	60.88
Landon	60.8	59.7	53.1	54.6	53.7	56.38
Larbi Ben Mhidi	63.2	61.9	-	-	-	62.55
Si el Haoues	58.7	63.5	-	-	-	61.10

Les valeurs mesurées dans cette étude dépassent toutes les valeurs limites proposées dans les normes nationales et internationales énumérées dans le tableau 22. Ces jardins semblent subir une pollution acoustique drastique. Voir la figure IV-32.

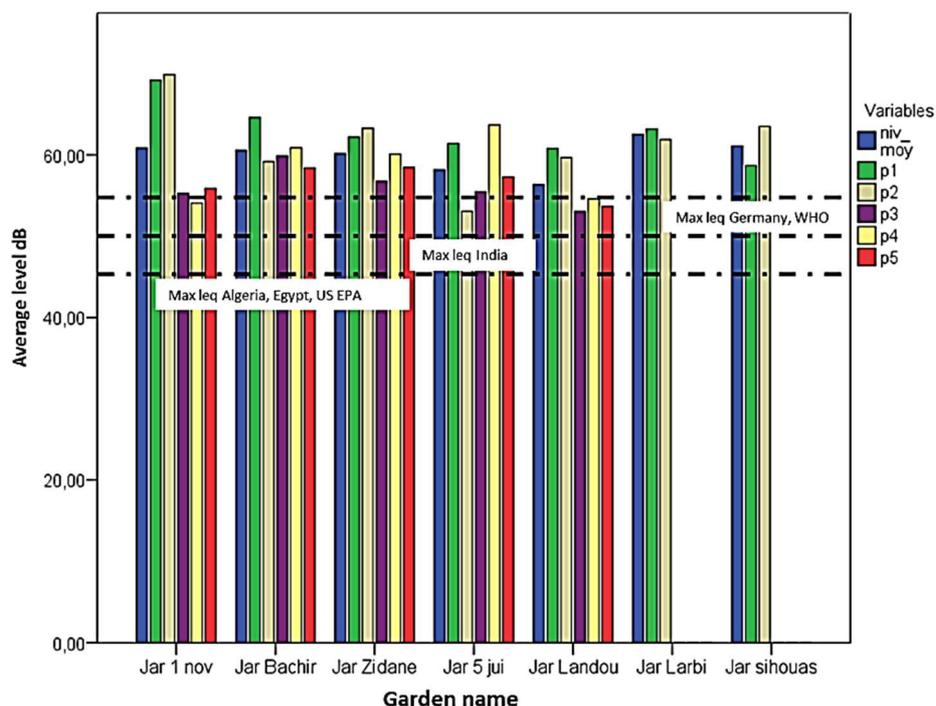


Figure IV-32 : Résultat des mesures par jardin et par station de mesure. (Auteur).

Il est également intéressant de noter que le niveau d'intensité sonore le plus élevé est mesuré par les stations de mesure situées à proximité des routes, ce qui signifie que le trafic est la principale source de bruit dans ces jardins publics.

#### IV \_ 5 \_ 4 \_ 2 Relation entre pollution sonore, surface et emplacement des jardins

Des tests de corrélation de Pearson ont été effectués à l'aide du logiciel statistique SPSS afin de déterminer la relation qui peut exister entre la pollution sonore, la surface du jardin et sa distance du centre-ville. Les résultats sont présentés dans le tableau 24.

Tableau 24 : Résultat du test de corrélation Pearson (Auteur).

		Distance du centre-ville	Surface
Niveaux de bruit moyens dB (A)	Pearson Correlation	-, 434	-, 776(*)
	Sig. (2-tailed)	, 330	, 040
	N	7	7

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Selon la valeur de sig (P) (Howitt, D. et tous, 2003), nous pouvons déduire qu'il existe une relation substantielle entre la surface des jardins publics et le niveau de pollution sonore. À mesure que la superficie des jardins augmente, la distance entre les routes qui représentent la source de bruit la plus importante dans les agglomérations urbaines et les utilisateurs des jardins augmente également, ce qui favorise le phénomène d'absorption atmosphérique et l'effet de la

résistance du sol et augmente également le nombre d'obstacles dans l'itinéraire des ondes sonores (Mur, Arbre, Mobilier urbain), ce qui affaiblit l'intensité du bruit routier. Voir l'illustration de la figure IV-33.

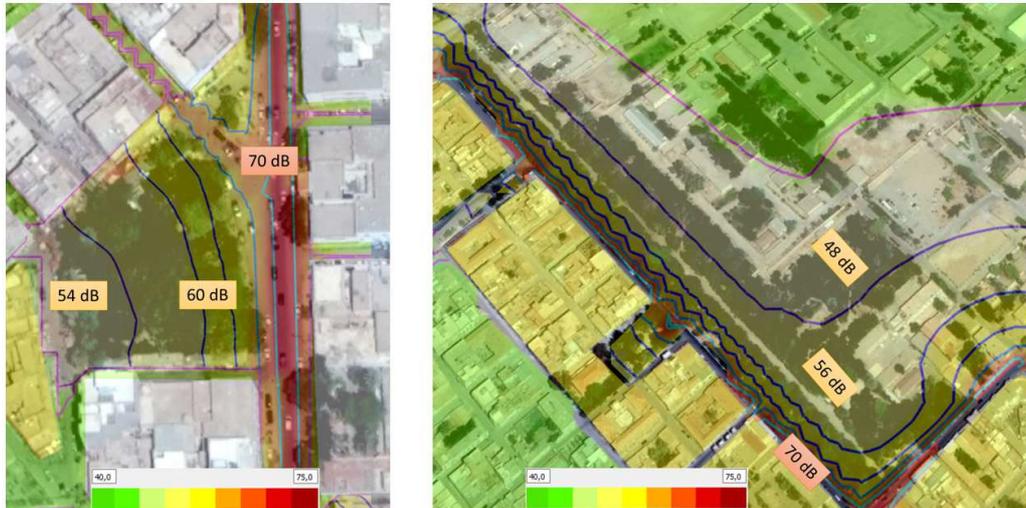


Figure IV-33 : Illustration de l'effet de la surface du jardin sur la répartition de bruit routier (Auteur).

D'autre part, les résultats de corrélation de Pearson montrent également qu'il n'y a pas de relation entre la pollution sonore et l'emplacement du jardin par rapport au centre-ville. Le niveau de pollution sonore dépend de ce qui entoure ces jardins, tels que la présence et les types d'activités urbaines, le débit, le type et la vitesse moyenne de la circulation routière.

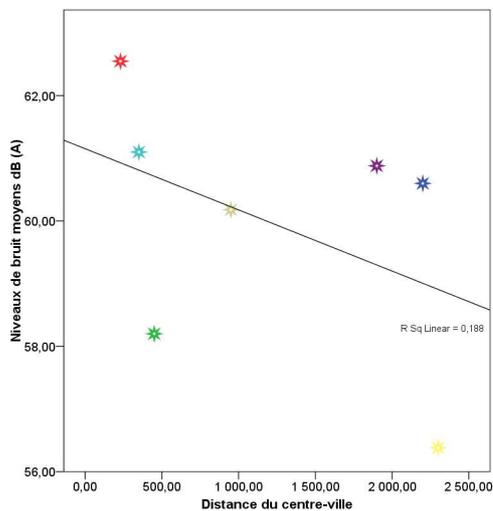


Figure IV-34 : Diagramme de dispersion Niveau d'intensité / distance du centre-ville. (Auteur)

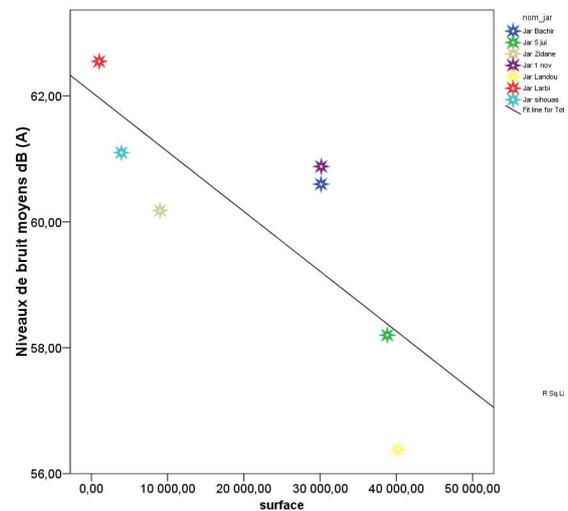


Figure IV-35 : Diagramme de dispersion Niveau d'intensité moyenne / surface du jardin. (Auteur).

#### **IV \_ 5 \_ 5 Conclusion de la deuxième partie**

Nous avons noté d'après les résultats de la campagne de mesure effectuée dans les jardins publics de Biskra, que les niveaux d'intensité sonore mesurés dans ces espaces publics dépassent toutes les limites recommandées par les organisations de la protection de la santé et de l'environnement. La situation actuelle est susceptible de générer des risques pour la santé humaine et menace également la biodiversité naturelle, affectant le cycle de vie des oiseaux, des petits animaux et des insectes vivant dans ces espaces verts (Halfwerk, W. et tous, 2011; Brumm, H., 2006 ; Slabbekoorn H., 2008 ; Parris, K., 2009).

Des mesures doivent être prises rapidement afin d'améliorer la qualité de l'environnement sonore dans ces espaces publics tels que l'éloignement entre les jardins et les routes à forte flue mécanique dans les futures propositions et la protection de ces importants composants urbains vitaux contre le bruit de la circulation, soit par des écrans antibruit tels que les murs réfléchissants ou par des écrans verts, qui peuvent être aussi une solution verte et durable afin de créer un environnement urbain durable.

#### IV \_ 6 Conclusion

Après la focalisation de cette partie qui est structurée en deux phases et, qui vise à évaluer la situation actuelle de l'environnement sonore de la ville de Biskra, vis-à-vis des recommandations nationales et internationales. Nous avons conclu que le problème de la pollution sonore est très évident dans cette ville algérienne. Sachant que plus de 90 % des résultats de mesure obtenus en jours de semaine et, de 81 % des résultats obtenus le weekend ont des niveaux d'intensité sonore excessifs, qui dépassent les limites proposées dans les normes internationales comme celle de l'OMS.

D'autre part, il est intéressant de noter que, le niveau de la pollution sonore change avec le changement des caractéristiques physiques des tissus urbains. Les morphologies urbaines les plus bruyantes d'après le résultat de cette recherche sont les tissus urbains auto-construits non planifiés (spontané) avec un pourcentage de valeurs excessives à 92.3% durant les jours ouvrables et à plus de 76% en weekend, alors que nous avons remarqué que les entités urbaines les plus calmes sont les tissus urbains auto-construits planifiés (lotissements) avec un pourcentage des niveaux sonores excessifs égal à seulement 15% les jours de semaine et 45% les weekends. En basant sur cette remarque, nous pouvons conclure qu'il existe un lien entre les caractéristiques de la morphologie urbaine et l'environnement sonore.

En outre, la situation des environnements sonores des jardins de la ville Biskra n'est pas meilleure que celle du reste de la ville, les résultats de mesures sont alarmants, car il dépasse toutes les recommandations nationales et internationales.

Cette situation ne dérange pas seulement les personnes vivant dans la ville, mais peut aussi leur causer d'autres symptômes comme le stress, les pertes auditives (Dalton et al, 2001), les perturbations de sommeil (Muzet, 2002 ; Halperin, 2014 ; Lévy-Leboyer, 1976), les pathologies cardiovasculaires, voire mentales (Lercher et al, 2000 ; Yuen, 2014 ; Berglund et al, 1999 ; Bruno et al, 2011).

Par conséquent, des actions urgentes devraient être prises dans l'immédiat afin de contrôler et de maîtriser le niveau de la pollution sonore dans cette ville. En outre, les institutions vulnérables comme les jardins d'enfants, les écoles et les hôpitaux devraient être situées loin des routes à fort trafic, dans des zones qui se caractérisent par des environnements sonores acceptables, afin d'offrir aux habitants des environnements urbains sains et confortables.

**Chapitre V : Évaluation subjective de  
l'environnement sonore**

## **V \_ 1 Introduction**

Dans ce chapitre, et après l'échantillonnage et la localisation des stations de mesure, nous allons effectuer une campagne de mesures couplée à des enregistrements sonores in situ. Ensuite, nous allons analyser les données extraites de la ville de Biskra, en croisant plusieurs méthodes, dans le but d'évaluer subjectivement la qualité des environnements acoustiques étudiés ainsi que leurs taux de pollution sonore.

Le présent chapitre est organisé en trois grandes phases, dans la première partie, nous allons choisir, enregistrer et mesurer l'intensité sonore des 26 environnements sonores représentatifs, après la présentation des méthodes du travail et de la matérielle utilisés. Ensuite, nous allons analyser les pistes sonores extraites afin de les classer selon le classement de Schäfer (2003) (Hi\_Fi, Lo\_Fi) dans la deuxième partie à l'aide d'un logiciel spécialisé (S\_TOOLS-STx). Puis, nous allons évaluer subjectivement les séquences sonores extraites, par l'utilisation d'un questionnaire sur des écoutes réactivées.

Enfin, nous allons présenter à la fin de ce chapitre, l'analyse de l'interaction des résultats de ces trois étapes afin de déterminer la relation entre ces trois indicateurs d'évaluation (les valeurs mesurées d'intensité sonore, la sensation et le jugement humain ainsi que le classement de Schäfer (2003)).

## **V \_ 2 Choix des stations d'enregistrement et de mesure**

Dans le but d'enrichir notre base de données concernant le niveau sonore ambiant dans cette ville, 26 stations différentes à celles choisies dans la phase précédente, correspondantes à des voies, des jardins et des placettes publiques ainsi qu'à des zones résidentielles ont été choisies dans cette étape, afin de couvrir la ville de Biskra dans sa globalité et d'avoir une variété de paysages urbains notamment sonores.

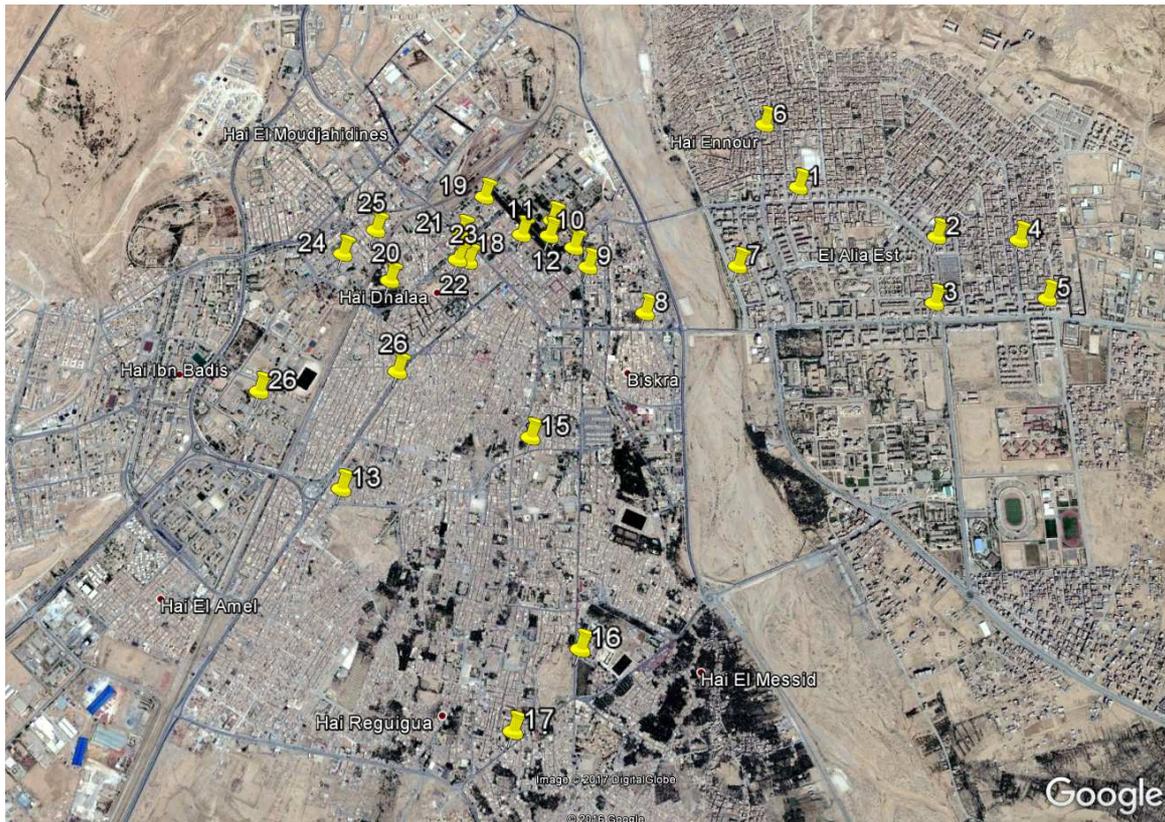


Figure V-1 : Emplacement des stations de mesure (Auteur).

### V\_2\_1 Description des stations de mesure et d'enregistrement

#### Station 1, 2, 3



Figure V-2 : Zone 1, 2 (Auteur).

Des stations situées au nord de la ville, à l'Alia, au bord d'une route principale de doubles voies, très fréquentée, bordée d'un côté par des quartiers d'habitat collectif, et de l'autre côté, par des quartiers d'habitat individuel dans laquelle sont implantées certaines activités commerciales. Une bonne qualité de pavage et une faible présence des ralentisseurs de vitesse augmentent la vitesse des voitures dans cette route.

#### Station 4



Figure V-3 : Zone 4 (Auteur).

Une station située sur le côté d'une route secondaire de double voie qui traverse une zone résidentielle, elle se caractérise par un trafic moyen à faible vitesse, une forte présence de magasins, de cafétérias et des restaurants et une hauteur moyenne de bâtis égale à 14 m.

#### Station 5



Figure V-4 : Zone 5 (Auteur).

Une station située dans une zone très fréquentée, traversée par une route nationale de deux voies bordées par des immeubles résidentiels des deux côtés, une présence moyenne de petits magasins peut être observée dans cette zone.

**Station 6**



Figure V-5 : Zone 6 (Auteur).

Cette zone urbaine se caractérise par une forte présence d'activités commerciales ainsi que par un taux élevé de circulation routière, en particulier les camions et les autobus de transport public. La vitesse est très faible dans cette zone encombrée, elle ne dépasse pas généralement le 40 km/h. La hauteur moyenne des bâtiments dans cette région est de 8 m (R + 1).

**Station 7**



Figure V-6 : Zone 7 (Auteur).

Cette zone est située sur le côté d'une route qui relie les deux ponts d'El Alia, elle est bordée par l'hôtel Dar El Moalim et une place publique très fréquentée surtout les soirées du côté d'Oud Sidi Zerzoure. Dans cette zone, nous pouvons remarquer une absence d'activités commerciales tertiaires.

**Station 8**



Figure V-7 : Zone 8 (Auteur).

Un large boulevard bidirectionnel, très fréquenté, relie el Alia et le centre-ville, marqué par un grand arrêt de bus qui dessert plus de quatre lignes de bus communes et une forte présence des commerces.

**Station 9, 10, 11**



Figure V-8 : Zone 4. (Auteur).

Le centre-ville de Biskra, caractérisé par ces rues étroites avec une seule direction de circulation mécanique, un fort trafic à faible vitesse et une forte présence d'activités commerciales et tertiaires.

**Station 12, 20**



Figure V-9 : Zone 12, 20. (Auteur).

Les jardins publics : jardin Zidane et 5 juillet « Jnan baylk », situés au centre-ville, ce qui les rend très fréquentés. Ils sont bordés par des voies avec un taux de circulation élevé qui influence les ambiances de ces jardins.

**Station 13, 14, 15**



Figure V-10 : Zone 13, 14. (Auteur).

Ces stations se situent tout au long d'un axe structurant et très important reliant deux routes nationales, cet axe se caractérise par une forte présence d'activités commerciales et un trafic très élevé marqué par une forte présence de camions.

**Station 16,17**



Figure V-11 : Zone 16, 17 (Auteur).

De l'ancien Biskra, nous avons choisi ces deux points, qui représentent des voies secondaires traversant l'ancien tissu. Des rues étroites, un taux de circulation élevé et une forte présence d'activités commerciales sont les principales caractéristiques de ces endroits.

**Station 18, 19, 21**



Figure V-12 : Zone 18, 19 (Auteur).

Ces trois stations sont situées dans le quartier colonial de la ville de Biskra, qui se caractérise par un faible trafic, à l'exception des deux voies traversantes, une faible hauteur de construction et une forte végétation, ainsi qu'une faible présence d'activités urbaines notamment commerciales.

**Station 22, 23**



Figure V-13 : Zone 22, 23 (Auteur).

Deux stations se situent dans la Placette de Dhalaa, une placette au pied d'un monticule rocheux, elle est aménagée par trois fontaines d'eau et est traversée par une voie mécanique très fréquentée.

**Station 24, 25, 26**



Figure V-14 : Photo zone 24, 25 (Auteur).

Stations situées dans deux quartiers qui se caractérisent par un réseau de voirie très étroit, destiné uniquement aux habitants, ce qui explique le faible taux de trafic, aucune activité commerciale ou tertiaire n'a lieu dans ces zones résidentielles.

### V\_3 Méthodologie

Dans cette deuxième partie, une évaluation globale de l'environnement sonore a été réalisée sur la base d'une interaction entre les résultats des campagnes de mesure, d'enregistrement sonore et de questionnaire.

Des mesures d'intensité sonore couplées à des enregistrements sonores ont été effectuées in situ dans la première phase de cette partie, ensuite, une analyse des échantillons sonores a été menée à l'aide d'un logiciel spécialisé afin d'extraire les spectrogrammes des pistes sonores et de classer les paysages sonores enregistrés en Lo\_Fi et Hi\_Fi selon la classification de Schäfer.

En outre, des enquêtes utilisant des questionnaires fermés sur la perception sonore sont effectuées avec des usagers de la ville en laboratoire, afin de déterminer, en utilisant les tests de corrélation de Pearson, la relation entre le niveau de bruit mesuré in situ, le jugement des habitants (calme, bruyant, agréable, etc.) et le classement de Schäfer dans la dernière phase.

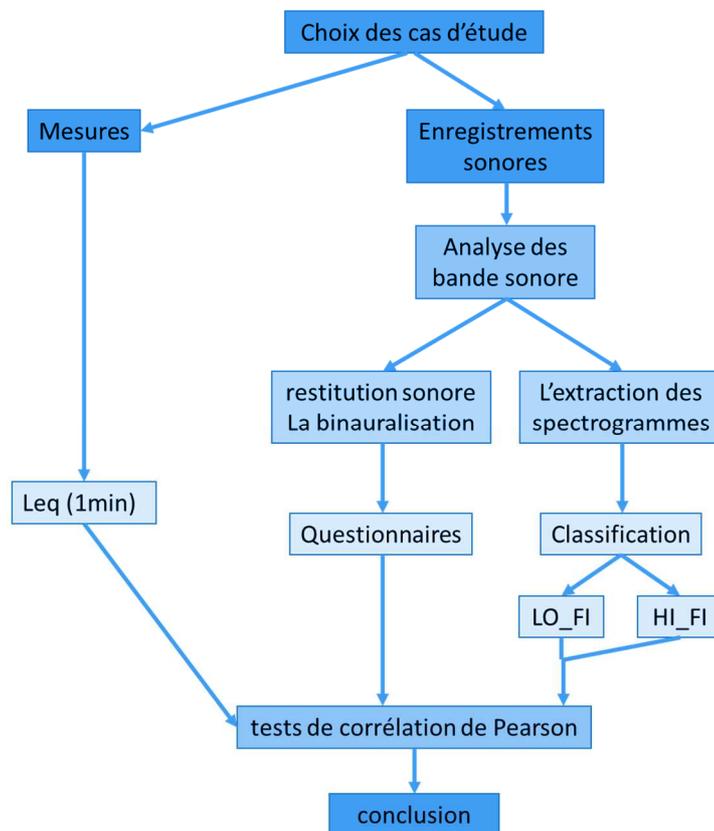


Figure V-15 : Méthodologie d'évaluation (Auteur).

### V\_3\_1 Mesure d'intensité sonore

Le niveau d'intensité sonore  $Leq_{1min}$  a été mesuré pendant toute la durée d'enregistrement dans les 26 stations déjà sélectionnées en utilisant le sonomètre Landtek SL5868P avec une pondération temporelle Fast et fréquentielle A.



Figure V-16 : Landtek SL5868P ([www.landteknet.com.cn](http://www.landteknet.com.cn))

Les mesures comme les enregistrements ont été réalisés entre le 17 avril et le 17 mai 2017 durant les jours ouvrables et hors heures de pic qui ne représentent pas l'environnement sonore de la ville, mais seulement des situations sonores extrêmes pour des courtes durées.

Pendant les mesures, le sonomètre a été placé à une distance minimale de 2 m de toutes les parois et les obstacles réfléchissants et d'une hauteur de 1.5 m, conformément aux normes de l'association française de normalisation (NF S 31-010, 1996).

La campagne de mesures a été effectuée dans des conditions climatiques idéales, pas de vent ni de pluie. En effet, ces deux phénomènes influencent la précision des mesures (Boyes, 2009 ; Malchaire, 2001).

#### V\_3\_1\_1 Résultats des mesures

Tableau 25 : Résultat des mesures (Auteur).

<b>N point</b>	<b>Leq<sub>1min</sub> dB(A)</b>	<b>GPS coordinates</b>	
<b>p1</b>	75,1	34°51'29.00"N	5°44'35.97"E
<b>p2</b>	70,5	34°51'19.33"N	5°45'3.80"E
<b>p3</b>	72,2	34°51'7.68"N	5°45'1.96"E
<b>p4</b>	69,5	34°51'18.26"N	5°45'20.72"E
<b>p5</b>	76	34°51'7.72"N	5°45'25.11"E
<b>p6</b>	68	34°51'40.59"N	5°44'29.83"E
<b>p7</b>	62	34°51'15.36"N	5°44'22.38"E
<b>p8</b>	72	34°51'7.73"N	5°44'2.98"E
<b>p9</b>	67,9	34°51'16.10"N	5°43'51.76"E
<b>p10</b>	62,3	34°51'19.62"N	5°43'49.01"E
<b>p11</b>	55,9	34°51'24.59"N	5°43'44.83"E
<b>p 12</b>	65,2	34°51'21.87"N	5°43'44.06"E
<b>p13</b>	67,5	34°50'39.87"N	5°43'1.47"E

<b>p14</b>	70	34°50'40.45"N	5°43'18.87"E
<b>p15</b>	72	34°50'47.19"N	5°43'39.05"E
<b>p16</b>	71	34°50'12.80"N	5°43'47.52"E
<b>p17</b>	66,8	34°50'0.59"N	5°43'34.23"E
<b>p18</b>	58,8	34°51'22.24"N	5°43'38.38"E
<b>p19</b>	56,7	34°51'29.25"N	5°43'30.87"E
<b>p20</b>	53,3	34°51'15.04"N	5°43'11.23"E
<b>p21</b>	65,1	34°51'22.79"N	5°43'26.07"E
<b>p22</b>	62,3	34°51'18.23"N	5°43'25.15"E
<b>p23</b>	63,4	34°51'17.81"N	5°43'27.28"E
<b>p24</b>	56,1	34°51'20.05"N	5°43'1.61"E
<b>p25</b>	56,8	34°51'24.03"N	5°43'8.41"E
<b>p26</b>	57,9	34°50'59.26"N	5°43'12.70"E

### V\_3\_1\_2 Analyse des résultats des mesures

D'après les résultats résumés dans le tableau 25, il est clair que, le niveau d'intensité sonore varie dans ces stations de mesure entre 53,3 dB mesurés dans la station n 20 correspondant au jardin Zidane et 76 dB mesurés dans la station n 5.

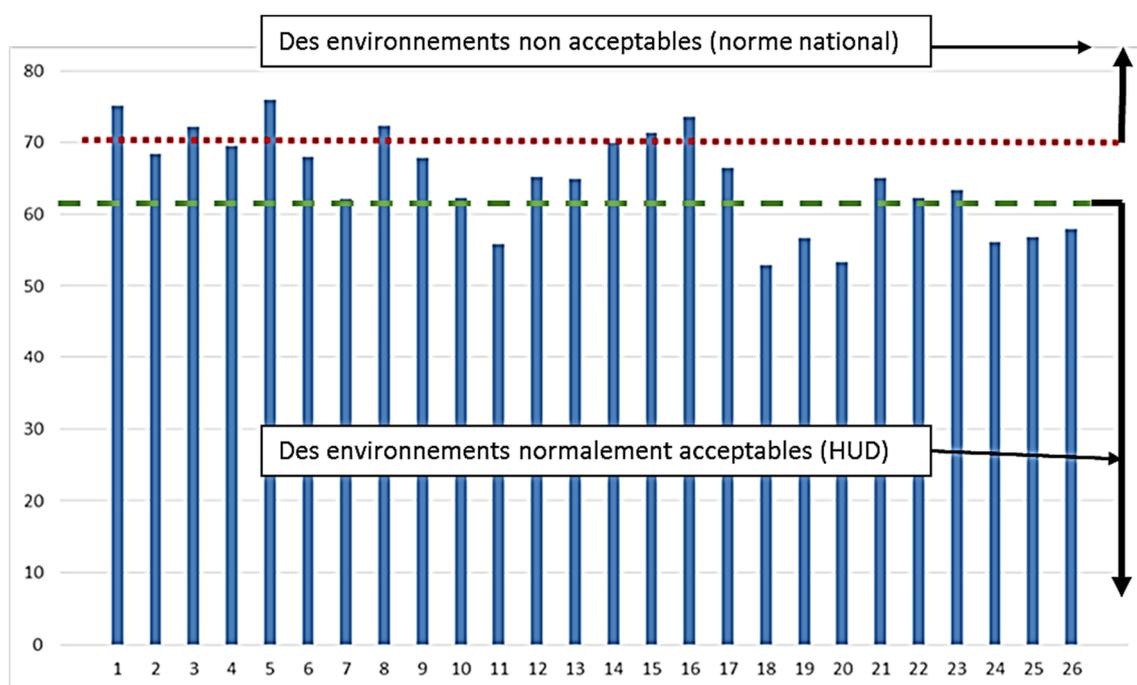


Figure V-17 : Fluctuations de l'intensité sonore sur l'ensemble des stations de mesure (Auteur).

Selon la limite de bruit admissible dans les zones urbaines proposées par le législateur algérien (70 dB), l'intensité sonore a dépassé dans 31 % des stations de mesure les valeurs autorisées voir figure V-17. D'autre part, en appliquant la classification de l'HUD (Zannin et al, 2002) à ce cas, il est évident que, seulement 26 % des environnements sonores sont

considérés comme normalement acceptables, tandis que 74% des environnements sonores sont considérés comme normalement inacceptables.

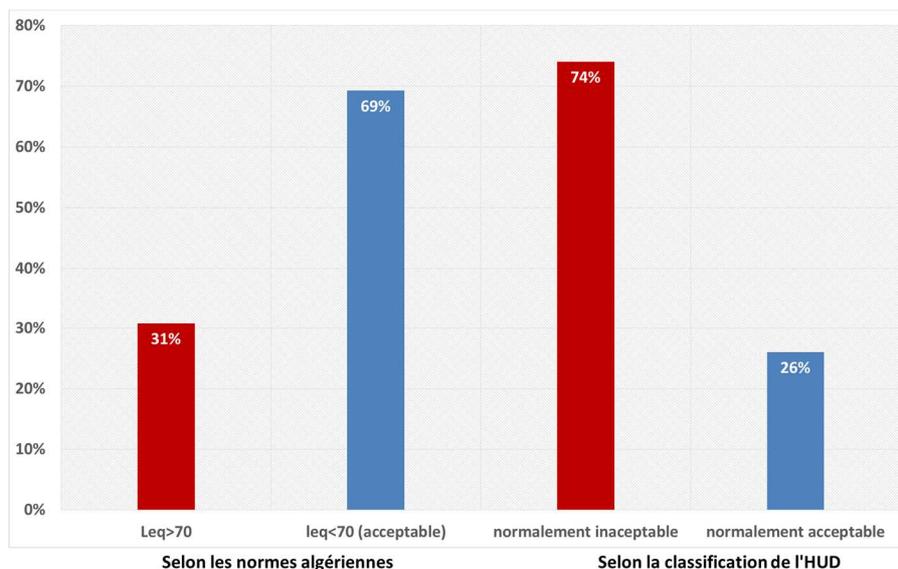


Figure V-18 : Nature des environnements sonores. (Auteur).

### V \_ 3 \_ 2 Procédure d'enregistrement

Plusieurs modes de prise de son étaient développés ces dernières années dans le but d'enregistrer et de reproduire les séquences sonores telles qu'elles sont perçues dans la réalité, nous pouvons citer entre autres : la méthode de prise de son ambisonique, stéréophonique et panoramique (Bertet et al, 2006).

Le but de cette partie était d'enregistrer le son avec la bonne méthode qui permet aux répondants de revivre l'expérience sonore enregistrée lors de l'écoute et avant d'évaluer sa qualité sonore. C'est pour cela, et en basant sur des études préalables à savoir : Jeon (2010) ; Alvarsson (2010), Coensel (2011), Adams (2008), Axelsson (2010), Brambilla, (2013), nous avons choisi d'utiliser la méthode de prise de son binaural.

#### V \_ 3 \_ 2 \_ 1 Prise de son binaural

C'est un système d'enregistrement sonore basé principalement sur la spatialisation sonore, ce qui permet aux auditeurs de localiser dans le plan trois dimensionnelles, les sources sonores d'une manière très proche à l'écoute naturelle in situ, à la base de l'analyse humaine de la différence de temps et d'intensité sonore perçue par chaque oreille comme le montrent les figures V-19, V-20.

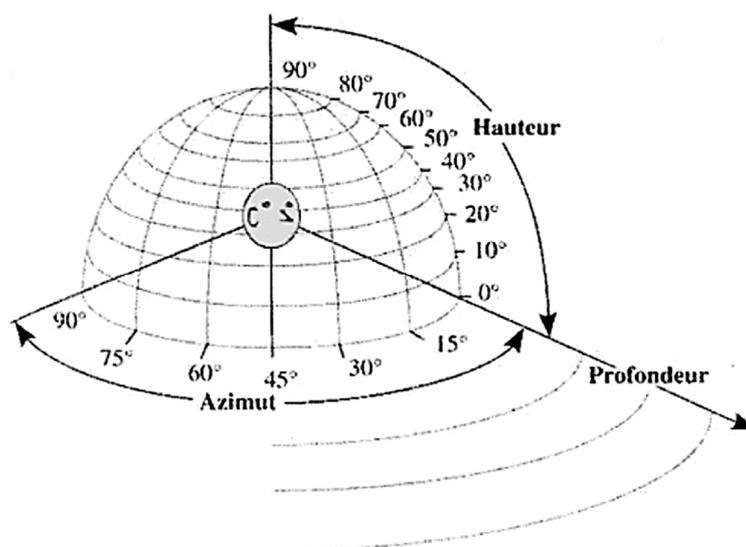


Figure V-19 : Localisation des sources sonores dans l'espace Source (Beznosiuk, 2017)

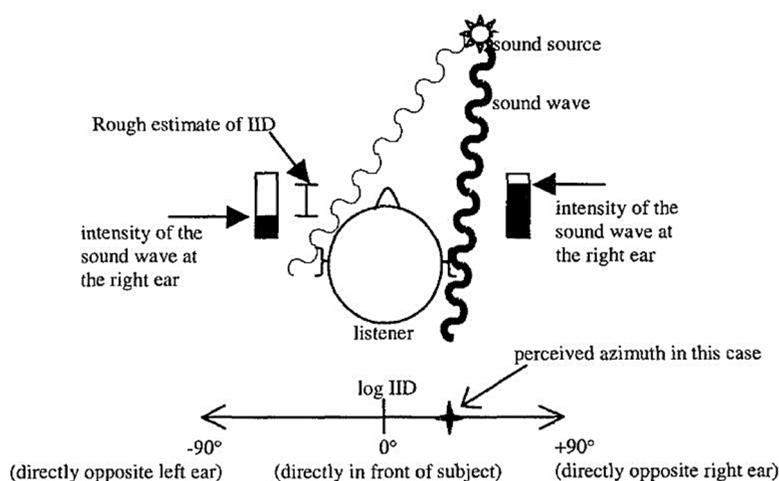


Figure V-20 : Perception de la différence de temps et d'intensité sonore entre les deux oreilles. Source (Beznosiuk, 2017)

L'enregistrement binaural se fait à l'aide d'un microphone binaural composé de deux microphones placés au niveau des oreilles d'une tête artificielle ou humaine et un enregistreur numérique (Morel, 2012 ; Daniel, 2000).



Figure V-21 : Enregistrement binaural tête artificielle, humaine (<http://www.meta-media.fr>)

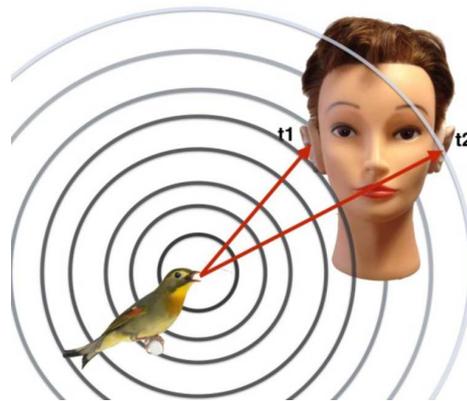


Figure V-22 : Différence d'intensité sonore entre l'oreille droite et l'oreille gauche (<http://www.meta-media.fr>).

### V \_ 3 \_ 2 \_ 2 Restitution sonore binaurale

Il existe deux types de restitution des enregistrements sonores binauraux :

#### a) Binauralisation

C'est le cas où la scène sonore est restituée (reproduite) à l'aide d'un casque. Dans ce cas, l'auditeur perçoit le paysage sonore de la même manière que l'individu in situ.

#### b) Transauralisation

C'est le deuxième type de restitution sonore binaural. Il représente le cas où la scène sonore est restituée à l'auditeur via deux à quatre haut-parleurs, un traitement est nécessaire afin d'éliminer des cross-talk entre les haut-parleurs et les oreilles des auditeurs pour avoir une perception sonore qui ressemblerait à la situation sonore réelle, cette méthode de restitution sonore nécessite l'intervention d'une équipe professionnelle et spécialisée ainsi qu'une chambre anéchoïque acoustique (chambre sourde) pour le réaliser. (Morel, 2012 ; Daniel, 2000)

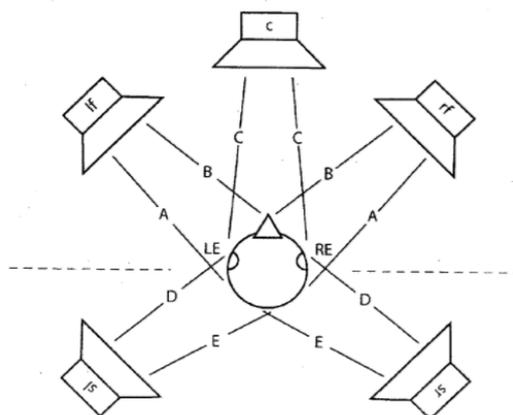


Figure V-23 : La transauralisation à la base de 5 haut-parleurs (Emerit et al, 2013).

### V\_3\_2\_3 Matériels et logiciel utilisés

Dans cette partie de la recherche, l'enregistrement sonore a été effectué à l'aide d'un enregistreur professionnel zoom H4, couplé à un microphone binaural Soundman OKM II Classic. Pour le traitement des bandes sonores, nous avons choisi de travailler avec le logiciel : S\_TOOLS-STx- (Balazs et al, 2000), un outil très rapide comparé à d'autres open sources software comme Seewave (Sueur et al, 2008).



Soundman OKM II Classic  
(<http://www.soundman.de>)



zoom H4  
([www.musik-produktiv.fr](http://www.musik-produktiv.fr))

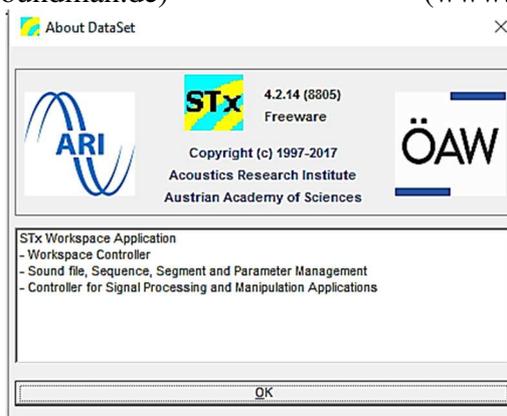


Figure V-24 : Matériel d'enregistrement et de traitement des signaux sonores(Auteur).

### V\_3\_2\_4 Protocole d'enregistrement binaural in situ

Les enregistrements sonores ont été effectués dans les emplacements sélectionnés pour une durée d'une minute. Suite aux recommandations des normes NF S 31-010 (AFNOR96) et NF S 31-085 (AFNOR02, Guastavino, 2003), une distance minimale de deux mètres entre le microphone et les façades urbaines a été respectée dans la mesure permise par l'architecture de la ville. Pendant l'enregistrement :

- La hauteur de microphone est 1.70 m (la hauteur des oreilles),
- La tête de l'individu faisant l'enregistrement est perpendiculaire à la route.
- Les enregistrements sont effectués au format .wav, les signaux sont échantillonnés à 44.1 kHz avec une résolution de 24 bits.

### V\_3\_3 Analyse des enregistrements sonores

#### V\_3\_4 Traitement des données sonores

Le traitement des données sonores a été effectué à l'aide du logiciel S\_TOOLS-STx, qui permet d'analyser et d'extraire les spectrogrammes des enregistrements sonores. Rappelons que le spectrogramme (*image acoustique*) est la traduction visuelle de paysage sonore enregistré, elle représente l'évaluation de fréquence et d'amplitude sonore en fonction du temps (Sueur, 2016 ; Semidor et al, 2009). Exemple dans la figure v 27.

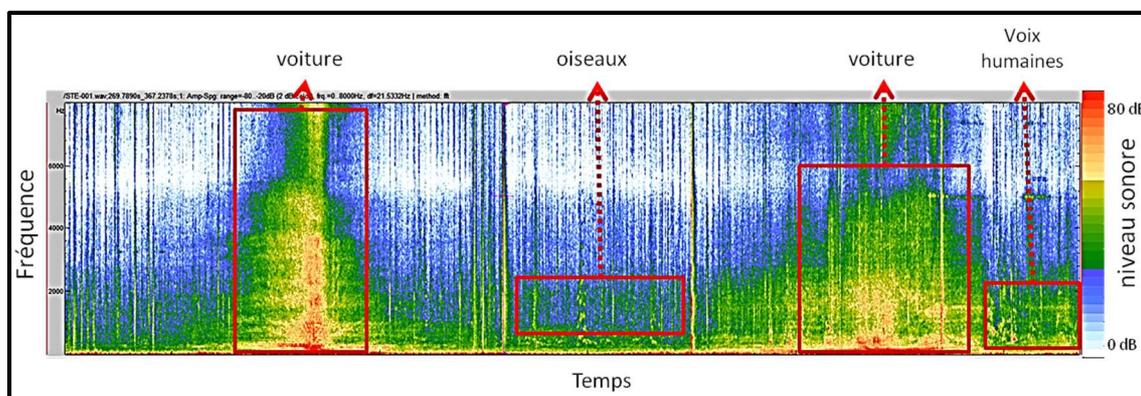


Figure V-25 : Spectrogramme (Auteur).

#### V\_3\_4\_1 Classification des paysages sonores (Lo-Fi, Hi-Fi).

Après avoir entendu et analysé les spectrogrammes des enregistrements sonores, nous avons classé les séquences sonores extraites selon la classification de Schäfer en deux grandes catégories qui sont le Lo-Fi et le Hi-Fi (voir tableau 26).

Rappelons qu'un paysage Lo-Fi est un paysage sonore marqué par une immense superposition des informations sonores, ce qui provoque une disparition des signaux sonores

individuels dans le bruit général (Schafer, 1979), ce type caractérise spécialement les zones bruyantes des villes.

Les paysages sonores hi-fi (Haute-Fidélité) sont les paysages où nous pouvons déterminer et entendre clairement chaque composant de l'environnement sonore, c'est un paysage panoramique, nous entendons plus loin et plus claire (Schafer, 1979a, 2003b).

Tableau 26 : Classification des paysages sonores Lo-Fi / Ho-Fi

Type de paysage	Lo-Fi	Ho-Fi
Point	P1, P2, P3, P5, P6, P8, P9, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P21, P22.	P4, P7, P10, P11, P18, P19, P20, P23, P24, P25, P26.

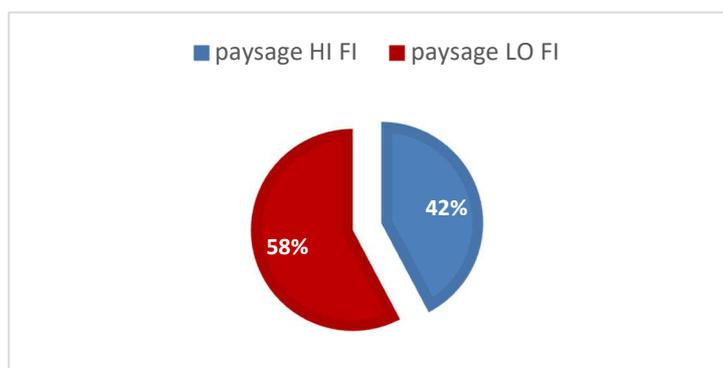


Figure V-26 : Type des paysages sonores étudiés (Auteur).

a) Paysages sonores Lo-Fi

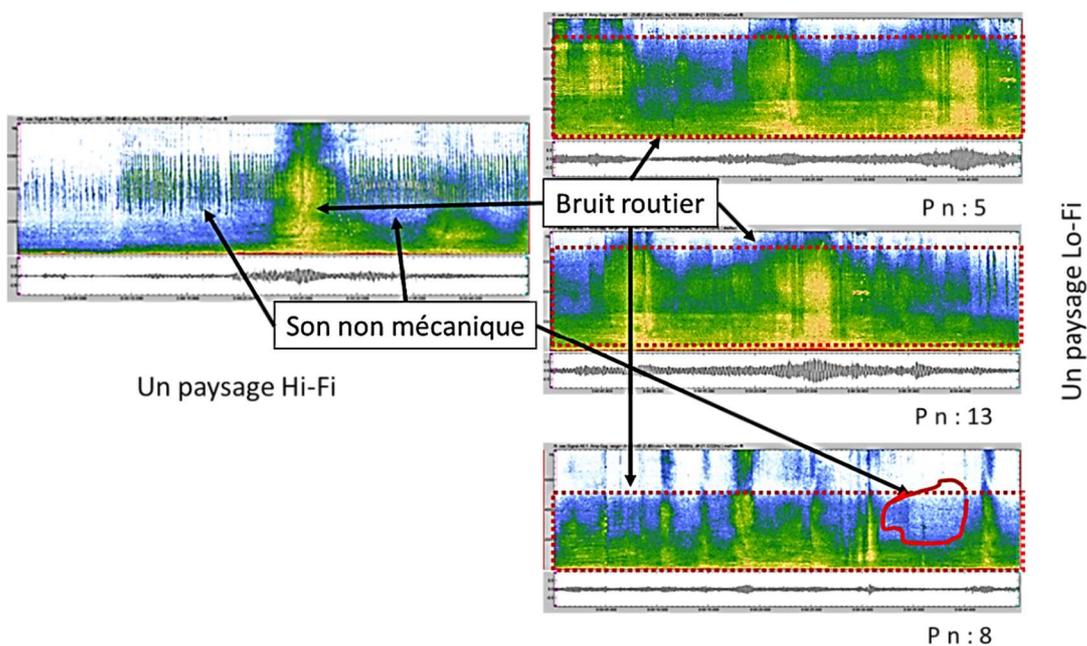


Figure V-27 : Spectrogramme des pistes 5, 8, 13 (Auteur).

Les paysages Lo-Fi dans cette étude se caractérisent essentiellement par la domination du bruit routier sur le paysage sonore, ce qui masque les autres sons de la ville comme les voix humaines et les sons de la nature. Le degré de présence des sons mécaniques est différent d'une zone urbaine à l'autre. Elle est au maximum dans les points 13 et 5, par contre, une présence moins intense d'anthrophony était marquée dans le reste des paysages LO-Fi comme nous pouvons le voir dans le point 8 (Figure v-30).

Il est intéressant de noter que l'un des deux paysages sonores enregistrés dans la placette de Dhalla (où il y a la grande fontaine d'eau \_p22\_) a été classé comme un paysage Lo Fi, car le son de l'eau qui se jet de cette fontaine masque les autres sons de la ville, humain et même mécanique.

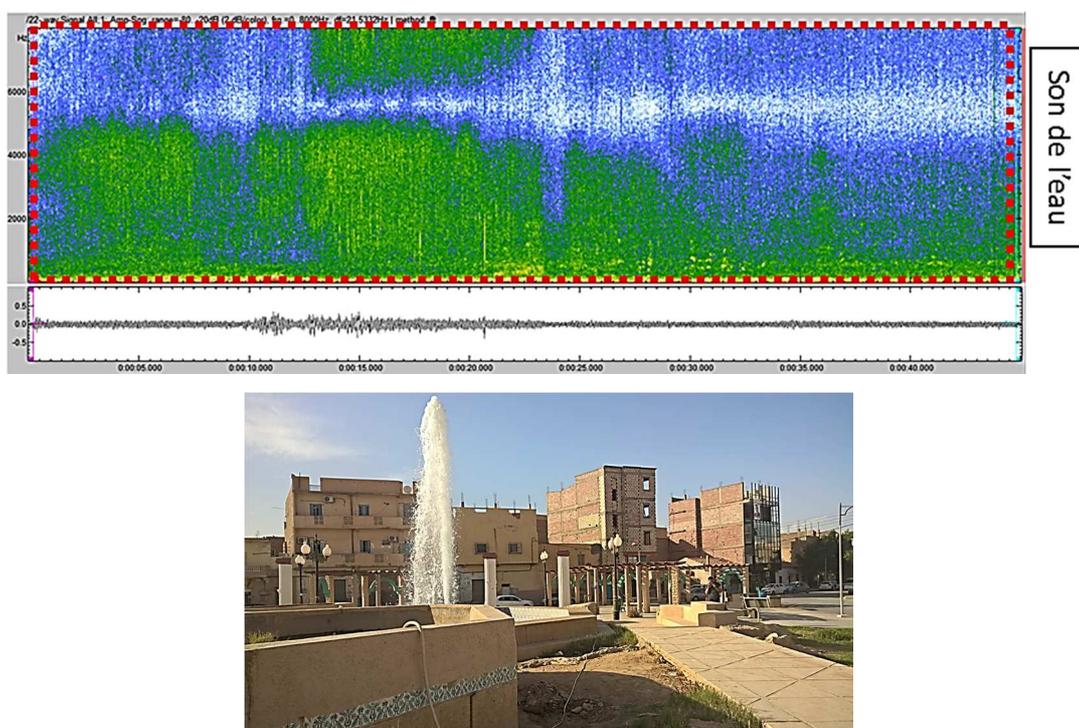


Figure V-28 : Zone N 22. Photo et spectrogramme (Auteur).

### b) Paysage Hi-Fi

Dans cette étude, les paysages sonores Hi-Fi sont moins présents en comparant avec la forte présence des Hi-Fi. Ils se caractérisent principalement par un faible niveau d'intensité sonore résultant d'une faible présence de trafic routier, ce qui permet de définir clairement la présence des autres sons à l'image des sons des oiseaux et des enfants qui sont masqués dans les paysages sonores Lo-Fi par des autres bruits intenses notamment le bruit mécanique.(Voir figure v 32).



Figure V-29 : Zone n 25 (Auteur).

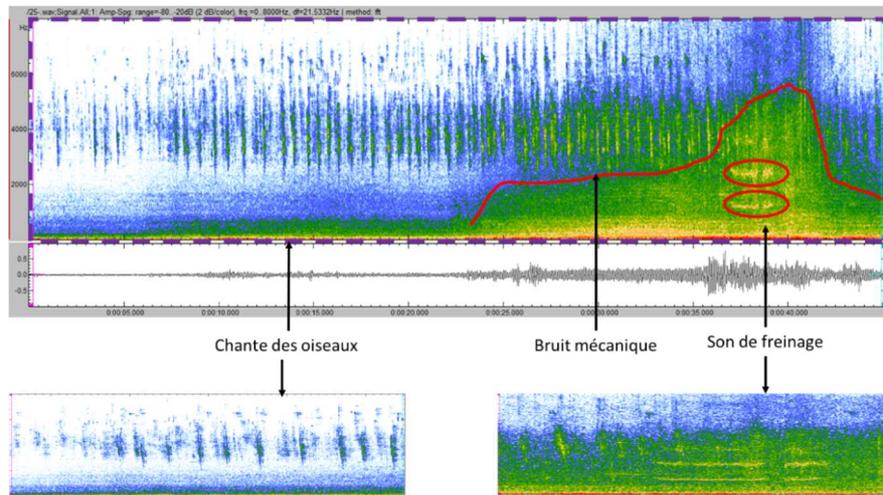
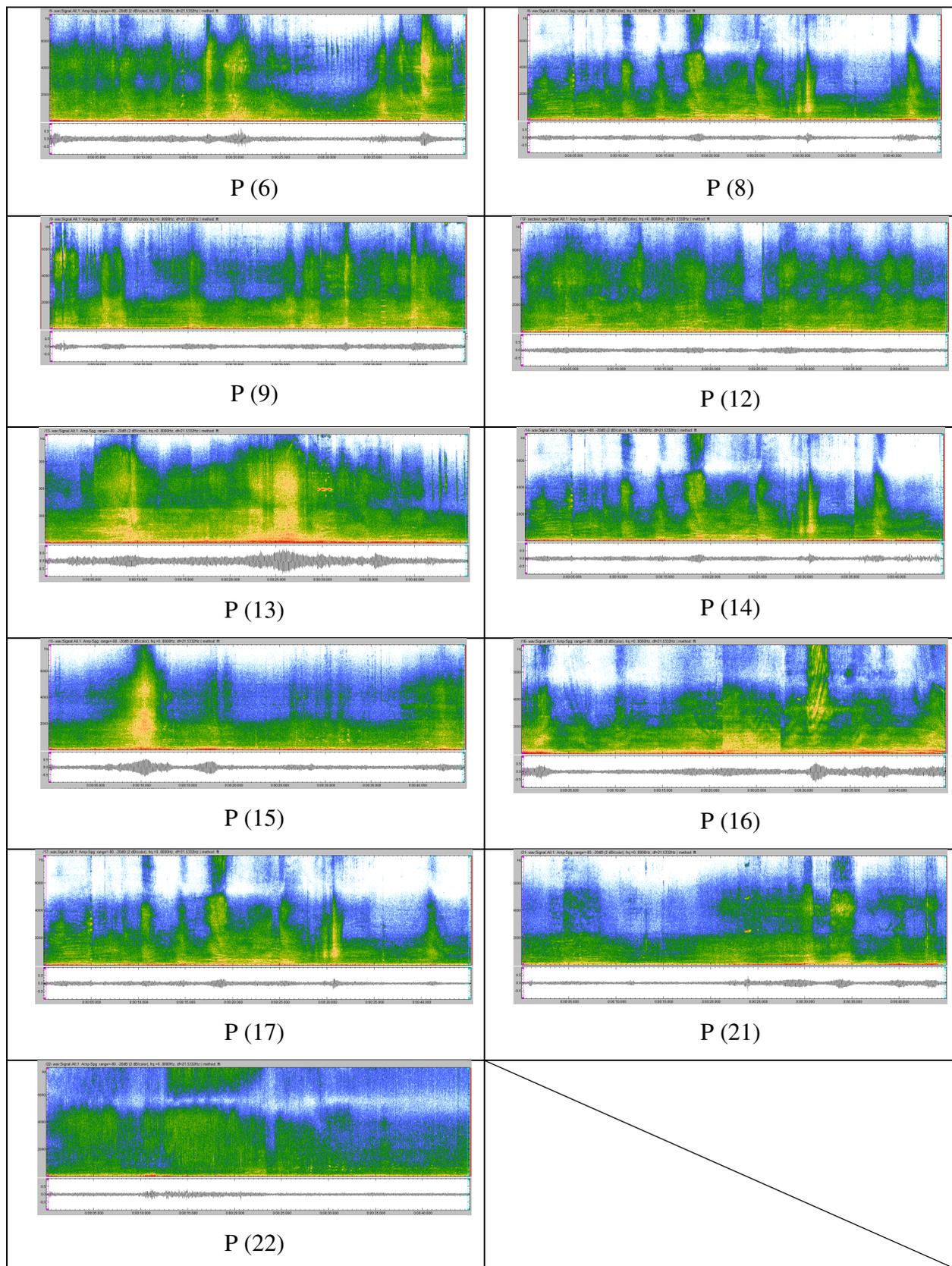


Figure V-30 : Point 25. Image et spectrogramme (Auteur).

Le tableau ci-dessus résume l'ensemble des spectrogrammes Lo\_Fi

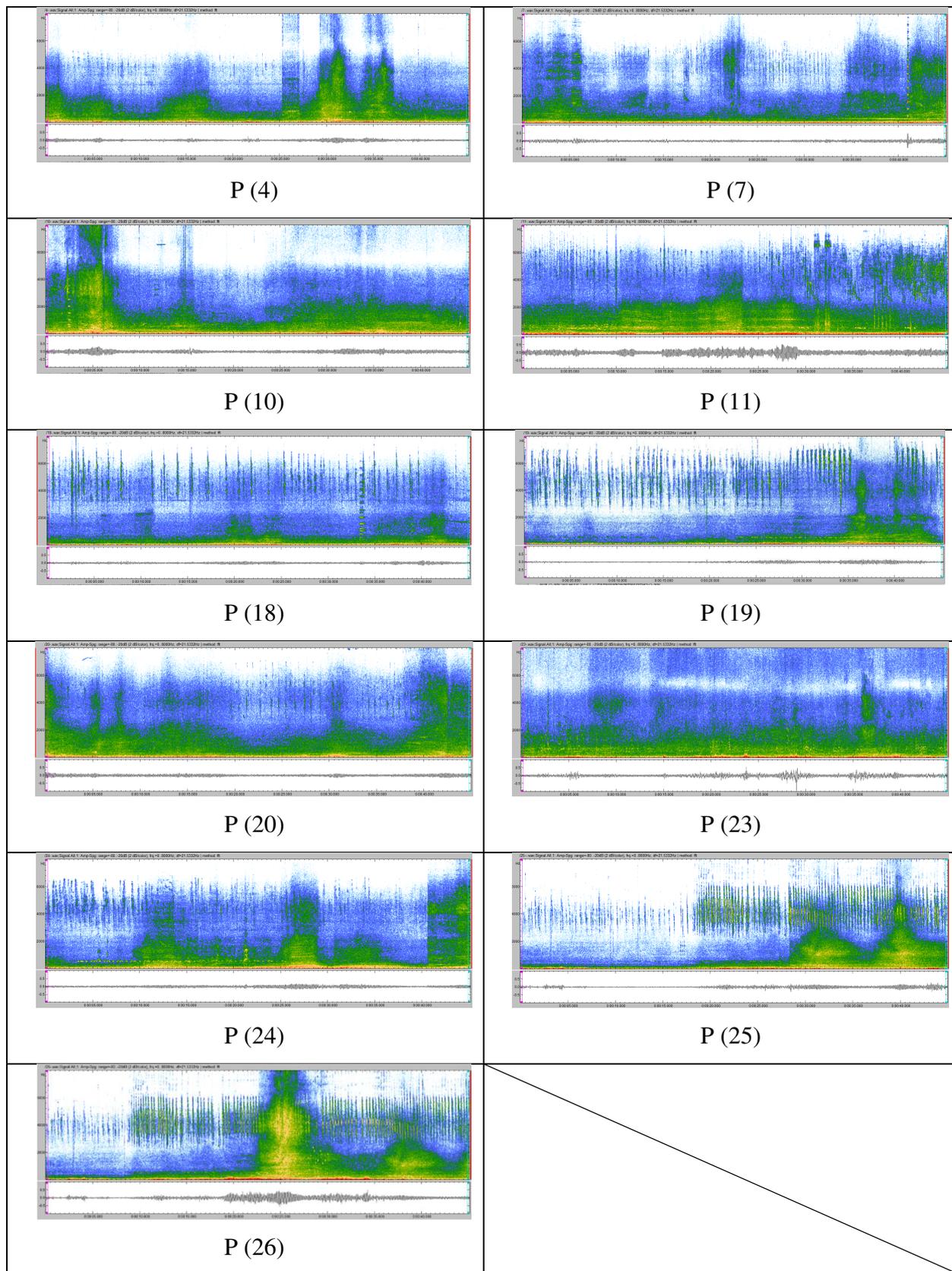
Tableau 27 : Spectrogrammes des paysages Lo-Fi

Lo fi	
<p>P (1)</p>	
<p>P (3)</p>	<p>P (5)</p>



Le tableau ci-dessus résume l'ensemble des spectrogrammes Hi-Fi.

Tableau 28 : Spectrogrammes des paysages Hi-Fi.



### **V \_ 3 \_ 5 Questionnaire**

Afin d'évaluer la qualité d'un paysage sonore, plusieurs types d'évaluation ont été développés depuis les années 1980. Ceux-ci incluent : les questionnaires fermés, les questionnaires ouverts, les entretiens, les parcours commentés, la promenade sonore, l'utilisation d'indices psycho acoustiques classiques (sonie, hauteur tonale, acuité, modulation, rugosité) (Guastavino, 2003).

Dans le but d'évaluer la qualité des environnements sonores étudiés dans la présente recherche, nous avons opté pour une méthode très utilisée récemment (Axelsson et al, 2010 ; Brambilla et al, 2013 ; Jeon et al 2010 ; Axelsson, 2015 ; Lindau, 2014 ; Brinkmann et al, 2014) qui s'appuie sur des questionnaires sur des écoutes réactivées.

### **V \_ 3 \_ 6 Choix des sujets et échantillonnage**

La qualité des résultats de ce type d'enquêtes dépend non seulement de la qualité des enregistrements sonores et de la méthode de restitution, mais aussi du choix des sujets selon leur âge, leur sexe, leur culture et ses expertises (Guastavino, 2003).

Partant de ce constat, 35 personnes vivant dans la ville et utilisant ces espaces urbains ont été sélectionnées, pour que les atmosphères sonores enregistrées soient habituelles pour eux. D'autre part, nous avons essayé, dans la mesure du possible, de choisir des sujets représentatifs de la population de la ville, bien que cette représentativité soit toujours limitée dans ce type d'étude par le nombre limité des sujets qui ne dépassent pas généralement 100 personnes. L'âge des sujets qui ont été sélectionnés est convergent, elle varie entre 20 et 30 ans. Les sujets ont déclaré qu'ils n'avaient pas de problèmes auditifs.

### **V \_ 3 \_ 7 Choix des items**

Les questions sont organisées en deux sections. La première (Q 1, 2) concerne l'évaluation de l'environnement sonore, elle contient deux questions qui visent à évaluer l'impression générale des participants sur les échantillons sonores présentés.

Dans la deuxième section (Q 3, 4), les questions visent à déterminer le taux de présence de sons mécaniques et non mécaniques (naturels et humains) dans chaque piste sonore.

La qualité de l'environnement sonore globale ainsi que la présence des sons ont été évaluées à l'aide d'une échelle de 5 degrés.

Les sujets ont répondu directement dans un fichier Excel déjà préparé spécialement pour cette enquête. Chaque feuille correspond à un sujet, chaque ligne correspond à une piste sonore

et chaque colonne correspond à une question, le choix des réponses est fait à l'aide des listes déroulantes. La figure V-33 montre l'exemple d'une feuille d'Excel utilisée pendant l'enquête.

Ce type de questionnaire ainsi que cette démarche méthodologique facilite considérablement le traitement des données.

**V \_ 3 \_ 7 \_ 1 Question numéro 1**

D'après cette expérience, comment évaluez-vous cette piste sonore en termes d'agréabilité ?

	Très désagréable	Désagréable	moyennement agréable	Agréable	Très agréable
Codage	1	2	3	4	5
Son 1					
...					
Son 26					

**V \_ 3 \_ 7 \_ 2 Question numéro 2**

Comment trouvez-vous l'intensité sonore globale ?

	Très bruyant	Bruyant	Moyenne	Calme	Très calme
Son 1					
...					

**V \_ 3 \_ 7 \_ 3 Question numéro 3**

Comment classez-vous la présence des sons mécaniques (voitures, motos, etc.) ?

	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Son 1					
...					

**V \_ 3 \_ 7 \_ 4 Question numéro 4**

Comment jugez-vous la présence des sons naturels et humains dans cette piste sonore ?

	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Son 1					
...					

## Chapitre 5 : Évaluation subjective de l'environnement sonore de Biskra

question cath - Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	piste sonore		age	question 1	question 2	question 3	question 4		age		question1 comment évaluez-vous cette piste sonore en termes d'agréabilité	question2 Comment trouvez-vous l'intensité sonore globale	question3 Comment classer vous la présence de son mécanique	question4 Comment jugez-vous la présence des sons naturels et humains				
2	1		25 - 30	2	2	5	1		15 - 20	Désagréable	T. Bruyant	T. faible	T. faible					
3	2			1	4	2			20 - 25	T. désagréable	Bruyant	Faible	Faible					
4	3			1	5	1			25 - 30	M, agréable	Moyen	Moyen	Moyen					
5	4			3	4	2			< 30	Agréable	Calme	Forte	Forte					
6	5			1	1	5	1			T, agréable	T. calme	T. forte	T. forte					
7	6			2	2	4	2				1	1	1				1	
8	7			3	2	3	3				2	2	2				2	
9	8			1	2	4	1				3	3	3				3	
10	9			2	1	5	1				4	4	4				4	
11	10			3	3	2	3				5	5	5				5	
12	11			3	3	3	5											
13	12			1	3	4	1											
14	13			1	1	5	1											
15	14			1	1	5	1											
16	15			2	2	4	1											
17	16			1	2	4	1											
18	17			1	1	5	2											
19	18			4	4	1	4											
20	19			4	5	2	5											
21	20			3	3	3	4											
22	21			2	3	4	2											
23	22			3	2	1	5											
24	23			2	1	1	5											
25	24			4	3	2	4											
26	25			4	4	2	5											

Figure V-31 : Exemple d'une feuille d'Excel utilisé pendant l'enquête (Auteur).

### V\_3\_7\_5 Déroulement du questionnaire.

Ce questionnaire a été effectué dans une salle de classe. La restitution sonore (La binauralisation) a été faite en utilisant des casques « Sony » voir la figure ci-dessus, le même niveau de sortie du son est appliqué pour toutes les bandes sonores.



Figure V-32 : Casques utilisé « Sony le MDR-ZX660AP». (Auteur).

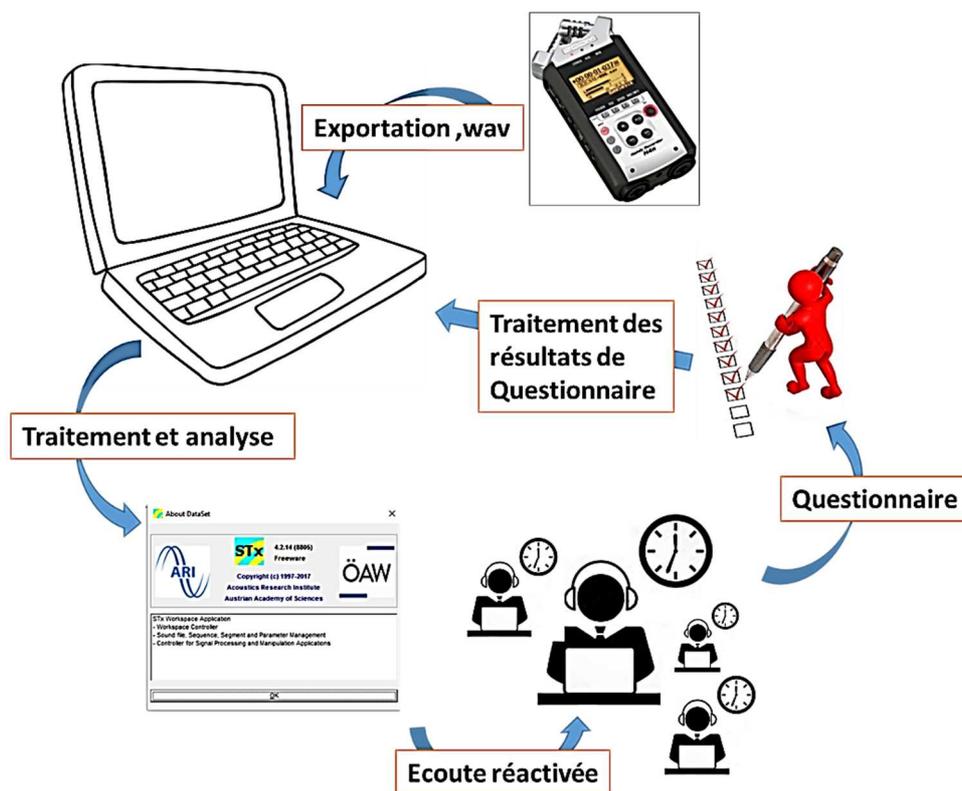


Figure V-33 : Déroulement du questionnaire. (Auteur).

Pour les bandes sonores qui durent plus de 10 secondes, le jugement global de l'environnement sonore est fortement lié aux événements sonores des derniers instants (Guastavino, 2003). C'est pour cela que nous avons évité le maximum d'avoir des événements sonores extrêmes dans les dernières secondes des pistes sonores pour que l'évaluation soit subjective.

Après une introduction concernant le but et l'objectif de cette étude, le type des questions et les choix disponibles, les participants commencent cette enquête par l'écoute de toutes les pistes sonores enregistrées pour avoir une idée sur les ambiances sonores qu'ils évalueront. Ensuite, chaque participant est invité à répondre à quatre questions après avoir écouté la bande sonore d'une minute en choisissant une réponse parmi cinq propositions pour chaque question (Mode QCM ; questions à choix multiples), la même procédure se répète pour les 25 séquences sonores restantes.

Le test se déroule en 3 parties de 8, 8 et 10 bandes sonores dans la dernière partie, une pause de 5 minutes les sépare, le participant est libre de réentendre les pistes sonores autant de fois que nécessaire.

Pour la moitié des participants, l'ordre des pistes sonores a été inversé afin d'éviter les effets d'échelle d'ordre (Guastavino, 2003).



Figure V-34 : Déroulement du questionnaire (Auteur).

## V\_4 Analyse des résultats

### V\_4\_1 Section 1 (Question 1/2)

Le graphe V-36 représente l'évaluation de l'agréabilité ainsi que de l'intensité sonore perçue pour les 26 environnements sonores, nous pouvons remarquer une convergence entre les valeurs de ces deux variables.

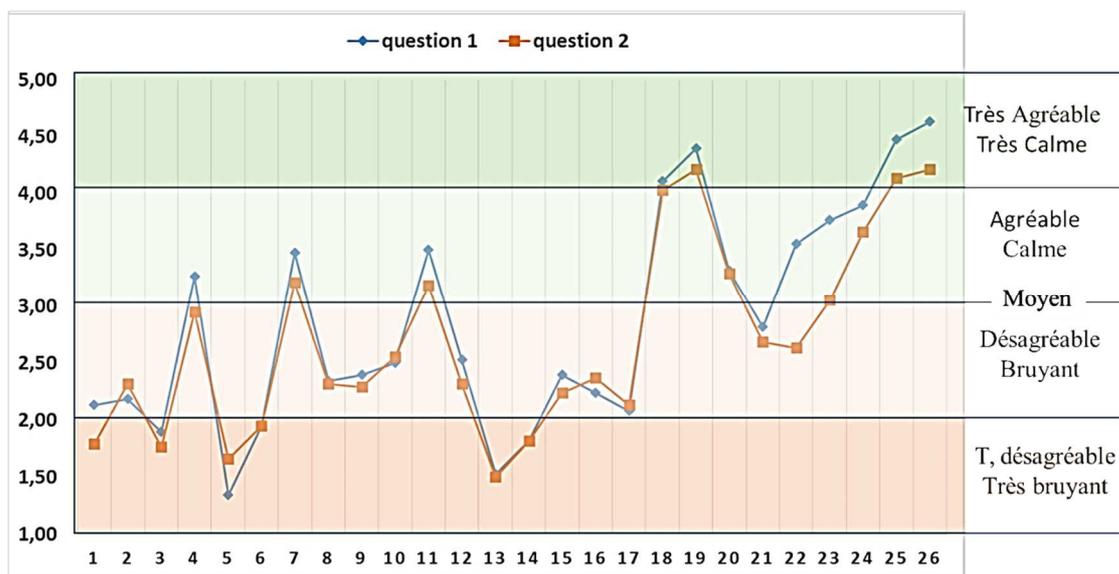


Figure V-35 : Moyen des réponses question 1 et 2 (Auteur).

Sur une échelle de 1 à 5, les environnements sonores jugés très agréables sont les environnements correspondant aux stations 18, 19, 25, 26, d'autre part, les pistes sonores : 20, 22, 24 extraites des jardins et des quartiers résidentiels sont jugées agréables. Sur la base de cette évaluation subjective, nous avons constaté que seulement 15 % des séquences sonores

présentées dans cette étude sont jugées comme très agréables, alors que 12 % des séquences sonores sont jugées comme agréables, tandis que 15% des environnements sonores présentés sont jugés modérément agréables.

D'autre part, 23% des séquences sonores sont classées comme très désagréables alors que 36% sont jugés désagréables. Nous notons que les deux points 5 et 13 correspondent aux environnements les plus désagréables parmi ces cas d'études.

Dans l'ensemble, 27% des séquences enregistrées dans cette étude sont jugées très agréables et agréables alors que 15% sont jugées modérément agréables, tandis que 58% des séquences sont jugées désagréables.

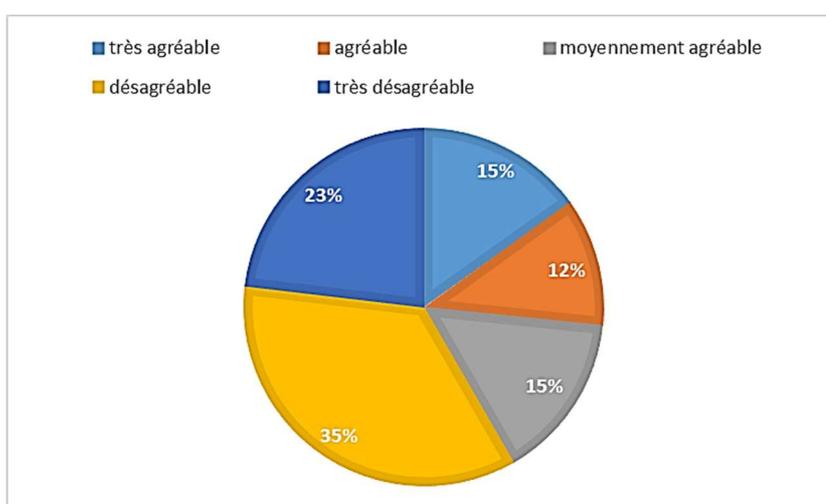


Figure V-36 : Classement des environnements sonores selon l'agréabilité (Auteur).

Il est important de souligner que l'évaluation d'intensité sonore perçue est très cohérente à celle d'agréabilité, les valeurs sont très proches et associées. Comme le montre la figure V-38.

De 26 séquences sonores présentées dans cette enquête, seulement quatre pistes sonores sont jugées comme très calmes, ce qui correspond à 15 %, alors que 7 % des séquences sonores sont jugées comme calme, tandis que 15% des environnements sonores présentés sont jugés moyennement calme. D'autre part, 23% des séquences sonores sont évaluées comme très bruyantes alors que 38% sont jugées comme bruyantes. Il convient de noter que les environnements les plus bruyants parmi ces cas d'études sont ceux correspondant aux points 13 et 5.

Globalement, 24% des séquences enregistrées dans cette étude sont jugées comme très calmes et calmes, 15% sont jugées comme moyennement calmes, tandis que, 61% des séquences sonores sont jugées comme bruyantes.

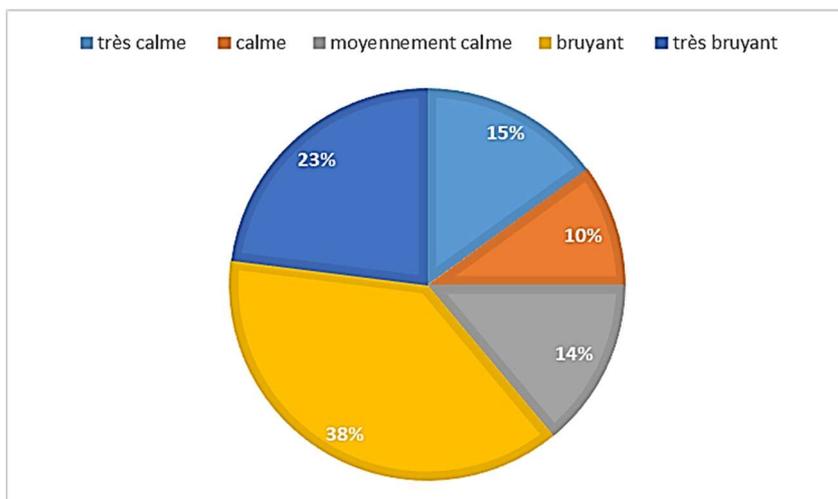
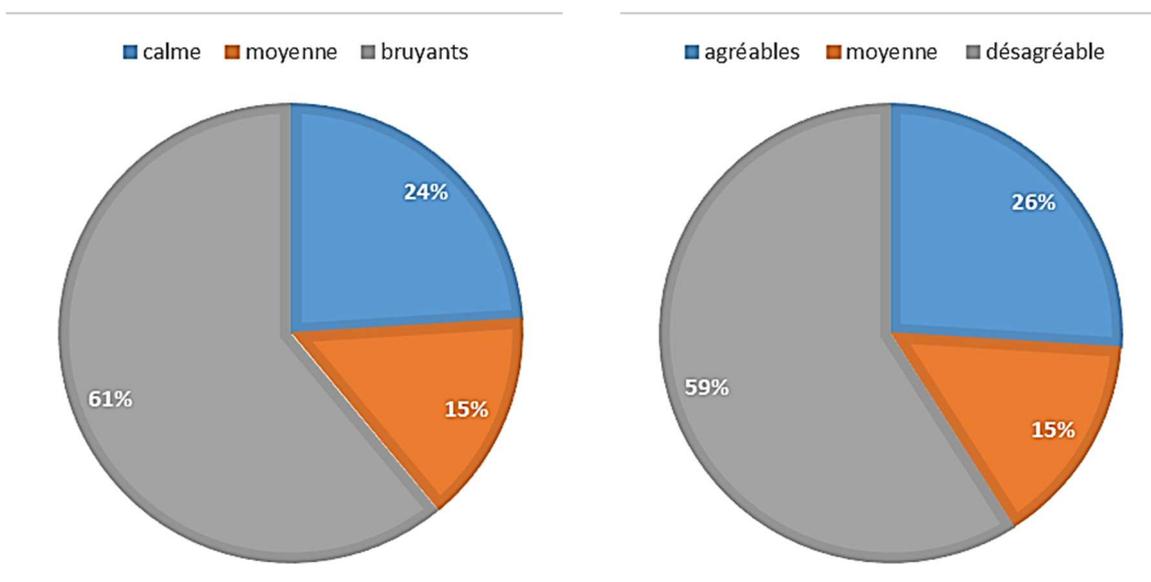


Figure V-37 : Classement des environnements sonores selon l'intensité sonore perçue (Auteur).



Classification des environnements sonores selon l'intensité sonore perçue

Classification des environnements sonores selon l'agréabilité

Figure V-38 : Classification des environnements sonores selon l'intensité sonore perçue et l'agréabilité (Auteur).

Une forte cohérence peut être observée entre l'intensité sonore perçue (Question 2) et l'agrément (Question 1), comme le montre la figure v 39.

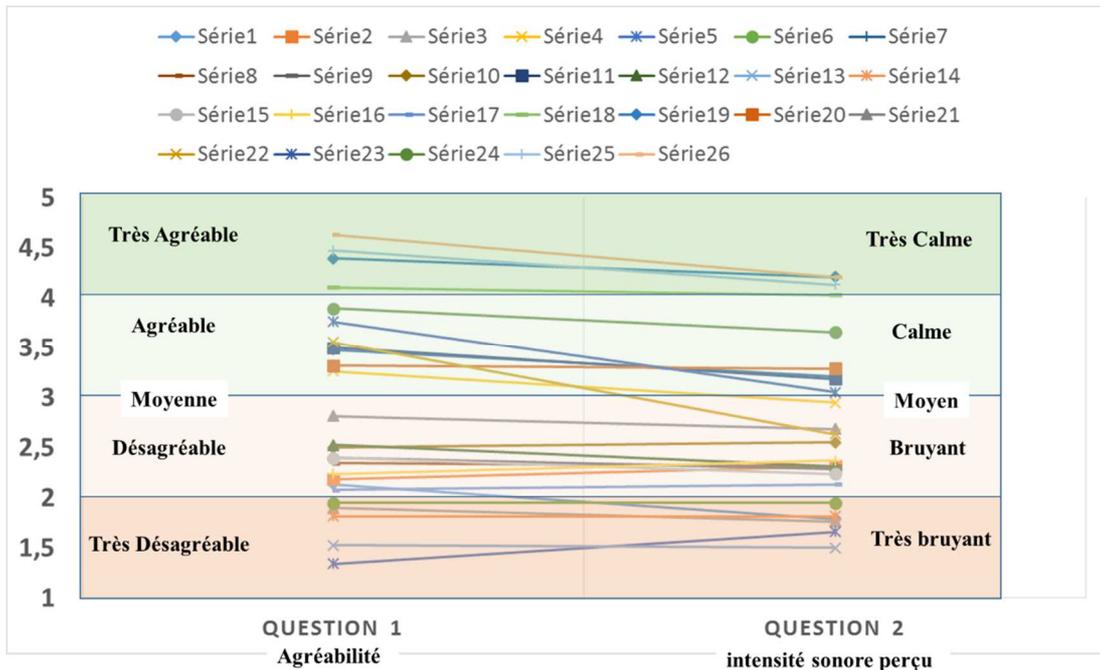


Figure V-39 : Une relation cohérente entre l'agrément et l'intensité sonore (Auteur).

V \_ 4 \_ 2 Section 2 (Question 3/4)

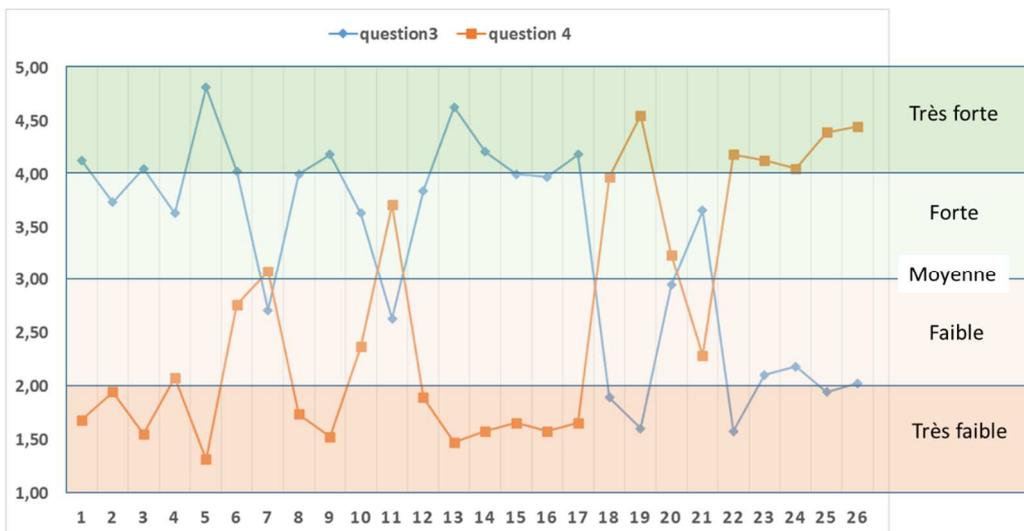


Figure V-40 : Une relation inverse entre bruit mécanique (Question 3) et non mécanique (Auteur).

Une relation inverse entre le taux de présence de bruit mécanique et non mécanique peut être facilement remarquée. Il ressort clairement de la figure (v 40 et 41) que plus la présence de bruit mécanique est forte, plus la présence des autres sons est faible. Cette relation est très évidente dans le cas des séquences sonores n 3, 5 et 9 qui sont marquées par une forte présence

de bruit routier selon l'évaluation des sujets en comparant aux autres environnement sonore et une très faible présence de sons non mécaniques qui ne dépasse pas 1,5 sur une échelle de 5.

D'autre part, nous notons qu'une faible présence de bruit routier est toujours compensée par une forte présence d'autres sons naturels ou bien humains, comme le cas des environnements sonores n 25, 26 et 20.

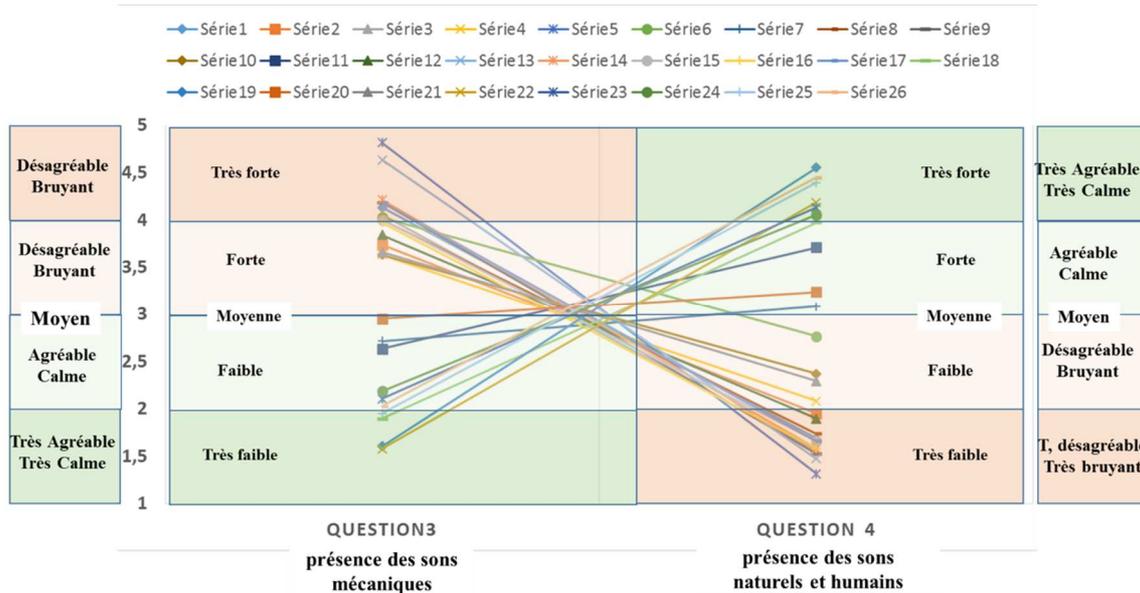


Figure V-41 : Une relation inverse entre bruit mécanique (Question 3) et non mécanique (Question4) (Auteur).

### V \_ 4 \_ 3 Corrélacion entre les variables subjectives et objectives

Des tests de corrélation de Pearson ont été effectués dans cette phase afin de déterminer la relation entre les différentes variables de questionnaire, les deux types des paysages sonores (Hi\_Fi, Lo\_Fi) et le niveau d'intensité sonore mesuré in situ. Les résultats sont montrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 29 : Résultats de test de Pearson (Auteur).

		Intensité sonore mesurée Leq <sub>(1min)</sub>	Agréabilité	Intensité sonore perçue	Présence de bruit mécanique	Présence des sons non mécanique	Type de paysage HI_fi /Lo_Fi
leq	Pearson	1	-,822(**)	-,836(**)	,811(**)	-,848(**)	-,782(**)
	Correlation		0	0	0	0	0
	Sig. (2-tailed) N	26	26	26	26	26	26
Q1	Pearson	-,822(**)	1	,968(**)	-,947(**)	,924(**)	,810(**)
	Correlation			0	0	0	0
	Sig. (2-tailed) N	0 26	26	26	26	26	26
Q2	Pearson	-,836(**)	,968(**)	1	-,887(**)	,877(**)	,839(**)
	Correlation		0		0	0	0
	Sig. (2-tailed) N	0 26	26	26	26	26	26
Q3	Pearson	,811(**)	-,947(**)	-,887(**)	1	-,968(**)	-,726(**)
	Correlation		0	0		0	0
	Sig. (2-tailed) N	0 26	26	26	26	26	26
Q4	Pearson	-,848(**)	,924(**)	,877(**)	-,968(**)	1	,751(**)
	Correlation		0	0	0		0
	Sig. (2-tailed) N	0 26	26	26	26	26	26
Type de paysage	Pearson	-,782(**)	,810(**)	,839(**)	-,726(**)	,751(**)	1
	Correlation		0	0	0	0	
	Sig. (2-tailed) N	0 26	26	26	26	26	26

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Comme nous pouvons le voir dans le tableau 29, le coefficient de corrélation de Pearson entre les variables du questionnaire, le type de paysages sonores selon la classification de Schäfer et le niveau d'intensité sonore mesuré est compris entre 0,968 <math>r</math> <math><0,726</math>, ce coefficient est très significatif dans le seuil de  $p = 0,000$  (Howitt et Cramer, 2003). Une très forte corrélation entre toutes ces variables est donc confirmée (\*\*).

Les corrélations positives significatives sont en vert, alors que les corrélations négatives significatives sont en bleu. La lecture du tableau nous permet de déterminer :

V\_4\_3\_1 Relation entre les variables de questionnaire

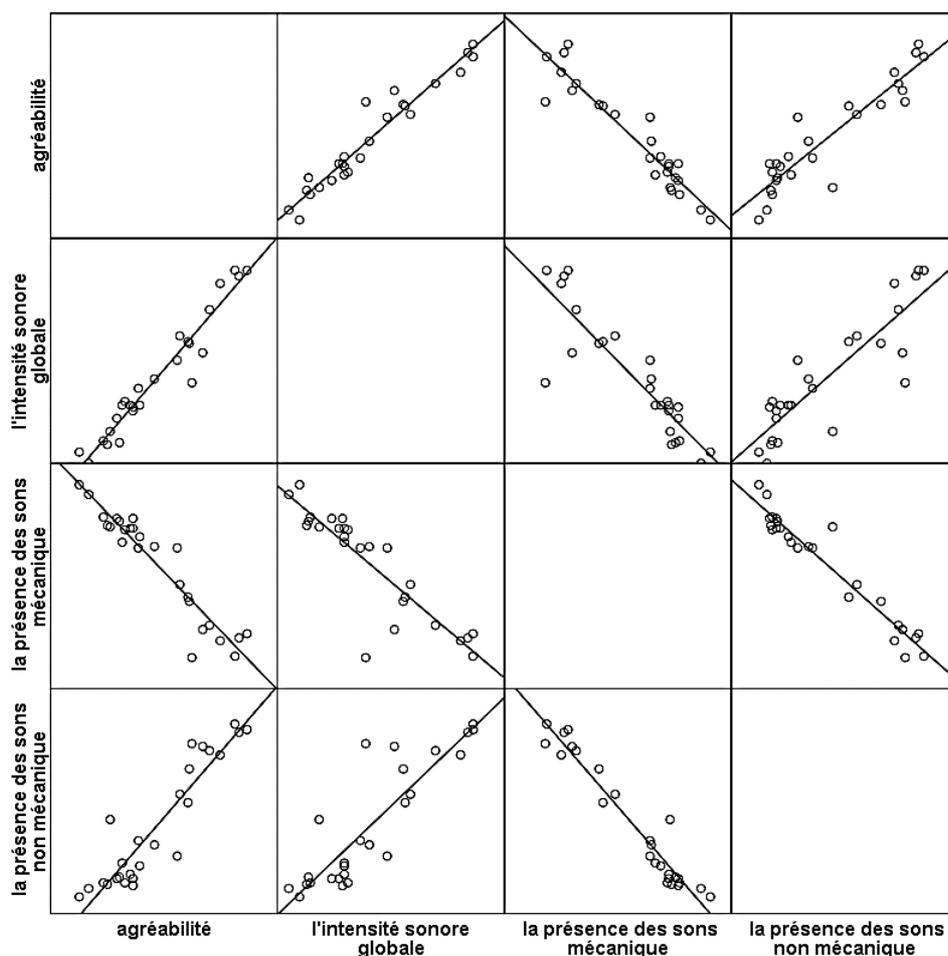


Figure V-42 : Corrélation entre les variables de questionnaire (Auteur).

D'après le tableau 29 et la figure V-42, nous pouvons constater ce qui suit :

- L'existence d'une forte relation positive entre l'agréabilité de l'environnement sonore, l'intensité sonore perçue et le niveau de présence des sons non mécaniques, par contre, l'existence d'une forte relation négative entre l'agréabilité et le niveau de présence des sons mécaniques.
- L'existence d'une forte relation négative entre l'intensité sonore perçue et la présence de sons mécaniques, alors qu'une forte relation positive entre l'intensité sonore perçue et la présence des sons non mécaniques peut être observée.
- L'existence d'une forte relation négative entre la présence des sons mécanique et non mécanique.

**V\_4\_3\_2 Relation Leq, intensité sonore perçue et agréabilité**

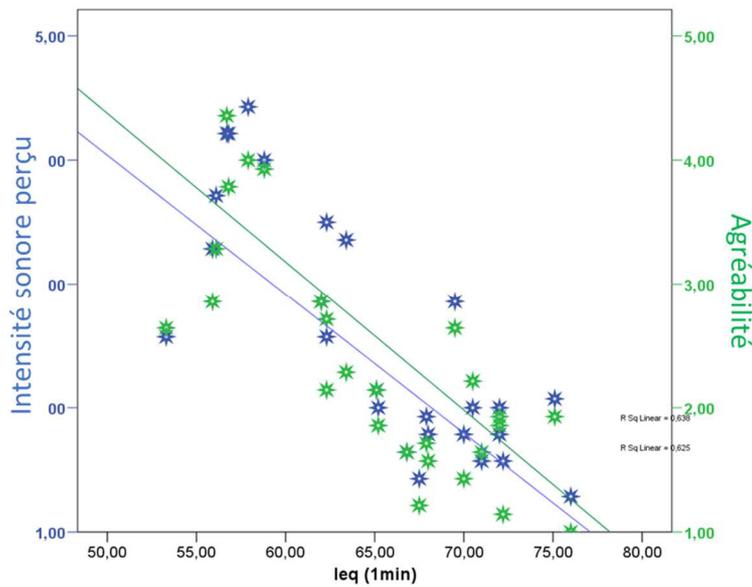


Figure V-43 : Corrélation Leq, l'intensité sonore perçue et l'agréabilité (Auteur).

Une cohérence entre la dispersion des points correspondant à l'intensité sonore perçue et à l'agréabilité peut être observée dans ce graphe. Les points semblaient s'agglomérer autour de deux droites ce qu'il s'agissait d'une relation linéaire négative entre le leq et ces deux variables. En effet, plus le Leq (1min) augmente, plus le niveau de l'intensité sonore perçue et de l'agréabilité diminuent.

Rappelons que l'échelle de l'intensité sonore perçue est inversée dans ce questionnaire, plus le niveau de l'intensité sonore perçue est grand, plus l'environnement sonore est calme, le 1 correspondant à très bruyant alors que le 5 correspondant à très calme, voir la figure ci-dessous.

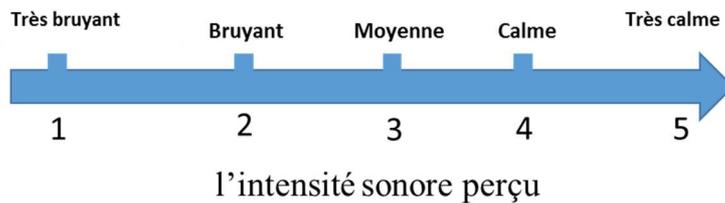


Figure V-44 : Echelle de jugement de l'intensité perçue (Auteur).

**V\_4\_3\_3 Relation leq, la présence des sons mécanique et non mécanique**

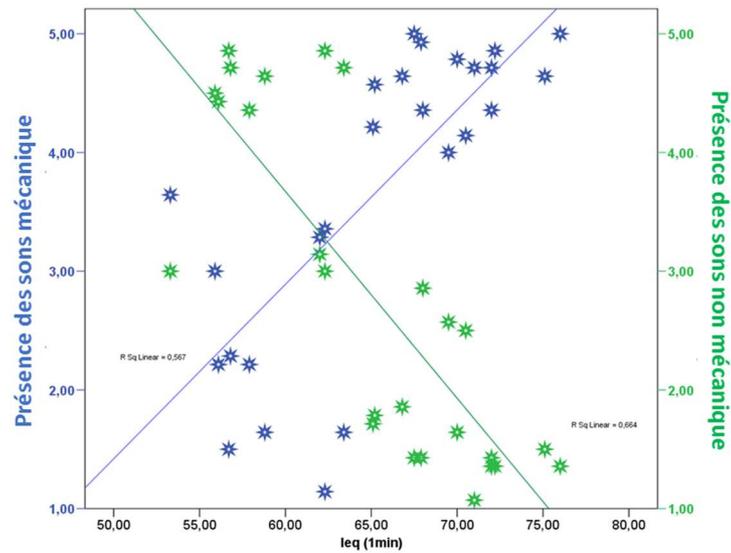


Figure V-45 : Corrélation leq, la présence des sons mécanique et non mécanique (Auteur).

Cette figure montre le type de relation entre le  $leq_{(1min)}$ , le taux de présence des sons mécanique et non mécanique.

Le niveau de l'intensité sonore ( $leq$ ) dépend fortement des composants de paysage sonore. Plus le taux de présence des sons mécaniques est important, plus le niveau d'intensité sonore est élevé, alors que la présence des sons non mécanique est faible.

**V\_4\_3\_4 Relation leq, type de paysage sonore (Hi\_Fi, Lo\_Fi).**

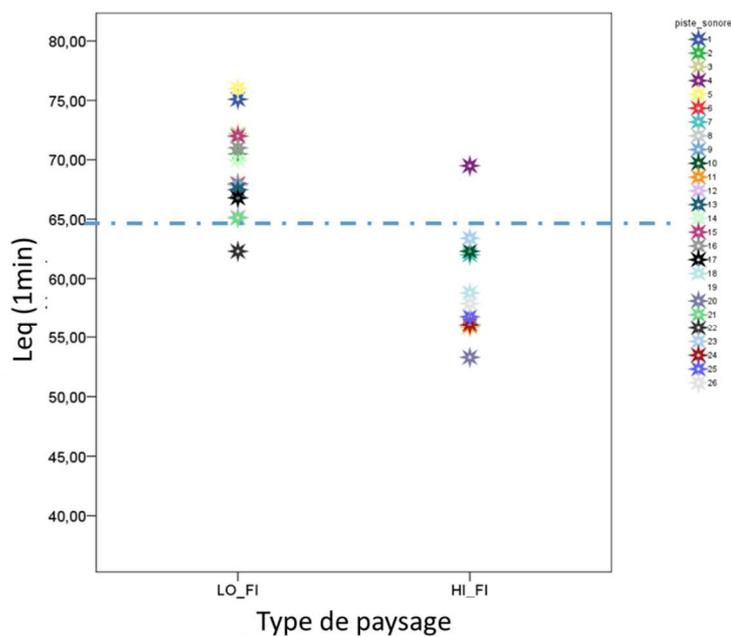


Figure V-46 : Relation leq, type de paysage sonore (Hi\_Fi, Lo\_Fi) (Auteur).

À partir de cette figure, il est clair que les deux types de paysages sonores Lo\_Fi et Hi\_Fi dépendent fortement du niveau d'intensité, la majorité des paysages sonores classés Hi\_Fi ont des faibles niveaux d'intensité sonore qui ne dépassant pas 62 dB en comparant avec les environnements sonores Lo\_Fi où le niveau de l'intensité sonore mesuré est supérieur à 62 dB.

### V \_ 4 \_ 4 Conclusion

Dans un premier temps, nous avons procédé à une brève description de l'environnement et de l'ambiance des sites échantillonnés et à une brève analyse des principales modes d'enregistrement et de restitution sonores avant d'effectuer la campagne de mesure et d'enregistrement.

Cette étape est organisée en trois phases, dans la première, nous avons effectué un mesurage de bruit sur le terrain en utilisant un sonomètre, le traitement des résultats des mesures est effectué en comparant les valeurs mesurées avec les normes nationale et internationale. Ensuite, dans la deuxième phase est après le traitement des pistes sonores enregistrées in situ dans le laboratoire, nous avons effectué un questionnaire afin d'évaluer la qualité des environnements sonores étudiés. Dans la troisième phase, un classement des environnements sonores enregistrés a été effectué selon le classement de Schäfer (2003) (Lo-Fi, Hi-Fi) après le traitement des pistes sonores à l'aide d'un logiciel spécialisé (S\_TOOLS-STx).

À la fin de ce chapitre, nous pouvons conclure d'après les résultats du questionnaire et de la comparaison des résultats des mesures aux recommandations nationales et internationales que, la présence d'un problème de pollution sonore est assez importante dans cette ville et qu'il dépend principalement du niveau d'intensité sonore et au taux de la présence de trafic routier. D'autre part, et à la base des résultats des tests de corrélation de Pearson, nous avons déterminé qu'il existe une relation significative entre le niveau d'intensité sonore, les composantes de l'environnement sonore, la perception humaine et le type de paysage sonore (Lo-Fi et Hi-Fi).

**Chapitre VI : Effet de la morphologie urbaine  
sur l'environnement sonore**

## **VI \_ 1 Introduction**

Selon les résultats des deux chapitres précédents (ch4 et ch5), nous pouvons remarquer que le problème de la pollution sonore est évident dans la ville Biskra et que ce phénomène est dû principalement au niveau élevé d'intensité résultant du fort trafic routier.

Partant de ces résultats, et dans le but de définir la relation entre la nuisance sonore et la morphologie urbaine, nous allons évaluer dans ce dernier chapitre le noisescap dans des quartiers résidentiels existants dans la ville de Biskra, afin de déterminer la distribution du bruit mécanique au sein de ces entités urbaines et au niveau de ses façades, en basant sur la méthode de la cartographie sonore, et par l'utilisation d'un logiciel de prédiction de bruit (Le CODE TYMPAN).

Afin que la comparaison soit cohérente entre les différents noisescap, les scénarios d'études basent sur les mêmes conditions climatiques issues des caractéristiques climatiques de la ville et sur le même niveau de trafic routier pour les dix configurations simulées dans cette partie.

Ensuite, nous allons effectuer dans la deuxième partie, des tests de corrélation de Pearson afin de montrer statistiquement la nature de la relation entre les caractéristiques physico-morphologiques et la distribution de bruit routier au sein des quartiers ainsi qu'au niveau des façades.

## **VI \_ 2 Effet des caractéristiques morphologiques sur le noisescap**

### **VI \_ 2 \_ 1 Méthode expérimentale**

Dans cette partie, nous avons utilisé une méthode expérimentale différente de celles présentées précédemment. Elle repose principalement sur la cartographie sonore, qui est l'une des méthodes principales d'étude et d'analyse des environnements sonores notamment urbains. En effet, elle permet d'avoir des cartes qui montrent la répartition et le niveau d'intensité de bruit sur le plan horizontal et vertical (Murphy et King, 2010).

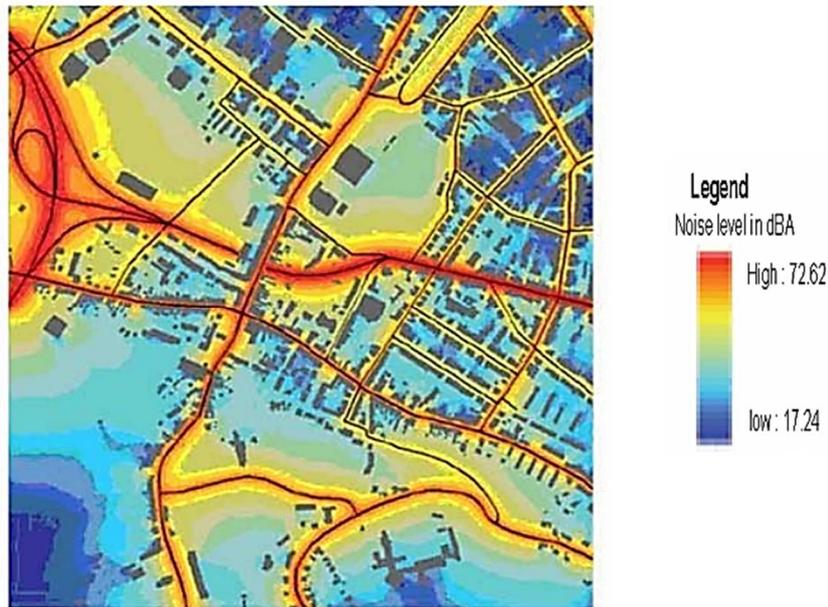


Figure VI-1 : Exemple d'une carte sonore (Murphy et King, 2010).

Cette partie est structurée en trois grandes phases. La première concerne la sélection et l'analyse des cas d'études. Ensuite, une évaluation de noisescap de chaque configuration urbaine a été effectuée dans la deuxième partie en utilisant un logiciel de prévision du bruit. Dans la dernière partie, des tests de corrélations de Pearson ont été effectués à l'aide du logiciel de statistique SPSS afin de définir la relation qui pourrait exister entre le noisescap et le tissu urbain. Le schéma ci-dessous résume les phases de cette partie

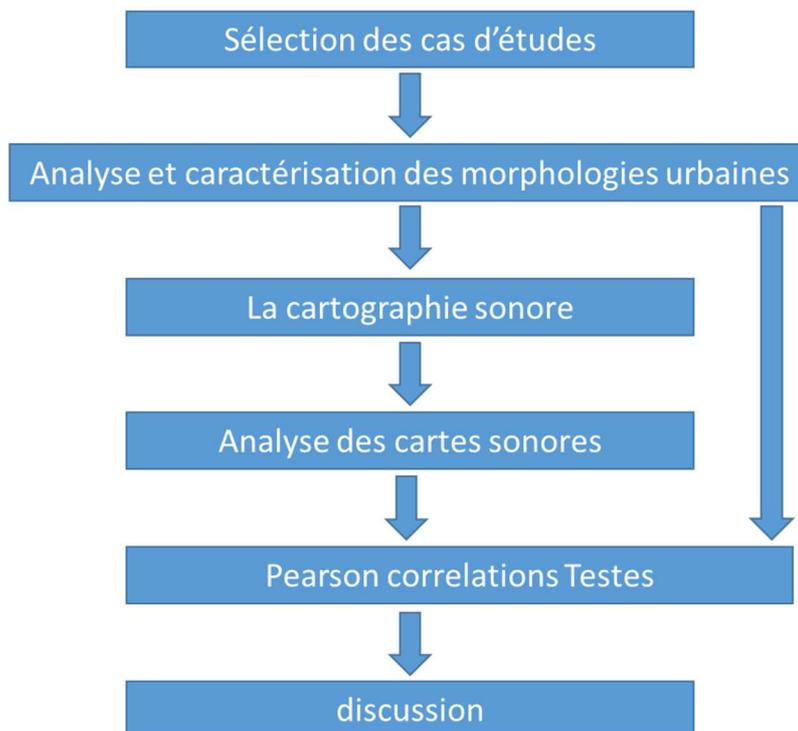


Figure VI-2 : Méthodologie de la troisième partie. (Auteur).

## VI\_2\_2 Tissus étudiés

Des configurations urbaines existantes (zone résidentielle collective) ont été choisies dans cette étude, selon des critères morphologiques tels que la hauteur des bâtiments, la largeur des rues, la géométrie urbaine et la composition du bâti.

La majorité des entités urbaines choisies ont été construites dans les années 80, avec deux types de plans de masse ; des configurations linéaires (700 logements, cité HLM, 200 logements) et des autres centralisées (748 logements, cité Saada, Belaiat1) (Bouzir et Zemmouri, 2017). Les configurations choisies sont représentées dans la figure VI-3 et le tableau 30.



Figure VI-3 : Emplacement des échantillons sélectionnés (Google Earth)

Tableau 30 : Vue satellitaire des quartiers sélectionnés. (Auteur).





(3)



(4)



(5)



(6)



(8)



(9)



(10)



(11)

---

### VI\_2\_3 Caractérisation des morphologies urbaines

Pour l'analyse morphologique des entités urbaines, nous avons opté dans la présente partie pour la mesure de la morphologie urbaine (la caractérisation quantitative des indicateurs morphologiques), qui représente une méthode d'analyse indispensable dans les études visant à comprendre la relation entre la forme urbaine et les différents facteurs environnementaux tels

que la vitesse du vent, le gisement solaire ainsi que les ambiances lumineuses, thermiques, olfactives ou bien acoustiques, comme le cas de cette recherche. Cette méthode permettra de mieux caractériser les configurations urbaines et d'extraire des informations supplémentaires qui peuvent aider à analyser ces corrélations (Kotharkar et al, 2014 ; Bouzir et Zemmouri, 2017). Divers indicateurs sont proposés dans des études préalables afin de caractériser des formes urbaines, comme l'illustre le tableau 31.

Tableau 31 : les indicateurs physiques pour la caractérisation des morphologies urbaines (Bouzir et Zemmouri, 2017).

Auteurs	Champ de recherche	Indicateurs quantitatifs de la morphologie urbaine
YasuyoMakido et al (Makido et al, 2012)	<i>Relationship between urban form and CO 2 emissions: Evidence from fifty Japanese cities</i>	- Compactness - Complexity
Lígia T. Silva et al (Silva et al, 2014)	<i>Urban form indicators as proxy on the noise exposure of buildings</i>	- Compactness - Porosity - Complexity
Yiying Hao and al (Hao et al, 2015)	<i>On the relationship between traffic noise resistance and urban morphology in low-density residential areas</i>	- Building Plan Area Fraction (BPAF) - Road Area Fraction (RAF) Distance of First-row Building to Road (DFBR) - Complete Aspect Ratio (CAR) - Building Surface Area to Plan Area Ratio (BSAPAR) - Building Frontal Area Index (BFAI) - Height-to-Width Ratio (HWR)
U.W. Tang (Tang et Wang, 2007)	<i>Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: Results from a modeling system, Environ</i>	- Building Height - Width of streets - Percentage of surface streets / total area Coefficient building areas, water -occupancy, green areas
Bo Wang and Jian Kang (Wang et Kang, 2011)	<i>Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: A comparative study between UK and China</i>	- Coefficient building occupancy, landscaped outdoor spaces and streets

Dans cette recherche, trois indicateurs de base ont été sélectionnés qui sont :

**La porosité (ROS) :** c'est la perméabilité de la forme urbaine, le rapport entre la surface vide et la surface totale (Wang et Kang, 2011).

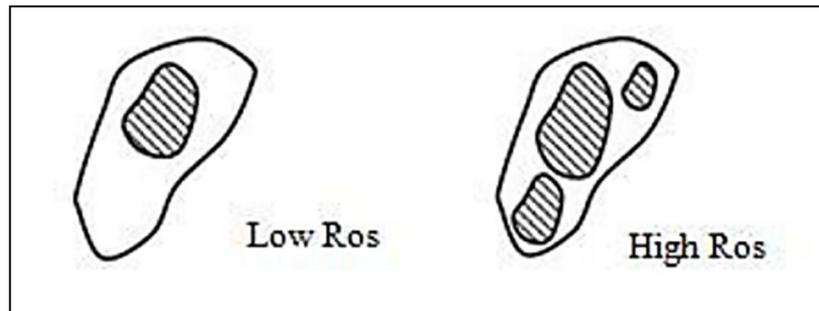


Figure VI-4 : Illustration du rapport entre la surface vide et la surface totale (Porosité) (Huang and al, 2007)

**Compacité :** une compacité élevée est l'une des principales caractéristiques des villes durables (Mathieu et Guermond, 2005), cet indicateur est calculé selon la formule suivante :  
Compacité urbaine (absolue) =  $\Sigma$  volume du bâti / surface urbaine  $\Sigma$  (Jean, 2012).

**La densité :** la densité du bâti est le rapport entre la somme de la surface construite et la surface totale (Jean, 2012).

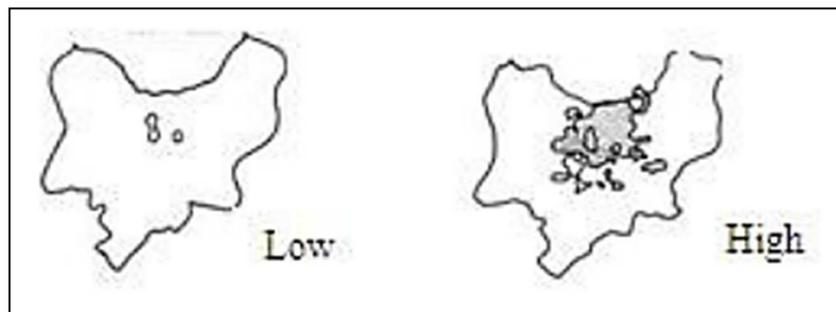


Figure VI-5 : Illustration du rapport entre la zone construite et la surface totale (densité) (Oliveira et al, 2011)

Le tableau 32 résume les résultats des mesures des indicateurs morphologiques des dix quartiers.

Tableau 32 : les Indicateurs quantitatifs des tissus étudiés. (Auteur).

Quartier	Code	Surface totale m <sup>2</sup>	Densité	Compacité	Porosité
748	1	29988,37	34.83	5.27	63.12
500	2	19372,88	21.15	3.03	78.37
200	3	35214,64	39.01	5.64	60.99
Rue Batna	4	19372,88	34.04	6.52	65.96

Belaïat 1	5	10671,94	27.76	4.16	72.24
Belaïat 2	6	7080,04	33.69	4.88	66.31
Hlm2	7	8076.3	28.09	3.93	71.91
Hlm band	8	11303.16	16.49	2.47	83.5
Rue Chetma	9	84111.94	26.86	4.03	73.14
Cité Saada 2	10	11380	28.82	4.1	71.18

## VI \_ 2 \_ 4 Cartographie du bruit

### VI \_ 2 \_ 4 \_ 1 Inputs

L'une des principales étapes à considérer avec précaution pendant la cartographie du bruit est l'acquisition des données d'entrée (Inputs), concernant la morphologie urbaine, le flux de trafic et les conditions météorologiques pour que les résultats de modélisation d'environnement sonore soient similaires à la situation sonore réelle.

### VI \_ 2 \_ 4 \_ 2 Tissus urbains (acquisition de données)

En plus des visites in situ, le Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme de la ville de Biskra (PDAU) ainsi que les images satellitaires des quartiers ont été utilisés pour collecter les données physiques des tissus urbains telles que la hauteur et l'espacement entre les bâtiments, le dimensionnement des rues, le type de sol et de pavage et la présence de végétation.

Dans cette étude en supposant que tous les bâtiments ont le même type de matériau de construction.

### VI \_ 2 \_ 4 \_ 3 Trafic urbain

Dans le but de déterminer l'effet de la morphologie urbaine sur la distribution de bruit routier, nous avons créé des scénarios avec des morphologies différentes et un niveau de trafic identique, qui représente le niveau moyen des voies secondaires dans des villes moyennes, il est utilisé par défaut dans le logiciel Disia (Farina, 1996).

Tableau 33 : Niveau de trafic lors de la simulation. (Auteur).

type	Nombre / heure	Vitesse maxi km / h
des voitures	400	50 km/h
Poids lourds	130	30 km/h

## VI \_ 2 \_ 5 Calcul des cartes de bruit

Le CODE TYMPAN (Dreher et al, 2012) a été utilisé dans cette étude pour calculer les cartes de bruit. Cet outil repose principalement sur deux méthodes de calcul :

### VI\_2\_5\_1 Le NMPB

C'est la méthode française, recommandée pour calculer les niveaux de bruit résultant des infrastructures routières, elle décrit en détail une procédure du calcul de bruit routier en tenant compte les conditions météorologiques (Ecotiere et al, 2012 ; SETRA, 2009).

### VI\_2\_5\_2 Le ISO 9613

«Acoustique — Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre, partie 2 : méthodes générales de calcul». Une méthode de calcul recommandée pour le bruit ponctuel, surtout industriel, elle permet de calculer l'atténuation du son lors de sa propagation à l'air dans le but de prédire l'effet des sources non routier, sur leur environnement (ISO 9613-2, 1996).

### VI\_2\_6 Propriétés du calcul

Les conditions météorologiques pour tous les calculs sont présentées dans le tableau 34 :

Tableau 34 : les conditions météorologiques. (Auteur).

Température	Humidité relative	Pression atmosphérique
20c	70%	101325.00 Pa

Lors des calculs, la résistance du sol, la présence de végétation, les conditions météorologiques et la présence d'écrans sont prises en compte. La modélisation des formes urbaines a été réalisée directement avec l'interface graphique du logiciel, en utilisant des images satellitaires comme support graphique.

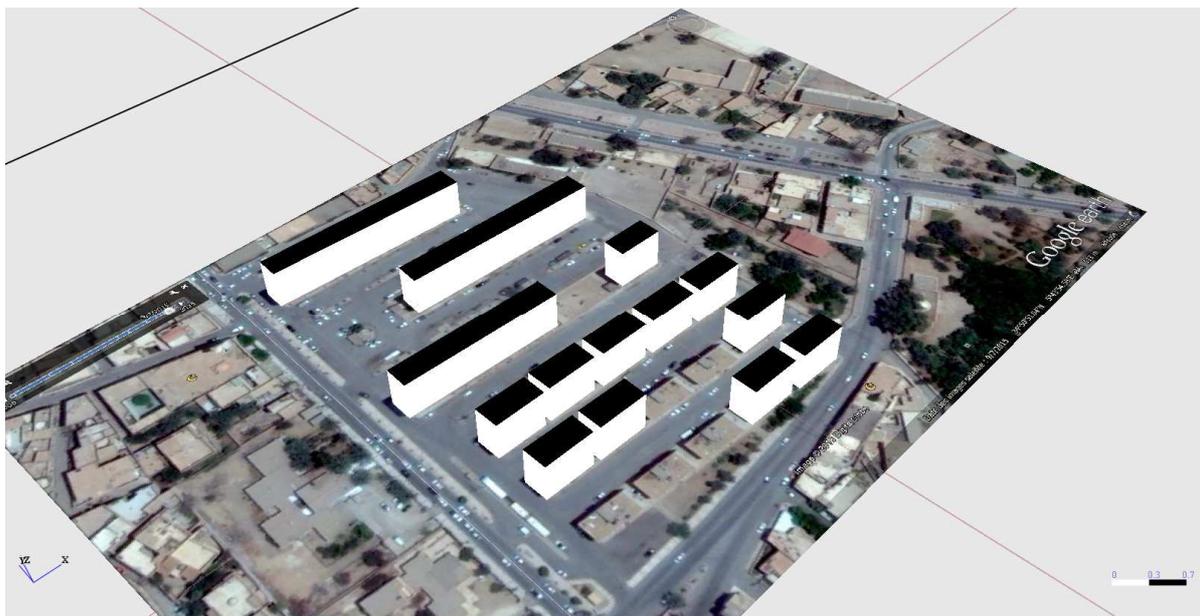
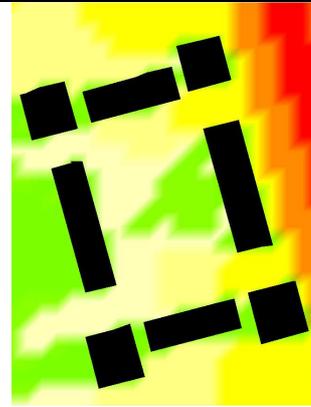
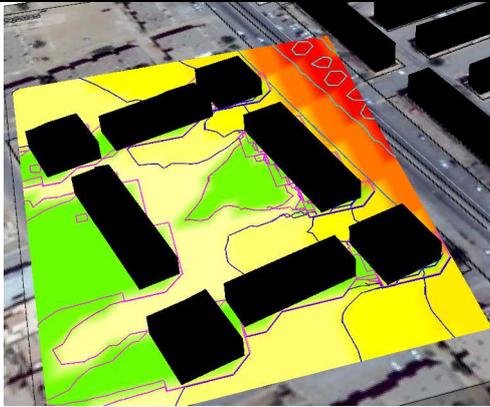


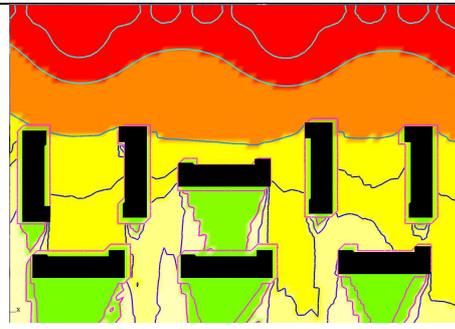
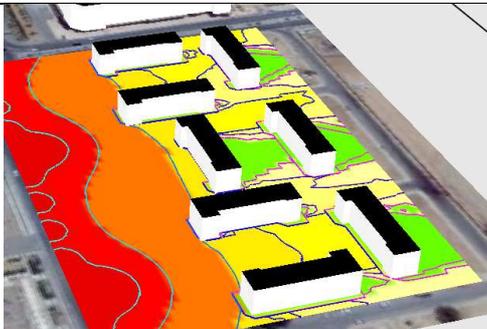
Figure VI-6 : Modélisation (3D) des formes urbaines. (Auteur).

VI\_2\_7 Cartes sonores

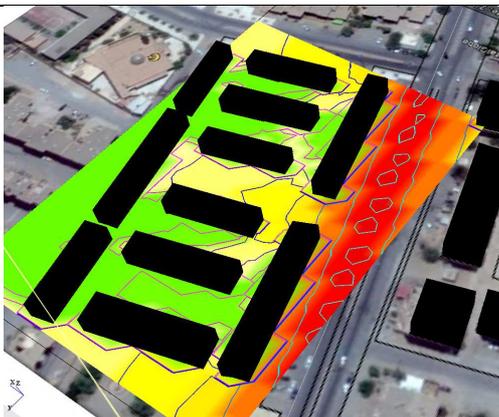
Tableau 35 : Cartes du bruit (Noise maps). (Auteur).



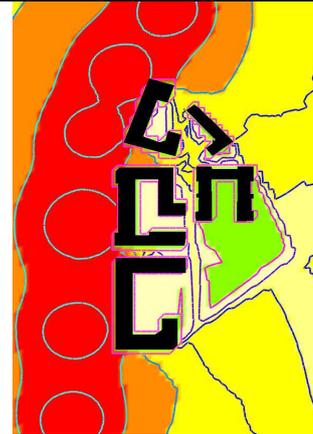
(1)



(2)



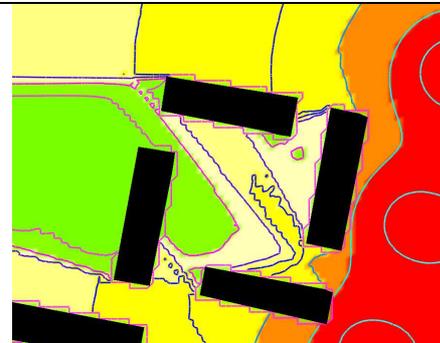
(3)



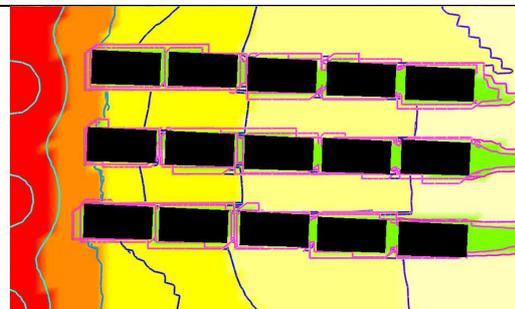
(4)



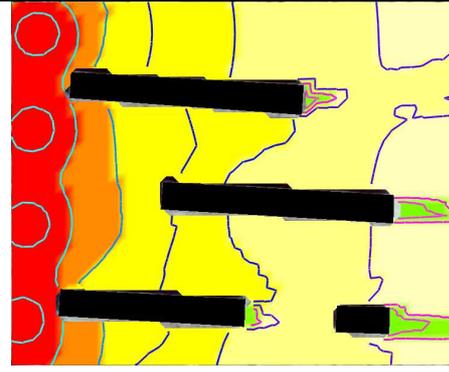
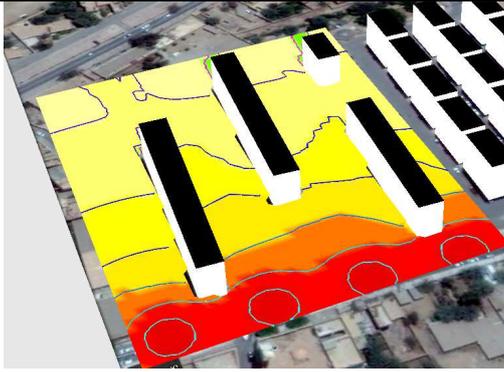
(5)



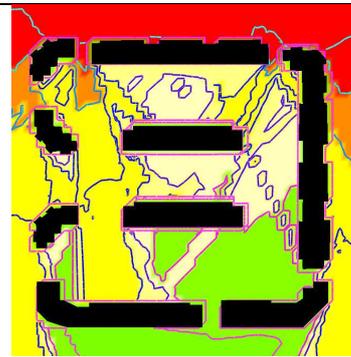
(6)



(7)



(8)



(9)



(10)

## VI\_2\_8 Analyse des résultats

### VI\_2\_8\_1 L'effet de la morphologie urbaine sur le noisescap

Dans cette étude, l'analyse des cartes de bruit est basée sur le pourcentage d'exposition. Chaque carte sonore a été divisée en trois zones A, B et C selon l'intensité sonore, voir tableau 36.

Tableau 36 : niveau d'exposition. (Auteur).

Zone	L <sub>day</sub> dB (A)	classification
Zone A	> 50	sous-exposée - acceptable
Zone B	65_50	Zone intermédiaire
Zone C	> 65 dB	Surexposée - inacceptable

Le résultat des calculs du pourcentage d'exposition pour les dix quartiers par rapport à l'espace extérieur total (sans le bâti) est présenté dans le tableau 37.

Tableau 37 : Pourcentage d'exposition par zones. (Auteur).

Quartier	Zone A %	Zone B %	Zone C %
(1)	43.53	50.1	6.37
(2)	24.61	55.99	19.40
(3)	78.10	24,37	3.26
(4)	55.53	30.75	13.72
(5)	41.26	43.92	14.82
(6)	46.65	36.63	13.72
(7)	8.40	74.60	16.98
(8)	4.70	74.14	21.16
(9)	24.28	58.27	17.45
(10)	58.87	20.64	23.49

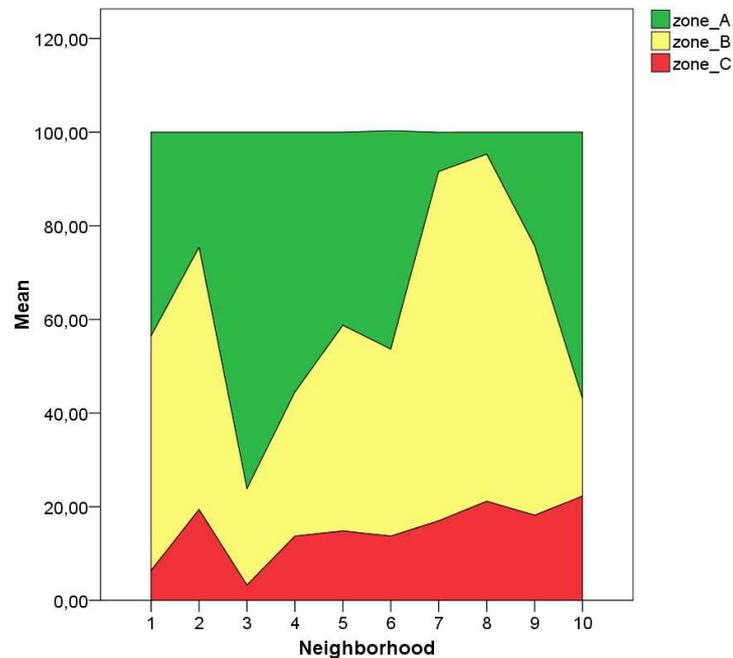


Figure VI-7 : Pourcentage d'exposition par zone. (Auteur).

Il ressort du tableau 37 et de la figure VI-7 que chaque tissu urbain est différent par son noisescap des autres, cela signifie qu'il existe une forte relation entre le tissu urbain et la distribution du bruit de la route.

Il est à noter que les quartiers les plus protégés d'après cette étude sont: le quartier n 3 (figure VI-7) avec un pourcentage de zone A qui dépasse 75% de la surface totale, puis, les quartiers n 10 et 4 avec un pourcentage de zone A supérieur à 55%. Tandis que les quartiers les plus exposés sont le quartier n 2, n 7 et n 8 avec un pourcentage de zone C entre 14 et 21% de la surface de l'espace extérieur.

Nous notons à travers ces données, que le plus faible pourcentage des Zones C et les plus élevés pourcentage des Zones A, sont marquées principalement dans les quartiers avec une forme centralisée. Voir figure VI-8

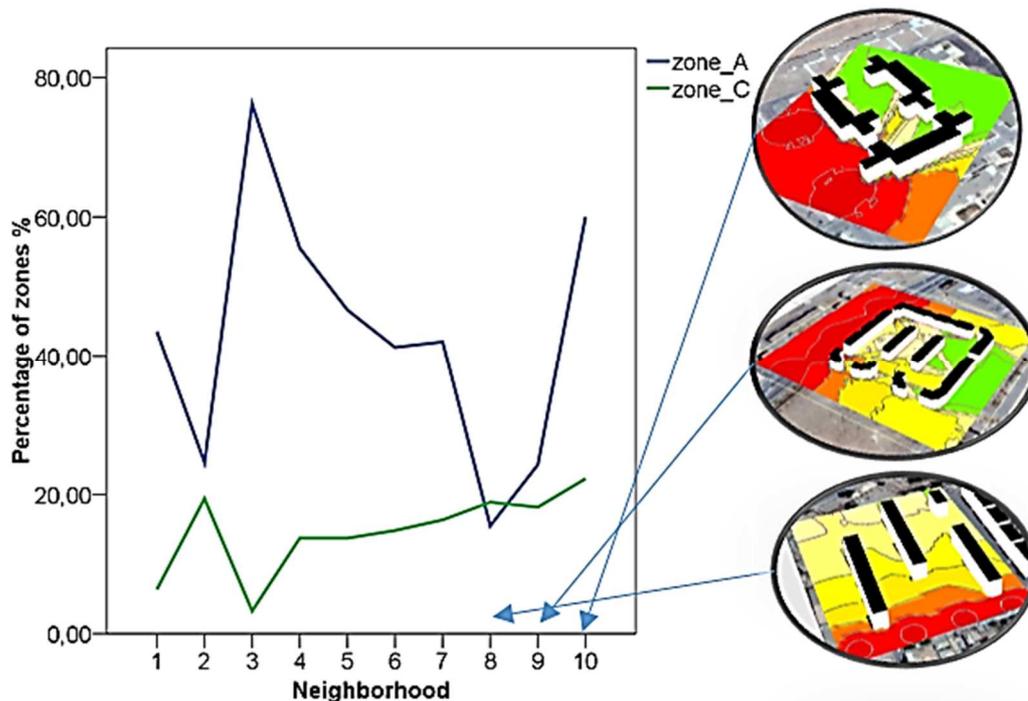


Figure VI-8 : Pourcentages de zone A et C dans chaque quartier. (Auteur).

## VI \_ 2 \_ 8 \_ 2 La corrélation entre les indices morphologiques et le noisescap.

Pour définir la relation entre les indicateurs quantitatifs du tissu urbain et la distribution du bruit routier, des tests de corrélations de Pearson ont été réalisés à l'aide du logiciel de statistique SPSS entre les zones surexposées (C) et sous-exposées (A) d'un côté et les caractéristiques morphologiques : densité, compacité, et porosité d'un autre côté. Les résultats sont présentés dans le tableau 38.

Tableau 38 : Résultat du test de corrélation de Pearson. (Auteur).

zone	Pearson Correlation	porosité	densité	Compacité
Zone A	Pearson Correlation	-,703(**)	,758(**)	,820(*)
	Sig. (2-tailed)	,003	,010	,017
	N	10	10	10
Zone C	Pearson Correlation	,762(**)	-,728(**)	-,880(*)
	Sig. (2-tailed)	,005	,002	,022
	N	10	10	10

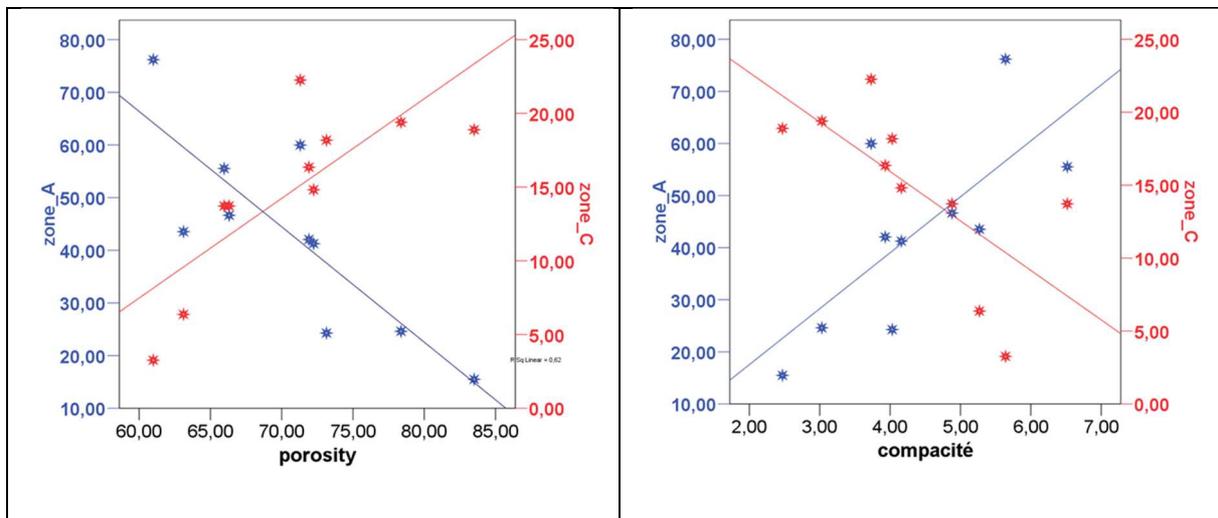
\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Selon la valeur de sig (P) (Howitt et Cramer, 2003), nous pouvons déduire ce qui suit :

1. La présence d'une très forte relation négative entre la zone A et la porosité du tissu urbain.
2. La présence d'une très forte relation positive entre la zone A d'un côté et la densité et la compacité du tissu urbain de l'autre côté.
3. La présence d'une relation inverse entre les zones A et C.

Les diagrammes de dispersion de la figure VI-9 résument les résultats de la corrélation de Pearson.



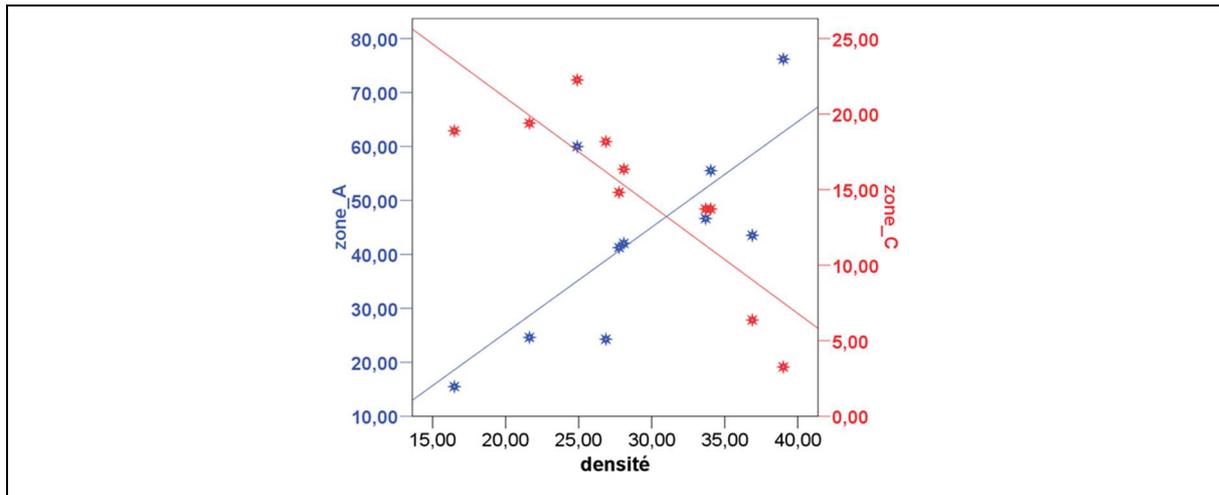


Figure VI-9 : Diagrammes de dispersion (Auteur).

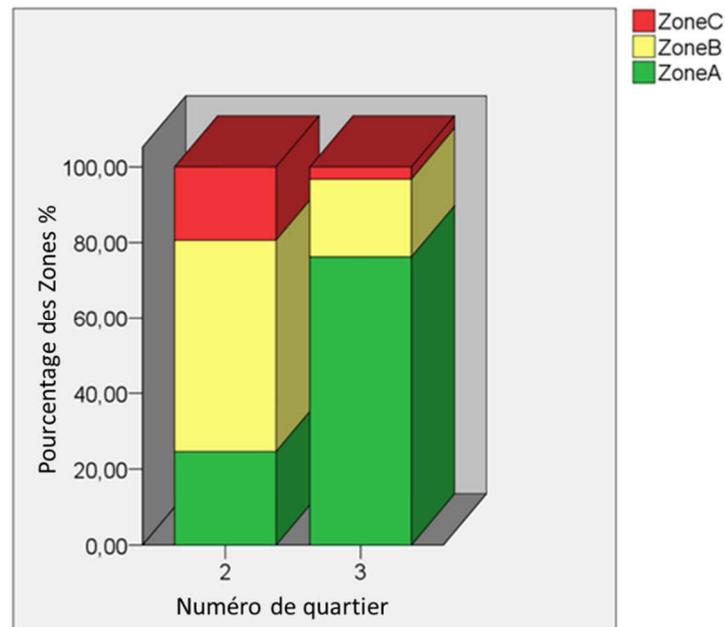


Figure VI-10 : Zonage d'exposition pour le quartier 500 et 200 logements. (Auteur).

### VI\_2\_9 Discussion et analyse des résultats

Il est clair que la répartition du bruit de la route et le pourcentage des zones A et C sont principalement liés aux indicateurs physiques du tissu urbain.

Nous constatons que, à mesure que la porosité augmente, la surface de la zone C augmente également, en revanche la surface de la zone A diminue. Ceci est dû à l'augmentation de la perméabilité du tissu urbain présentée par les vides entre les bâtiments qui servent de canaux sonores, ce qui permet de pénétrer une grande quantité de rayons sonores qui vont s'approfondir dans le tissu urbain.

La densité est le rapport de la surface construite sur la surface totale, plus la densité est élevée, plus la présence d'obstacles à la propagation des ondes sonores dans l'environnement urbain est importante, donc la possibilité de former des zones protégées est plus grande, ce qui explique la relation linéaire croissante entre la densité et la zone A. Par contre, la croissance de la densité réduira la surface de la zone C surexposée.

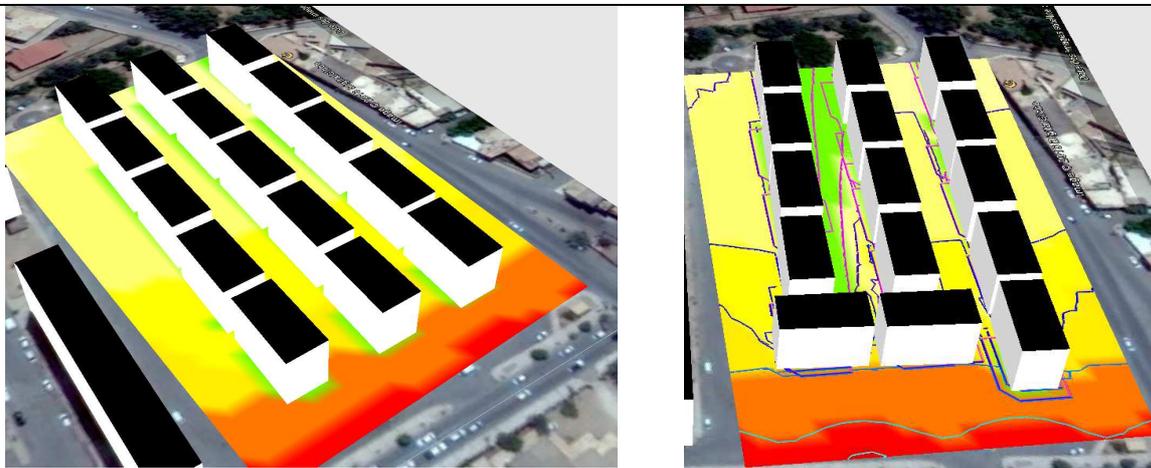
La compacité nous permet de définir la densité du tissu en trois dimensions, il est clair d'après les résultats de cette partie que l'effet de la compacité sur la répartition du bruit de la route est similaire à celui de la densité urbaine. Plus la compacité de tissu est élevée, plus la présence d'obstacles face à la propagation des ondes sonores dans la zone urbaine est importante, ce qui entraîne une augmentation en pourcentage des zones protégées (zone A), et, une réduction du pourcentage des zones surexposées (zone C) dans le tissu urbain.

D'autres caractéristiques morphologiques peuvent affecter aussi la distribution de bruit routier au sein des tissus urbains. Nous pouvons citer entre autres :

#### VI \_ 2 \_ 9 \_ 1 Orientation des bâtiments

L'orientation des bâtiments, en particulier ceux qui sont en bord de routes, affecte l'intensité et la répartition sonores au sein des quartiers, en raison de l'effet des bâtiments « protecteurs » qui jouent le rôle des écrans antibruit sur le noyau des quartiers. Plus la superficie des façades face à la source du bruit (la route) est grande, plus la surface des aires protégées est importante.

Nous pouvons remarquer dans le cas des quartiers n8 et 7 que le choix d'orientation du bâti perpendiculairement aux voies mécaniques influence négativement sur la distribution de bruit routier et à la nature de noyau. Il en résulte des niveaux très élevés de pourcentage de Zone C par rapport aux autres quartiers où le bâti est parallèle aux voies.



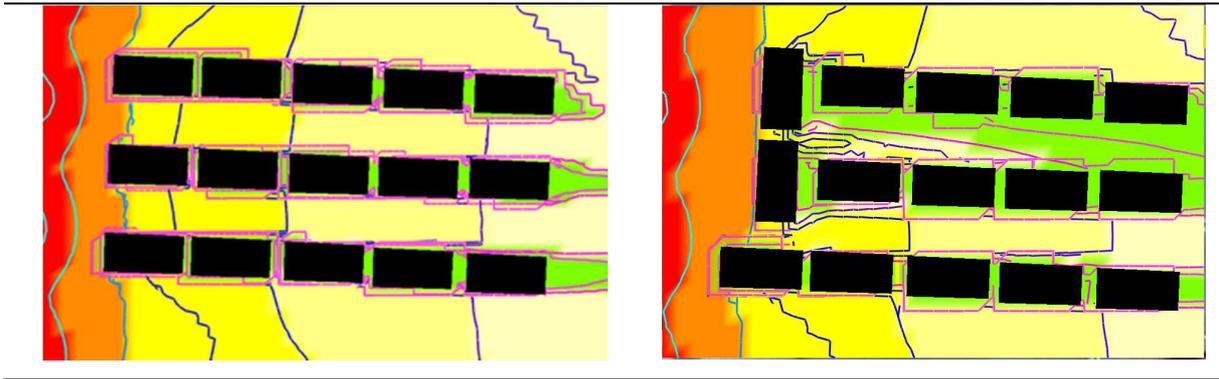


Figure VI-11 : Illustration l'effet de l'orientation des bâtiments protecteurs. (Auteur).

L'architecte a pu fournir, par un simple changement de l'orientation des deux bâtiments face à la route, un environnement sonore moins bruyant, compte tenu d'autres contraintes, bien sûr, comme conditions météorologiques voir figure VI-11.

### VI\_2\_9\_2 Hauteur des bâtiments

La hauteur des bâtiments a un impact très important sur la distribution de bruit à l'intérieur des quartiers comme nous pouvons l'observer dans l'illustration ci-dessous. En plus d'autres caractéristiques, tels que la nature des matériaux de construction, et les éléments des façades, la hauteur des bâtiments favorise également le phénomène de réflexion, ce qui augmente le niveau d'intensité sonore du côté de la route, surtout pour les rues en forme de U, par contre, elle assure une protection pour les zones se trouvant derrière ce type de bâtiments qui jouent le rôle des écrans anti bruit.



Figure VI-12 : Illustration de l'effet de la hauteur du bâtiment sur la propagation du son (hauteur réduite). (Auteur).

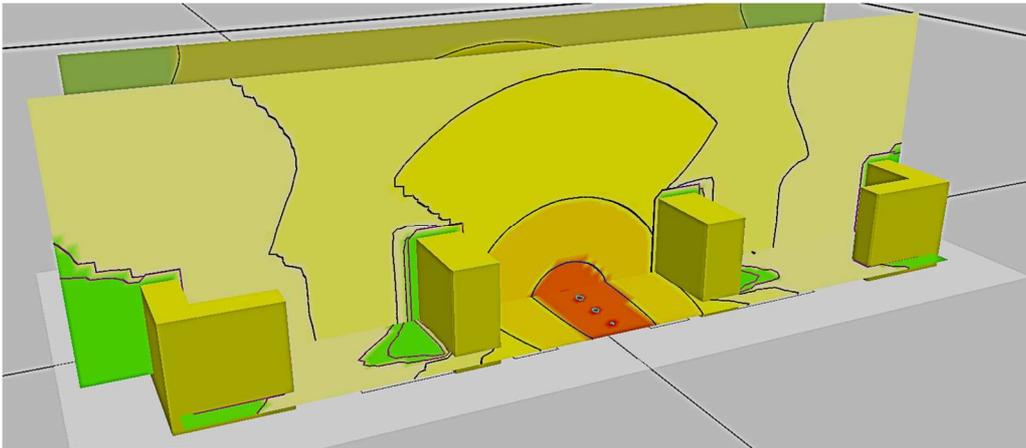


Figure VI-13 : Illustration de l'effet de la hauteur du bâtiment sur la propagation du son (hauteur importante). (Auteur).

### VI\_2\_9\_3 Distance entre la route et le quartier

Plus la distance entre la route et le quartier est grande, plus l'effet des deux phénomènes d'absorption atmosphérique et de résistance du sol est plus important, ce qui affaiblira l'énergie sonore dans ces quartiers.

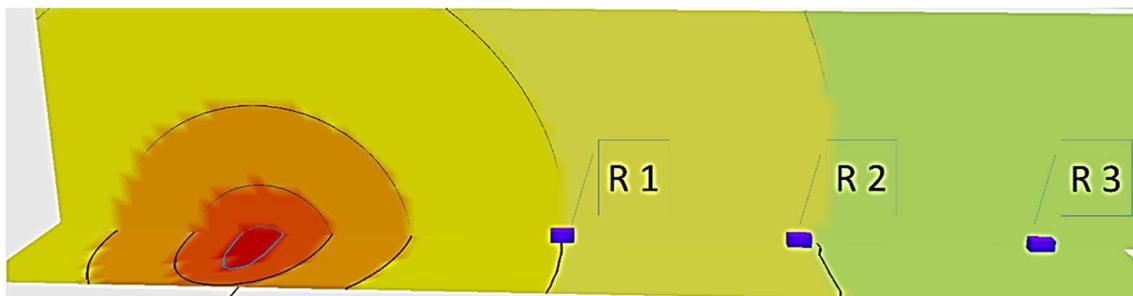


Figure VI-14 : Illustration de l'effet de l'éloignement de la source. (Auteur).

Dans le cas des sources sonores linéaires telles que les routes, nous pouvons avoir 3 dB de réduction d'intensité sonore à chaque doublement de distance entre la source et le récepteur. La protection contre le bruit par l'éloignement de la source peut être une solution efficace, mais il est presque impossible de l'appliquer dans les zones urbaines, à cause de plusieurs raisons, comme le coût foncier à titre d'exemple.

### VI\_3 Effets des caractéristiques morphologiques sur l'exposition des façades au bruit

#### VI\_3\_1 Niveau d'exposition des façades au bruit routier

L'objectif de la deuxième phase de cette partie a été de déterminer la relation entre les caractéristiques morphologiques des tissus urbains et l'exposition des façades au bruit routier.

##### VI\_3\_1\_1 Méthode expérimentale

Les cartes sonores obtenues dans la phase précédente sont utilisées pour déterminer la relation qui peut exister entre la morphologie urbaine et l'exposition des façades dans cette phase. Les façades sont classées selon leur exposition au bruit en trois grandes catégories, conformément au zoning prédéfini dans la première phase de cette étude (A, B, C).

Tableau 39 : les trois niveaux d'exposition des façades. (Auteur).

	Niveau d'exposition des façades	zone	Leq
F-zone A	Des façades sous-exposées au bruit	Zone A	> 50
F-zone B	Des façades exposées à des niveaux de bruit moyen	Zone B	65_50
F-zone C	Des façades surexposées au bruit	Zone C	> 65 dB

Nous avons calculé dans cette phase de recherche le pourcentage des façades surexposées et sous-exposées par rapport au périmètre total du bâti, au niveau du RDC (à la hauteur de 2 m) comme le montre l'illustration ci-dessous.

Tableau 40 : méthode de calcul de niveau d'exposition. (Auteur).

	F_Zone A (cm)	F_Zone B (cm)	F_Zone C (cm)	Périmètre total (cm)
	4650+895+3166	3953+887+2400+7000+895+5350	1800+880+161.5	32127,5
	Pourcentage par rapport Périmètre total			
F_Zone A %	F_Zone B %	F_Zone C %	Périmètre total %	
27.12	64.03	8.85	100	

### VI\_3\_2 Résultats du calcul

Le tableau 41 résume l'ensemble des résultats des calculs.

Tableau 41 : résultats des calculs de niveau d'exposition. (Auteur).

Quartier	F_Zone A %	F_Zone B %	F_Zone C %
1	48,72	24,41	26,87
2	32,38	59,43	8,19
3	71,34	14,20	14,46
4	60,55	18,45	21,00
5	20,94	42,54	36,52
6	40,53	40,00	19,47
7	8,22	30,36	61,42
8	11,53	68,58	19,89
9	25,11	45,03	29,86
10	54,75	18,63	26,62

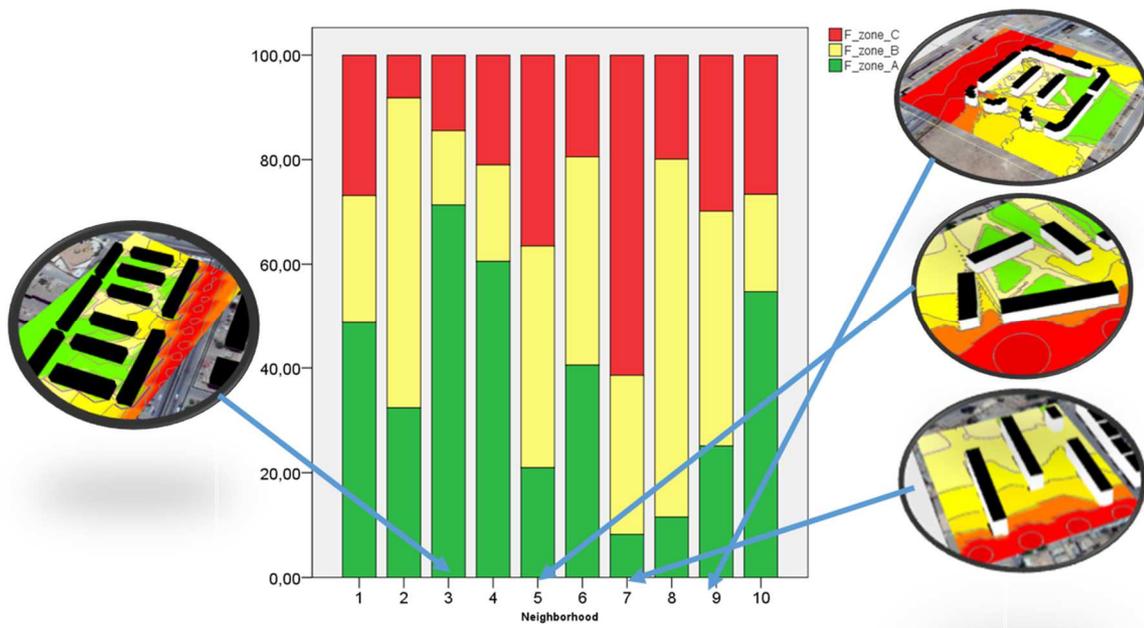


Figure VI-15 : Pourcentage des façades dans chaque zone. (Auteur).

Les résultats du calcul de pourcentage des façades dans chaque zone présentée dans le Tableau 41 et la figure VI-15 montrent que le niveau d'exposition des façades varie d'un tissu urbain à l'autre. Le pourcentage élevé des façades surexposées est marqué dans les quartiers 7, 5 et 9. Alors que le pourcentage élevé des façades sous-exposées est marqué dans les quartiers 3 et 4.

Afin de clarifier la nature de la relation entre les indicateurs physiques de la morphologie urbaine et l'exposition des façades dans chaque quartier, des tests de corrélation de Pearson ont été réalisés à l'aide de logiciel de statistiques SPSS, résultat dans tableau 42.

Tableau 42 : Résultat du test de corrélation Pearson

		Correlations								
		porosity	densité	compacité	zone_A	zone_B	zone_C	F_zone_A	F_zone_B	F_zone_C
porosity	Pearson Correlation	1	-,981**	-,895**	-,703*	,560	,762*	-,809**	,435	,635*
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,023	,092	,010	,005	,209	,049
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
densité	Pearson Correlation	-,981**	1	,916**	,758*	-,633*	-,728*	,765**	-,383	-,636*
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,011	,050	,017	,010	,275	,048
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
compacité	Pearson Correlation	-,895**	,916**	1	,820**	-,653*	-,880**	,766**	-,535	-,448
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,004	,041	,001	,010	,111	,194
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10

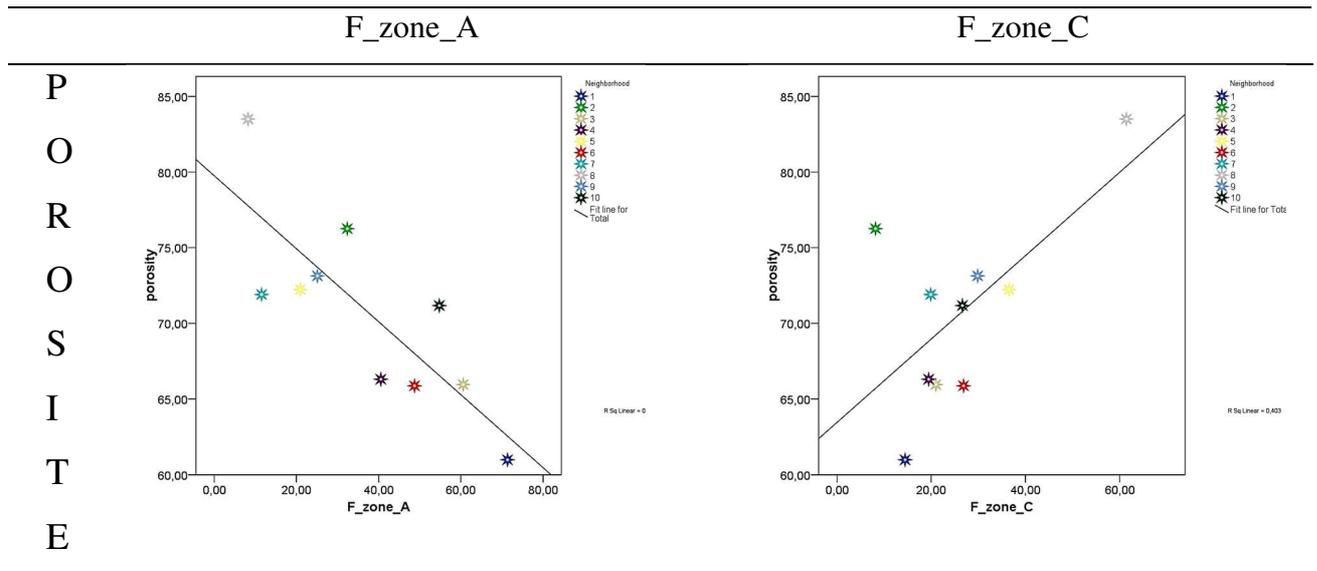
Selon la valeur de *sig* (*P*) on peut déduire ce qui suit :

- l'existence d'une relation très forte entre le pourcentage des façades à faible exposition (F\_Zone\_A) et les indicateurs physiques de la morphologie,

- l'existence d'une très forte relation croissante entre la F\_Zone\_A, la compacité et la densité du tissu urbain.
- l'existence d'une très forte relation décroissante entre la F\_Zone\_A, et la porosité du tissu urbain.

- l'existence d'une relation forte entre le pourcentage des façades surexposées (F\_Zone\_Z) et les indicateurs physiques de la morphologie, à l'exception de la compacité.

- l'existence d'une forte relation croissante entre la F\_Zone\_Z et la porosité du tissu urbain.
- l'existence d'une très forte relation décroissante entre la F\_Zone\_Z, et la densité du tissu urbain.



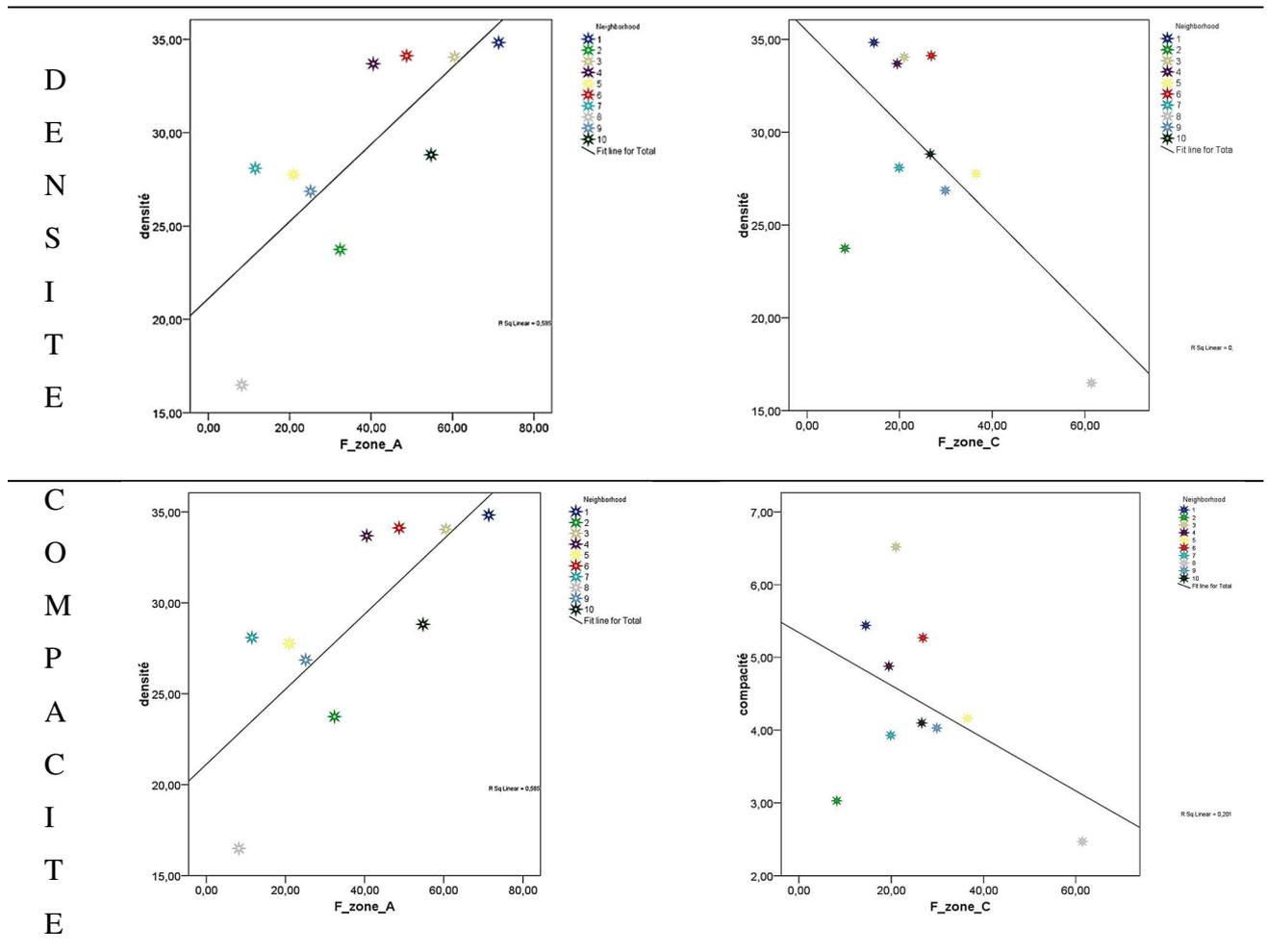


Figure VI-16 : Diagramme de dispersion. (Auteur).

### VI\_3\_3 Interprétation des résultats

Il est clair avec l'augmentation de la porosité, le vide entre les bâtiments augmente également, ce qui donne plus de liberté aux ondes sonores de se propager et de se fondre dans le tissu urbain donc atteindre les bâtiments à l'intérieur du quartier (zone calme). C'est ce qui explique la relation linéaire croissante entre le pourcentage des façades surexposées et la porosité du tissu urbain.

Par ailleurs, plus la densité et la compacité sont élevées, plus la présence d'obstacles face à la propagation de bruit dans le tissu urbain est assez importante, ce qui conduit à la formation d'aires protégées au sein des quartiers et à l'augmentation de pourcentage des façades protégées (F\_zone\_A).

Comme nous pouvons le voir dans le tableau suivant, il existe une relation linéaire directe et croissante entre la surface des zones protégées (Zone A) calculée dans la première phase de cette étude et le pourcentage des façades à faible exposition (F\_zone\_A), par contre, une forte relation négative est liée entre la Zone A et le pourcentage des façades surexposées (F\_zone\_Z).

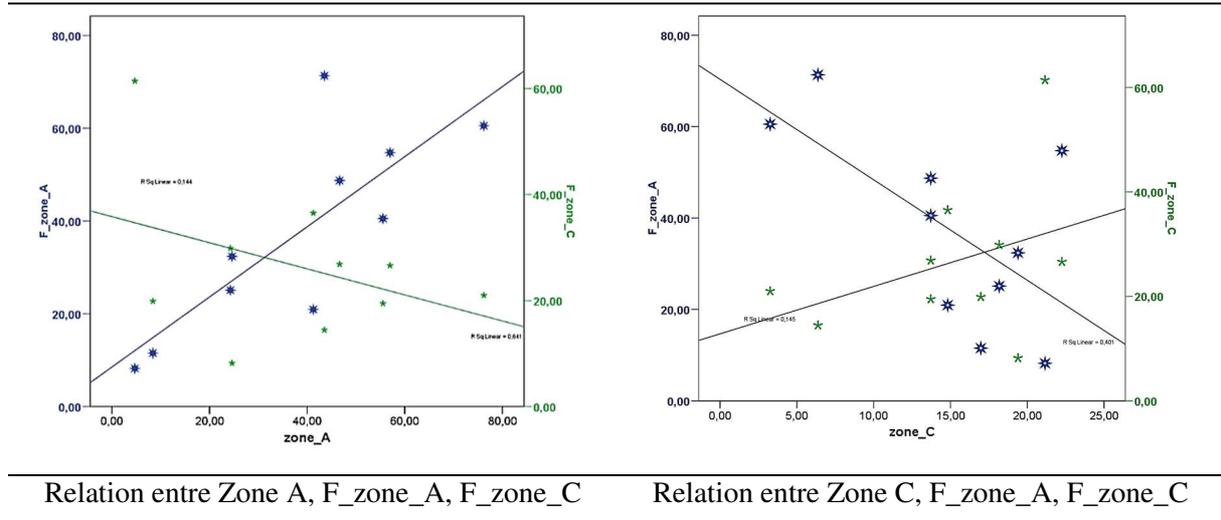


Figure VI-17 : Diagramme de dispersion. (Auteur).

D'autres caractéristiques morphologiques peuvent affecter aussi l'exposition des façades au bruit comme la disposition du bâti par rapport à la source de nuisance sonore, surtout routière, l'orientation et la hauteur des bâtiments.

#### VI\_4 L'effet de l'altitude de l'étage sur le niveau d'exposition

Dans cette deuxième phase, l'objectif a été de déterminer l'effet de la hauteur de l'étage sur le niveau d'exposition des façades au bruit, en se basant sur la méthode suivante.

##### VI\_4\_1 Méthode expérimentale

Deux points dans chaque quartier sont choisis aléatoirement afin d'évaluer et de comparer son niveau d'intensité sonore au niveau de RDC et de R + 3. En se basant sur l'output Spectre qui nous permet d'exporter pour ces récepteurs ponctuels le niveau d'intensité sonore globale ainsi que le niveau sonore pour chaque plage fréquentielle en dB A.

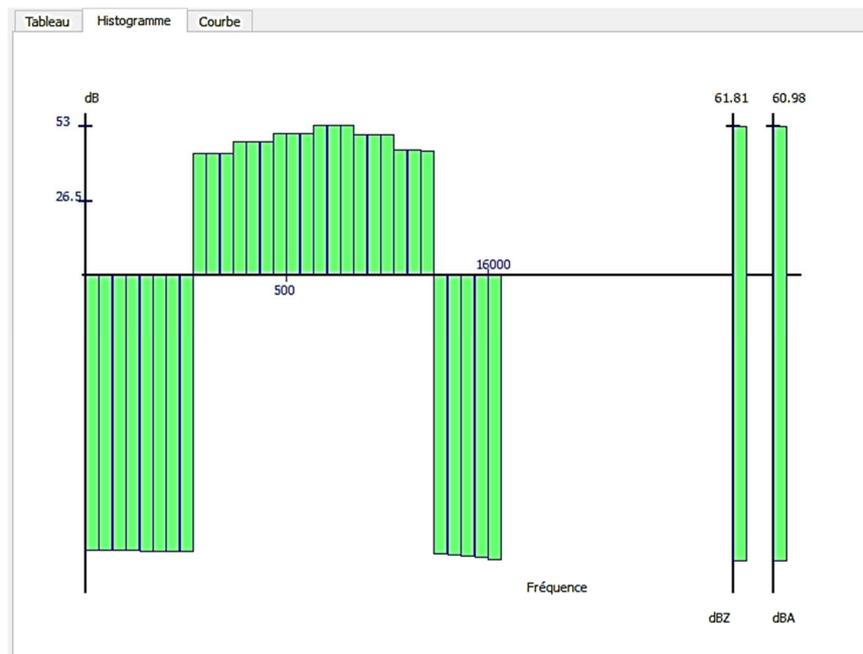


Figure VI-18 : Output spectre. (Auteur).

Le tableau ci-dessus représente la localisation des points étudiés.

Tableau 43 : la localisation des points étudiés. (Auteur).



(1)



(2)



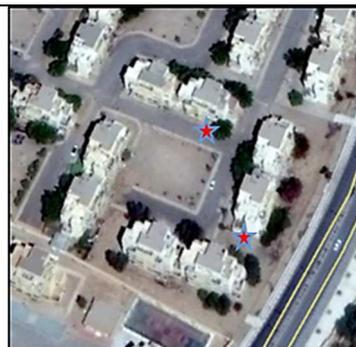
(3)



(4)



(5)



(6)



(7)



(8)



(9)



(10)

### VI\_4\_2 Résultats du calcul et analyse

Le tableau ci-dessus résume l'intensité sonore dans chaque point et pour les deux niveaux RDC et R+3

Tableau 44 : l'intensité sonore P1, P2 (Auteur).

P	Quartier	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
P1	RDC	67,1	67,1	66,1	70,5	51,6	62,9	62,4	61,29	51,8	71,5
	R+3	66,9	67,2	65,7	70,5	50,1	62,8	62,4	61,05	51,4	68,1
Rdc-R+3 (LdnA)		0.2	-0.1	0.4	0	1.5	0.1	0	0.24	0.4	3.4
P2	RDC	62,6	69.1	68,4	52,1	67,1	54,9	69,7	61,88	72,5	47,3
	R+3	62,4	69.0	67,8	51,9	67,2	53,1	68,6	61,67	71,5	48,2
Rdc-R+3 (LdnA)		0.2	0.1	0.6	0.2	-0.1	1.5	1.1	0.21	1	-0.9

Une très faible différence peut être observée entre l'intensité sonore au niveau de RDC et le R + 3, qui ne dépasse pas 1 dB, sauf pour le cas de quartier numéro 5 dans le point N 1, le quartier N 6 dans le point N 2 et le quartier N 10 dans le point N 1, où, la différence d'intensité sonore entre les deux niveaux dépasse 3 dB.

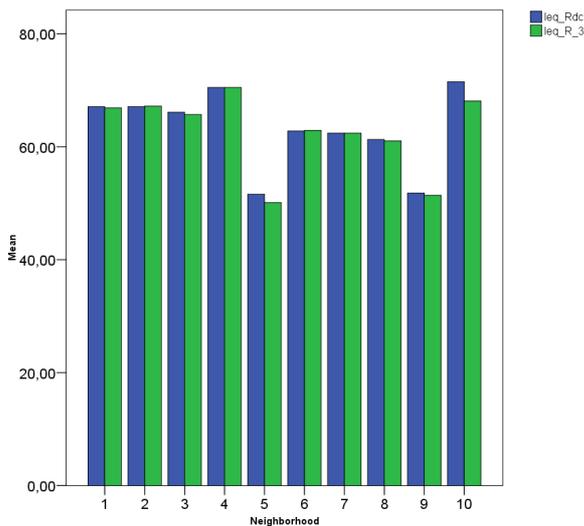


Figure VI-19 : l'intensité sonore p1 (RDC et de R+3). (Auteur).

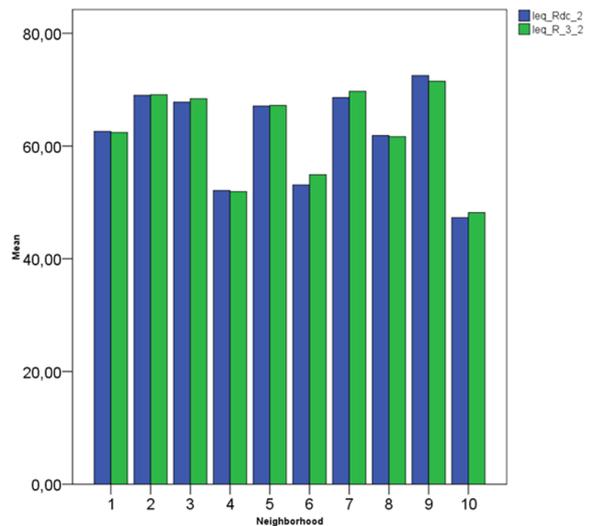


Figure VI-20 : l'intensité sonore p2 (RDC et de R+3). (Auteur).

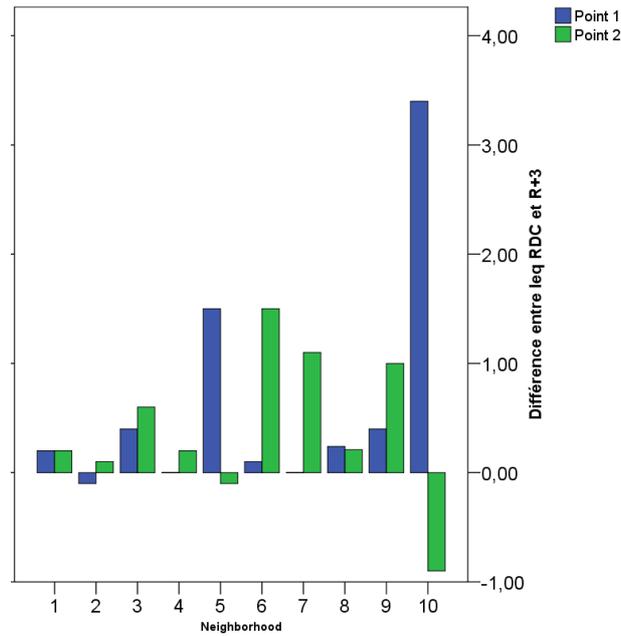


Figure VI-21 : La différence entre l'intensité sonore au niveau de RDC et de R+3 pour le P 1 et P2 (Auteur).

Comme le montre la figure VI-22, les ondes sonores de forme cylindrique provenant de la source routière (linéaire), affecte différemment sur les façades de différents étages.

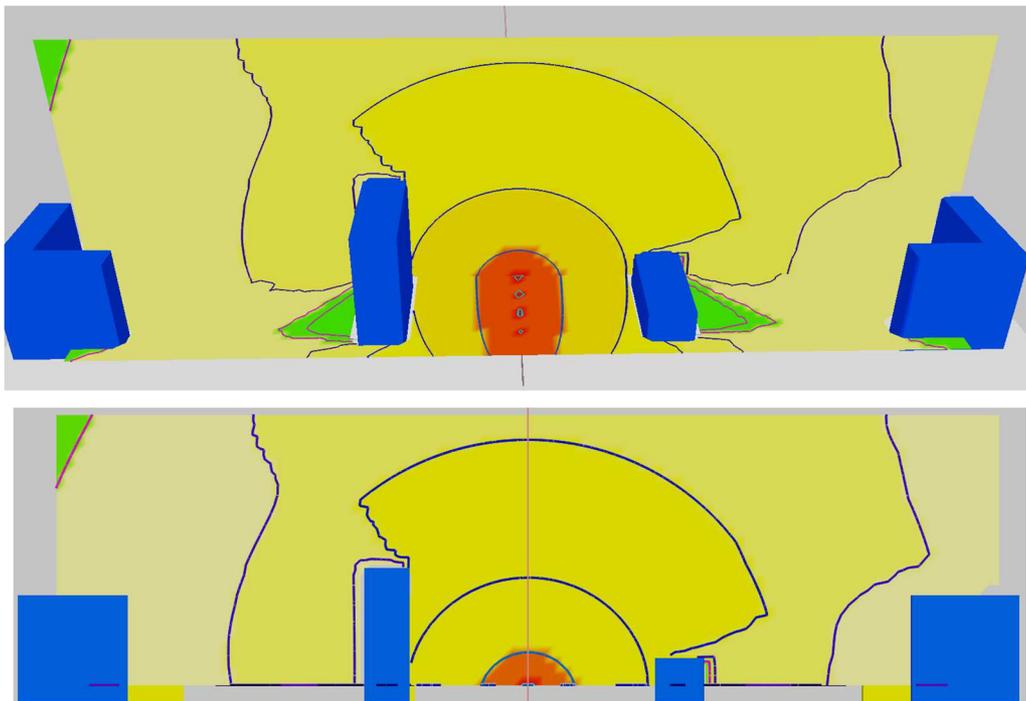


Figure VI-22 : Effet de la hauteur des façades sur la propagation de bruit routier (Auteur).

Avec l'augmentation de la hauteur des bâtiments, la surface des façades exposées au bruit augmente, en revanche, l'intensité sonore au niveau des façades diminue en fonction de la hauteur. Comme le montre le tableau 44, le niveau d'intensité sonore est un peu plus élevé

au niveau de RDC par rapport à R +3, une légère réduction de Leq calculé au niveau des façades a été marquée avec l'augmentation de la hauteur.

La protection et l'isolement des façades contre le bruit extérieur surtout routier est une étape très importante, que nous devons le prendre en considération dès les premières lignes d'esquisse afin d'assurer le confort des habitants. L'isolement des façades sera plus efficace s'il se base sur une analyse des cartes sonores.

### **VI \_ 4 \_ 3 Conclusion**

L'objectif de cette étude était d'examiner l'influence de la forme urbaine sur la propagation du bruit routier en croisant les résultats de l'analyse physico-morphologique des quartiers étudiés avec la distribution du bruit routier au sein des quartiers et au niveau des façades.

L'existence et l'importance de la relation entre les indicateurs physiques des morphologies urbaines et le noisescap est évidente selon les résultats de cette partie de recherche. La morphologie urbaine joue un rôle clé dans la qualité et la nature de notre environnement sonore. Il est donc important de tenir compte de la répartition du bruit de la route dans le tissu urbain avant la planification des espaces extérieurs et même l'organisation des espaces intérieurs des logements.

La cartographie sonore peut aider les concepteurs à bien déterminer les zones sensibles où il faut bien protéger et isoler les façades, et, déterminer d'autre part, les zones calmes où l'isolation des façades peut être moins intense.

Il est important de noter que cette étude a renforcé le classement de la compacité urbaine comme l'une des caractéristiques fondamentales d'une ville durable (Oliveira et Silva, 2011 ; André D, 2013) en raison de la forte relation linéaire croissante qui relie les zones protégées et la compacité urbaine.

Il convient de souligner également que l'utilisation de logiciels de prédiction du bruit extérieur dans la phase de conception est indispensable, car elle peut aider les concepteurs à avoir des morphologies urbaines avec des environnements sonores acceptables et contrôlés (Bouzir et Zemmouri, 2017).

## **Conclusion générale et perceptives**

Nous proposons, en guise de conclusion et de perspective, une relecture transversale de notre travail selon ces deux parties. Nous mettrons en évidence les principales conclusions dans un premier temps ainsi que les principales perspectives qui pourraient faire suite à cette étude.

Nous rappelons d'abord que l'objectif principal de ce travail de recherche était de caractériser par le biais des mesures d'intensité sonore, des enregistrements sonores et des simulations numériques l'impact de l'hétérogénéité morphologique sur les variations de l'intensité sonore ainsi que la distribution de bruit routier, qui est l'une des sources principales de la pollution environnementale.

Cette recherche, qui vise à étudier la relation entre la pollution sonore et la morphologie urbaine, a été divisée en deux grandes parties. Dans la première partie, nous avons réalisé une étude bibliographique axée sur les notions de base de l'acoustique et de la science des morphologies urbaines, ce qui a permis de souligner le rôle important des caractéristiques des tissus urbains sur les différents environnements et sur les ambiances urbaines notamment sonores.

Nous avons identifié aussi dans cette partie théorique les différents indicateurs physico-morphologique agissant sur la propagation sonore en milieu urbain ainsi que les principales méthodes d'étude et d'analyse de l'environnement sonore en focalisant sur les méthodes utilisées dans la deuxième partie de cette étude. Puis, nous avons concentré nos recherches documentaires sur la notion de la pollution sonore en détaillant les principaux outils de la lutte contre ce phénomène notamment en Algérie.

Ensuite, nous avons focalisés dans la deuxième partie pratique de ce travail, sur l'étude et l'analyse de l'état actuel de l'environnement sonore de la ville de Biskra en relation avec la nature des morphologies urbaines. Cette partie a été structurée en trois phases. Dans la première phase et après une évaluation objective de l'environnement sonore de la ville de Biskra, en effectuant une campagne de mesures in situ, nous avons constaté que le problème de la pollution sonore est très évident dans cette ville vis-à-vis des normes nationales et internationales.

D'autre part, nous avons noté que plus de 54.84 % des niveaux sonores mesurés en jours de semaine et 45 % des niveaux sonores mesurés les weekends dans la ville de Biskra ont dépassé la valeur maximale autorisée par la loi algérienne, donc ils sont pollués acoustiquement selon le décret 93-184. Alors qu'environ 90 % des valeurs mesurées en jours de semaine et 81 % durant les weekends ont des niveaux d'intensité sonore excessive qui dépassent les niveaux acceptés par les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (55 dB).

Par ailleurs, nous avons constaté d'après les résultats alarmants de la campagne de mesure effectuée au niveau des principaux jardins publics de la ville de Biskra, que la situation des environnements sonores de ces derniers n'est pas meilleure que celle du reste de la ville. Car les niveaux des intensités sonores mesurés dépassent toutes les limites proposées dans les recommandations nationales et internationales.

Dans la deuxième phase, et après l'évaluation subjective de l'environnement sonore de cette ville à l'aide d'un questionnaire, nous avons déduit que la perception des habitants quant à la qualité de ses paysages sonores est conforme aux résultats d'évaluation objective qui se base principalement sur les mesures in situ et qui indique que la ville de Biskra souffre gravement d'un problème de pollution sonore dans la majorité de ses entités urbaines. Ce phénomène est dû principalement au niveau élevé de l'intensité sonore, qui est d'une origine mécanique résultant de fort trafic routier. De plus, nous avons bien déterminé statistiquement à l'aide des tests de corrélation de Pearson, l'existence d'une forte relation entre les composants des paysages sonores, le classement du Schäfer ainsi que l'intensité sonore mesurée in situ, et le jugement des usagers de cette ville, ce qui valide nos résultats.

D'autre part, et après la focalisation de notre étude dans la troisième phase de la partie expérimentale, sur l'effets des indicateurs physico-morphologiques sur la distribution de bruit routier, qui est la source majeure de la pollution sonore dans la ville de Biskra et d'après les résultats de la phase I et II, nous avons constaté que les caractéristiques physiques des tissus urbains telle que la densité, la compacité, l'orientation et la hauteur du bâti ont un effet important sur la nature des environnements sonores, qui ne peut être négligé lors des conceptions urbaines, car elles affectent la distribution de bruit routier (le noisescap), donc la qualité de vie.

En outre, cette recherche a fait ressortir que l'utilisation des logiciels de prédiction du bruit extérieur dès les premières phases de conception est indispensable, car elle peut aider les concepteurs à avoir des morphologies urbaines avec une exposition au bruit acceptable et bien contrôlée.

L'approche présentée dans cette thèse ouvre de nouvelles perspectives de recherche, où nous pouvons citer entre autres :

- Le développement d'un outil numérique (interface interactive), afin de faciliter la réalisation des enquêtes sur l'évaluation de la qualité des paysages sonores ainsi que le traitement des données.

- La prise en compte de la qualité du paysage visuel, lors de l'évaluation de la qualité du paysage sonore, pour déterminer les effets de la vue de l'observateur sur le jugement des pistes sonores.
- L'évaluation de la pollution sonore dans la présente recherche a été limitée par les capacités de nos instruments de mesure. Il est intéressant de ré-effectuer cette évaluation par l'utilisation d'autres indicateurs sonores tels que le L50%, le L90 %, L10% et le  $leq_{24H}$ , afin de comparer la différence entre ces indicateurs et constituer une riche base de données qui peut être une référence pour les autorités locales et nationales, les étudiants, les bureaux d'étude et les travaux de recherche.
- L'évaluation de qualité de soundscape en utilisant la méthode de la promenades sonores dans des parcours urbains qui correspondent aux différentes entités morphologiques existant à Biskra afin de déterminer la sensation des usagers pendant leur déplacement dans la ville et renforcer l'évaluation faite dans des points fixes dans cette étude.
- L'élaboration d'une carte sonore de la ville de Biskra afin de localiser les zones surexposées et sous-exposées au bruit, ce qui permet d'estimer le taux d'exposition des habitants et des espaces sensibles au bruit, comme les hôpitaux et les écoles, et de déterminer les principales sources du nuisance sonore dans cette ville.
- La recherche sur la relation entre la pollution sonore et les autres indicateurs physico morphologiques, telles que la largeur des rues mécaniques, le pourcentage des rues mécaniques par rapport à la surface totale du quartier, le prospect de la rue, le type de pavage et des matériaux de construction, la présence des feux rouges et des ralentisseurs de vitesse ...etc. Ce type d'études nous permettrons de mieux comprendre la relation entre la distribution de bruit routier et la morphologie urbaine afin de chercher la morphologie urbaine qui répond le mieux au nouveau défi urbain qu'est la pollution sonore.



# Références

**Référence**

- Aalok, w., harsha B. (2002). Work and Energy Science. Encylopaedia Britannica.p 95.
- Adams, M. D., Bruce, N. S., Davies, W. J., Cain, R., Jennings, P., Carlyle, A., ... & Plack, C. (2008). Soundwalking as a methodology for understanding soundscapes.
- Adeline M. (2013). La qualité de l'aménagement des voiries, un des facteurs de reconquête des espaces publics de centre bourg : analyse d'aménagements de références au cœur des traversées de petites et moyennes communes. Sciences agricoles.
- Adeline Mazars. La qualité de l'aménagement des voiries, un des facteurs de reconquête des espaces publics de centre bourg : analyse d'aménagements de références au cœur des traversées de petites et moyennes communes. Sciences agricoles. 2013.
- Adolphe, L. (2001). A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environment and planning B: planning and design*, 28(2), 183-200.
- Adolphe, L. (2001, August). Modelling the link between built environment and urban climate: towards simplified indicators of the city environment. In *Seventh International IBPSA Conference* (pp. 13-15).
- Agarwal, S. K. (2005). Noise pollution. New Delhi, India: A.P.H. Publishing Corporation. P9
- AGENCE FRANCAISE DE NORMALISATION. Acoustique : Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement. NF S 31-010. Paris: AFNOR, 1996, p15, 48.
- AGENCE FRANCAISE DE NORMALISATION. Acoustique : Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier. NF S 31-085. Paris : AFNOR, 2002, 50p.
- Ahnert, W., & Steffen, F. (2000). Sound reinforcement engineering: Fundamentals and practice. CRC Press. P40
- Alain Remy, Morphologie urbaine, géographie, aménagement et architecture de la ville, Paris, éditions Armand Colin/ Sejer, 2004, p. 5.
- Aletta, F., & Kang, J. (2015). Soundscape approach integrating noise mapping techniques: a case study in Brighton, UK. *Noise Mapp*, 2, 1-12.
- Al-Ghonamy, A. I. (2009). Assessment of traffic noise pollution in Al-Khobar, a typical city in the Kingdom of Saudi Arabia. *Scientific Journal of King Faisal University (Basic and Applied Sciences)*, 10(1), 1430.
- Al-Ghonamy, A. I. (2010). Analysis and evaluation of road traffic noise in Al-Dammam: A business city of the eastern province of KSA. *Journal of Environmental Science and Technology*, 3(1), 47-55.
- Amin, N., Sikder, I., Zafar, M. A., & Chowdhury, M. A. I. (2014). Assessment of noise pollution of two vulnerable sites of Sylhet city, Bangladesh. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 6(3), 112-120.

- Amphoux, P. (1997). Paysage sonore urbain, introduction aux écoutes de la ville (+ CD). Lausana, IREC–EPFL/Grenoble, Cresson–EAG. p3
- Amphoux, P. (2003). L'Identité sonore urbaine. Une approche méthodologique croisée. in : G. Moser & K. Weiss (ed.) *Espaces de vie : aspects de la relation homme environnement*. Paris : Armand Colin.
- Amphoux, P., (2001). Le temps du paysage sonore, quelques critères d'analyse. In : D. Romano & R. Sabatini, (ed.). *I Tempi del Paesaggio, Atti del workshop tenuto nel Parco di Villa Demidoff, Pratolino, il 22 settembre 2000 Firenze : Centro di Documentazione Internazionale sui Parchi Provincia di Firenze*. p. 9-15
- Ananian, P. (2010). La production résidentielle comme levier de la régénération urbaine à Bruxelles. Bruxelles : Presses universitaires de Louvain. P51.
- André D. Comment l'écologie vient à la ville en méditerranée ? Une comparaison entre Barcelone, Marseille et Sfax. *Environnement Urbain / Urban Environment [En ligne]*, Volume 7;2013.
- Andrieu, B. (2016). L'écologie corporelle. Paris : L'Harmattan. P 12
- Antoni J.P., 2013, L'ambition de modéliser la ville. In : Brun G. (ss. dir.), *Ville et mobilité. Nouveaux regards*, Economica, Coll. Méthodes et approches, pp. 227-238.
- Arana, M., San Martín, R., Nagore, I., & Pérez, D. (2009). Using noise mapping to evaluate the percentage of people affected by noise. *Acta Acustica united with Acustica*, 95(3), 550-554.
- Astex J, Celeste P, Panerai P. (1980). "Lecture d'une ville : Versailles, Paris", *Le Moniteur*.149, 150.
- Augoyard, J. F. (2001). L'entretien sur écoute réactivée. M. GROSJEAN y JP.
- Augoyard, Jean-François. L'entretien sur écoute réactivée. In : GROSJEAN Michèle, THIBAUD Jean-Paul (éds). (2001). *L'espace urbain en méthodes*. Marseille : Editions Parenthèses, pp.127-153.
- Axelsson, Ö. (2015, June). How to measure soundscape quality. In *Proc. Euronoise Conf., Maastricht, The Netherlands, 31 May* (pp. 1477-1481).
- Axelsson, Ö., Nilsson, M. E., & Berglund, B. (2010). A principal components model of soundscape perception a. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), 2836-2846.
- Babisch, W. (2000). Traffic noise and cardiovascular disease: epidemiological review and synthesis. *Noise and health*, 2(8), 9.
- Babisch, W. (2008). Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise and Health*, 10(38), 27.
- Balaý, O. (2003). Les chorographies de l'urbanité sonore. *Géocarrefour*, 78(2), 159-165.

- Balazs, P., Noll, A., Deutsch, W., Laback, B. (2000): Concept of the integrated signal analysis software system STx, in: Jahrestagung der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft 2000, ÖPG 2000.
- Ballou, G. (2013). Handbook for sound engineers. Taylor & Francis. P280
- Banerjee, D., Chakraborty, S. K., Bhattacharyya, S., & Gangopadhyay, A. (2009). Appraisal and mapping the spatial-temporal distribution of urban road traffic noise. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 6(2), 325-335.
- Banihani, Q., & Jadaan, K. S. (2012). Assessment of road traffic noise pollution at selected sites in Amman, Jordan: Magnitude, control and impact on the community. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 6(2), 267-78.
- Barclay, M., Kang, J., & Sharples, S. (2012). Combining noise mapping and ventilation performance for non-domestic buildings in an urban area. *Building and Environment*, 52, 68-76.
- Barron, R. F. (2002). Industrial noise control and acoustics. CRC Press. P 42
- Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., & Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925), 1325-1332.
- Battersby, S. (Ed.). (2016). Clay's handbook of environmental health. Routledge. P 880
- Baukal, C. E. (Ed.). (2003). Industrial burners handbook. CrC press. p266, 263, 149
- Benson, H., Lachance, M., Séguin, M., Villeneuve, B., & Marcheterre, B. (2015). Physique: 3. Louvain-la-Neuve: De Boeck supérieur. P 288
- Berger, Elliott H. 2003. The noise manual. Aiha.p27, 54
- Berglund B, Lindvall T, Schwela DH. Adverse health effects of noise. In: Guidelines for Community Noise. Geneva: WHO; 1999. p. 21-36
- Bertet, S., Daniel, J., Gros, L., Parizet, E., & Warusfel, O. (2006, April). Evaluation de systèmes d'encodage ambisonique aux ordres supérieurs. In 8ème Congrès Français d'Acoustique.
- Berkouk, D., & Mazouz, S. (2017). Numerical study of the horizontal shading devices effect on the thermal performance of promotional apartments: Case of El-Alia-Biskra Étude numérique de l'effet des dispositifs d'ombrage horizontaux sur la performance thermique des logements promotionnels: cas d'El-Alia-Biskra. *J. Appl. Eng. Sci. Technol*, 3(1), 21-27.
- Berkouk, D. (2017). Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif: Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Beznosiuk, A. (2017). De la prise de son à la diffusion: mystères et mécanique de la perspective sonore. *Entrelacs. Cinéma et audiovisuel*, (13).

- Botteldooren, D., De Coensel, B., & De Muer, T. (2006). The temporal structure of urban soundscapes. *Journal of sound and vibration*, 292(1), 105-123.
- Boubezari, M., & Coelho, J. L. B. (2012, September). La topographie du paysage sonore-Un outil descriptif et prédictif des ambiances sonores. In *Ambiances in action/Ambiances en acte (s)-International Congress on Ambiances, Montreal 2012* (pp. 247-252). International Ambiances Network.
- Bourdin, A. (2003). Urbanisme et quartier. Ce que nous apprend Paris Rive gauche (No. 41, pp. 137-148). Ministère de la culture/Maison des sciences de l'homme.
- Bouzir, T. A. K., & Zemmouri, N. (2017). Effect of urban morphology on road noise distribution. *Energy Procedia*, 119, 376-385.
- Bouzir, T. A. K., & Zemmouri, N. (in press). Evaluation of the sound environment of the city of Biskra (Algeria). *Journal of Applied Engineering Science and Technology*.
- Boyes, W. (2010). Instrumentation reference book. Amsterdam: Butterworth-Heinemann/Elsevier. P 601
- Boyes, W. (Ed.). (2009). Instrumentation reference book. Butterworth-Heinemann. P 619
- Brambilla, G., Gallo, V., Asdrubali, F., & D'Alessandro, F. (2013). The perceived quality of soundscape in three urban parks in Rome. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(1), 832-839.
- Brinkmann, F., Lindau, A., Vrhovnik, M., & Weinzierl, S. (2014). Assessing the authenticity of individual dynamic binaural synthesis.
- Brocolini, L., Lavandier, C., Quoy, M., & Ribeiro, C. (2013). Measurements of acoustic environments for urban soundscapes: Choice of homogeneous periods, optimization of durations, and selection of indicators. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(1), 813-821.
- Bromberger, C., & Morel, A. (2001). *Limites floues, frontières vives: des variations culturelles en France et en Europe* (Vol. 17). Éditions de la Maison des sciences de l'homme. P313
- Brown, A. L. (2015). Effects of road traffic noise on health: From burden of disease to effectiveness of interventions. *Procedia Environmental Sciences*, 30, 3-9.
- Brumm, H. (2004). The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology*, 73(3), 434-440.
- Bruno VINCENT, Vincent GISSINGER. Mai 2011. Les effets du bruit sur la santé, Synthèse documentaire acouité
- Carolina S. Gusson, Denise H. S. Duarte. (2016). Effects of Built Density and Urban Morphology on Urban Microclimate - Calibration of the Model ENVI-met V4 for the Subtropical Sao Paulo, Brazil. *Procedia Engineering*, 169, 2-10
- Carrozza, M. L. (1996). Paysage urbain: matérialité et représentation. Propositions. Les Cahiers du Centre de Recherches Historiques. Archives, (17).

- CETUR 1980. Guide du bruit des transports terrestres, Prévission des niveaux sonores, 3 17 pages.
- Churchman, A. (1999). Disentangling the concept of density. *Journal of Planning Literature*, 13(4), 389-411.
- Clark, Charlotte; & Stansfeld, Stephen A. (2007). The Effect of Transportation Noise on Health and Cognitive Development : A Review of Recent Evidence. *International Journal of Comparative Psychology*, 20(2). Retrieved from: <http://escholarship.org/uc/item/8434889m>
- Coensel, B. D., Vanwetswinkel, S., & Botteldooren, D. (2011). Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(4), EL148-EL153.
- Cowan, J. P. (1993). *Handbook of environmental acoustics*. John Wiley & Sons.
- Cozens, P. M. (2002). Sustainable urban development and crime prevention through environmental design for the British city. Towards an effective urban environmentalism for the 21st century. *Cities*, 19(2), 129-137.
- Crocker, M. J. (2007). *Handbook of noise and vibration control*. John Wiley & Sons. P11
- Dalton DS, Cruickshanks KJ, Wiley TL, Klein BE, Klein R, Tweed TS. Association of leisure-time noise exposure and hearing loss. *Audiology* 2001 ; 40 : 1-9.
- Daniel, J. (2000). Représentation de champs acoustiques, application à la transmission et à la reproduction de scènes sonores complexes dans un contexte multimédia.
- Dann, G. M. S. (2002). *The Tourist as a Metaphor of the Social World*. Wallingford: CAB International. P217
- De Smet, F. (2012). *Caractérisation des espaces périurbains, morphologie actuelle et prospective* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgium). p.18
- Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits, journal officiel de la République algérienne N 50,28 juillet 1993.
- Dempsey, N., Brown, C., Raman, S., Porta, S., Jenks, M., Jones, C., & Bramley, G. (2010). Elements of urban form. In *Dimensions of the sustainable city* (pp. 21-51). Springer Netherlands.
- Des Rosiers, F., Thériault, M., & Villeneuve, P. Y. (2000). Sorting out access and neighbourhood factors in hedonic price modelling. *Journal of Property Investment & Finance*, 18(3), 291-315.
- DIN 18005 Teil 1: 1987, SchallschutzimStädtebau – Berechnungsverfahren. Berlin, BeuthVerlag (In German)
- Directive européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000 (<http://www.toupie.org/Dictionnaire/Pollution.htm>)

- Djellali D., Chadli, M., et Semidor C. (2013). Analyse comparative des paysages sonores dans les centres anciens dans une perspective de développement durable et de cadre de vie. Cas de place des martyres à Alger et la place de la victoire à bordeaux, France. *Sciences & Technologie D*, (38), 17-24.
- Djellali, D., Chadli, M., & Semidor, C. (2014). Soundscapes of Old Centers in a Sustainable Development Perspective. Case of the " Rue de la Lyre. *Advances in Applied Acoustics*, 3, 15-24.
- Donadieu, P., & Mazas, E. (2002). *Des mots de paysage et de jardin*. Dijon: Educagri. P68
- Dreher, M., Dutilleux, G., & Junker, F. (2012, April). Optimized 3D ray tracing algorithm for environmental acoustic studies. In *Acoustics 2012*.
- Dubois, D., Guastavino, C., & Raimbault, M. (2006). A cognitive approach to urban soundscapes: Using verbal data to access everyday life auditory categories. *Acta acustica united with acustica*, 92(6), 865-874.
- Dufft, C. (2009). *Turkish Literature and Cultural Memory: " multiculturalism" as a Literary Theme After 1980*
- Dunn, F., Hartmann, W. M., Campbell, D. M., & Fletcher, N. H. (2015). *Springer handbook of acoustics*. T. Rossing (Ed.). Springer. P65
- Eargle, J. (2013). *Loudspeaker handbook*. Springer Science & Business Media. P239
- Ecotiere, D., Foy, C., & Dutilleux, G. (2012, April). Comparison of engineering models of outdoor sound propagation: NMPB2008 and Harmonoise-Imagine. In *Acoustics 2012*.
- Ehrampoush, M. H., Halvani, G. H., Barkhordari, A., & Zare, M. (2012). Noise pollution in urban environments: a study in Yazd city, Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21(4), 1095-1100.
- El-Sharkawy, M. F., & Zaki, G. R. (2012). Traffic pollutants levels at different designs of King Fahd Road, Saudi Arabia: comparative study. *The Online Journal of Science and Technology*, 2(1).
- Embrechts, J. J. (2002). *Modélisation des réflexions diffuses en acoustique des salles : état de la question*.
- Emerit, M., Philippe, P., & Virette, D. (2013). U.S. Patent No. 8,605,909. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Eric Charmes (1998). *Entre la rue résidentielle et le boulevard : le cas des soi de Bangkok*. Flux, Association Métropolie, pp.21-32.
- Escourrou, G. (1980). *"Climat et environnement"*. Paris, Masson.
- Escourrou, G. (1991). *"Le climat et la ville"*. Paris, Nathan.
- European Environment Agency, *Noise in Europe 2014*, 62 pp. doi:10.2800/763331. Luxembourg: Publications Office of the European Union 2014.

- Fahy, F., & Walker, J. (Eds.). (1998). *Fundamentals of noise and vibration*. CRC Press. P 157, 162
- Farhi, A. (2002). Biskra : de l'oasis à la ville saharienne (Note). *Méditerranée*, 99(3), 77-82.
- Farina, A. (2014). *Soundscape ecology*. Dordrecht, NL: Springer. p
- Farina, A., Brero, G., & Pollone, G. (1996). Computer code based on experimental results for acoustical mapping of urban areas. Pisa: Proc. of Noise & Planning.
- Farina, A., James, P., Bobryk, C., Pieretti, N., Lattanzi, E., & McWilliam, J. (2014). Low cost (audio) recording (LCR) for advancing soundscape ecology towards the conservation of sonic complexity and biodiversity in natural and urban landscapes. *Urban ecosystems*, 17(4), 923-944.
- Faye, K., Heng, L. H., Collomp, R., & Peroux, E. (2003). Hypertension et stress. *Journal des Maladies Vasculaires*, 28(1), pp. 4-8.
- Fernando, H. J. (2012). *Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two : Systems, Pollution, Modeling, and Measurements*. CRC press. P205
- Fidell, S., Pearsons, K., Tabachnick, B., Howe, R., Silvati, L., & Barber, D. S. (1995). Field study of noise-induced sleep disturbance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 98(2), 1025-1033.
- Fiedler, P. E. K., & Zannin, P. H. T. (2015). Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs—Noise maps and measurements. *Environmental Impact Assessment Review*, 51, 1-9.
- Fritschi, L., Brown, L., Kim, R., Schwela, D., & Kephelopoulous, S. (2011). *Conclusions [Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy years life lost in Europe]*. World Health Organisation.
- Gaulin, D. (2000). *Caractérisation physique des sources sonores en milieu urbain (Doctoral dissertation, Le Mans)*. P30
- GAUTHIEZ. B., (2003), *Espace urbain: vocabulaire et morphologie*, Monum, Edition du patrimoine, Paris, 493 p
- Giancoli, D. C. (1993). *Physique générale: Tome 3*. Bruxelles: De Boeck-Wesmael. P 36, 39
- Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons. P390
- Grafmeyer Y., Joseph I., 1990, *L'écologie de Chicago : naissance de l'écologie urbaine*, Paris, Aubier, 378p.
- Gramez, A. (2010, April). Introduction à la réglementation acoustique Algérienne et la réhabilitation acoustique des façades. In 10ème Congrès Français d'Acoustique.
- Grant, J. (2002). Mixed use in theory and practice: Canadian experience with implementing a planning principle. *Journal of the American Planning Association*, 68(1), 71-84.

- Grosjean, M., & Thibaud, J. P. (2001). *L'espace urbain en méthodes*. Editions Parenthèses. pp.127-153.
- Guastavino, C. (2003). *Etude sémantique et acoustique de la perception des basses fréquences dans l'environnement sonore urbain* (Doctoral dissertation, Université Paris 6).
- Guedouh, M. & Zemmouri N. Outdoor Luminous environment assessment and evaluation for a sustainable urban development. *Proceedings of the XII International Symposium on Environmental Geotechnology, Energy and Global Sustainable Development*; 2012.188-198.
- Guski, R., Felscher-Suhr, U., & Schuemer, R. (1999). The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of sound and vibration*, 223(4), 513-527.
- Hagopian, E. J., & Machi, J. (Eds.). (2014). *Abdominal ultrasound for surgeons*. Springer. p7, 8
- Halperin, D. (2014). Environmental noise and sleep disturbances: A threat to health?. *Sleep science*, 7(4), 209-212.
- Hamayon, L. (2010). *L'acoustique des bâtiments*. Éd. le Moniteur.
- Hammoudi, N., Aoudi, S., Tizi, M., Larbi, K., & Bougherbal, R. (2013, June). Relationship between noise and blood pressure in an airport environment. In *Annales de cardiologie et d'angiologie* (Vol. 62, No. 3, pp. 166-171).
- Hanin, Y., Bottieau, V., Cocle, D., Dawance, B., Paquay, J. F., Quadu, F., & Sinzot, A. (2013). " Schéma de structure communal de Lobbes, phase 1: analyse de la situation existante. Rapport CENTRE DE RECHERCHES ET D'ETUDES POUR L'ACTION TERRITORIALE - UCL
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of planners*, 25(2), 73-76.
- Hao, Y., Kang, J., Krijnders, D., & Wörtche, H. (2015). On the relationship between traffic noise resistance and urban morphology in low-density residential areas. *Acta Acustica united with Acustica*, 101(3), 510-519.
- Hertig, J.-A., Fallot, J.-M., Grangirard, V., Lachat, B., & Pury, P. . (2006). *Études d'impact sur l'environnement*. Lausanne: Presses Polytechniques et Univ. Romandes.
- Hillier B, 1996, *Space is the machine: a configurational theory of architecture* (Cambridge University Press, Cambridge, UK).
- Hillier, B., & Hanson, J. (1989). *The social logic of space*. Cambridge university press.
- Hiramatsu, K., Yamamoto, T., Taira, K., Ito, A., & Nakasone, T. (1997). A survey on health effects due to aircraft noise on residents living around Kadena airport in the Ryukyus', *Journal of Sound and Vibration*, 205, 451-460.
- Howitt, D., & Cramer, D. (2003). *First steps in research and statistics: A practical workbook for psychology students*. Routledge.

- Hsie, T. S. (2008). 287: Achieving Urban Sustainability through Urban Morphology Analyses and Optimum Ventilation.
- Huang, Jingnan, Xi X. Lu, and Jefferey M. Sellers. "A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing." *Landscape and urban planning* 82.4 (2007): 184-197.
- Hunashal, R. B., & Patil, Y. B. (2012). Assessment of noise pollution indices in the city of Kolhapur, India. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 37, 448-457.
- Hussein, H. A. (2013). Urban fabric and individual behavior: the effect of urban fabric development on the privacy of individual behavior–Koya city as a case study. *WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering*, 77, 313-321.
- International Standards Organisation. ISO 9613-2: Acoustics-Attenuation of sound during propagation outdoors, Part 2: General method of calculation ; 1996. Available from [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=20649](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=20649)
- Jakovljević, B., Belojević, G., Paunović, K., & Stojanov, V. (2006). Road traffic noise and sleep disturbances in an urban population: cross-sectional study. *Croatian Medical Journal*, 47(1), 125-133.
- Jamrah, A., Al-Omari, A., & Sharabi, R. (2006). Evaluation of traffic noise pollution in Amman, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 120(1), 499-525.
- Jaworski, V. (2012). Le bruit et le droit. *Communications*, (1), 83-94.
- Jean C. T. CAT-MED Modèles urbains durables Méthodologie de travail et résultats. Services de programmes de la Mairie de Malaga - Observatoire de l'Environnement Urbain, OMAU ; 2012.
- Jeffrey Stolet, « Envelope Generators » [archive], sur [pages.uoregon.edu](http://pages.uoregon.edu), University of Oregon (consulté le 22 mars 2015)
- Jeon, J. Y., Lee, P. J., You, J., & Kang, J. (2010). Perceptual assessment of quality of urban soundscapes with combined noise sources and water sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(3), 1357-1366.
- Joumard, I., & Organisation for Economic Co-operation and Development. (2011). *Systèmes de santé: Efficacité et politiques*. Paris: OCDE. P59
- Junker, F., Gauvreau, B., Blanc-Benon, P., Cremezi-Charlet, C., Ecotière, D., Baume, O., & Cotté, B. (2006). Classification de l'influence relative des paramètres physiques affectant les conditions de propagation à grande distance. Rapport final du projet MEDD.
- Kang, J. (2006). *Urban sound environment*. CRC Press. P2
- Kardous, C. A., & Shaw, P. B. (2017). Evaluation of smartphone sound measurement applications. *Noise & Vibration Worldwide*, 48(1-2), 26-31.
- Katz, W. F. (2013). *Phonetics for Dummies*. John Wiley & Sons. P191

- KHALED ATHAMENA, modélisation et simulation des microclimats urbains : étude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des éco-quartiers, 2012, p.20.
- Khalissa H., Said M. The compact city: an urban path towards sustainability in arid areas. Portugal SB07-Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium; 2007, 650-657
- Kotharkar, R., Bahadure, P., & Sarda, N. (2014). Measuring compact urban form: A case of Nagpur City, India. *Sustainability*, 6(7), 4246-4272.
- Kotharkar, R., Bahadure, P., & Sarda, N. (2014). Measuring compact urban form: A case of Nagpur City, India. *Sustainability*, 6(7), 4246-4272.
- KOUAOUCHA Ikhlass. (2015). L'impact du trafic urbain sur le paysage de la ville de Batna. Mémoire (Magister en Architecture, Université Elhadj Lakhder -Batna). P 107
- Kryter, K. D. (2013). *The effects of noise on man*. Elsevier. P96
- Kumar, S. (2011). Assessment of Urban Noise Pollution in Vijayawada City, AP, India. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 4(6), 459-463.
- Lercher, P., Widmann, U., & Kofler, W. (2000, August). Transportation noise and blood pressure : the importance of modifying factors. In *Proceedings of the 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering (Cassereau D, ed)*. InterNoise (Vol. 4, pp. 2071-2075).
- Levy, A 1999, 'Urban morphology and the problem of the modern urban fabric: some questions for research', *Urban Morphology*, vol. 3, pp. 79-85.
- Lévy, A. (1996). «Crise et dysfonctionnements de la ville de l'âge démocratique : l'urbanisme en question», dans J.P. Charrié (sous la dir. de), *Villes en projets*, Bordeaux, Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine
- Lévy, A. (2005). Formes urbaines et significations : revisiter la morphologie urbaine. *Espaces et sociétés*, (3), 25-48.
- Lévy-Leboyer, G., Vedrenne, B., & Veyssière, M. (1976). Psychologie différentielle des genes dues au bruit. *L'année psychologique*, 76(1), 245-256.
- Lindau, A. (2014). *Binaural Resynthesis of Acoustical Environments. Technology and Perceptual Evaluation*. epubli.
- Liu, J., Kang, J., Behm, H., & Luo, T. (2014). Effects of landscape on soundscape perception: Soundwalks in city parks. *Landscape and Urban Planning*, 123, 30-40.
- Long, N., Kermadi, S., Kergomard, C., Mestayer, P. G., & Trébouet, A. (2003, September). Urban cover modes and thermodynamic parameters from urban database and satellite data: A comparison for Marseille during ESCOMPTE. In *Proceedings, Fifth Int. Conf. Urban Climate*, Łódź, Poland.
- Lonngren, K. E., Savov, S. V., & Jost, R. J. (2007). *Fundamentals of Electromagnetics with MATLAB*. Scitech publishing. P325

- Luymes, D. T., & Tamminga, K. (1995). Integrating public safety and use into planning urban greenways. *Landscape and urban planning*, 33(1), 391-400
- LYNCH. K., (1999), *L'image de la Cité*, Dunod, Paris, 222 p.
- Maekawa, Z., & Lord, P. (2004). *Environmental and architectural acoustics*. CRC Press. P35
- Magrini, A., & Lisot, A. (2015) The influence of building elements on the environmental noise, evaluated by means of an acoustic quality indicator. In the 22nd international congress on sound and vibration. ICSV22,
- Magrini, A., & Lisot, A. (2015). Noise Reduction Interventions in the Urban Environment as a form of Control of Indoor Noise Levels. *Energy Procedia*, 78, 1653-1658.
- Maisonneuve, N., Stevens, M., & Ochab, B. (2010). Participatory noise pollution monitoring using mobile phones. *Information Polity*, 15(1, 2), 51-71.
- Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., & Steels, L. (2009). NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. *Information technologies in environmental engineering*, 215-228.
- Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., Hanappe, P., & Steels, L. (2009, May). Citizen noise pollution monitoring. In *Proceedings of the 10th Annual International Conference on Digital Government Research: Social Networks: Making Connections between Citizens, Data and Government* (pp. 96-103). Digital Government Society of North America.
- Makido, Y., Dhakal, S., Yamagata, Y. Relationship between urban form and CO<sub>2</sub> emissions: evidence from fifty Japanese cities. *Urban Climate*; 2012, 2, 55-67.
- Malchaire, J. (2001). Sound measuring instruments. *Occupational exposure to noise: Evaluation, prevention and control*, 125-140.
- Matallah, M. E. (2015). *L'impact de la morphologie des tissus urbains sur le confort thermique extérieur-Cas d'étude ville de Tolga* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Malnar, J. M., & Vodvarka, F. (2004). *Sensory design*. Minneapolis [u.a.: Univ. of Minnesota Press. P137 (Vol. 16). Otto Harrassowitz Verlag. P210
- Mangin D. (2004). *La ville Franchisée, formes et structures de la ville contemporaine*, Editions de la Villette, 398 p.
- Maravitti N. (2013) *Visualiser l'invisible*. Creative Commons BY-SA. P33 <http://probablement.net/invisible/>
- Margaritis, E., & Kang, J. (2016). Relationship between urban green spaces and other features of urban morphology with traffic noise distribution. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 174-185.
- Margaritis, E., & Kang, J. (2017). Relationship between green space-related morphology and noise pollution. *Ecological Indicators*, 72, 921-933.

- Maria Luiza Carrozza, « Paysage urbain : matérialité et représentation », *Les Cahiers du Centre de Recherches Historiques* [En ligne], 17 | 1996, mis en ligne le 27 février 2009, consulté le 28 mars 2016. URL : <http://ccrh.revues.org/2600> ; DOI : 10.4000/ccrh.2600
- Marieb, E. N., Hoehn, K., Moussakova, L., & Lachaîne, R. (2010). *Anatomie et physiologie humaines* (4e éd.). Saint-Laurent (QC), éditions du Renouveau pédagogique. P671
- Marquis-Favre, C., Premat, E., & Aubrée, D. (2005). Noise and its effects—a review on qualitative aspects of sound. Part II: Noise and annoyance. *Acta Acustica united with Acustica*, 91(4), 626-642.
- Marry, S., & Delabarre, M. (2011). Naturalité urbaine : l'impact du végétal sur la perception sonore dans les espaces publics. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 11(1).
- Marry, S., & Delabarre, M. (2011). Naturalité urbaine: l'impact du végétal sur la perception sonore dans les espaces publics. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 11(1).
- Martí, I., Rodríguez, L., Benedito, M., Trilles, S., Beltrán, A., Díaz, L., & Huerta, J. (2012). Mobile application for noise pollution monitoring through gamification techniques. *Entertainment Computing-ICEC 2012*, 562-571.
- Mathieu, N., & Guermond, Y. (2005). *La ville durable, du politique au scientifique*. Cemagref.
- McClure, C. J., Ware, H. E., Carlisle, J., Kaltenecker, G., & Barber, J. R. (2013). An experimental investigation into the effects of traffic noise on distributions of birds: avoiding the phantom road. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 280(1773), 20132290.
- McLean, K. (2017). *Smellmap: Amsterdam—Olfactory Art and Smell Visualization*. Leonardo.
- Mehdi, L., Weber, C., Di Pietro, F., & Selmi, W. (2012). Évolution de la place du végétal dans la ville, de l'espace vert à la trame verte. [VertigO] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, 12(2).
- Michel, X. (2007). *Paysage urbain : prémisses d'un renouvellement dans la géographie française, 1960-1980*. Strates. Matériaux pour la recherche en sciences sociales, (13).
- Ministry of Environment and Forests, 2000, *Noise Pollution (Regulation and control) Rules*, Govt. of India.
- Morel, J. (2012). *Caractérisation physique et perceptives du bruit routier urbain pour la définition d'indicateurs de gêne sonore en situation de mono-exposition et de multi-exposition en présence de bruit industriel* (Doctoral dissertation, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'État).
- Morillas, J. B., Escobar, V. G., Sierra, J. M., Gómez, R. V., & Carmona, J. T. (2002). An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. *Applied acoustics*, 63(10), 1061-1070.

- Moudon, A V 1997, 'Urban morphology as an emerging interdisciplinary field', urban morphology, vol. 1(1), pp. 3-10.
- Moudon, A. V. (1997). Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban morphology*, 1(1), 3-10.
- Mouffok, M., Zemmouri, N., Aidaoui, L., Lasbet, Y., & De Herde, A. (2017). Effects of building morphologies on co2 air pollution case study: the vernacular urban fabric, city of ghardaïa (algeria). *asian journal of civil engineering (BHRC)*, 18(1), 1-19.
- Mouffok, M., Zemmouri, N., Aidaoui, L., Lasbet, Y., & De Herde, A. (2017). Effects of building morphologies on co2 air pollution case study: the vernacular urban fabric, city of ghardaïa (algeria). *asian journal of civil engineering (bhrc)*, 18(1), 1-19.
- Muller J. C. et Scharlach H. (2000), « SANTÉ ET BRUIT », <[http://archives-fig-st-die.cndp.fr/actes/actes\\_2000/muller/article.htm](http://archives-fig-st-die.cndp.fr/actes/actes_2000/muller/article.htm)>, 11 mai 2017.
- Müller, G., & Möser, M. (Eds.). (2012). *Handbook of engineering acoustics*. Springer Science & Business Media. P1, 35
- Munot, P., & Nève, F. X. (2002). Une introduction à la phonétique : manuel à l'intention des linguistes, orthophonistes et logopèdes (Vol. 9). Editions du CEFAL. P33, 39, 140.
- Murphy, E., & King, E. (2014). *Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy*. Newnes. P89
- Murphy, E., & King, E. A. (2010). Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications. *Environment international*, 36(3), 290-298.
- Murray Schafer, Raymond (1979) (trad. de Gleize, S.) : *Le paysage sonore*, J.-C. Lattès, Paris, 388p. p.69.
- Muzet, A. (2002). Les effets du bruit sur le sommeil. *Acoustique & techniques*, 28, 13-9.
- Narinder Kumar, Dr. J. K. Juneja (2006). *Comprehensive Objective Physics*. Golden Bells.p 857,858
- Nelson, P. M. (1987). *Transportation noise reference book*. Butter worths, University Press, Cambridge, UK.
- Nguyen, T. A. Caractérisation des particularités dominantes de la morphologie urbaine à travers l'environnement sonore : étude dans le vieux quartier de Hanoï et dans le quartier Saint-Michel à Bordeaux (Doctoral dissertation, Bordeaux 1) ; 2007.
- Nissen, S. (2008). Urban transformation from public and private space to spaces of hybrid character. *Sociologický časopis/Czech Sociological Review*, 44(06), 1129-1149.
- Norton, M. P., & Karczub, D. G. (2003). *Fundamentals of noise and vibration analysis for engineers*. Cambridge [u.a.: Cambridge Univ. Press. P263
- Oliveira V. (2016). *The Elements of Urban Form*. Urban Morphology, The Urban Book Series,

- Oliveira, M. I. F., & Silva, L. T. (2010). How the urban form can influence urban noise. In 8th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development (EED'10) (pp. 31-36). WSEAS Press.
- Oliveira, M. I. F., & Silva, L. T. (2011). The influence of urban form on facades noise levels. *Transactions on Environment and Development*, 7(5), 125-135.
- Olivier B. (2000). Interviews sur le bruit. [http://www.fnh.org/francais/doc/en\\_ligne/bruit/interview3.htm](http://www.fnh.org/francais/doc/en_ligne/bruit/interview3.htm) 20/05/2016.
- Ow, L. F., & Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, 120, 15-20.
- Ozcevik, A., & Can, Z. Y. (2012, April). A laboratory study on the evaluation of soundscape. In *Acoustics 2012*.
- Ozdemir, B., Bayramoglu, E., & Demirel, O. (2014). Noise pollution and human health in Trabzon parks. *Studies on Ethno-Medicine*, 8(2), 127-134.
- Ozer, S., Yilmaz, H., Yeşil, M., & Yeşil, P. (2009). Evaluation of noise pollution caused by vehicles in the city of Tokat, Turkey. *Scientific Research and Essays*, 4(11), 1205-1212.
- Panerai, P. ; Langé, J. (2001). "Formes urbaines, tissus urbains. Essai de bibliographie raisonnée", MELT-DGUHC, Centre de Documentation de l'Urbanisme
- Parnell, J. (2015). The generation and propagation of noise from large coal mines, and how it is managed in NSW. In *Proc. of Acoustics 2015 Conf.*
- Parris, K., & Schneider, A. (2009). Impacts of traffic noise and traffic volume on birds of roadside habitats. *Ecology and society*, 14(1).
- Pauline Nadrigny Paysage sonore et pratiques de field recording, Le rapport de la création électroacoustique à l'environnement naturel <http://hicsa.univ-paris1.fr/documents/pdf/CIRHAC/pauline%20nadrigny.pdf>
- Péneau, J. P., Woloszyn, P., Bérengier, M., & Gaulin, D. (1998). Caractérisation et identification des sources sonores en milieu urbain. *Acoustique et Techniques*, 16, 7-13.
- Picaut, J., Schmich, I., Defrance, J., Woloszyn, P., Barlet, A., & Chartier, F. (2004). Effets de la réflexion diffuse des façades sur la propagation acoustique et sur la représentation de l'environnement sonore en milieu urbain. 4ème assises de la qualité l'environnement sonore. *Acoustique et Techniques*, (39).
- Piccolo, A., Plutino, D., & Cannistraro, G. (2005). Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy. *Applied Acoustics*, 66(4), 447-465.
- Pijanowski, B. C., Farina, A., Gage, S. H., Dumyahn, S. L., & Krause, B. L. (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape ecology*, 26(9), 1213-1232.
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., ... & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216.

- Poirier, J. (1980). *Précis d'histologie humaine*. Presses Université Laval. P717
- Porta, S., Strano, E., Iacoviello, V., Messori, R., Latora, V., Cardillo, & Scellato, S. (2009). Street centrality and densities of retail and services in Bologna, Italy. *Environment and Planning B: Planning and design*, 36(3), 450-465.
- Raimbault, M., & Dubois, D. (2005). Urban soundscapes: Experiences and knowledge. *Cities*, 22(5), 339-350.
- Rapoport, A. (1975). Toward a redefinition of density. *Environment and Behavior*, 7(2), 133-158.
- Rasmussen, K. B. (1986). Outdoor sound propagation under the influence of wind and temperature gradients. *Journal of sound and vibration*, 104(2), 321-335.
- Raven, P. H., Berg, L. R., & Hassenzahl, D. M. (2009). *Environnement*. Bruxelles : De Boeck. P234
- Reijnen, R., & Foppen, R. U. U. D. (2006). Impact of road traffic on breeding bird populations. In *The ecology of transportation: managing mobility for the environment* (pp. 255-274). Springer Netherlands.
- Reijnen, R., Foppen, R., & Meeuwsen, H. (1996). The effects of traffic on the density of breeding birds in Dutch agricultural grasslands. *Biological conservation*, 75(3), 255-260.
- Ricciardi, P., Delaitre, P., Lavandier, C., Torchia, F., & Aumond, P. (2015). Sound quality indicators for urban places in Paris cross-validated by Milan data. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(4), 2337-2348.
- RIMBERT S., 1973a, *Les paysages urbains*, Paris, A. Colin, 240 p
- Roger, A., & Brunet, R. (1995). *La théorie du paysage en France: 1974-1994*. Seyssel: Champ Vallon. P106
- Roncayolo, M. (1996). "Les grammaires d'une ville : essai sur la genèse des structures urbaines à Marseille", Paris, EHESS.
- Rossi, M. (2007). *Audio*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes. P
- Roy, S. (2004). *L'analyse des musiques électroacoustiques : modèles et propositions*. Editions L'Harmattan.
- Rozec, V., & Rumeau, M. (2000). L'évaluation de l'ambiance sonore en quartiers tranquilles ou zones 30. *Acoustique & Techniques*, 20, 30-38.
- Rozec, V., & Ritter, P. (2003). Les avancées et les limites de la législation sur le bruit face au vécu du citoyen. *Géocarrefour*, 78(2), 111-119.
- Sakuma, T., Sakamoto, S., & Otsuru, T. (2014). *Computational simulation in architectural and environmental acoustics*. Springer.

- Salat, S. (2007). Energy and bioclimatic efficiency of urban morphologies: towards a comparative analysis of Asian and European cities. *Sustainable building South East Asia*, 211-220.
- SALEM, G., RICAN, S., Carthographie, M. L. K., Préface, C. R. D., & KHAYAT, D. (2006). *Atlas de la santé en France-Volume 2 Comportements et Maladies*.
- Salomons, E. M., & Pont, M. B. (2012). Urban traffic noise and the relation to urban density, form, and traffic elasticity. *Landscape and Urban Planning*, 108(1), 2-16.
- Samira, B. (2016). L'effet de la géométrie urbaine Sur l'écoulement du vent et la ventilation Naturelle extérieure. Mémoire de magister
- Santamouris, M. (2013). *Environmental design of urban buildings: an integrated approach*. Routledge. P8
- Schafer, R. M.(1979) (trad. de Gleize, S.) : *Le paysage sonore*, J.-C. Lattès, Paris, 388p. p.69.
- Schafer, R. M., & Gleize, S. (1979). *Le paysage sonore* (p. 41). Paris: J.-C. Lattès. p.69.
- Schafer, R.M., 2003. I've never seen a sound. *Sound in Contemporary Canadian Art/Le son dans l'art contemporain canadien*, pp.66-71.
- Schirmer, P. M., & Axhausen, K. W. (2016). *A multiscale classification of urban morphology*.
- Séguin Marc, Julie Descheneau, and Benjamin Tardif. 2010. *Physique XXI. Tome C, Tome C*. Bruxelles: De Boeck.
- Selye H. Forty years of stress research: principal remaining problems and misconceptions. *Can Med Assoc J*, 1976; 115: 53-6.
- Semidor, C. (2004). How to validate the urban soundscape. *Proc. DAGA-CFA*.
- Semidor, C. (2006). Le paysage sonore de la rue comme élément d'identité urbaine. *Flux*, (4), 120-126.
- Semidor, C. (2006). Listening to a city with the soundwalk method. *Acta Acustica united with acustica*, 92(6), 959-964.
- Semidor, C., & Venot-Gbedji, F. (2009). *Outdoor Elements Providing Urban Comfort: The role of fountains in the soundscape*.
- Sémidor, C., Torgue, H., & Beaumont, J. (2010). *Astuce:(ambiances sonores, transports urbains, coeur de ville et environnement). Vers l'élaboration d'un guide méthodologique à partir d'étude de cas (Doctoral dissertation, CRESSON, PREDIT, ADEME)*.
- Serrhini, K., Palka, G., Lavandier, C., Domingues, C., Gomez, S., & Andrieu, D. (2016, December). Amélioration de la cartographie des ambiances sonores urbaines. In *SAGEO'2016* (pp. 569-586).
- Servigne, S., & Kang, M. (2001). SIG pour l'environnement sonore urbain: de la représentation à la visualisation animée. *Revue internationale de géomatique*, 10, 411-432.

- Servigne, S., Laurini, R., Kang, M. A., & Li, K. J. (1999, July). First specifications of an information system for urban soundscape. In *Multimedia Computing and Systems*, 1999. IEEE International Conference on (Vol. 2, pp. 262-266). IEEE.
- Serway, R. A. (1992). *Physique : Optique et physique moderne* (Vol. 3). De Boeck Supérieur. P111
- SETRA Copyright (Collectif d'auteurs), NMPB Routes 2008 – Méthode de calcul incluant les effets météorologiques, Guide méthodologique ; 2009
- Shafer, R. M. (2003). I've never seen a sound. In N. Gingras (Ed.), *Le son dans l'art contemporain Canadien* (pp. 66 – 71). Montréal : édition Artexes. pp.66-71.
- Shipman, J., Wilson, J., & Higgins, C. (2012). *An introduction to physical science*. Nelson Education. P148
- Silva, L. T., Oliveira, M., & Silva, J. F. (2014). Urban form indicators as proxy on the noise exposure of buildings. *Applied acoustics*, 76, 366-376.
- Simon, D., & Bensoussan, L. (2008). *ORL, ophtalmologie*. Issy-les-Moulineaux : Elsevier-Masson. P3
- Smith, A. D. (2007). *Smith's textbook of endourology*. Hamilton [Ont.: BC Decker Inc. P318
- Stansfeld, S. A., Sharp, D. S., Gallacher, J., & Babisch, W. (1993). Road traffic noise, noise sensitivity and psychological disorder. *Psychological Medicine*, 23(04), 977-985.
- Stevens, M., & D'Hondt, E. (2010, September). Crowdsourcing of pollution data using smartphones. In *Workshop on Ubiquitous Crowdsourcing*.
- Stošić, L., Belojević, G., & Milutinović, S. (2009). Effects of traffic noise on sleep in an urban population. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 60(3), 335-342.
- Suárez, E., & Barros, J. L. (2014). Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. *Science of the total environment*, 466, 539-546
- Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2), 213-226.
- Sueur, J., Farina, A., Gasc, A., Pieretti, N., & Pavoine, S. (2014). Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, 100(4), 772-781.
- Sueur, Jérôme, Thierry Aubin, and Caroline Simonis. (2008). "Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis." *Bioacoustics* 18.2. 213-226.
- Summers, P. D., Cunnington, G. M., & Fahrig, L. (2011). Are the negative effects of roads on breeding birds caused by traffic noise?. *Journal of Applied Ecology*, 48(6), 1527-1534.
- Sutton, C. O. L. L. E. E. N. (2008). *Urban open space: a case study of Msunduzi Municipality, South Africa* (Doctoral dissertation). P13 28
- Tairou, Y. A. (2013). *Préoccupations environnementales et droit de l'entreprise: dans l'espace OHADA*. Editions L'Harmattan. P13

- Talen, E. (2003). Neighborhoods as service providers: a methodology for evaluating pedestrian access. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(2), 181-200.
- Tang, U. W., & Wang, Z. S. (2007). Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: Results from a modelling system. *Environmental Modelling & Software*, 22(12), 1750-1764.
- Tang, U.W., Wang, Z.S., Influences of urban forms on traffic-induced noise and air pollution: Results from a modelling system, *Environ. Model. Softw.* (2007), doi:10.1016/j.envsoft.2007.02.003
- Tarasti, E. (2012). *Semiotics of classical music: How Mozart, Brahms and Wagner talk to us.* New York: De Gruyter Mouton
- Tarnopolsky, A., Barker, S. M., Wiggins, R. D., & McLean, E. K. (1978). The effect of aircraft noise on the mental health of a community sample: a pilot study. *Psychological Medicine*, 8(02), 219-233.
- Thibaud, J. P. (2003). La parole du public en marche. *Milieux de vie: Aspects de la relation à l'environnement.* Paris: Armand Colin Collection «Sociétales», 113-138.
- Thomas, P. F. (2006). *Précis de physique-chimie : première et deuxième années.* Editions Bréal. P212
- Thompson, C. W. (2002). Urban open space in the 21st century. *Landscape and urban planning*, 60(2), 59-72.
- Tiger, G. (2014). *Synthèse sonore d'ambiances urbaines pour les applications vidéoludiques* (Doctoral dissertation, Conservatoire national des arts et métiers-CNAM). p28
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2017). *Manuel d'anatomie et de physiologie humaines.* De Boeck Supérieur. P355
- Tripathy, D. P. (2008). *Noise pollution.* New Delhi, India: À P H Publishing. P5
- Tsagué, L. (2009). *La pollution due au transport urbain et aéroportuaire: Caractéristiques et méthodes de réduction.* Paris: Harmattan.
- Tsoka, S. (2011). *Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons : application au cas des écoquartiers.* Ecole Nationale Supérieure Techniques industrielles et de Mines de Nantes et l'Ecole Supérieure d'Architecture de Nantes.
- United States Environmental Protection Agency. *Our built and natural environments: a technical review of the interactions between land use, transportation and environmental quality* (EPA 231-R-01e002). Washington DC, US : US EPA; 2001
- US International Trade Commission. (2005). *Air and Noise Pollution Abatement Services: An Examination of US and Foreign Markets.*
- V. Oliveira (2016). *The Elements of Urban Form.* Urban Morphology, The Urban Book Series,
- Van Oyen, H. (2010). *Les inégalités sociales de santé en Belgique.* Academia Press. P98

- Van Renterghem, T. (2014). Guidelines for optimizing road traffic noise shielding by non-deep tree belts. *Ecological Engineering*, 69, 276-286.
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D., & Verheyen, K. (2012). Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. *Journal of Sound and Vibration*, 331(10), 2404-2425.
- Venot, F., & Sémidor, C. (2006). The 'soundwalk' as an operational component for urban design. In *Proceedings of PLEA 2006–The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Genève 6-8 September 2006.
- Vijayakumari G. (2015). *Engineering Physics (with Practicals) (GTU)*, 8th Edition. Vicas p77
- Vincent Jost «Présentation et analyse d'un paysage sonore : la ville de Montréal» , [En ligne] (<http://eductice.ens-lyon.fr/EducTice/recherche/geomatique/actualites-et-lettres-geomatiques/articles-lettre-geomatique-13/lettre-18/presentation-et-analyse-d2019un-paysage-sonore-la-ville-de-montreal/>)
- Vogel, Corsin. "Etude sémiotique et acoustique de l'identification des signaux sonores d'avertissement en contexte urbain." Doctorat, Acoustique,(Université Paris VI, 1999) (1999). p16
- Vogiatzis, K., & Remy, N. (2017). Soundscape design guidelines through noise mapping methodologies: An application to medium urban agglomerations. *Noise Mapping*, 4(1), 1-19.
- Vorländer, M. (2007). *Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality*. Springer Science & Business Media.
- Vuillier, G., Chaumel, J. L., & Ilinca, A. (2009). Synthèse des conditions environnementales modifiant les niveaux sonores de bruit des éoliennes. Laboratoire de recherche en énergie éolienne, Université du Québec à Rimouski.
- Wang, B., & Kang, J. (2011). Effects of urban morphology on the traffic noise distribution through noise mapping: A comparative study between UK and China. *Applied Acoustics*, 72(8), 556-568.
- Wang, L. K., Pereira, N. C., & Hung, Y. T. (Eds.). (2005). *Advanced air and noise pollution control*. Totowa, NJ., USA: Humana Press. P471
- Wei, R., Song, D., Wong, N. H., & Martin, M. (2016). Impact of Urban Morphology Parameters on Microclimate. *Procedia Engineering*, 169, 142-149.
- Wissmann, T. (2014). *Geographies of urban sound*. Ashgate Publishing, Ltd. P91
- World Health Organization. (1999). *Guidelines for community noise*. WHO, Geneva.
- Wrightson, K. (2000). An introduction to acoustic ecology. *Soundscape: The journal of acoustic ecology*, 1(1), 10-13.
- Xiao, Y. (2017). *Urban morphology and housing market*. Singapore : Springer.
- Yang, W., & Kang, J. (2005). Soundscape and sound preferences in urban squares: a case study in Sheffield. *Journal of urban design*, 10(1), 61-80.

- Yong Jeon, J., Young Hong, J., & Jik Lee, P. (2013). Soundwalk approach to identify urban soundscapes individually. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(1), 803-812.
- Yu, B., Liu, H., Wu, J., & Lin, W. M. (2009). Investigating impacts of urban morphology on spatio-temporal variations of solar radiation with airborne LIDAR data and a solar flux model: a case study of downtown Houston. *International Journal of Remote Sensing*, 30(17), 4359-4385.
- Yuen, F. K. (2014). A vision of the environmental and occupational noise pollution in Malaysia. *Noise and Health*, 16(73), 427.
- Zannin, P. H. T., Diniz, F. B., & Barbosa, W. A. (2002). Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. *Applied Acoustics*, 63(4), 351-358.
- Zannin, P. H. T., Engel, M. S., Fiedler, P. E. K., & Bunn, F. (2013). Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. *Cities*, 31, 317-327.
- Zannin, P. H. T., Ferreira, A. M. C., & Szeremetta, B. (2006). Evaluation of noise pollution in urban parks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 118(1-3), 423-433.

#### Dictionnaires

- Dictionnaire encyclopédique du son Dunod Paris 2008 p439, 494.
- <http://dictionnaire.reverso.net/francais-definition/paysage> 02/04/2016
- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/acoustique/798>
- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/paysage/58827>
- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/pollution/62217>
- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/timbre/78090>
- <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/timbre/78090>
- <http://www.techniquesduson.com/acoustiquefondamentale.html>
- <http://www.toupie.org/Dictionnaire/Pollution.htm>
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Son\\_\(physique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Son_(physique))<http://www.environment-acoustics.be/francais/confort/generalites.asp>



# Annexes

## Questionnaire

Le questionnaire a été transformé en format numérique. Les réponses sont faites directement à Excel



Université de Mohamed Khaider  
Département d'architecture  
Laboratoire LACOMOFA



### Questionnaire sur l'environnement sonore?

Tout d'abord, nous tenons à vous remercier d'avoir accepté de participer à notre questionnaire concernant l'évaluation de l'environnement sonore de la ville de Biskra, qui fait partie de notre recherche doctorale.

Je vous informe que toute les réponses sont acceptées, Il n'y a pas de mauvaise réponse,

Enfin, je serai reconnaissant si vous cochez par (x) sur votre réponse, et merci pour votre coopération.

**Quel âge avez-vous ?**

.....

**Vous êtes :**

masculin

féminin

Bouzir Tallal Abdel Karim

D'après cette expérience, comment évaluez-vous L'environnement sonore global ?					
	Très désagréable	Désagréable	Moyen	Agréable	Très agréable
E1					
E2					
E3					
E4					
E5					
E6					
E7					
E8					
E9					
E10					
E11					
E12					
E13					
E14					
E15					
E16					
E17					
E18					
E19					
E20					
E21					
E22					
E23					
E24					
E25					
E26					
					2/5

A votre avis, comment trouvez-vous l'intensité sonore de cet environnement ?					
	Très bruyant	bruyant	Moyen	Calme	Très calme
E1					
E2					
E3					
E4					
E5					
E6					
E7					
E8					
E9					
E10					
E11					
E12					
E13					
E14					
E15					
E16					
E17					
E18					
E19					
E20					
E21					
E22					
E23					
E24					
E25					
E26					

LACOMOFA

3/5

comment classez-vous la présence sonore mécaniques (voitures, motos ...etc.) ?					
	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
E1					
E2					
E3					
E4					
E5					
E6					
E7					
E8					
E9					
E10					
E11					
E12					
E13					
E14					
E15					
E16					
E17					
E18					
E19					
E20					
E21					
E22					
E23					
E24					
E25					
E26					

LACOMOFA

4/5

Dans cette piste sonore, comment jugez-vous la présence des sons naturels et humains ?					
	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
E1					
E2					
E3					
E4					
E5					
E6					
E7					
E8					
E9					
E10					
E11					
E12					
E13					
E14					
E15					
E16					
E17					
E18					
E19					
E20					
E21					
E22					
E23					
E24					
E25					
E26					

LACOMOFA

5/5

## L'interface de questionnaire sur l'Excel

question cath - Excel

FICHIER ACCUEIL INSERTION MISE EN PAGE FORMULES DONNÉES RÉVISION AFFICHAGE ANTIDOTE OFFICE REMOTE

Couper Copier Collier Reproduire la mise en forme Presse-papiers Police Alignement Nombre

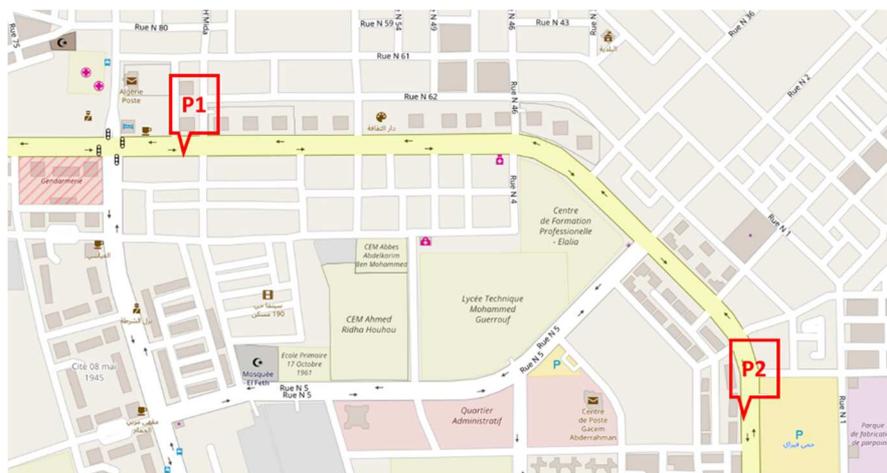
Calibri 16 A A Renvoyer à la ligne automatiquement Standard Mise en forme conditionnelle Mettre sous forme de tableau Normal Insatisfaisant Neutre Satisfaisant Insérer

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	piste sonore	sexe	age	question 1	question 2	question3	question 4		sexe	age	question1_s	question2_l	question3 pr	question4_	présence autre	sons
2	1	masculin	20 - 25	1	2	5	1		masculin	15 - 20	désagréable	t.calme	faible	faible		
3	2			2	2	4	1		féminin	20 - 25	t.désagréabl	calme	t.faible	t.faible		
4	3			1	1	5	1			25 - 30	neutre	moyen	moyen	moyen		
5	4			2	2	3	2			< 20	t.Plaisant	Bruyant	t.forte	t.forte		
6	5			1	1	5	1				Plaisant	t.Bruyant	forte	forte		
7	6			1	2	4	3				1	1	1	1		
8	7			2	1	3	3				2	2	2	2		
9	8			2	3	5	2				3	3	3	3		
10	9			3	2	5	2				4	4	4	4		
11	10			3	3	2	2				5	5	5	5		
12	11			3	3	2	5									
13	12			2	2	5	1									
14	13			2	1	5	2									
15	14			1	1	5	1									
16	15			1	1	5	1									
17	16			2	2	4	1									
18	17			2	2	5	1									
19	18			3	4	1	4									
20	19			4	5	1	4									
21	20			3	3	3	4									
22	21			2	2	4	1									
23	22			4	2	1	5									
24	23			4	3	1	5									
25	24			4	3	1	4									
26	25			5	4	2	5									
27	26			5	5	1	5									
28																

Les sujets

Feuil1 moyenne Feuil2 Feuil3 Feuil4 Feuil5 Feuil6 Feuil7 Feuil8 Feuil9 Feuil10 Feuil11 Feuil12 Feuil13 Feuil14 Feuil15 Feuil16 Feuil ...

**Localisation des stations de mesure (chapitre 5 - évaluation quantitative de l'environnement sonore -)**



L'emplacement des stations 1 et 2



L'emplacement des stations 3,4 et 5



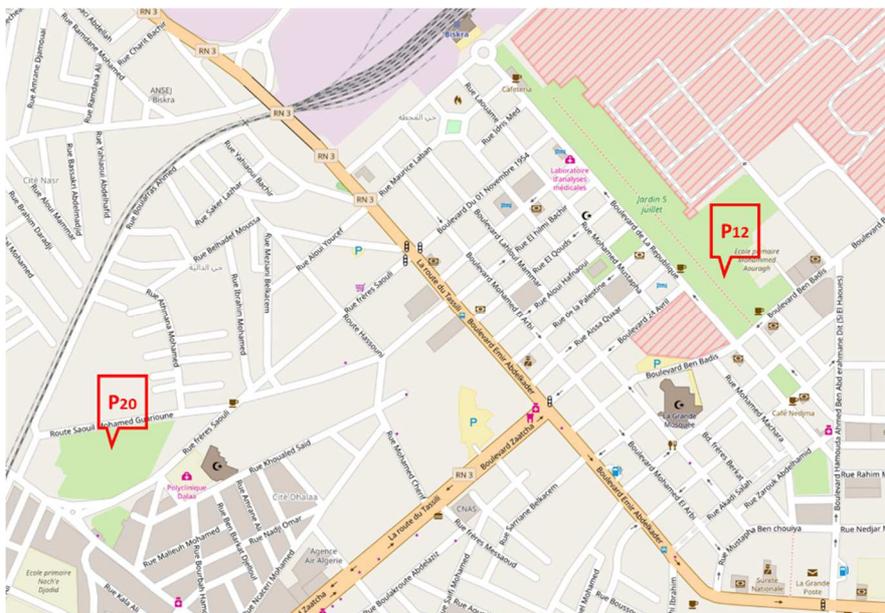
L'emplacement des stations 6 et 7



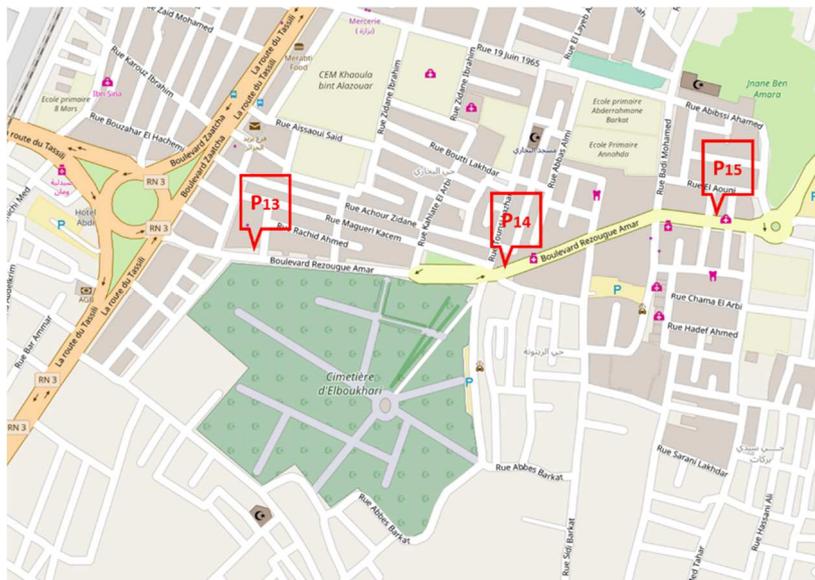
L'emplacement de la station 8



L'emplacement des stations 9, 10 et 11



L'emplacement des stations 12, 20



L'emplacement des stations 13, 14 et 15



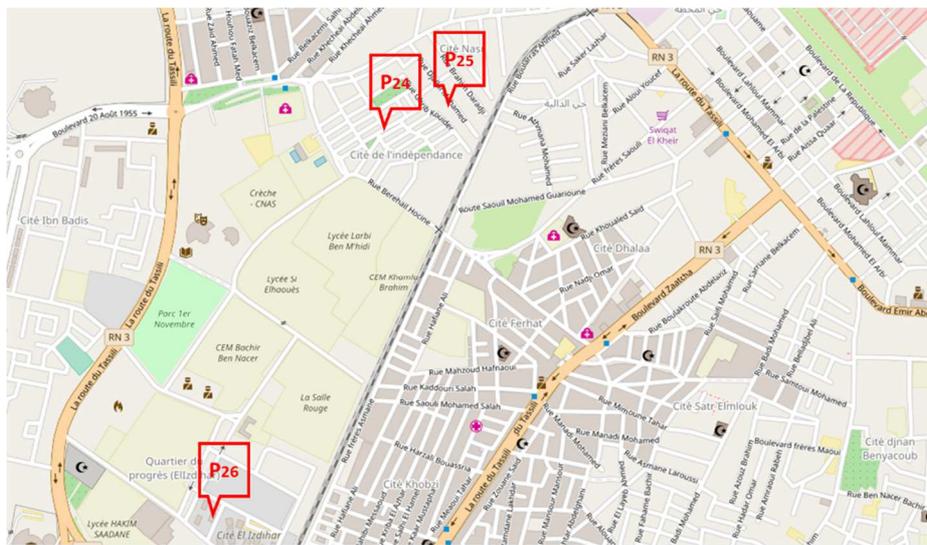
L'emplacement des stations 16 et 17



L'emplacement des stations 18, 19 et 21



L'emplacement des stations 22 et 23



L'emplacement des stations 24, 25 et 26