



Faculté de Technologie
Département d'Architecture



Thème :

Le confort acoustique dans les salles de spectacle

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master II en Architecture
« Spécialité Architecture »

Préparé par :

BOUGANDOURA Lidia

		Département architecture de Bejaia	Président de jury
Dr. KHADRAOUI Mohamed Amine	MCB	Département architecture de Bejaia	Rapporteur
Dr. ALLOUACHE Samir		Département architecture de Bejaia	Rapporteur

Dédicace

A tous ceux que j'aime, je vous aime encore.

Remerciements

Je tiens à remercier Dieu qui m'a donné la force et le courage d'avoir accomplir ce mémoire.

J'exprime aussi ma reconnaissance envers mes encadreurs, ainsi que mes enseignants tout au long de mon parcours universitaire.

J'adresse, également, mes remerciements aux membres de jury, qui ont bien voulu évaluer mon travail.

Mes remerciements, ma profonde gratitude et reconnaissance vont en particulier envers ma famille ; les encouragements de mes parents et l'aide de mes frères, n'ont jamais cessé de m'accompagner tout au long de mes études.

Enfin, je remercie toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Résumé

Les bruits nous affectent tous au quotidien, que ce soit à la maison, au travail ou dans les lieux de loisirs où le son devient très important. Quand on parle des salles de spectacle, le son devient un facteur clé pour déterminer la qualité du lieu. Notre travail se focalisera sur la question d'offrir un confort acoustique qui consiste à minimiser les nuisances sonores et à maintenir la satisfaction des usagers. La problématique aborde le confort acoustique ressenti par les usagers et les stratégies conceptuelles et techniques à utiliser à fin d'assurer le confort acoustique dans les salles de spectacle. Cette recherche s'appuie sur trois méthodes : une étude empirique quantitative par des mesures in situ et une étude qualitative sous forme de questionnaire et par une simulation numérique à l'aide du logiciel Ecotect. Ces études ont été effectuées au niveau de la grande salle scénique du Théâtre régional de Bejaia. Elles nous ont permis de d'évaluer la qualité sonore de la salle. Les résultats obtenus ont montré une bonne uniformité de la propagation du son dans la salle, mais avec des problèmes d'isolation et de correction causés par les différents bruits extérieurs et intérieurs.

Mots-clés: bruits, son, salle de spectacle, confort acoustique, théâtre, salle scénique, qualité sonore.

Abstract

Noises affect us all in everyday life, whether at home, at work or in places of leisure where sound becomes very important. When we talk about concert halls, sound becomes a key factor in determining the quality of the space. Our work will focus on the issue of providing acoustic comfort, which consists in minimizing noise pollution and maintaining user satisfaction. The issue addresses the acoustic comfort felt by users and the conceptual and technical strategies to be used in order to ensure acoustic comfort in concert halls. This research is based on three methods: a quantitative empirical study by in situ measurements and a qualitative study in the form of a questionnaire and a numerical simulation using Ecotect software. These studies were carried out at the level of the large stage hall of the Regional Theater of Bejaia. They allowed us to evaluate the sound quality of the room. The results obtained showed a good uniformity of sound propagation in the room, but with problems of insulation and correction caused by the different external and internal noises.

Keywords: noise, sound, theatre, acoustic comfort, theatre, stage, sound quality.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Résumés.....	iii
Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	xi
Liste des figures.....	xii
Nomenclature	xviii
CHAPITRE INTRODUCTIF	
Introduction.....	1
Problématique :	2
Hypothèse :	3
Contexte et objectif de la recherche:.....	3
Analyse conceptuelle :	4
Méthodologie :	5
Structure du mémoire :.....	5
PARTIE THEORIQUE	
Chapitre 1 Bases théoriques de l’acoustique	6
Introduction :.....	6
1.1 L’acoustique :	6
1.1.1 Définition de l’acoustique :.....	6
1.1.2 Bref historique de l’acoustique :.....	6
1.1.2.1 VI ^{ème} siècle.....	7
1.1.2.2 XVII ^{ème} siècle :	7
1.1.2.3 XVIII ^{ème} siècle :	8
1.1.2.4 XIX ^{ème} siècle :.....	8
1.1.2.5 Fin du XIX ^{ème} et début du XX ^{ème} siècle :	8
1.2.1 Définition du son :	8
1.2.2 Types du son :	8
1.2.2.1 Le son pur :	9

1.2.2.2	Le son complexe :	9
1.2.3	Production du son :	9
1.2.4	Propagation du son :	10
1.2.5	Réception du son :	10
1.2.6	Définition du bruit.....	11
1.2.7	La gêne auditive :	11
1.2.8	Sources du bruit :	12
1.2.8.1	Les bruits aériens :	12
1.2.8.2	Les bruits solidiens (bruits d'impacts) :	12
1.2.8.3	Les bruits d'équipements :	12
1.2.9	Transmission du bruit :	13
1.3	Les ondes sonores ou acoustiques :	13
1.3.1	Définition de l'onde sonore :	13
1.3.2	Source sonore :	14
1.3.2.1	Sources ponctuelle :	14
1.3.2.2	Sources linéaires :	15
1.3.3	Types des ondes sonores :	15
1.3.3.1	Les ondes planes :	15
1.3.3.2	Les ondes cylindriques :	15
1.3.3.3	Les ondes sphériques :	15
1.3.4	Propagation des ondes sonores dans l'air :	15
1.3.5	Caractéristiques énergétiques des ondes acoustiques :	16
1.3.5.1	L'amplitude :	16
1.3.5.2	La fréquence :	16
1.3.5.3	La longueur d'onde :	16
1.3.5.4	La période :	16
1.3.5.5	La vitesse ou célérité :	17
1.4	Grandeurs physiques de l'acoustique :	17
1.4.1	Pression acoustique :	17
1.4.1.1	Niveau de pression acoustique :	18
1.4.2	Intensité acoustique :	18

1.4.2.1	Niveau d'intensité acoustique :	19
1.4.3	Puissance acoustique.....	19
1.4.3.1	Niveau de puissance acoustique :	19
1.5	Sensibilité de l'oreille :	20
1.5.1	Le seuil d'audition :	20
1.5.2	Le seuil de douleur :	20
1.5.3	Échelle des décibels :	20
1.6	Addition des niveaux sonores :	22
1.7	Les phénomènes acoustiques liés à l'environnement :	22
1.7.1	La réflexion :	22
1.7.2	La diffraction:	23
1.7.3	L'absorption :	23
1.7.4	La réfraction :	24
1.7.5	La diffusion:	24
1.7.6	La transmission :	25
1.8	Notion de réverbération :	25
1.8.1	Temps de réverbération :	26
Conclusion :		27
Chapitre 2 Stratégies et techniques du confort acoustique des salles de spectacle		28
Introduction :		28
2.1	L'isolation et la correction acoustique :	28
2.1.1	L'isolation acoustique :	29
2.1.1.1	Définition de l'isolation acoustique :	29
2.1.1.2	Principes d'isolation acoustique :	30
2.1.1.2.1	Agir au niveau de l'implantation :	30
2.1.1.2.2	Limiter les surfaces de séparation :	30
2.1.1.2.3	Création de la masse :	30
2.1.1.2.4	Déphaser les ondes :	30
2.1.1.2.5	Etanchéifier :	31
2.1.1.2.6	Désolidariser :	31
2.1.2	La correction acoustique :	31

2.1.2.1	Définition de la correction acoustique :	31
2.1.2.2	Les Principes de correction acoustique :	31
2.1.2.2.1	Ajustement des surfaces réfléchissantes et absorbantes :	31
2.1.2.2.2	La géométrie des locaux :	32
2.2	Matériaux et éléments absorbants :	32
2.2.1	Matériaux poreux nus :	32
2.2.2	Membranes vibrantes :	33
2.2.3	Matériaux poreux protégés par des panneaux perforés :	33
2.2.4	Résonateurs :	33
2.3	L'architecture acoustique :	34
2.3.1	Définition de l'architecture acoustique :	34
2.3.2	Le domaine de l'architecture acoustique :	34
2.4	Le spectacle :	35
2.4.1	Définition du spectacle vivant:	35
2.4.2	Les différentes formes de spectacle vivant :	35
2.5	Typologie des salles de spectacle :	38
2.5.1	Boîte à chaussures (shoe-box)	38
2.5.2	Salles en vignoble ou « vineyard »	39
Chapitre 3	Etude empirique sur le théâtre régional de Bejaia	49
Introduction :	49
3.1	ETUDE QUANTITATIVE : Prise de mesure.....	49
3.1.1	Présentation du cas d'étude :	49
3.1.2	Description du cas d'étude :	50
3.1.3	Protocole et instruments de prise de mesure :	51
3.1.4	Résultats de prise de mesure :	53
3.1.5	Interprétation des résultats :	62
3.1.5.1	Première lecture des résultats :	62
3.1.5.2	Deuxième lecture des résultats :	62
3.2	ETUDE QUALITATIVE : L'enquête sur terrain	63
3.2.1	Présentation de l'enquête :	63
3.2.2	Déroulement de l'enquête :	63

3.2.3	Analyse et interprétation des résultats :	64
3.2.3.1	Age :	64
3.2.3.2	Perception du son :	65
3.2.3.3	La place choisie dans la salle :	65
3.2.3.4	Le son mât ou réverbérant :	66
3.2.3.5	La perception du bruit :	67
3.2.3.6	La satisfaction vis-à-vis du confort acoustique :	68
3.2.4	Synthèse :	69
	Conclusion :	69
	Chapitre 4 Simulation numérique sur la salle scénique du théâtre.....	49
	Introduction :	49
4.1	Présentation d'Ecotect :	49
4.2	Objectifs :	50
4.3	Réalisation du model à simulé :	50
4.3.1	Importer le modèle à Ecotect :	52
4.3.2	Insertion des matériaux :	52
4.3.3	Protocole de l'analyse acoustique:	53
4.4	Résultats et discussion :	54
4.5	Synthèse :	58
4.6	Comparaison des résultats :	58
4.7	Optimisation du cas d'étude :	60
4.7.1	Composition de la paroi avec un traitement acoustique :	60
4.7.2	Résultats et discussion :	61
4.8	Synthèse :	62
	Conclusion :	63
	Bibliographie.....	85
	Chapitre 5 Annexes.....	89
Annexe 01	Questionnaire.....	89
Annexe 02	Étapes de simulation.....	91
Annexe 03	Analyse du site	93
Annexe 04	Synthèse des analyses des exemples	101

Annexe 05 Idéation et morphogénèse.....	105
ملخص.....	106

Liste des tableaux

Tableau 1-1: Propagation des bruits (Source : Environnement-brussels, 2015).....	12
Tableau 1-2: Les tonalités en fonction des fréquences (Source : DELCROS, 2016).	16
Tableau 1-3: Vitesse du son dans différents matériaux (Source : DUHAMEL, 2013).	17
Tableau 1-4: Echelle des niveaux sonores (Source : DELCROS, 2016).....	21
Tableau 1-5: Valeurs à ajouter aux différents niveaux de bruit (Source : SAINT-GOBAIN, 2016).	22
Tableau 2-1: Quelques chiffres directeurs par la détermination du volume initial de la salle (expérience soviétique). Source : Bui Van, (1996).....	45
Tableau 2-2: Quelques chiffres directeurs par la détermination du volume initial de la salle (expérience soviétique). Source : Bui Van, (1996).....	45
Tableau 2-3: Paramètres essentiels de la forme de certaine salle de théâtre évalué bonnes. Source : Van Tran, (1996).	46
Tableau 3-1: Résultats des mesures du son en cas de calme plat (Source : Auteur, 2021).	53
Tableau 3-2: Résultats des mesures du son en cas de son sans micro (Source : Auteur, 2021).	55
Tableau 3-3: Résultats des mesures du son en cas de son avec micro (Source : Auteur, 2021).	56
Tableau 3-4: Résultats des mesures du son en cas de calme plat (Source : Auteur, 2021).	58
Tableau 3-5: Résultats des mesures du son en cas de son sans micro (Source : Auteur, 2021).	59
Tableau 3-6: Résultats de mesure du son en cas de son avec micro (Source : Auteur, 2021)..	61
Tableau 3-7: Récapitulatif du déroulement de l'enquête (Source : Auteur, 2021).	63
Tableau 5-1: Tableau récapitulatif des analyses des exemples (Source : Auteur, 2021).....	101

Liste des figures

Figure 1-1: Le chanteur jouant de la harpe (Source : louvre.fr).	7
Figure 1-2: Théâtre d'Epidaure en Grèce (Source : guidesulysse.com).....	7
Figure 1-3: Représentation graphique d'un son pur (Source : perceptionsonoretp.free.fr.).....	9
Figure 1-4: Représentation graphique d'un son complexe (Source:perceptionsonoretp.free.fr).	9
Figure 1-5: Schéma sur la propagation du son (Source : Centre de Référence professionnelle bruxellois, 2015).	10
Figure 1-6: Illustration schématique de l'oreille humaine (Source : ADESSI, 2020).	11
Figure 1-7: Mode de transmission du bruit (Source : qualiteconstruction.com).	13
Figure 1-8: Représentation graphique d'une onde sonore en fonction du temps (DELCROS, 2016).	14
Figure 1-9: Intervalle des ondes sonores (Source : schoolmouv.fr).	14
Figure 1-10: Représentation schématique d'une onde avec certaines de ses caractéristiques (Source : perceptionsonoretp.free.fr).	17
Figure 1-11: Pression acoustique $P(t)$ (Source : KRAUSS G. et al., 2009).....	18
Figure 1-12: Puissance acoustique (W) (Source : KRAUSS G. et all, 2009).	19
Figure 1-13: Phénomène de réflexion (Source : Auteur, 2021).	23
Figure 1-14: Phénomène de diffraction (Source : Auteur, 2021).	23
Figure 1-15: Phénomène d'absorption (Source : Auteur, 2021).	24
Figure 1-16: Phénomène de réfraction (Source : Auteur, 2021).	24
Figure 1-17: Phénomène de transmission (Source : Auteur, 2021).	25
Figure 1-18: Phénomène de transmission (Source : Auteur, 2021).	25
Figure 2-1: Schéma des transmissions du bruit. (Source : AUFFRET, 2015).	29
Figure 2-2: Schéma isolation acoustique. (Source : ISOVER).	30
Figure 2-3: Matériau poreux. (Source : techniques-alternatives.com).	32
Figure 2-4: Système de la membrane vibrante. (Source : SRIDI, 2006).	33
Figure 2-5: Résonateur de Helmholtz. (Source : atrimoine.auvergnhonealpes.fr).	33
Figure 2-6: Project d'exposition d'un Park Acoustique (DAUMAL, 1990).	34
Figure 2-7: Projet acoustique de Parc (DAUMAL, 1990).	35

Figure 2-8: Exemple de salle en forme de « boîte à chaussures ». Source : Kahle Acoustics et Altia, (2006).....	38
Figure 2-9: Illustration du rôle acoustique des balcons : simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions. Les traits bleus représentent les rayons incidents, les traits violets et rouges les rayons réfléchis (Source : Kahle Acoustics et Altia, 2006).....	39
Figure 2-10: Exemple de salle de type boîte à chaussure : La Philharmonie de Paris (Source : arts-in-the-city.com).....	39
Figure 2-11: Fonctionnement d'une salle de type « vignoble »: schématisation du trajet des rayons sonores en deux dimensions (Source : Kahle Acoustics et Altia, 2006).....	40
Figure 2-12: Exemple de salle de type vignoble : La Philharmonie de Berlin (Source : berliner-philharmoniker.de).....	40
Figure 2-13: Schématisation d'une salle « à réflexions précoces optimisées » : simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions. Source : Kahle Acoustics et Altia, (2006).	41
Figure 2-14: Exemple de salle de type salle à réflexions précoces optimisées : salle de concert du Kultur- und Kongresszentrum (Source: kahleacoustics.com).	41
Figure 2-15: Effet acoustique de la forme en arène : simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions (Source : Kahle Acoustics et Altia, 2006).	42
Figure 2-16: Exemple de salle de type arène : Auditorium du palais garnier, Paris (Source : 4communes.blogspot.com).	42
Figure 2-17: Effet acoustique de la forme en éventail : simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions (Source : Kahle Acoustics et Altia, 2006).....	43
Figure 2-18: Exemple de salle de type éventail: Salle beethoven (Source : beethovenhalle.de).	43
Figure 2-19: Propagation d'une onde sonore dans un auditorium. Source : De Sa, et Molinaro, (2017).....	44
Figure 2-20: L'onde directe et les ondes réfléchies se superposent et contribuent à la qualité du son perçu. Source : De Sa, et Molinaro, (2017).....	44
Figure 2-21: Coupe de principe dans une salle où tous les auditeurs bénéficient d'une bonne intelligibilité (Source : Hamayon, 2010).	46

Figure 2-22: Durées de réverbération préconisée aux fréquences médiums (Source : Hamayon, 2010).	47
Figure 3-1: Théâtre régional de Bejaia (Source : liberte-algerie.com, 2017).	50
Figure 3-2: L'intérieur de la salle scénique du TR Bejaia (Source : Auteur, 2021).	50
Figure 3-3: Application sonomètre (Source : apkfab.com, 2021).	51
Figure 3-4: Grilles de prise de mesure. (Source MAHINDAD, 2006). Traitée par l'auteur. ...	52
Figure 3-5: Mesure de son en cas de calme plat au niveau du RDC (Source : Auteur, 2021).	54
Figure 3-6: Mesure du son en cas de son sans micro au niveau du RDC (Source : Auteur, 2021).	55
Figure 3-7: Mesure de son en cas de son avec micro au niveau du RDC (Source : Auteur, 2021).	57
Figure 3-8: Mesure de son en cas de calme plat au niveau des balcons (Source : Auteur, 2021).	58
Figure 3-9: Mesure de son en cas de son sans micro au niveau des balcons (Source : Auteur, 2021).	60
Figure 3-10: Mesure de son en cas de son avec micro au niveau des balcons (Source : Auteur, 2021).	61
Figure 3-11: Histogramme montrant la catégorie d'âge questionnée lors de l'enquête (Source : Auteur, 2021).	64
Figure 3-12: Diagramme concernant la perception du son dans la salle (Source : Auteur, 2021).	65
Figure 3-13: Diagramme concernant le choix de la place dans la salle (Source : Auteur, 2021).	66
Figure 3-14: Histogramme concernant le son mat ou réverbérant (Source : Auteur, 2021).	66
Figure 3-15: Diagramme concernant la perception du bruit (Source : Auteur, 2021).	67
Figure 3-16: Histogramme montrant la satisfaction des spectateurs vis-à-vis du confort acoustique (Source : Auteur, 2021).	68
Figure 4-1: Résultats de simulation sous Ecotect, acoustique (a), ombrage (b) et performances thermique (c) (Source : ARTURO, 2010).	50
Figure 4-2: Modèle à simulé sur ArchiCAD (Source : Auteur, 2021).	51

Figure 4-3: Vue en plan et en 3D de la composition de la paroi de la salle scénique (Source : Auteur, 2021).	51
Figure 4-4: Modèle simulé sur Ecotect (Source : Auteur, 2021).	52
Figure 4-5: Insertion des matériaux pour le modèle (Source : Auteur, 2021).	53
Figure 4-6: Schéma montrant l'insertion de la source sonore (Source : Auteur, 2021).	53
Figure 4-7: Propagation des rayons en 10 s (Source : Auteur, 2021).	54
Figure 4-8: Propagation des rayons en 20s (Source : Auteur, 2021).	55
Figure 4-9: Propagation des rayons en 40s (Source : Auteur, 2021).	55
Figure 4-10: Propagation des rayons en 60s (Source : Auteur, 2021).	56
Figure 4-11: Propagation des rayons en 80s (Source : Auteur, 2021).	56
Figure 4-12: Propagation des rayons en 100s (Source : Auteur, 2021).	57
Figure 4-13: Les niveaux relatifs à la réponse impulsionnelle des rayons sonores (Source : Auteur, 2021).	57
Figure 4-14: Schéma montrant les différentes zones de prise de mesure et de simulation (Source: Auteur, 2021).	59
4-15: Vue en plan et en 3D de la composition de la paroi après le traitement acoustique (Source : Auteur, 2021).	61
Figure 4-16: Les niveaux relatifs à la réponse impulsionnelle des rayons sonores en présence d'un traitement acoustique (Source : Auteur, 2021).	62
Figure 5-1: Mise en place de la source sonore (Source : Ecotect, 2021). Traitée par l'auteur.	91
Figure 5-2: Option « générer des rayons » (Source : Ecotect, 2021). Traitée par l'auteur.	91
Figure 5-3: Option « rayons animés » (Source : Ecotect, 2021). Traitée par l'auteur.	92
Figure 5-4: Bouton « démarrer » (Source : Ecotect, 2021). Traitée par l'auteur.	92
Figure 5-5: Site du Lac Mezaia (POS B30) (Source : Google Earth, 2021). Traitée par l'auteur.	93
Figure 5-6: Situation du quartier du lac (Source : Google earth).	94
Figure 5-7: Le POS B30 (Source : Règlement d'Urbanisme PDAU Bejaia EDITION FINALE approuvé ministère).	94
Figure 5-8: Limites du site d'intervention (Source: Google Earth). Traitée par l'auteur.	95
Figure 5-9: Les quartiers qui entourent le quartier du lac (Source : Google Earth). Traitée par l'auteur.	95

Figure 5-10: Système viaire du quartier du lac (Source : Google Maps). Traitée par l'auteur.	96
Figure 5-11: Système viaire du site (Source: Auteur, 2021).	96
Figure 5-13: Lecture climatique de notre site (Source: sunearthtools.com). Traitée par l'auteur.	97
Figure 5-12: Nœuds aménagés au niveau du site (Source: Auteur, 2021).	97
Figure 5-14: Le cadre bâti du quartier (Source : Auteur, 2021).	98
Figure 5-15: Le cadre bâti du quartier (Source : Auteur, 2021).	99
Figure 5-16: Les points de repère (Source : Auteur, 2021).	99
Figure 5-17: Schéma de structure de l'air d'intervention (Source : Auteur, 2021).	100
Figure 5-18: Philharmonie de Paris (Source : Atelier Jean Nouvel).	101
Figure 5-19: Situation Théâtre régional Abdelmalek Bouguermouh de Bejaia (Source : Page officielle du théâtre sur Facebook, 2018).	101
Figure 5-20: Plan d'accès à la philharmonie (Source : chagall.philharmoniedeparis.fr) Traitée par l'auteur.	102
Figure 5-21: Accessibilité au théâtre régional de Bejaia (Source : Agence d'urbanisme et d'architecture Rafik MAHINDAD, 2008). Traitée par l'auteur.	102
Figure 5-22: Façade de la philharmonie de Paris coté du jardin (Source : Atelier Jean Nouvel). Traitée par l'auteur.	102
Figure 5-23: Façade principale du TRB (Source : ceuxdebougie.com).	102
Figure 5-24: Coupe longitudinale de la salle philharmonique vue vers le jardin (Source : Philharmonie de Paris, 2012). Traitée par l'auteur.	103
Figure 5-25: Coupe longitudinale de la salle scénique (Source : Agence d'urbanisme et d'architecture Rafik MAHINDAD, 2008). Traitée par l'auteur.	103
Figure 5-26: Plan de la salle Philharmonie de Paris (Source : Nagata acoustique, 2015) traitée par l'auteur.	104
Figure 5-27: Plan de la salle scénique (niveau +7.89) (Source : Agence d'urbanisme et d'architecture Rafik MAHINDAD, 2008). Traitée par l'auteur.	104
Figure 5-28: L'intérieur de la salle de concert (Source : Atelier Jean Nouvel, 2015).	104
Figure 5-29: Arts performants (Source : ccs.w.ac.uk).	105
Figure 5-30: Première idée du projet (Source: Auteur, 2021).	109
Figure 5-31: Intervention au niveau du terrain (Source : Auteur, 2021).	110

Figure 5-32: Zoning des différentes activités (Source : Auteur, 2021).	111
Figure 5-33: Réalisation du volume (Source : Auteur, 2021).....	112

Nomenclature

Symboles

(Pa) : pascal

(Hz) : hertz

(f) : fréquence

(m) : mètre

(s) : seconde

(T) : la période

(°C) : degré Celsius

(Kg) : kilogramme

(m³) : mètre cube

(p (t)) : la pression acoustique

(P (t)) : la pression totale

(P_{atm}) : la pression atmosphérique au repos

(P_a) : la pression acoustique efficace

(P₀) : la pression acoustique de référence

(L_p) : le niveau de pression acoustique

(I) : L'intensité sonore

(P_e) : la pression efficace de l'onde

(ρ) : la densité volumique

(c) : la vitesse du son

(I₀) : l'intensité minimale à 1 000Hz

(S) : la surface

(W) : la puissance

(L_w) : le niveau de puissance acoustique

(W₀) : la valeur de référence égale à 10⁻¹² W

(P_{ref}) : la pression de référence

(P_d) : la pression de douleur

(dB) : décibel

(V) : volume

(α_s) : coefficient d'absorption moyen de Sabine

(St) : surface des différents matériaux absorbants recouvrant les parois du local

Abréviations

TRB : théâtre régional

CHAPITRE INTRODUCTIF

« *J'ai besoin de silence, d'être seule, de sortir, et de gagner une heure pour réfléchir à ce qui est arrivé à mon monde* ». (Virginia Woolf).

Introduction

À mesure que nos villes évoluent, que la proximité caractérise les interactions sociales et spatiales et que les bâtiments intègrent une mixité fonctionnelle, les qualités acoustiques de l'espace tendent à devenir de plus en plus importantes pour le bien être des usagers. Par ailleurs, lors de la planification d'une réunion ou même d'une soirée entre amis, nous attribuons une attention toute particulière au choix de l'endroit afin de bénéficier d'un confort acoustique adéquat. A cet égard, il est évident que plus notre monde devient bruyant, plus nous avons des difficultés pour nous concentrer sur les sons que nous voulons réellement entendre (LEARDI, 2019).

Nos oreilles nous préviennent de l'approche du danger. Bien que leur fonction reste la même, les dangers d'aujourd'hui sont différents de ceux du passé. Les nuisances sonores et les bruits peuvent avoir des conséquences néfastes pour la santé mentale et physique, tels que la perte auditive, stress, hypertension artérielle, et les maux de tête et la liste n'est pas exhaustive (LEARDI, 2019). De ce qui précède, la notion du confort acoustique revêt une importance capitale dans les projets architecturaux en générale, et en particulier dans les équipements recevant un grand public. En fin de compte, les qualités acoustiques d'un espace affectent son appréciation ainsi que l'ensemble des activités s'y déroulant, par conséquent le bien être. C'est la raison pour laquelle, la question du confort acoustique reçoit un intérêt croissant de la part des chercheurs et professionnels de l'architecture.

A ce propos (Grégoire Chelkoff, 1993) déclare dans son article « *Du confort acoustique au confort sonore : évolutions des pratiques et de l'architecture du logement* » que le confort acoustique est devenu dans les dernières années un thème porteur que ce soit dans la production de bâtiments de qualité, ou dans les représentations sociales qui concernent la qualité de la vie. L'acoustique est la science qui étudie les sons, ainsi que leur agitation, perception et propagation. En architecture, l'objectif de l'acoustique est d'offrir une qualité de son adéquate aux différents type de bâtiment, aussi bien d'habitation ou équipement publics : Piscine, gare, aéroport, opéra, cinéma, théâtre...etc. (DE SA et MOLINARO, 2017).

Plus précisément, nous nous intéressons à la qualité acoustique interne au sein d'une salle de spectacle. En effet, il est primordial de bien penser la dimension sonore afin de garantir l'intelligibilité, le confort auditif, la qualité sonore de diffusion et donc la qualité d'écoute.

A travers notre recherche, nous allons mettre l'accent sur les salles de spectacle et leur conception acoustique pour comprendre leur qualité sonore favorable. Nous allons, d'abord, exposer un ensemble de concepts clés relatifs à l'acoustique dans le bâtiment, ce qui va nous permettre d'acquérir des principes utiles à la conception architecturale en générale et en particulier les salles de spectacle. Puis, traiter les facteurs de nuisance sonore qui agissent sur le comportement des usagers et affectent leur perception du confort. En fin, analyser des exemples des salles de spectacle de haute qualité acoustique pour comprendre le fonctionnement de ces espaces.

Problématique :

La problématique de ce mémoire est fondée sur le constat que les lieux destinés à l'écoute du son connaissent souvent des déboires (le son est inaudible). Malgré cette nécessité de corriger la perception sonore, les architectes n'ont pas pris en compte les sons, ils les ont comptés comme élément secondaire de luxe ou coûteux. Ils donnent toute l'attention aux représentations graphiques qu'elles soient bidimensionnelles ou tridimensionnelles. Souvent trop concentrés sur la perception visuelle, ceux-ci en arriveraient presque à oublier que l'espace est multi-sensoriel.

Le confort acoustique est le bien-être et la sensation des usagers d'un local vis-à-vis de l'environnement acoustique (transport, matériel, activité, voisinage à bruit...). Notre travail se focalisera sur la question d'offrir un confort acoustique qui consiste à minimiser les bruits intrusifs et à maintenir la satisfaction des usagers. La problématique aborde le confort acoustique ressenti par les usagers et les caractéristiques d'une salle de spectacle de haute qualité acoustique.

Tout ceci nous incite à poser les questions suivantes :

- **Quelles sont les stratégies conceptuelle et technique à adopter afin d'assurer le confort acoustique dans les salles de spectacle ?**
- **Comment offrir une bonne qualité d'écoute aux spectateurs ?**

Hypothèse :

Afin de répondre à la problématique posée, deux hypothèses ont été avancées :

- Il semble que l'utilisation de formes géométriques adéquates est un paramètre majeur afin d'assurer le confort acoustique dans les salles de spectacle (stratégie conceptuelle).
- L'insertion des matériaux et dispositifs spécifiques peut contribuer à l'amélioration de la qualité d'écoute des spectateurs (stratégie technique).

Pour bien étudier les phénomènes acoustiques, la salle de spectacle est le meilleur exemple afin d'examiner les techniques et les stratégies qu'ils servent à concevoir une construction de haute qualité acoustique.

Contexte et objectif de la recherche:

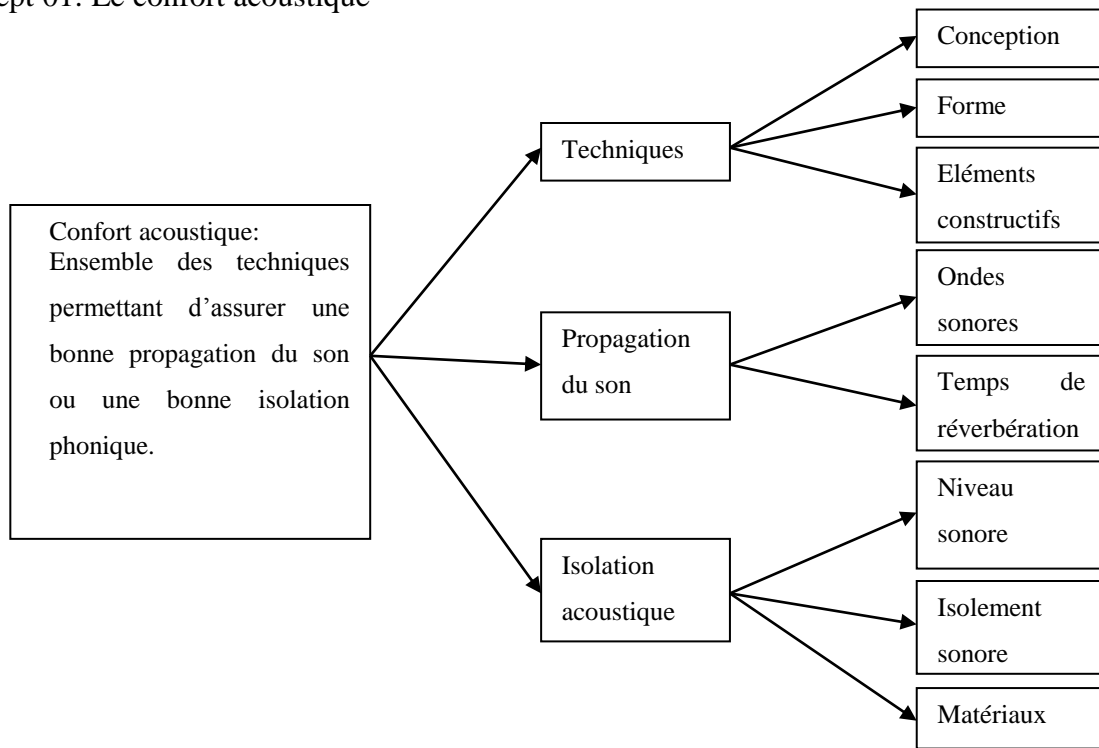
La présente recherche porte principalement sur les salles de spectacle.

Cette recherche s'inscrit dans une optique visant à :

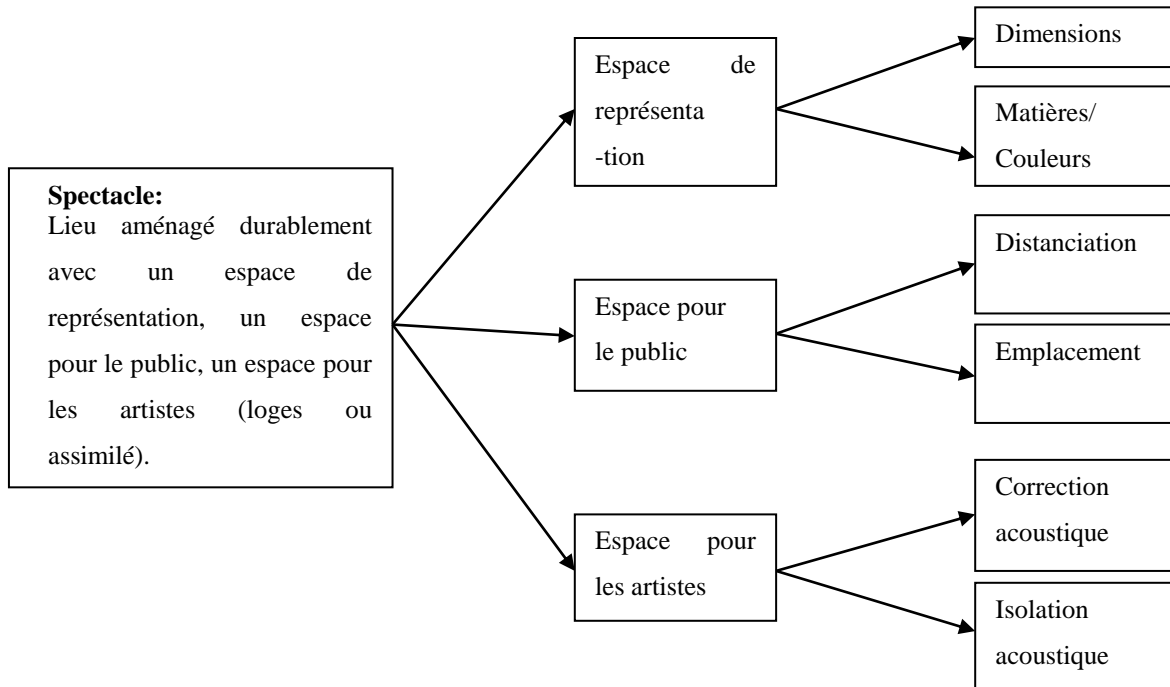
- Maîtriser l'aspect acoustique des salles de spectacle.
- Intervention de l'étude acoustique dans le processus de conception des projets.
- Définir les stratégies nécessaires pour assurer une meilleure qualité sonore dans les salles de spectacle.
- Promouvoir *le confort acoustique* ressenti par les usagers des salles de spectacle.
- Elaboration d'une étude empirique qui sert à vérifier l'existence de la qualité acoustique des bâtiments publics.

Analyse conceptuelle :

-Concept 01: Le confort acoustique



-Concept 02: Spectacle



-Analyse conceptuelle des deux concepts utilisés (Source : Auteur, 2021)-

Méthodologie :

La méthodologie utilisée est basée tout d'abord sur l'observation in situ de plusieurs situations sonores ; de cette dernière découle la sélection des prototypes qui vont servir comme support du travail (mesures in situ et questionnaire et simulation numérique).

Cette recherche s'appuie sur différentes méthodes d'investigation :

- **Etude bibliographique** : afin de cerner l'état de l'art de la thématique étudiée.
- **Méthode qualitative** : sous forme de questionnaires, destinés aux grands publics, pour évaluer leur sensation et satisfaction et leur sensibilité au bruit afin de révéler les sources de bruit jugées agréables (ou désagréables) dans un espace public.
- **Méthode quantitative** : par les mesures in situ du bruit de fond à l'intérieur de la salle de spectacle (Théâtre), en complément du calcul de la durée de réverbération. Ceci, afin d'évaluer la performance acoustique des différentes conceptions et l'impact du bruit extérieur sur le confort sonore intérieur des salles.
- **Méthode numérique** : à travers des simulations pour l'évaluation et l'optimisation des conditions de confort acoustique à l'aide d'un logiciel de simulation.

Structure du mémoire :

Le mémoire s'articule autour de deux parties : Une partie théorique qui comporte trois chapitres, est basée sur une recherche bibliographique, dont le but est de bien se documenter et comprendre le sujet traité.

Le premier Chapitre, porte sur les notions de base de l'acoustique. Le deuxième chapitre, aborde les stratégies et les techniques relatives au confort acoustique, l'isolation sonore et les corrections sonores. Le troisième chapitre porte sur les spécificités du confort acoustique dans les salles de spectacle (Ambiance sonore).

Dans la seconde partie qui porte sur l'étude pratique, un état de l'art et une description des différentes approches élaborées, qui donnera accès à des mesures de performances acoustique sur des bâtiments existants qui seront analysées et vérifiées.

La dernière partie sera consacrée à la conclusion qui rappellera les résultats importants du mémoire et se terminera par une discussion ouverte sur les résultats et la méthodologie mise en place.

PARTIE THEORIQUE

Chapitre 1 Bases théoriques de l'acoustique

Introduction :

Quand on parle de l'acoustique architecturale, on touche à un domaine déjà bien maîtrisé depuis l'antiquité. Ses phénomènes reposent sur la maîtrise des connaissances de base déjà découvertes grâce aux efforts et recherches de nombreux philosophes et théoriciens tels que Pythagore, Vitruve, Newton, Lord Raleigh et Wallace Sabine.

L'acoustique architecturale est le domaine qui vise à comprendre et maîtriser la qualité sonore, donc il est nécessaire de comprendre le son, sa production et sa propagation pour pouvoir appréhender cette discipline. Dans ce chapitre, des bases théoriques en acoustique du bâtiment telles que les phénomènes liés à au son et au bruit sont élaborés ; les ondes sonores, leurs perceptions, leurs transmissions, les grandeurs physiques, ainsi que les phénomènes acoustiques liée à l'environnement. En complément, un aperçu sur la notion de réverbération et de la loi de Sabine sera donné.

1.1 L'acoustique :

Dans ce secteur, on va expliquer la notion de l'acoustique et on va traiter son évolution à travers le temps.

1.1.1 Définition de l'acoustique :

L'acoustique est le domaine de la science qui a pour objet d'étudier les problèmes physiques, physiologiques liées à l'émission, la propagation et la réception des sons et des bruits (HAMAYON, 2006).

1.1.2 Bref historique de l'acoustique :

L'acoustique a 2300 ans d'histoire. L'hypothèse que le son soit une onde émise par le mouvement d'un corps puis transmise par un mouvement de l'air remonte aux Grecs (Chryssippe 240 avant J.C., Aristote 384-322 avant J.C.) (DUHAMEL, 2013).



Figure 1-1: Le chanteur jouant de la harpe (Source : louvre.fr).

1.1.2.1 VI^{ème} siècle

Les premières études sur les phénomènes acoustiques remontent au VI^{ème} siècle avant J.C. Les philosophes grecs, élaborèrent la base de «Harmonie Universelle»: tout l'univers est musique. Ils avaient aussi découvert que le son est une vibration qui se propage dans l'air sous forme d'ondes sonores dû aux chocs. Les principales lois de propagation et de réflexion étaient aussi comprises (DUHAMEL, 2013). En témoigne la qualité acoustique de certains amphithéâtres comme celui d'Epidaure (Figure 1.2).



Figure 1-2: Théâtre d'Epidaure en Grèce (Source : guidesulyse.com).

1.1.2.2 XVII^{ème} siècle :

C'est à partir du XVII^{ème} siècle que l'acoustique, en raison du développement de la mécanique, se détacha de l'art musical pour devenir une science du phénomène sonore. Les savants ont démontré que l'air est un milieu nécessaire à la propagation du son. La question suivante s'étala alors sur la vitesse dont le son se propage. La première tentative d'une théorie de l'onde sonore revient à Newton (DUHAMEL, 2013).

1.1.2.3 XVIII^{ème} siècle :

Les recherches théoriques ont donné lieu à un important chapitre de la mécanique rationnelle dont l'acoustique est une branche. C'est là où les mathématiciens avaient ramené la nature du son à un état vibratoire, il pouvait partir de cette donnée pour l'étude des phénomènes des sons complexes (DUHAMEL, 2013).

1.1.2.4 XIX^{ème} siècle :

Au XIX^{ème} siècle, il y a eu la mise au point mathématique grâce aux séries de Fourier, et de l'analyse du son. Les grands développements qu'a connus l'acoustique sur le plan théorique et expérimental sont élaborés par Lord Rayleigh (1842-1919) dans son ouvrage « *A theory of sound* » (DUHAMEL, 2013).

1.1.2.5 Fin du XIX^{ème} et début du XX^{ème} siècle :

Il a fallu attendre la fin du XIX^{ème} siècle et les travaux de Wallace Clement Sabine (1868-1919) pour voir connaître certains facteurs quantifiables. Tout au long du XX^{ème} siècle, ces connaissances se sont étoffées et ont abouti à ce mariage heureux de la théorie et de l'expérience qu'est aujourd'hui l'acoustique des salles (PIGNAL, 2003).

1.2 Le son et le bruit :

Malgré la différence entre le son et le bruit, on a tendance à se confondre entre les deux concepts. Dans cette partie, des éclaircissements qui expliquent l'origine du son et du bruit et la différence entre les deux seront traités.

1.2.1 Définition du son :

Le son peut être défini de deux manières :

- D'une manière **objective**: C'est le phénomène physique d'origine mécanique consistant en une variation de pression (très faible), de vitesse vibratoire ou de densité du fluide, qui se propage en modifiant progressivement l'état de chaque élément du milieu considéré, donnant ainsi naissance à une onde acoustique.
- D'une manière **subjective**: il s'agit de la sensation procurée par cette onde, qui est reçue par l'oreille, puis transmise au cerveau et déchiffrée par celui-ci (MAYER, s.d.).

1.2.2 Types du son :

Il existe deux types de son :

1.2.2.1 Le son pur :

C'est le son émis par une seule fréquence simple. C'est des sons sinusoïdaux. Par exemple un son du diapason (Figure : 1.3) (BUI VAN, 1996).

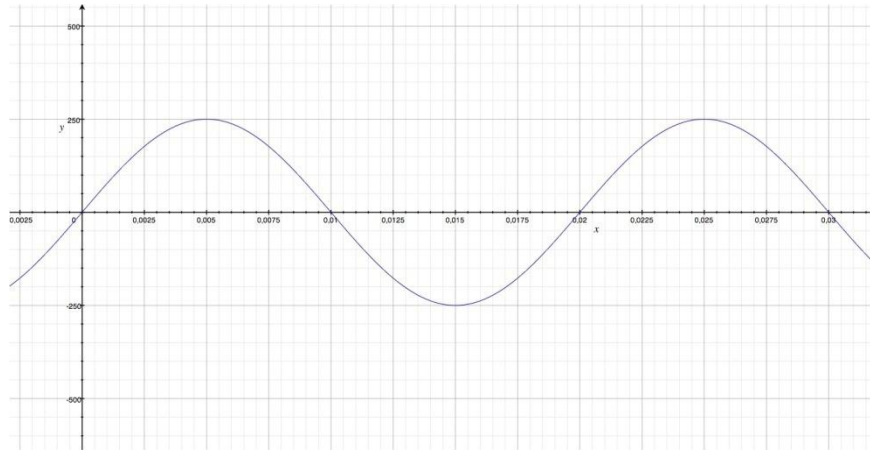


Figure 1-3: Représentation graphique d'un son pur (Source : perceptionsonoretp.e.free.fr.).

1.2.2.2 Le son complexe :

C'est une association de plusieurs sons. Tout son complexe (Figure : 1.4) peut se décomposer en plusieurs sons purs (BUI VAN, 1996).

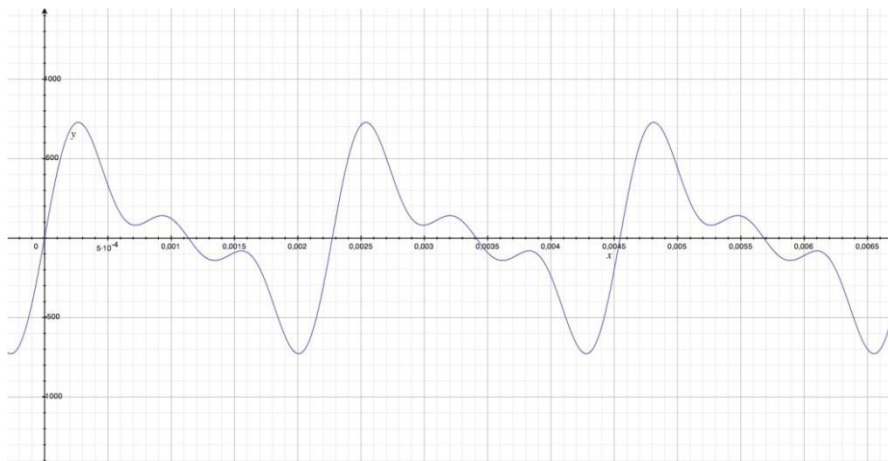


Figure 1-4: Représentation graphique d'un son complexe (Source:perceptionsonoretp.e.free.fr.).

1.2.3 Production du son :

Il existe deux mécanismes fondamentaux de production du son :

1. Soit le mouvement du fluide seul produit un son.
2. Soit les vibrations d'une structure se propagent à l'air environnant et créent le rayonnement acoustique (DUHAMEL, 2013).

1.2.4 Propagation du son :

Un son est une onde acoustique audible dans l'air. Mais l'onde acoustique peut exister et se propager dans tout milieu déformable qu'il soit **solide, liquide ou gazeux**. Selon les propriétés du milieu à se déformer, les caractéristiques physiques des ondes sonores telles que la célérité ou l'amplitude varient. Les ondes sonores, contrairement aux ondes lumineuses, ne se propagent pas dans le vide. Elles s'appuient nécessairement sur un milieu matériel (DELCROS, 2016).

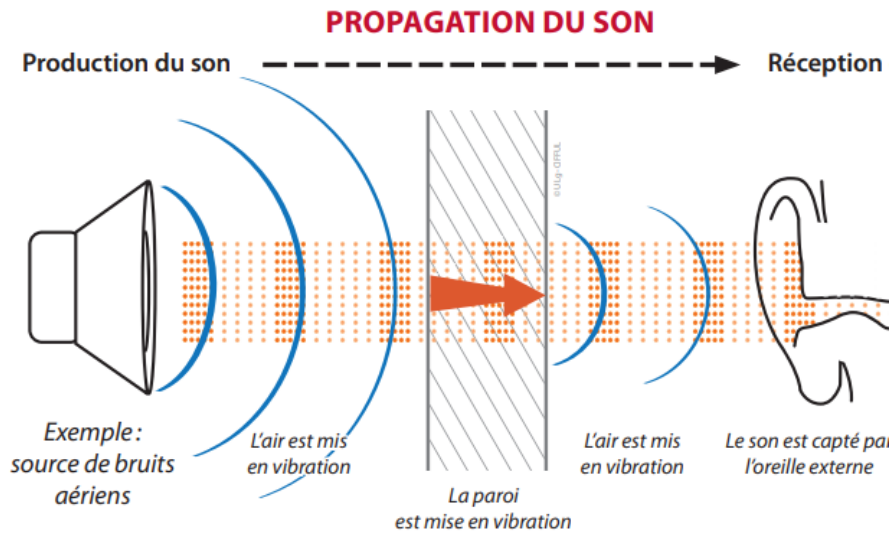


Figure 1-5: Schéma sur la propagation du son (Source : Centre de Référence professionnelle bruxellois, 2015).

1.2.5 Réception du son :

L'oreille humaine (Figure 1.6) est un organe complexe: elle est capable de transformer les sons, qui sont des vibrations de l'air, en signaux électriques à destination du cerveau. On distingue trois parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne (FRM, 2006):

- **l'oreille externe :** Formée de pavillon qui est constitué de cartilage, permet de canaliser les sons vers le conduit auditif. L'oreille externe est le récepteur des sons (FRM, 2006);
- **l'oreille moyenne :** C'est une cavité remplie d'air. Lorsque le tympan tremble sous l'effet d'un son, les osselets vibrent à leur tour et transmettent cette information vers l'oreille interne (FRM, 2006);
- **l'oreille interne :** Elle comprend le vestibule, qui est l'organe de l'équilibre, et la cochlée (ou limaçon), qui est l'organe clé de l'audition. Sa paroi interne supporte l'organe de

Corti. De là partent les fibres nerveuses qui rejoignent le nerf auditif et véhiculent l'information jusqu'au cerveau (FRM, 2006).

Un schéma est donné sur la figure (1.6) :

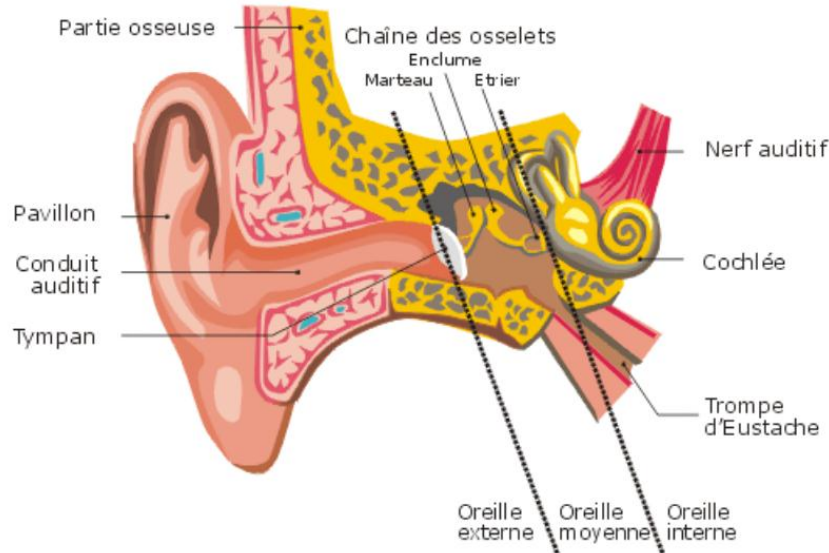


Figure 1-6: Illustration schématique de l'oreille humaine (Source : ADESSI, 2020).

1.2.6 Définition du bruit

- Le compositeur Nicolas Frize a défini le bruit comme étant un phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante (FRIZE, 1995).
- Physiquement, le bruit est défini comme le mélange complexe de sons de fréquences différentes. Il est défini aussi comme le phénomène acoustique produisant une sensation auditive désagréable. (HAMAYON, 2006).

1.2.7 La gêne auditive :

La gêne auditive est une notion très subjective qui reste difficilement mesurable. C'est une sensation de désagrément provoquée par l'environnement. Des caractères extra-acoustiques entrent en jeu comme le contexte socio-économique, l'état psychologique et physique de l'individu ou encore le contexte de survenue du bruit (DELCROS, 2016). Elle varie selon :

- **la personne** : le niveau sonore comme le type de son (aigu, grave) est perçu différemment selon les individus (SAINT-GOBAIN, 2016).

- **le lieu** : peu de personnes supportent d'entendre la musique trop forte de leur voisin, même si c'est une chanson de leur groupe préféré, pourtant, elles adoreront l'écouter à un niveau sonore plus élevé lors de leur concert (SAINT-GOBAIN, 2016).
- **le moment** : la sonnerie officialisant le commencement de la journée de travail dans une usine sera perçu comme désagréable alors que cette même sonnerie représentera un soulagement à la fin de la journée (SAINT-GOBAIN, 2016).

1.2.8 Sources du bruit :

On distingue trois sources de bruits :

1.2.8.1 Les bruits aériens :

Ce sont des bruits qui prennent naissance dans l'air et s'y propagent. On distingue deux catégories de bruits aériens :

- Les bruits aériens intérieurs, anciennement nommés bruits roses (bruit de conversation...) ;
- Les bruits aériens extérieurs, anciennement nommés bruit routiers (bruit du trafic ferroviaire, etc.) (SAINT-GOBAIN, 2016).

1.2.8.2 Les bruits solidiens (bruits d'impacts) :

Les bruits solidiens se transmettent par la mise en vibration des parois et structures. Ils peuvent aussi être nommés bruits de chocs ou bruits d'impacts. Ils concernent les bruits de pas, de chute d'objet...etc. (SAINT-GOBAIN, 2016).

1.2.8.3 Les bruits d'équipements :

Les bruits d'équipements peuvent se transmettre à la fois via l'air ambiant et via une mise en vibrations (des parois, de l'équipement...). Les bruits d'équipements concernent les ascenseurs, les conduits de ventilations, les réseaux hydrauliques (SAINT-GOBAIN, 2016).

Tableau 1-1: Propagation des bruits (Source : CRISPIN, 2015).

Source de bruit	Propagation	Exemple
Bruits aériens	Ils se propagent dans l'air et font vibrer la structure du bâtiment qui à son tour met l'air en vibration	Moyens de transport, radio, télévision, sèche-linge, aspirateur...
Bruits solidiens (d'impact)	Ils sont générés par un contact direct avec la structure du bâtiment et se propagent par celle-ci.	chaussures, chutes d'objets, coups de marteau, portes qui claquent...
Bruits d'équipements	Ils sont générés par des appareils fixés à la structure du bâtiment.	évacuation d'eau, ventilation mécanique, installation de chauffage, ascenseur...

1.2.9 Transmission du bruit :

On observe les transmissions du bruit suivantes :

- Transmissions directes** au travers des parois (façade, plancher, mur intérieur etc.) (VAN DAMME, 2008) ;
- Transmissions indirectes** par les parois latérales qui dépendent des liaisons entre parois latérales et la paroi de séparation (VAN DAMME, 2008);
- Transmissions parasites** dues au défaut de la paroi (fissure, manque d'étanchéité, etc.) (VAN DAMME, 2008).

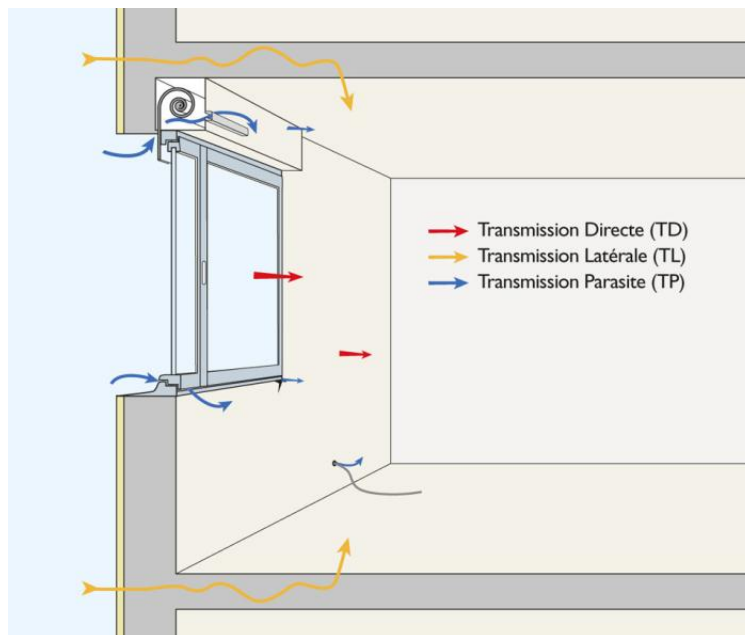


Figure 1-7: Mode de transmission du bruit (Source : qualiteconstruction.com).

1.3 Les ondes sonores ou acoustiques :

Les ondes sonores ou acoustiques présentent les ondes audibles par l'oreille humaine. Elles se propagent dans l'air à partir d'une source ponctuelle ou linéaire - dans une seule direction ou dans plusieurs directions selon le milieu de propagation.

1.3.1 Définition de l'onde sonore :

Une onde acoustique est une onde mécanique, longitudinale ayant une période temporaire à des fréquences perceptibles par l'oreille humaine. Les fréquences audibles par l'homme sont comprises entre 20 Hz à 20 000 Hz. Le signal qu'elles donnent à l'oreille s'appelle le son (DUHAMEL, 2013, BUI VAN, 1996). La représentation d'une onde sonore est présentée dans la figure (1.8) ci dessous.

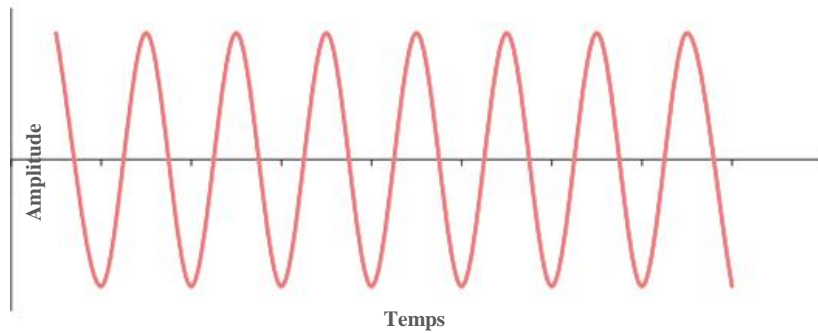


Figure 1-8: Représentation graphique d'une onde sonore en fonction du temps (DELCROS, 2016).

➤ Les sources de fréquences inférieures à 20 Hz ou supérieures à 20 000 Hz ne représentent pas des sources sonores, elles ne sont pas non plus perceptibles pour l'homme (DUHAMEL, 2013). Le schéma ci-dessous représente les différentes fréquences du son.

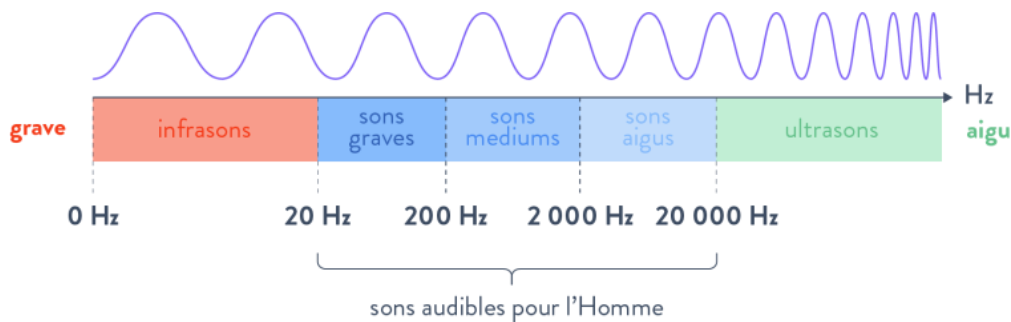


Figure 1-9: Intervalle des ondes sonores (Source : schoolmouv.fr).

1.3.2 Source sonore :

On appelle « source sonore » tout objet émettant des ondes sonores: L'homme parlant, machine en marche, haut parleur, etc. (BUI VAN, 1996).

On distingue deux types de sources sonores :

1.3.2.1 Sources ponctuelle :

C'est-à-dire une source qui rayonne de façon homogène dans toutes les directions. Ses dimensions sont petites par rapport aux distances de propagation des ondes : Instrument musical, voiture en marche...etc. En champs libre, dans un espace ouvert le niveau sonore décroît de 6 dB chaque fois que la distance par rapport à la source est doublée (BUI VAN, 1996, SAINT-GOBAIN, 2016);

1.3.2.2 Sources linéaires :

C'est toute source se composant des sources ponctuelles qui se rangent en ligne, par exemple une ligne de voiture en marche. En l'absence de masque, le niveau sonore décroît de 3 dB chaque fois que la distance par rapport à la source est doublée (BUI VAN, 1996 ; SAINT-GOBAIN, 2016).

1.3.3 Types des ondes sonores :

Une onde sonore peut se propager dans une ou plusieurs directions. On distingue trois types d'onde (PIGNAL, 2003) :

1.3.3.1 Les ondes planes :

Caractérisées par des fronts d'ondes plans et parallèles. On les trouve uniquement dans les conduites de section constante (PIGNAL, 2003);

1.3.3.2 Les ondes cylindriques :

Caractérisées par des fronts d'ondes cylindriques. Les ondes cylindriques sont utilisées pour modéliser le bruit émanant de la circulation sur une autoroute ou de toute autre **source linéique** (PIGNAL, 2003);

1.3.3.3 Les ondes sphériques :

Caractérisées par des fronts d'ondes sphériques et concentriques. On parle alors de **source ponctuelle**, c'est-à-dire d'une source qui rayonne de façon homogène dans toutes les directions. Comme le rapport entre la taille de la source et le volume où le son rayonne est souvent très petit en acoustique des salles, on considère qu'on est dans le cas d'ondes sphériques (PIGNAL, 2003).

1.3.4 Propagation des ondes sonores dans l'air :

Les sources sonores ne diffusent pas leurs ondes dans l'espace de façon identique. En effet, il existe deux façons de propagation (BUI VAN, 1996). On distingue :

-La propagation omnidirectionnelle : Cette propagation a lieu dans l'air libre (BUI VAN, 1996);

-La propagation directionnelle : Cette propagation a lieu dans l'air limité par des obstacles quelconques. Dans la propagation directionnelle, la source est toujours ponctuelle (BUI VAN, 1996).

1.3.5 Caractéristiques énergétiques des ondes acoustiques :

1.3.5.1 L'amplitude :

C'est la distance entre une crête (le point le plus élevé) et une vallée (le point le plus bas). Elle est mesurée en Pascal (Pa). On distingue ainsi les sons de forte amplitude des sons de petite amplitude (DELCROS, 2016);

- Un son de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa correspond au seuil de perception d'un individu normal (DELCROS, 2016).

1.3.5.2 La fréquence :

La fréquence est le nombre d'oscillations par seconde, elle est exprimée en Hertz (Hz). Les fréquences audibles se situent entre 20Hz et 20000Hz. Les infrasons sont les fréquences inférieures à 20Hz et les ultrasons sont les fréquences supérieures à 20 000 Hz (DELCROS, 2016). A partir de la fréquence, on peut classer les sons selon ces catégories :

Tableau 1-2: Les tonalités en fonction des fréquences (Source : DELCROS, 2016).

Tonalités	Fréquences f en Hz
Extrême graves	$f < 150$
Graves	$150 < f < 400$
Mediums	$400 < f < 1500$
Aigus	$1500 < f < 3500$
Extrême aigus	$f > 3500$

1.3.5.3 La longueur d'onde :

La longueur d'onde notée λ est la distance entre deux maxima de l'onde sonore, elle s'exprime en mètre (m) (DUHAMEL, 2013).

1.3.5.4 La période :

La période notée « T » est l'intervalle de temps entre deux maxima, elle s'exprime en seconde (s) (DUHAMEL, 2013).

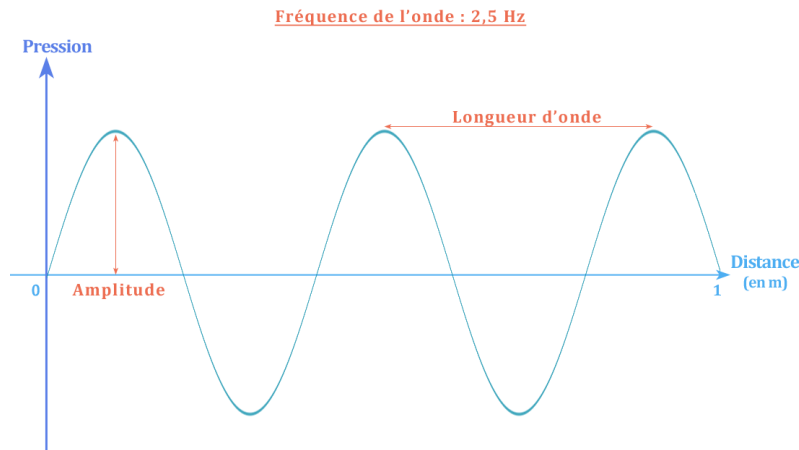


Figure 1-10: Représentation schématique d'une onde avec certaines de ses caractéristiques (Source : perceptionsonoretp.free.fr).

1.3.5.5 La vitesse ou célérité :

C'est la vitesse à laquelle une onde sonore se déplace d'une source via un support vers le récepteur. L'unité est le m/s (DUHAMEL, 2013). La célérité du son dans l'atmosphère est de 340 m.s⁻¹ à 20°C, soit environ 1200 km.s⁻¹ et de 331,45 m.s⁻¹ pour une température de 0°C (DELCROS, 2016).

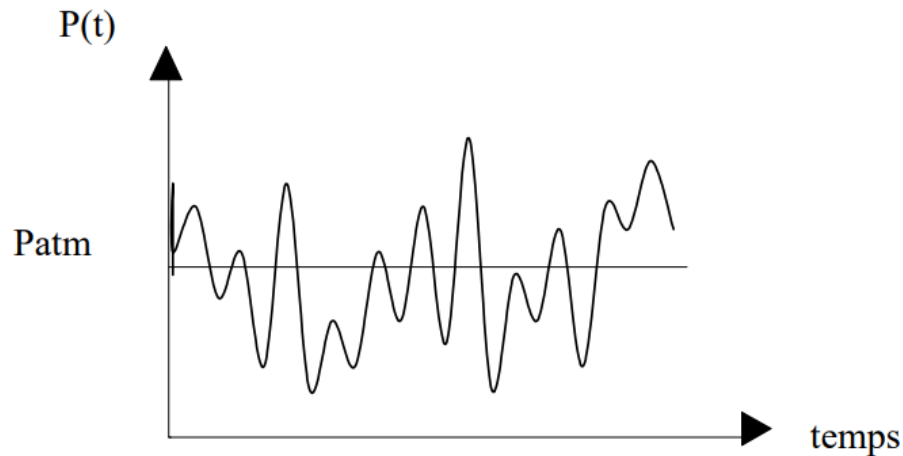
Tableau 1-3: Vitesse du son dans différents matériaux (Source : DUHAMEL, 2013).

Matériau	Masse volumique en kg/m^3	Vitesse du son en m/s
Aluminium	2700	5100
Acier	7800	5100
Bois dur	800	3500
Bronze	8800	3400
Eau à 20°C	/	1482
Air à 20°C	/	343
Caoutchouc souple	1020	70

1.4 Grandeurs physiques de l'acoustique :

1.4.1 Pression acoustique :

La grandeur caractéristique d'un son la plus accessible à la mesure (au moins dans les gaz) est la pression acoustique $p(t)$. En un point de l'espace, elle est définie comme étant la partie fluctuante de la pression totale $P(t)$ autour d'une valeur moyenne constante P_{atm} représentant la pression atmosphérique au repos (KRAUSS G. et al., 2009) (Figure 1.11).

Figure 1-11: Pression acoustique $P(t)$ (Source : KRAUSS G. et al., 2009).

$p(t) = P(t) - P_{atm}$ pression acoustique instantanée. Son unité de mesure est le Pascal (Pa) (KRAUSS G. et al., 2009).

1.4.1.1 Niveau de pression acoustique :

Le niveau de pression acoustique est défini par :

$$L_p = 20 \log P_e / P_0 \quad (\text{en dB})$$

Où : P_e est la pression acoustique efficace (Pa), et P_0 est la pression acoustique de référence, égale à $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Elle correspond à la plus faible pression que l'oreille peut déceler à la fréquence de 1 000 Hz (KRAUSS G. et al., 2009).

Compte tenu de la relation $I = P_e^2 / P_0 c$ et pour des conditions normales de température et de pression atmosphérique, $L_I = L_p$. Ce qui veut dire que, pour une onde propagative, les niveaux d'intensité et de pression sont les mêmes (KRAUSS G. et al., 2009).

1.4.2 Intensité acoustique :

L'intensité sonore d'une onde propagative est donnée par la formule suivante :

$$I = P_e^2 / P_0 c \quad (\text{en W/m}^2)$$

Où : P_e est la pression efficace de l'onde, en pascals (Pa), p la densité volumique du milieu dans lequel l'onde se propage en kg/m^3 et c la vitesse du son en m/s (KRAUSS G. et al., 2009).

1.4.2.1 Niveau d'intensité acoustique :

Les observations sur le mode de perception de l'oreille humaine ont mis à jour le fait que celle-ci était sensible à une variation relative de l'intensité sonore. Afin d'utiliser une mesure qui corresponde à notre perception, il a donc été convenu d'adopter l'échelle logarithmique pour l'étude des phénomènes sonores, le 0 marquant le seuil d'audition de l'oreille à 1 000 Hz. On définit ainsi le niveau d'intensité sonore, mesuré en décibels (KRAUSS G. et all, 2009) :

$$L_I = 10 \log I/I_0 \quad (\text{en dB})$$

Où : I_0 est une intensité de référence représentant l'intensité minimale à 1 000Hz, égale à 10^{-12} W/m^2 (KRAUSS G. et all, 2009).

1.4.3 Puissance acoustique

La puissance d'une source, calculée en watts (W), correspond au flux d'énergie émis par la source traversant une surface donnée par unité de temps. Elle se définit par l'équation suivante (KRAUSS G. et all, 2009) :

$$W = I \times S \quad (\text{en W})$$

Où S est la surface considérée, en m^2 (KRAUSS G. et all, 2009).

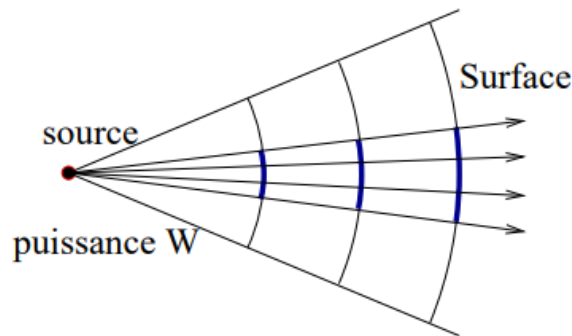


Figure 1-12: Puissance acoustique (W) (Source : KRAUSS G. et all, 2009).

1.4.3.1 Niveau de puissance acoustique :

De même que les niveaux d'intensité et de pression acoustiques, on définit le niveau de puissance acoustique comme étant (KRAUSS G. et all, 2009) :

$$L_w = 10 \log W / W_0 \quad (\text{en dB})$$

Où W_0 est la valeur de référence égale à 10^{-12} W (KRAUSS G. et all, 2009).

1.5 Sensibilité de l'oreille :

1.5.1 Le seuil d'audition :

Il correspond au son le plus faible (en intensité) que l'oreille est capable de percevoir. La pression acoustique correspondante vaut à 1 000 Hz (BOUDIER et GUIBERT, 2006) :

$$P_{\text{ref}} = 2 \cdot 10^{-5} \quad (\text{en Pa}).$$

Avec :

P_{ref} est la pression de référence (BOUDIER et GUIBERT, 2006).

1.5.2 Le seuil de douleur :

Il correspond à la pression acoustique d'intensité maximale que l'oreille peut supporter sans être endommagée (BOUDIER et GUIBERT, 2006),

$$P_d = 20 \quad (\text{en Pa}).$$

Avec :

P_d est la pression de douleur (BOUDIER et GUIBERT, 2006).

1.5.3 Échelle des décibels :

Le tableau ci-dessous montre des exemples de niveau sonore de quelques sources acoustiques. L'oreille n'entend pas les sons en dessous de 0 dB, cela ne veut pas dire que les sons au dessous de 0 dB n'existent pas. Ils correspondent seulement à des vibrations très faibles qui génèrent une pression acoustique inaudible par l'oreille humaine (Tableau 1.4). Il est de même pour les sons au dessus de 120 dB qui peuvent endommager ou détruire le système auditif (BOUDIER et GUIBERT, 2006).

Tableau 1-4: Echelle des niveaux sonores (Source : DELCROS, 2016).

Perception des bruits par l'oreille		Exemple de bruit courant	Niveau en Décibel	Possibilité de conversation dans le milieu bruyant	
Douleur insupportable et destruction du système auditif. Exige une protection		Fusée au décollage	190	Communication impossible	
		Tir de fusil	170		
		Explosion de pétards ou pistolet	160		
		Avion au décollage	140		
Douleur insupportable et destruction du système auditif.	Marteau piqueur	130			
Seuil de douleur, difficile à supporter et traumatisme auditif si l'exposition est trop longue.		Départ de formule 1	120		En criant
		Train, concert, discothèque	110		
		Tronçonneuse	105		
Seuil à risque auditif		Baladeur au maximum légal, marteau piqueur à 5 m	100		
		Sirène de police	95		
		Klaxon de voiture à 4m	90		
Bruit fort mais supportable	Circulation bruyante, aspirateur, cantine bruyante ou tondeuse	85			
Seuil de pénibilité, bruits fatigants		Circulation normale	70	Voix forte, conversation et compréhension difficile	
		Télévision, repas	65	Conversation avec un bruit de fond	
Seuil de confort auditif	Bruit courant	Rue calme	60	Voix chuchotée	
	Bruit calme	Bruits d'intérieur, la vaisselle et lave-linge			
		Pièce calme	30		
	Très calme	Vent léger dans des feuillages	20		
Silence inhabituel	Désert, laboratoire acoustique, forêt	10			
Seuil d'audibilité		Chambre sourde	0		

1.6 Addition des niveaux sonores :

Le niveau sonore s'exprime selon une échelle logarithmique, les règles d'addition classiques ne s'appliquent donc pas aux niveaux de bruit (SAINT-GOBAIN, 2016).

➤ Pour les niveaux sonores très différents :

Si l'écart des niveaux de bruit est supérieur à 10 dB, le bruit le plus fort masque le plus faible. C'est l'effet « de masquage » lorsque qu'un son est rendu inaudible par un autre (SAINT-GOBAIN, 2016);

➤ Pour les niveaux sonores voisins :

Si les niveaux de bruit sont similaires, l'écart est inférieur à 10 dB, l'évaluation du niveau de bruit résultant se fait par addition au niveau de bruit le plus fort d'une valeur donnée dans le tableau suivant (SAINT-GOBAIN, 2016).

Tableau 1-5: Valeurs à ajouter aux différents niveaux de bruit (Source : SAINT-GOBAIN, 2016).

Différence entre deux niveaux sonores (en dB)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valeur à ajouter au niveau le plus fort (en dB)	3.0	2.6	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5

1.7 Les phénomènes acoustiques liés à l'environnement :

Pendant leur parcours, les ondes sonores vont subir des modifications liées à des obstacles et des changements de milieu.

1.7.1 La réflexion :

Le phénomène de réflexion a lieu lorsqu'une onde sonore frappe une paroi de dimension supérieure à sa longueur d'onde. Cette onde frappant la surface d'une paroi lui envoie une quantité définie d'énergie acoustique. Cette énergie s'appelle «énergie incidente», une partie de cette énergie est réfléchi. La quantité des ondes réfléchies dépendent de la taille et de la douceur des matériaux de la paroi (BUI VAN, 1996 ; ANTHONY et al., 2007).

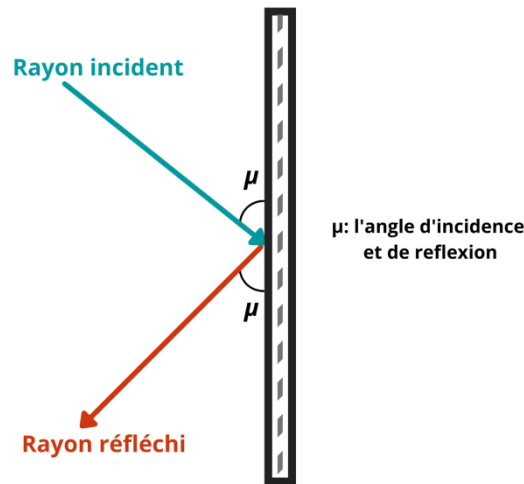


Figure 1-13: Phénomène de réflexion (Source : Auteur, 2021).

1.7.2 La diffraction:

Ce phénomène se produit lorsque l'onde sonore rencontre un obstacle de dimension inférieure ou égale à sa longueur d'onde. L'onde a tendance de contourner l'obstacle à une source sonore. Contrairement à la réflexion, ce phénomène concerne en particulier les basses fréquences (ANTHONY et al., 2007).

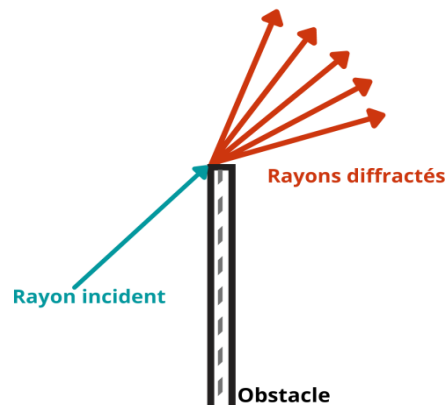


Figure 1-14: Phénomène de diffraction (Source : Auteur, 2021).

1.7.3 L'absorption :

Lorsqu'une onde sonore frappe une paroi (Figure 1.15), une partie de son énergie est absorbée par cette paroi. L'épaisseur et la nature du matériau influence la quantité d'énergie acoustique absorbée. L'énergie absorbée est transformée en chaleur (ANTHONY et al., 2007).

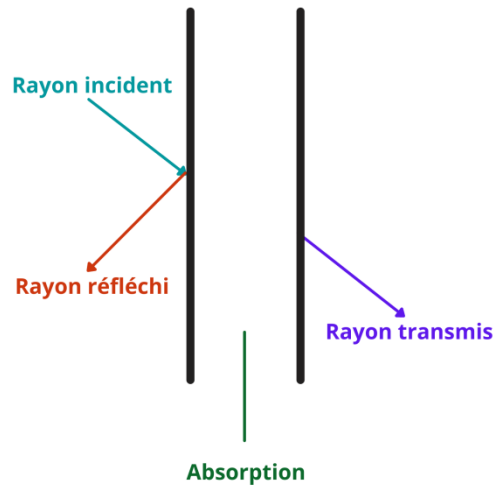


Figure 1-15: Phénomène d'absorption (Source : Auteur, 2021).

1.7.4 La réfraction :

La réfraction est un phénomène de déviation de l'onde sonore, provoqué lors du déplacement du son d'un milieu à un autre milieu ayant une composition différente. L'onde est déviée et produit une onde réfractée ainsi qu'une onde réfléchie. Il existe aussi des phénomènes de réfraction dans un même milieu lorsque celui-ci présente des caractéristiques physiques non homogènes (ANTHONY et al., 2007).

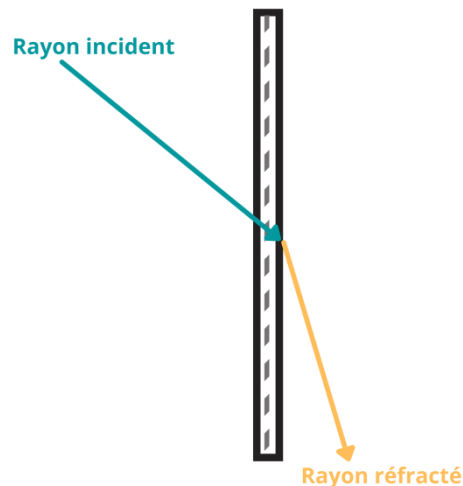


Figure 1-16: Phénomène de réfraction (Source : Auteur, 2021).

1.7.5 La diffusion:

Lorsqu'une onde sonore rencontre un obstacle, la majeure partie de cette onde est réfléchie. Elle se produit lorsque la longueur d'onde est de même taille que les irrégularités de la surface (texture et dureté). La direction du rayon incident change lorsqu'il frappe la surface

da la paroi. Une diffusion sonore adéquate favorise une répartition uniforme du son, elle accentue les qualités naturelles de la parole et la musique, et empêche la montée de divers défauts acoustiques (ANTHONY et al., 2007).

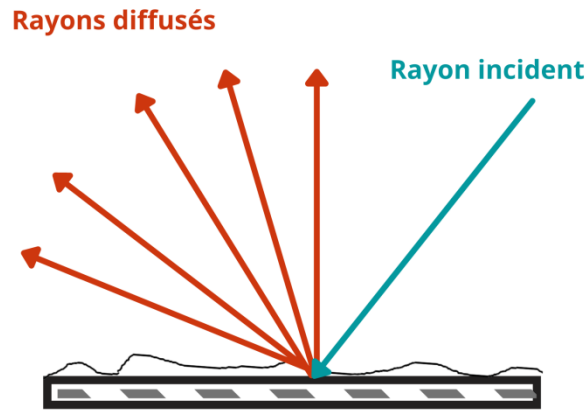


Figure 1-17: Phénomène de transmission (Source : Auteur, 2021).

1.7.6 La transmission :

Lorsqu'une onde sonore, provenant d'un espace, frappe une paroi, une partie de l'onde est portée par les particules à travers la vibration de la surface et transmise à l'autre côté de l'espace. Elle s'accompagne de l'atténuation de l'onde au cours de cette traversée (ANTHONY et al., 2007).

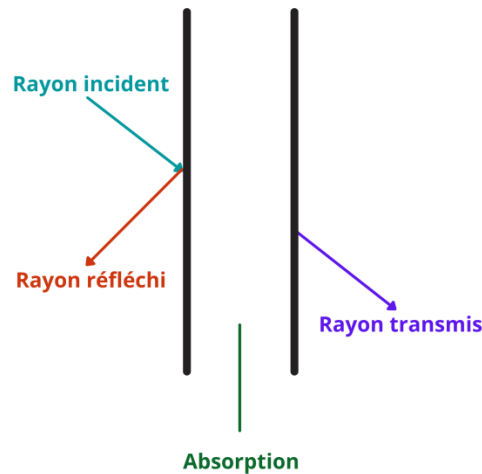


Figure 1-18: Phénomène de transmission (Source : Auteur, 2021).

1.8 Notion de réverbération :

Lorsque l'on interrompt l'émission d'une source le son décroît plus ou moins rapidement selon que les parois sont absorbantes ou réfléchissantes (KUZNIK et al., 2009).

-Pour les locaux à parois très absorbantes, la décroissance est rapide, on dit encore qu'ils sont "sourds" et apporte à l'auditeur une impression désagréable d'étouffement (KUZNIK et al., 2009).

-A l'opposé, dans un local à parois très réfléchissantes, la décroissance du son est lente et gêne l'intelligibilité de la parole notamment pour des grandes salles ou la différence entre des ondes directes et réfléchies peuvent engendrer des échos (KUZNIK et al., 2009).

Le phénomène d'écho est du à la différence de parcours entre l'onde directe et l'onde réfléchi. Il se produit lorsque le temps qui sépare l'arrivée des deux ondes au même point est supérieur à 0,1 seconde (KUZNIK et al., 2009).

Pour calculer le temps de réverbération d'un local, on utilise la formule de SABINE.

$$T = 0,161.V/S_t \bar{\alpha}_s$$

Avec V = volume du local (m^3) et $\bar{\alpha}_s$: coefficient d'absorption moyen de Sabine, S_t surface des différents matériaux absorbants recouvrant les parois du local (KUZNIK et al., 2009).

1.8.1 Temps de réverbération :

C'est le temps qui définit la chute de l'intensité sonore de 60dB. Il varie selon la géométrie et le revêtement des parois de la salle. Lorsqu'un son est émis, celui-ci est décomposé en sons directs et réfléchis sur les différentes parois. Il faut intervenir sur ces derniers pour assurer le confort acoustique d'une pièce (VAN DAMME, 2008).

Conclusion :

Le son est une onde mécanique qui traverse un milieu sous forme d'ondes longitudinales à partir d'une source à un récepteur provoquant une sensation d'audition. Ce milieu peut être solide, fluide ou gazeux. Les ondes sonores émises par différentes sources sonores varient en fréquence, pression et intensité.

La gêne sonore est un effet psychologique associé au bruit, dépendant de la perception subjective du bruit et sa tolérance qui varient d'un individu à l'autre. Malgré cette subjectivité, il est possible de mesurer le niveau sonore perçu par l'oreille. Celui-ci est mesuré en décibels (dB). Dans un espace clos, les ondes sonores, pendant leurs parcours vont subir des changements liées à des obstacles rencontrés et des changements de milieu, tel que : la réflexion, l'absorption et la diffusion. Ces facteurs sont importants pour l'intelligibilité de la parole dans l'espace.

Toutefois, des phénomènes acoustiques variés s'imposent à nous au quotidien, dans notre environnement, lieu de vie, de travail et de loisir. Il est donc important de se protéger de ces nuisances en appliquant des stratégies et techniques, pour le confort acoustique des espaces aménagés ; c'est objet du deuxième chapitre.

Chapitre 2 Stratégies et techniques du confort acoustique des salles de spectacle

Introduction :

Le choix d'un ensemble de dispositifs constructifs de correction ou d'isolation acoustique dépend de la nature du bruit dans le bâtiment. Pour réduire ou stopper la transmission des bruits, elles dépendent des matériaux utilisés, des techniques de mise en œuvre, de l'architecture et de l'environnement du bâtiment.

Jusqu'à aujourd'hui, l'acoustique a été comprise comme la science reliée au niveau pratique avec les arts de l'architecture et de la musique : l'architecture acoustique. Le spectacle s'adresse aux spectateurs prévenus et aux passants de hasard, il s'appuie sur les émotions communes et les cultures partagées.

Après tous ce qu'on a vus dans le chapitre précédent sur les généralités de l'acoustique, on va englober tous ces domaines dans une institution qui rassemble toutes les connaissances précédents. Cette institution est la salle de spectacle où la qualité acoustique est très élevée, dans ce chapitre nous traitons les stratégies de la lutte contre les bruits et les spécificités de l'acoustique dans une salle de spectacle pour savoir appliquer ce que nous savions théoriquement acquis et sortir avec des réponses qui répondent à notre problématique.

2.1 L'isolation et la correction acoustique :

L'isolation permet de réduire l'énergie transmise ; Par contre, le la correction de réduire l'énergie réfléchi. La réduction de l'énergie réfléchi n'a aucune incidence sur l'énergie transmise par la paroi, dont l'isolement reste constant (AUFFRET, 2015).

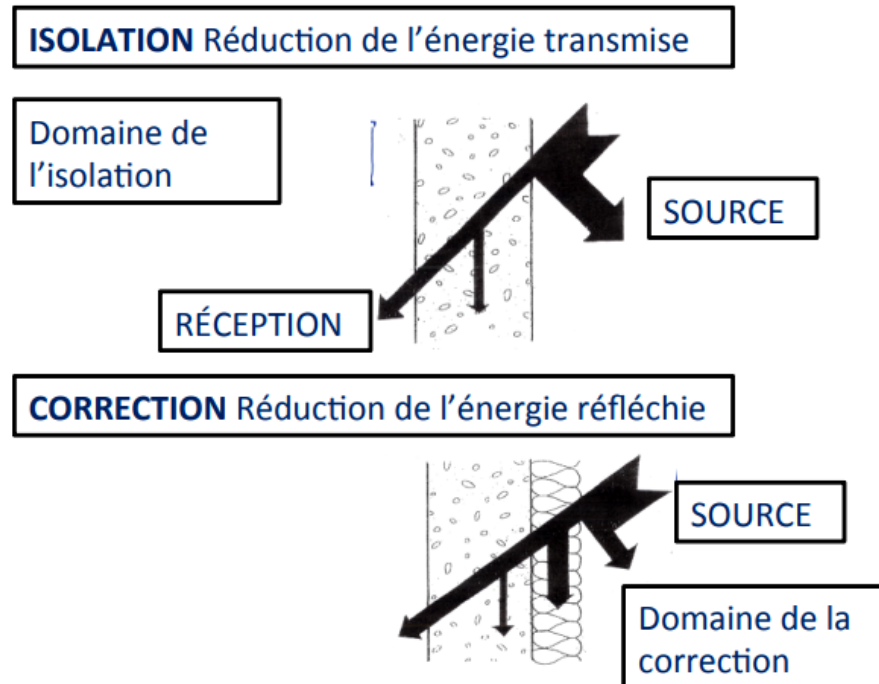


Figure 2-1: Schéma des transmissions du bruit. (Source : AUFFRET, 2015).

2.1.1 L'isolation acoustique :

L'isolation acoustique désigne les solutions, mises en place, pour limiter la transmission du bruit à travers des parois, en agissant sur la structure elle même (VAN DAMME, 2008).

2.1.1.1 Définition de l'isolation acoustique :

L'isolation acoustique (Figure 2.2) est l'ensemble des dispositions prises afin de réduire la transmission de l'énergie acoustique, depuis les sources qui la produisent jusqu'aux lieux qui doivent être protégés. L'isolation acoustique a pour but de réduire la transmission des bruits d'un local à un autre. Ainsi, le bruit est diminué et le confort amélioré (HAMAYON, 2006).

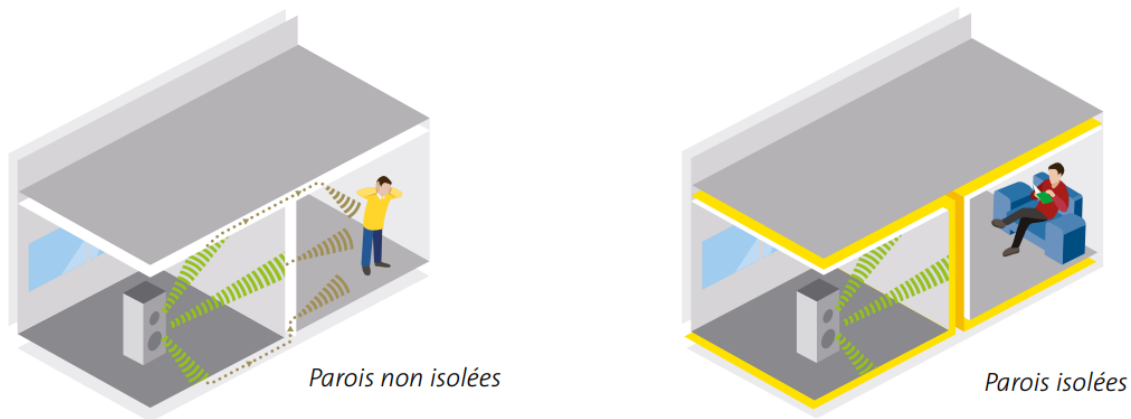


Figure 2-2: Schéma isolation acoustique. (Source : ISOVER).

2.1.1.2 Principes d'isolation acoustique :

2.1.1.2.1 Agir au niveau de l'implantation :

L'agencement des bâtiments en mitoyenneté, ainsi que l'aménagement d'espaces tampons entre la source de bruit et le bâtiment influencent la manière dont le bruit atteint les lieux où on recherche le calme (VAN DAMME, 2008).

2.1.1.2.2 Limiter les surfaces de séparation :

Chaque m² de mur ou de plancher de séparation entre des espaces contigus représente un diffuseur sonore de plus. Plus cette surface de séparation est grande, plus la transmission du bruit est importante (VAN DAMME, 2008).

2.1.1.2.3 Création de la masse :

Selon la « loi de masse », plus un matériau est lourd (dense et épais), plus il isole. Ce principe met en évidence l'intérêt des matériaux massifs dans l'acoustique architecturale. La présence de masse est particulièrement efficace dans l'affaiblissement des bruits aériens (VAN DAMME, 2008).

2.1.1.2.4 Déphaser les ondes :

Chaque matériau, par ses propriétés physiques et sa masse, absorbe une tranche d'ondes sonores. La création d'un complexe de couches hétérogènes est donc particulièrement efficace dans le captage de la globalité des phases du son. Il est important de varier l'épaisseur et la

densité volumique des matériaux employés dans l'élément acoustique. C'est le principe Masse-Ressort-Masse (VAN DAMME, 2008).

2.1.1.2.5 Etanchéfier :

Il est nécessaire de rechercher une étanchéité et une homogénéité maximale de la paroi pour limiter le risque de fuites sonores. Là où l'air passe, le bruit passe, c'est pourquoi une bonne isolation acoustique suppose nécessairement une bonne étanchéité à l'air qui ne doit toutefois pas s'opérer au dépend d'une ventilation saine des espaces (VAN DAMME, 2008).

2.1.1.2.6 Désolidariser :

Afin d'éviter la propagation des vibrations, la désolidarisation des différents éléments (cloison – plancher, mur – plancher, canalisation – mur, etc.), au moyen de joints souples, doit être maximale. Ces coupures peuvent être réalisées à l'aide de joints de dilatation "plots antivibratoires". On pourra isoler les espaces sensibles selon le principe de la "boite dans la boite" (VAN DAMME, 2008).

2.1.2 La correction acoustique :

La correction acoustique traite de la réponse d'un local où se trouvent simultanément la source du bruit et les occupants, selon l'usage du local (VAN DAMME, 2008).

2.1.2.1 Définition de la correction acoustique :

La correction acoustique sert à améliorer les conditions d'écoute (salles de classe, auditorium), ou bien diminuer le niveau sonore (restaurants, bureaux, halls d'immeuble). Cela peut viser également la diminution du niveau sonore pour favoriser l'écoute (réduire le rapport signal/bruit) (VAN DAMME, 2008).

2.1.2.2 Les Principes de correction acoustique :

2.1.2.2.1 Ajustement des surfaces réfléchissantes et absorbantes :

L'état de la surface et de la composition des parois (murs, plafond, sol) d'un espace construit détermine en grande partie ses caractéristiques acoustiques. En fonction de la destination du lieu, on choisit les parois lisses réfléchissant le son (par exemple les murs

plafonnés), et les parois absorbantes (par exemple une contre cloison perforée avec isolant). Pour éviter un effet « ping-pong » entre deux murs parallèles réfléchissants, on applique un matériau absorbant sur l'un d'eux (VAN DAMME, 2008).

2.1.2.2.2 *La géométrie des locaux :*

En fonction de la destination du local, on préconisera des proportions qui influencent l'acoustique. Une géométrie régulière peut avoir des conséquences désagréables sur un espace. Il est par conséquent important de bien choisir les rapports entre Hauteur / Longueur / Largeur (VAN DAMME, 2008).

2.2 Matériaux et éléments absorbants :

Les matériaux absorbants sont très importants pour la conception acoustique. On distingue quatre types de matériaux et éléments absorbants : les matériaux poreux nus, les membranes vibrantes, les matériaux poreux protégés par des panneaux perforés et enfin les résonateurs (BUI VAN, 1996).

2.2.1 Matériaux poreux nus :

Ils (Figure 2.3) sont constitués de cellules d'air communicantes. Dans ces matériaux l'air est mis en mouvement par les ondes sonore ; ces dernières perdent de l'énergie par suite des frottements des particules d'air sur le matériau. Ce type de matériaux est plus absorbant pour les fréquences élevées que les fréquences basses (BUI VAN, 1996).



Figure 2-3: Matériau poreux. (Source : techniques-alternatives.com).

2.2.2 Membranes vibrantes :

Les membranes (Figure 2.4), également appelées « diaphragmes » ou « panneaux fléchissant », se composent de panneaux montés sur un cadre, placés à quelques centimètres d'une paroi et emprisonnant une lame d'air entre eux-mêmes et la paroi. Contrairement aux matériaux poreux, elles absorbent fortement les fréquences basses et faiblement les fréquences élevées (BUI VAN, 1996).

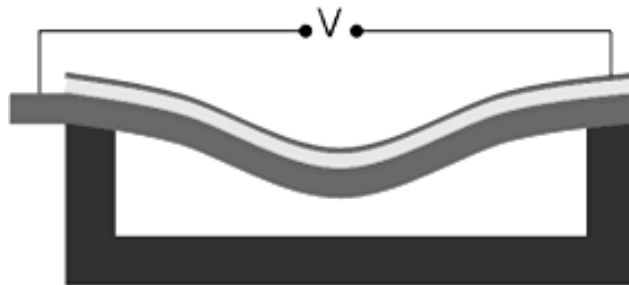


Figure 2-4: Système de la membrane vibrante. (Source : SRIDI, 2006).

2.2.3 Matériaux poreux protégés par des panneaux perforés :

Ce sont des éléments composés par des matériaux poreux protégés pour absorber fortement les fréquences élevées. Les panneaux perforés protecteurs, qui agissent comme des membranes vibrantes, absorbent fortement les fréquences basses (BUI VAN, 1996).

2.2.4 Résonateurs :

Les résonateurs sont des dispositifs ou des systèmes qui présentent une résonance ou un comportement résonant. Les résonateurs sont utilisés dans l'absorption des fréquences plus ou moins fortes (BUI VAN, 1996).



Figure 2-5: Résonateur de Helmholtz. (Source : atrimoine.auvergnerrhonealpes.fr).

2.3 L'architecture acoustique :

2.3.1 Définition de l'architecture acoustique :

L'expression « Architecture Acoustique » désigne la qualité scientifique, technique et artistique dans la conception, projection et contraction de tout ce qui constitue un message ou intention que demande le support acoustique (DAUMAL, 1990).

2.3.2 Le domaine de l'architecture acoustique :

L'Architecture Acoustique est entendue comme un art. Elle peut être appliquée dans trois domaines:

-La poésie acoustique : La poésie Acoustique étudie le langage sonore, c'est à dire, les fondements, les éléments et syntaxes grammaticales de ce langage, l'importance des silences, l'impression de volume sonore et de tonalité. En définitive tous les composants d'un art (DAUMAL, 1990).

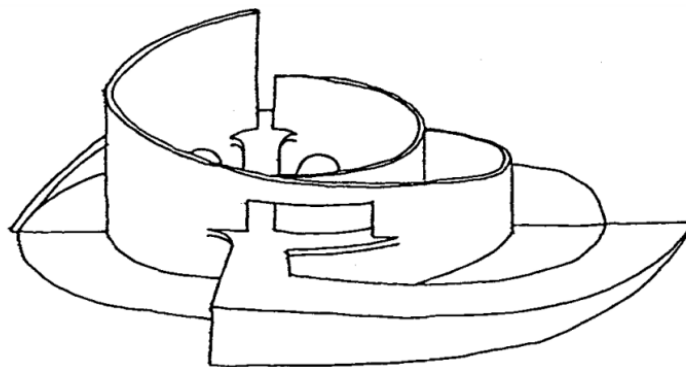


Figure 2-6: Project d'exposition d'un Park Acoustique (DAUMAL, 1990).

-Le design acoustique : Le design Acoustique conjugue la Poétique avec le Paysagisme, l'Urbanisme, l'Architecture, la Musique, etc., pour des applications, théories ou pratiques concrètes (DAUMAL, 1990).

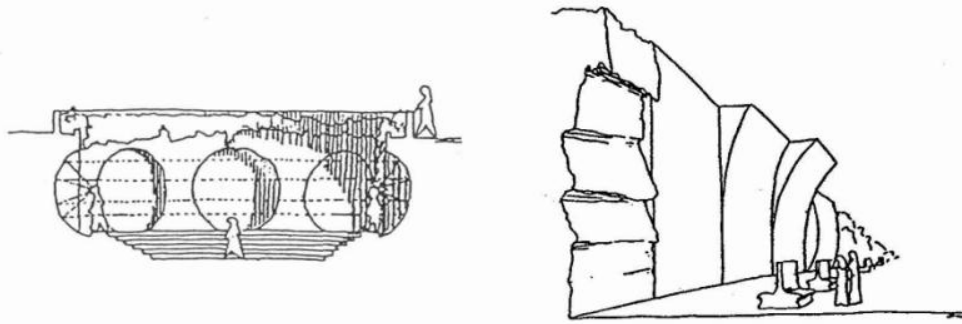


Figure 2-7: Projet acoustique de Parc (DAUMAL, 1990).

-La réhabilitation acoustique : La réhabilitation Acoustique s'intéresse aux solutions concrètes des problèmes générés par un design acoustiquement malade, un nouvel usage, ou variation de ratio de confort (DAUMAL, 1990).

2.4 Le spectacle :

2.4.1 Définition du spectacle vivant:

C'est la présence physique d'au moins un artiste rémunéré. Le déroulement en public constitue le critère principal du spectacle vivant (DRAC Centre, 2009).

2.4.2 Les différentes formes de spectacle vivant :

De nombreux modes d'expression artistique sont désignés sous l'appellation de « spectacle vivant » : le théâtre, la musique « live », la danse, les arts du cirque, les arts de la rue, les arts de la marionnette et l'opéra.

- Concert de musique :

a-Concert de musique classique :

Le mot classique ne se réfère qu'à la musique écrite entre le milieu du XVIII^{ème} siècle et l'apparition de la musique romantique dans les années 1820. Cependant, on associe également aux formations classiques la musique baroque, la musique romantique et la musique de chambre. On y retrouve différentes formes de représentation allant du simple instrumentiste (ex : pianiste solo) à des formations plus complexes, comme l'orchestre symphonique ou philharmonique (CNFPT, 2017).

b-Orchestre de chambre :

Destiné aux œuvres du XVII^{ème} siècle au XIX^{ème} siècle dans la musique instrumentale classique. Un orchestre de chambre est un orchestre de taille modeste (une trentaine de musiciens maximum). Ce type d'orchestre est souvent en lien avec le lieu de sa représentation (des salons, des églises, ou, tout simplement, des salles de concert de dimensions réduites) (CNFPT, 2017).

c-Quatuor à cordes :

Un quatuor à cordes est, en musique classique, un ensemble musical (un groupe de musiciens) composé de quatre instruments à cordes (généralement deux violons, un alto et un violoncelle). Le quatuor à cordes est une formation majeure de la musique de chambre ; parmi les nombreuses combinaisons possibles (depuis le duo) le quatuor est, avec le trio piano, violon, violoncelle, la formation dont le répertoire est le plus étendu (CNFPT, 2017).

d-Orchestre symphonique ou philharmonique

L'orchestre symphonique ou philharmonique est un ensemble musical formé des quatre familles d'instruments : cordes, bois, cuivres et percussions. Il est issu de l'orchestre à cordes de la période baroque. Sa principale fonction est dédiée à l'exécution, dans les salles de concert, des œuvres symphoniques. Cette formation est également utilisée pour l'accompagnement en fosse, dans les salles d'opéra, des représentations d'art lyrique ou chorégraphique (CNFPT, 2017).

e-Concert de Jazz

Les concerts de Jazz englobent de petits lieux de diffusion. Ces concerts sont semi acoustiques, seuls les instruments nécessitant une amplification se verront sonorisés (voix, guitare, contrebasse...). Cependant, sur des jauges plus importantes, il faudra suivre les demandes techniques (CNFPT, 2017).

f-Concert de musiques amplifiées

Musiques amplifiées est un terme institutionnel créé par le ministère de la Culture en France. Il désigne certaines musiques actuelles utilisant des amplificateurs. Les Musiques

populaires, musiques urbaines, musiques jeunes, toutes se retrouvent sous les termes génériques de musiques actuelles et/ou de musiques amplifiées (CNFPT, 2017).

- Arts pluridisciplinaires

a- Pièce de théâtre

Une pièce de théâtre est une œuvre destinée à être jouée durant une représentation théâtrale, la plupart du temps écrite selon des règles de la littérature dramatique. Dans ce but, le texte est constitué de dialogues entre les personnages et d'indications concernant la mise en scène ou les détails concernant : décor, localisation géographique, ambiance lumineuse et sonore, gestes des personnages (CNFPT, 2017).

b-L'opéra

Un opéra est une œuvre destinée à être chantée sur une scène, appartenant à un genre musical vocal du même nom ; l'opéra est l'une des formes du théâtre musical occidental regroupées sous l'appellation d'art lyrique. L'œuvre chantée par des interprètes possédant un registre vocal déterminé en fonction du rôle et accompagnée par un orchestre, parfois symphonique, parfois de chambre, parfois destinée essentiellement au seul répertoire d'opéra (CNFPT, 2017).

c-Spectacle de danse et ballet

Le ballet est un genre dramatique dont l'action est présentée par des danses. Ses origines remontent à la Renaissance italienne. Primitivement développé à la cour d'Italie, le ballet est devenu comme art noble en France, puis en Russie, en tant que danse-spectacle. Selon les époques, les pays et les courants, le spectacle chorégraphique peut intégrer de la musique, du chant, du texte, des décors, et même des machineries (CNFPT, 2017).

d.Les arts du cirque

Un cirque est une compagnie d'artistes, qui comporte le plus souvent des acrobates, des numéros de dressage et de domptage d'animaux, des spectacles de clowns, des tours de magie. Plus généralement au XXIe siècle, le cirque est un spectacle vivant populaire organisé autour d'une scène circulaire qui lui doit son nom (CNFPT, 2017).

e-Les arts de la rue

On désigne par le terme « arts de la rue » les événements artistiques donnés à voir dans la rue, donc, sur les places, dans une gare ou un port et aussi bien dans une friche industrielle ou un immeuble en construction (CNFPT, 2017).

f-Les arts de la marionnette

Les marionnettes représentent des personnages (réels ou imaginaires) ou des animaux. Leur rôle peut être parlé ou muet. Le terme « théâtre de marionnettes » désigne à la fois le genre théâtral et le lieu de la représentation. Sa particularité se distingue dans le déplacement de la compagnie avec son théâtre (CNFPT, 2017).

2.5 Typologie des salles de spectacle :

L'étude des différentes géométries des salles de spectacle permet de comprendre comment fonctionnent les différents types de salles d'un point de vue acoustique :

2.5.1 Boîte à chaussures (shoe-box)

Ce concept de «boîte à chaussures» est caractérisé par une forme rectangulaire (souvent assez allongée), une grande hauteur, avec généralement des galeries ou balcons, pour y placer des musiciens ou des spectateurs. Les déformations et reliefs (balcons, colonnes, niches ou autres éléments) sont indispensables pour éviter les mauvais effets des murs lisses parallèles, qui créent des colorations et des échos flottants (Kahle Acoustics et Altia, 2006).

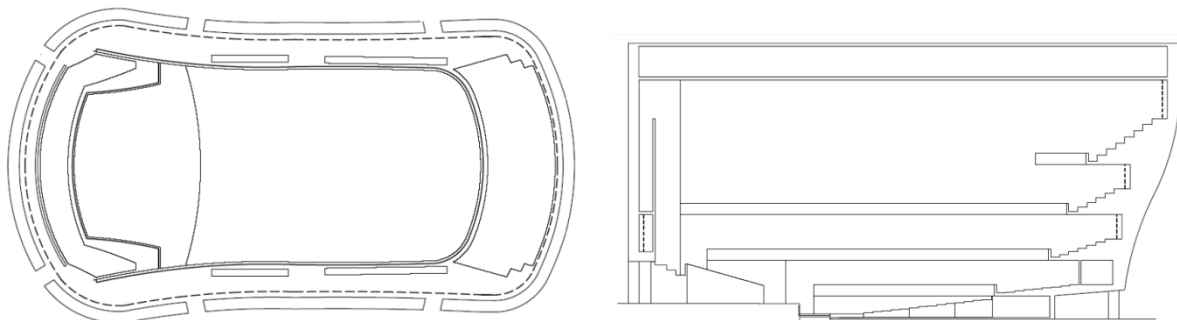


Figure 2-8: Exemple de salle en forme de « boîte à chaussures ». Source : Kahle Acoustics et Altia, (2006).

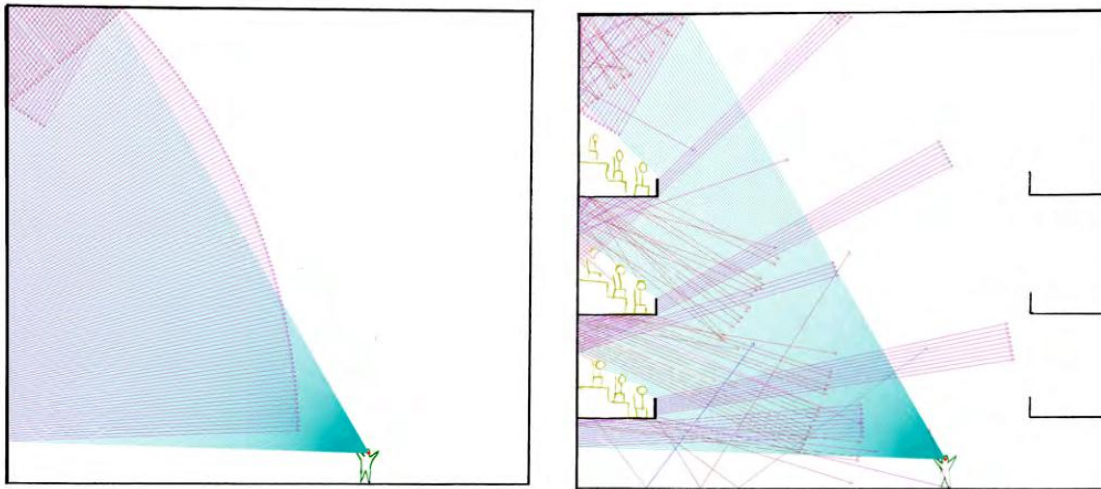


Figure 2-9: Illustration du rôle acoustique des balcons : simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions. Les traits bleus représentent les rayons incidents, les traits violets et rouges les rayons réfléchis (Source : Kahle Acoustics et Altia, 2006).



Figure 2-10: Exemple de salle de type boîte à chaussure : La Philharmonie de Paris (Source : arts-in-the-city.com).

2.5.2 Salles en vignoble ou « vineyard »

En général la forme ronde de base est néfaste et crée des zones évidentes de focalisations, en fonction de la position de la source, donc il est nécessaire de casser cette forme ronde pour diversifier davantage les directions des réflexions (Kahle Acoustics et Altia, 2006).

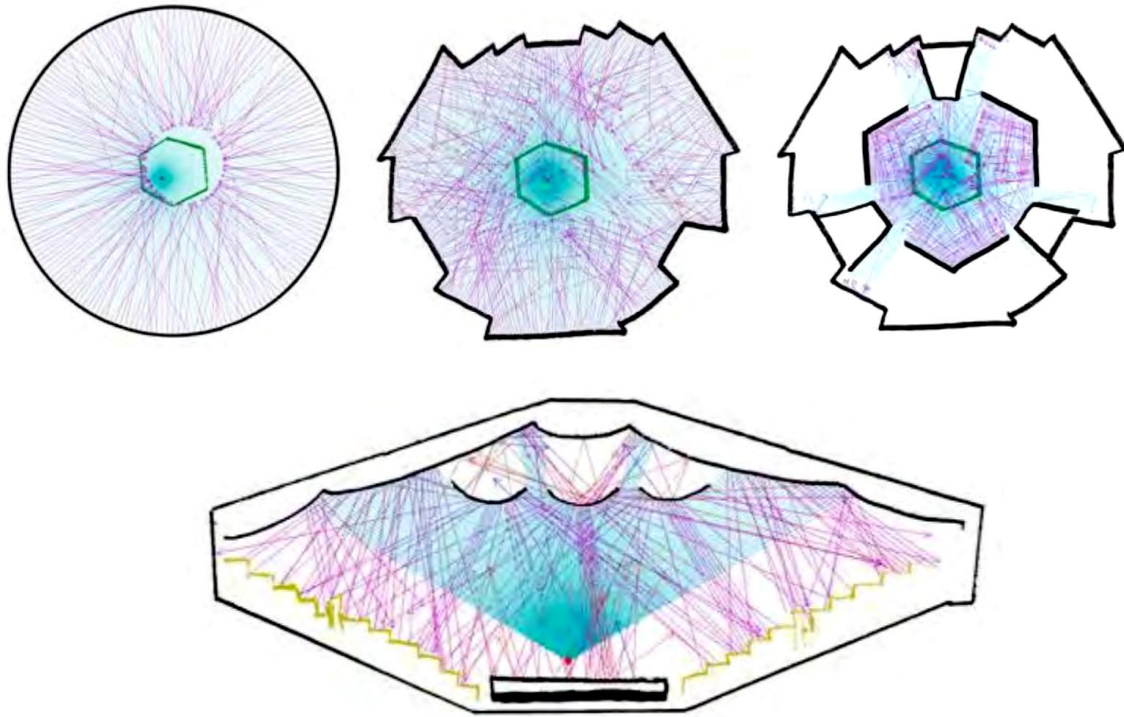


Figure 2-11: Fonctionnement d'une salle de type « vignoble »: schématisation du trajet des rayons sonores en deux dimensions (Source : Kahle Acoustics et Altia, 2006).

La forme du plafond doit être dessinée de manière à permettre une distribution homogène des réflexions précoces dans toute la salle et à assurer un volume acoustique suffisant au-dessus des musiciens (Kahle Acoustics et Altia, 2006).



Figure 2-12: Exemple de salle de type vignoble : La Philharmonie de Berlin (Source : berliner-philharmoniker.de).

3 Salles à réflexions précoces optimisées :

La salle à réflexions est caractérisée par des réflexions latérales des parois. Les réflecteurs garantissent une bonne projection depuis les sources sonores vers le public et une bonne présence de ces sources. Le grand volume acoustique de la salle permet un temps de réverbération plus long et une présence suffisante de la salle et du champ tardif. La hauteur sous plafond est aussi relativement importante, de manière à garantir un volume acoustique suffisant. Les réflecteurs acoustiques au plafond permettent de créer suffisamment de réflexions précoces pour assurer une bonne clarté et une bonne intelligibilité sonore (Kahle Acoustics et Altia, 2006).

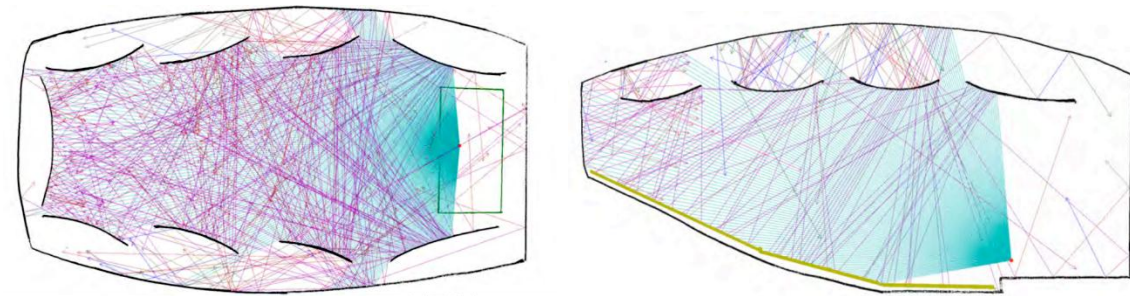


Figure 2-13: Schématisation d'une salle « à réflexions précoces optimisées » : simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions. Source : Kahle Acoustics et Altia, (2006).



Figure 2-14: Exemple de salle de type salle à réflexions précoces optimisées : salle de concert du Kultur- und Kongresszentrum (Source: kahleacoustics.com).

4 Arena (arène) et amphithéâtre :

Les salles en arène ou en forme d'amphithéâtre se sont développées à partir des arènes et théâtres antiques. Elle fonctionne très bien acoustiquement pour la parole et le théâtre, elle minimise la distance entre les sources sonores et les spectateurs, garantit suffisamment d'énergie pour le son direct. Son fonctionnement repose sur l'introduction des éléments acoustiques (forte diffusion acoustique ou absorption) sur les murs courbes de la salle pour «casser» la forme concave qui entraîne des focalisations, et d'ajouter des surfaces réfléchissantes à l'intérieur du volume pour obtenir une bonne propagation sonore (Kahle Acoustics et Altia, 2006).

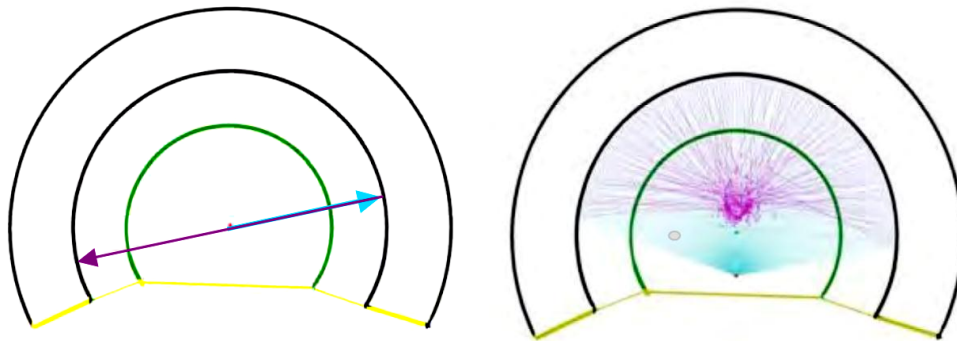


Figure 2-15: Effet acoustique de la forme en arène : simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions (Source : Kahle Acoustics et Altia, 2006).



Figure 2-16: Exemple de salle de type arène : Auditorium du palais garnier, Paris (Source : 4communes.blogspot.com).

5 Salles en éventail

L'avantage de cette forme de salle est qu'elle permet de maximiser le nombre de spectateurs pour une distance maximale donnée, tout en gardant un angle de vue acceptable vers la scène. L'inconvénient de ce type de forme est que, du point de vue acoustique, toutes les premières réflexions sont dirigées vers le fond de la salle, d'où un manque d'énergie précoce sur toute la partie centrale de la salle (Kahle Acoustics et Altia, 2006).

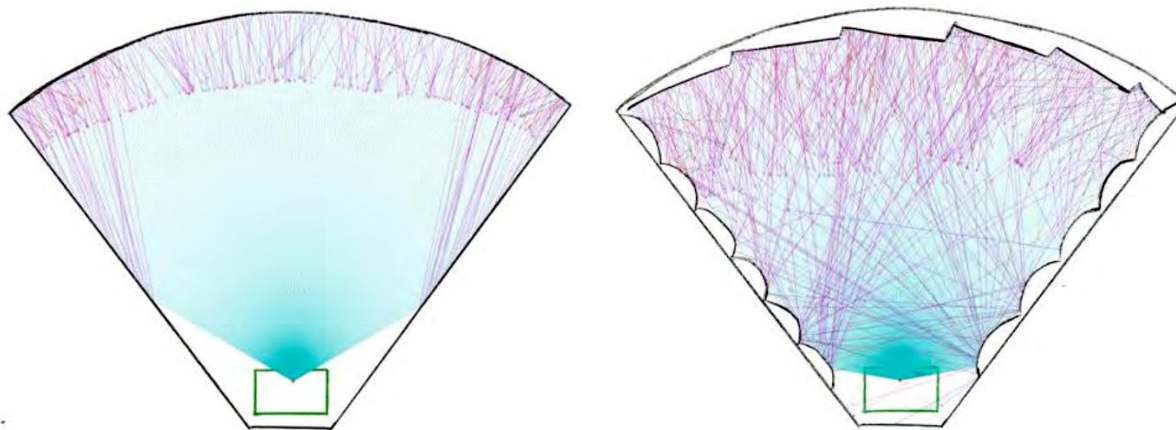


Figure 2-17: Effet acoustique de la forme en éventail : simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions (Source : Kahle Acoustics et Altia, 2006).

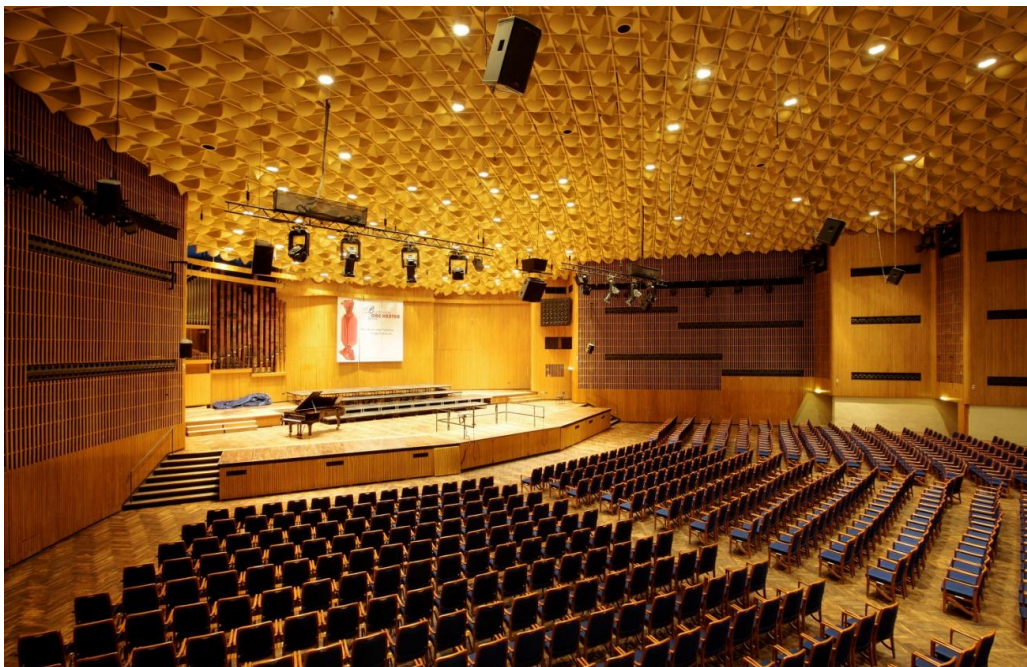


Figure 2-18: Exemple de salle de type éventail: Salle beethoven (Source : beethovenhalle.de).

6 L'acoustique des salles de spectacle :

La qualité acoustique d'une salle de spectacle est en fonction de l'isolement acoustique de la salle vis-à-vis de l'extérieur, et de la perception des sources sonores présentes dans la salle. Une onde sonore lors de sa propagation (Figure III.14) est soumise à des phénomènes de réflexion, diffraction, diffusion ou absorption par les obstacles rencontrés (sol, murs et plafond, mobilier...) (DE SA et MOLINARO, 2017).

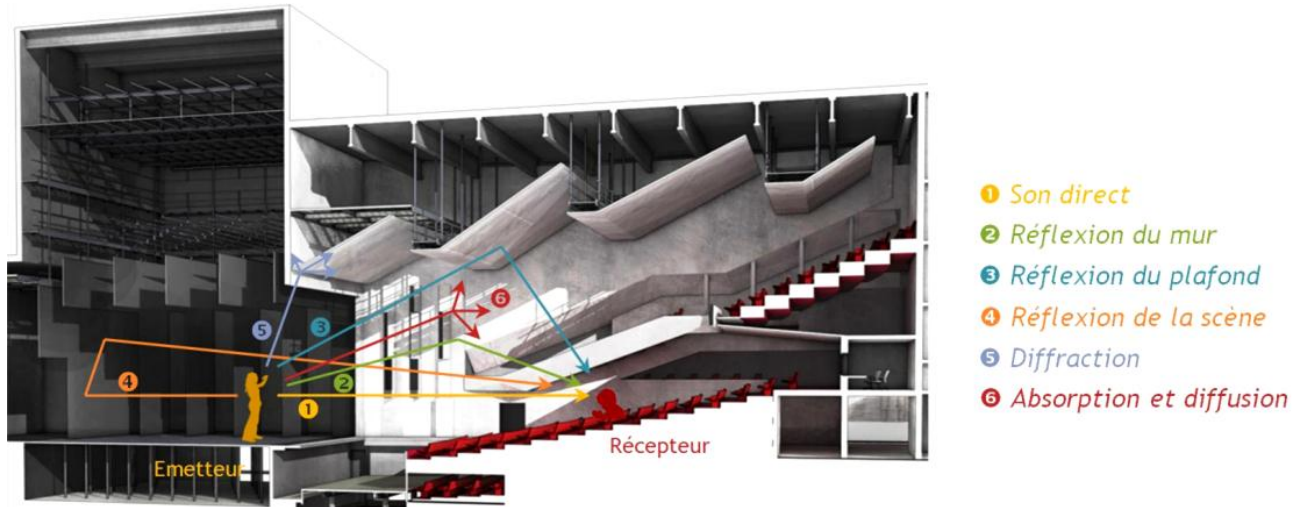


Figure 2-19: Propagation d'une onde sonore dans un auditorium. Source : De Sa, et Molinaro, (2017).

La superposition de l'onde directe et des ondes réfléchies crée le champ total et contribuent à la qualité du son perçu (figure 2.20) (DE SA et MOLINARO, 2017).

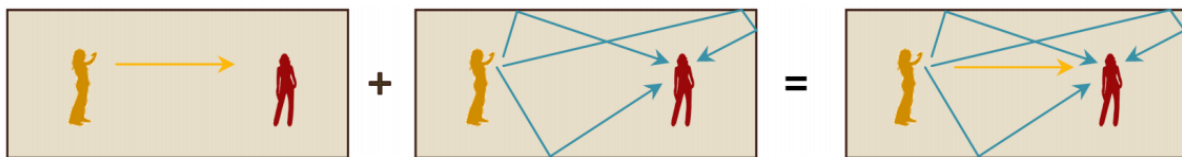


Figure 2-20: L'onde directe et les ondes réfléchies se superposent et contribuent à la qualité du son perçu. Source : De Sa, et Molinaro, (2017).

6.1 Détermination du volume, de la forme et des dimensions initiaux de la salle :

Pour obtenir une bonne qualité acoustique dans les salles de spectacle, on doit partir de la destination et la capacité de la salle (BUI VAN, 1996).

6.1.1 Détermination du volume initial de la salle :

Le tableau suivant résume le volume nécessaire pour un auditeur dans une salle en fonction de sa destination (BUI VAN, 1996).

Tableau 2-1: Quelques chiffres directeurs par la détermination du volume initial de la salle (expérience soviétique). Source : Bui Van, (1996).

Fonction de la salle	Volume par auditeur (m ³ /aud)
Salle de conférence	4
Théâtre dramatique	5
Théâtre lyrique	7 à 9
Salle de concert (music symphoniques sons orgues)	9

Comme on peut aussi se reporter aux chiffres proposés par W. Furrer apparus dans le tableau (2.2) ci dessous (BUI VAN, 1996).

Tableau 2-2: Quelques chiffres directeurs par la détermination du volume initial de la salle (expérience soviétique). Source : Bui Van, (1996).

Source sonore	Volume maximal de la salle (m ³)
Orateur moyen	3000
Orateur entraîné	6000
Soliste	10 000
Grand orchestre symphonique	20 000
Chœur	50 00

6.1.2. Détermination de la forme et des dimensions initiales de la salle :

La forme et les dimensions de la salle dépendent de :

- La distance maximale de la source sonore à la place la plus éloignée ne dépasse pas la valeur critique, de 25 m pour les salles de parole et de 40 m pour les salles de musique (BUI VAN, 1996).

Tableau 2-3: Paramètres essentiels de la forme de certaine salle de théâtre évalué bonnes (Source : BUI VAN, 1996).

Nom du théâtre	V (m ³)	C (personne)	V (m ³ /pers)	L _{max} (m)
Théâtre académique des arts à Moscou	4800	1160	4.1	23
Théâtre Vastangov à Moscou	4600	1050	4.4	26
Théâtre du Palais des cultures et des sciences à Varsovie	3680	776	4.7	21
Théâtre Pouchkine à Moscou	4400	950	4.6	-

- La pente du sol et du balcon doit être déterminée selon le principe de la vision, dont le rayon visuel de l'auditeur d'un rang quelconque doit être élevé à celui de l'auditeur du rang précédent de 10 à 15 cm (BUI VAN, 1996).

- Les espaces sous les balcons doivent prendre leurs formes et leur dimensions de telle manière que l'énergie sonore puisse y pénétrer facilement, la longueur du balcon soit inférieure ou égale à une fois et demie la distance séparant le sol de la sous-face du balcon (BUI VAN, 1996).

- Eviter les formes concaves, en fond de la salle ou en plafond, parce qu'il y a des risque de focalisation. Dans un cas d'obligation, il faut traiter le fond avec des matériaux absorbants (BUI VAN, 1996).

- Les réflecteurs doivent être utilisés pour envoyer les ondes sonores réfléchis à l'endroit où les ondes sonores directes ne sont pas suffisantes (BUI VAN, 1996).

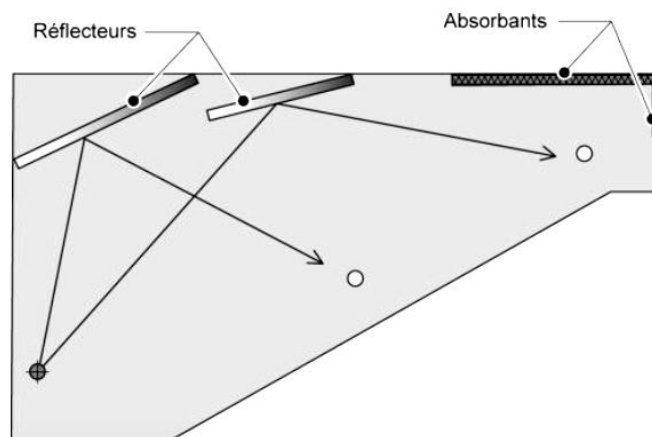


Figure 2-21: Coupe de principe dans une salle où tous les auditeurs bénéficient d'une bonne intelligibilité (Source : Hamayon, 2010).

7 Caractéristiques souhaitées de la réverbération :

Le temps de réverbération optimal d'une salle est celui qui permet une bonne intelligibilité de la parole et de l'écoute musicale. Dans les salles où il y a un spectacle musical, le son doit être harmonieux pour toutes les bandes de fréquences, les durées de réverbération sont estimées faibles. En effet les durées de réverbération sont recommandées en fonction de la fonction des locaux et leur volume (HAMAYON, 2006).

-Pour les salles de musique d'un volume inférieur à 250m³, la durée de réverbération doit être comprise entre 0.4 et 0.8 seconde (HAMAYON, 2006).

-Pour celle d'un volume supérieur à 250 m³, elle doit être comprise entre 0.6 et 1.2 seconde (HAMAYON, 2006).

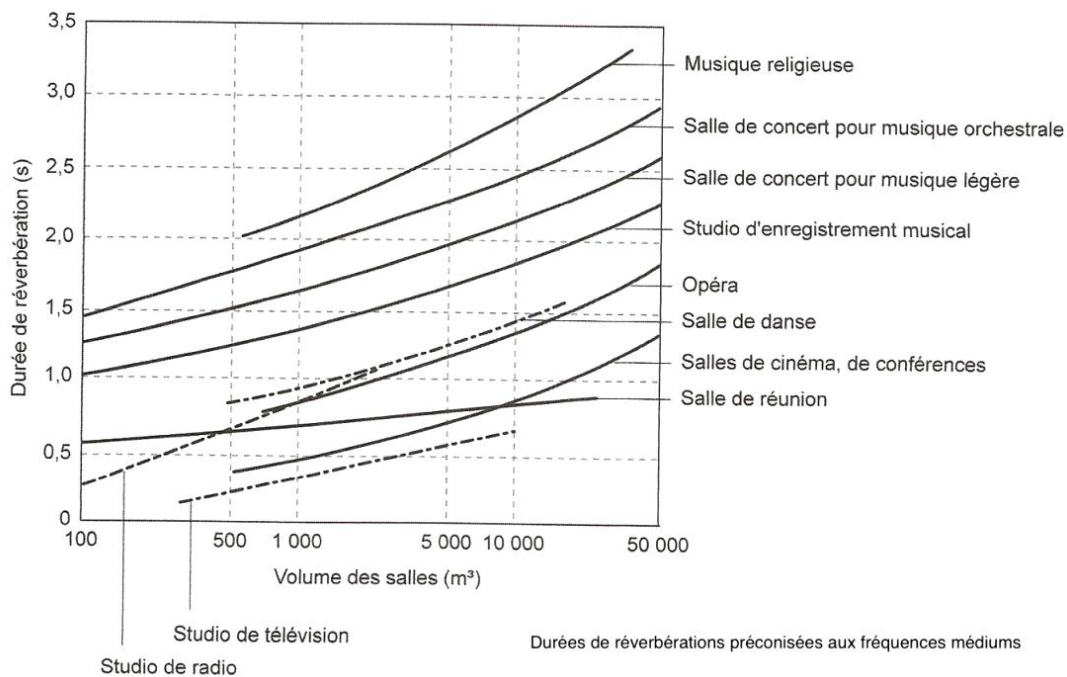


Figure 2-22: Durées de réverbération préconisée aux fréquences médiums (Source : Hamayon, 2010).

Pour avoir le temps de réverbération optimal, on utilise la formule de Sabine, afin de choisir les surfaces et les coefficients d'absorption α des matériaux les mieux adaptés (HAMAYON, 2006).

La formule de Sabine : $Tr = 0,16. V/A$.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliqué les principes de base de l'isolation acoustique de la construction contre les différents bruits et les principes de base de la correction acoustique qui consiste à traiter l'absorption des sons afin de diminuer les phénomènes de réverbération.

Nous avons également expliqué les stratégies du confort acoustique dans les salles de spectacle. La géométrie et la forme jouent un rôle prépondérant dans la conception des salles de spectacle. Elles permettent de comprendre comment fonctionnent les différents types de salles d'un point de vue acoustique. Le but est de favoriser une bonne intelligibilité des sons dans les espaces scéniques et les lieux d'écoute de la musique. La nature des parois, la forme du plafond doivent être conçus de manière à permettre une distribution homogène des réflexions sonores dans toute la salle.

Des solutions de type architectural ou acoustique permettent de doter les salles de spectacle d'une isolation performante au bruit provenant de l'extérieur ou des espaces contigus. Toutes ces techniques et ces stratégies adaptées nous permettent d'assurer une qualité acoustique adéquate d'une salle de spectacle.

PARTIE PRATIQUE

Chapitre 3 Etude empirique sur le théâtre régional de Bejaia

Introduction :

Afin d'appliquer les concepts que nous avons étudiés dans les deux chapitres théoriques précédents, nous avons opté pour une procédure complémentaire afin d'approfondir la compréhension et l'étude de l'aspect acoustique des salles de spectacle.

Ce chapitre englobe les deux méthodes : quantitative et qualitative, pour évaluer le confort acoustique dans notre cas d'étude « Le théâtre régional de Bejaia ». La méthode quantitative est réalisée par la prise de mesure, dont l'objectif est d'aborder l'aspect acoustique d'une manière pratique. Pour cela des prises de mesure ont été effectuées au niveau du cas d'étude. Pour mieux renforcer notre travail de recherche, l'étude quantitative a été suivie d'une étude qualitative « enquête sur terrain ». Le but est d'évaluer la satisfaction des usagers et de traiter les phénomènes psychologiques associés à la perception du son dans la grande salle.

3.1 ETUDE QUANTITATIVE : Prise de mesure

L'étude quantitative est une technique de collecte de données qui va nous permettre d'analyser et d'étudier l'aspect acoustique dans le théâtre régional de Bejaia.

3.1.1 Présentation du cas d'étude :

L'objet d'étude est le théâtre régional de Bejaia. Conçu par l'architecte Albert MOREN. Il est situé au centre-ville à côté du Boulevard Amirouche. Dans le TR Bejaia, des classiques algériens et spectacles pour enfants sont fréquemment joués. Il accueille régulièrement des pièces théâtrales, maîtres du chaâbi, orchestres symphoniques et un café littéraire (<https://www.petitfute.com>).



Figure 3-1: Théâtre régional de Bejaia (Source : liberte-algerie.com, 2017).

3.1.2 Description du cas d'étude :

Notre étude se porte sur la grande salle scénique du théâtre régional de Bejaia. Le choix est motivé par le fait que la salle était déjà utilisée par des usagers. De plus, à l'échelle de la wilaya de Bejaia, elle représente le lieu où la majorité des spectacles sont joués.

La salle est de forme géométrique rectangulaire allongée (Figure 3.2) avec une superficie de 500 m². Elle est traitée par des matériaux, tel que le bois et la laine de verre afin d'assurer l'absorption du bruit et la réduction de nuisances sonores.



Figure 3-2: L'intérieur de la salle scénique du TR Bejaia (Source : Auteur, 2021).

3.1.3 Protocole et instruments de prise de mesure :

Les mesures de son ont été effectuées au niveau de la salle scénique, à l'aide de l'application « sonomètre 2.2.2 ».

-L'application sonomètre utilise le microphone du téléphone pour mesurer le volume de bruit en décibels (dB). Avec cette application, on peut mesurer le niveau actuel de bruit ambiant.

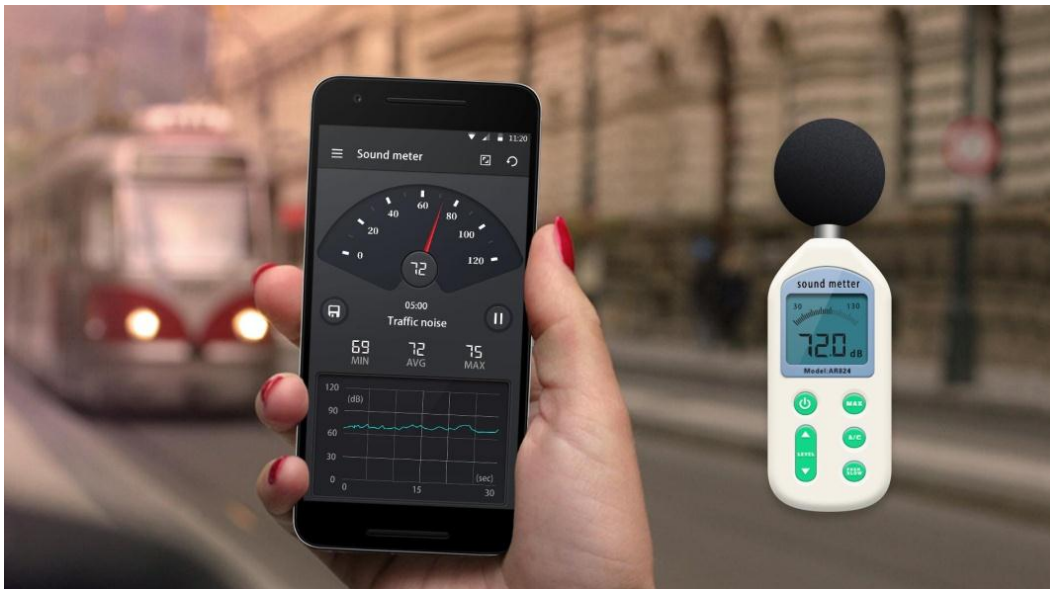


Figure 3-3: Application sonomètre (Source : apkfab.com, 2021).

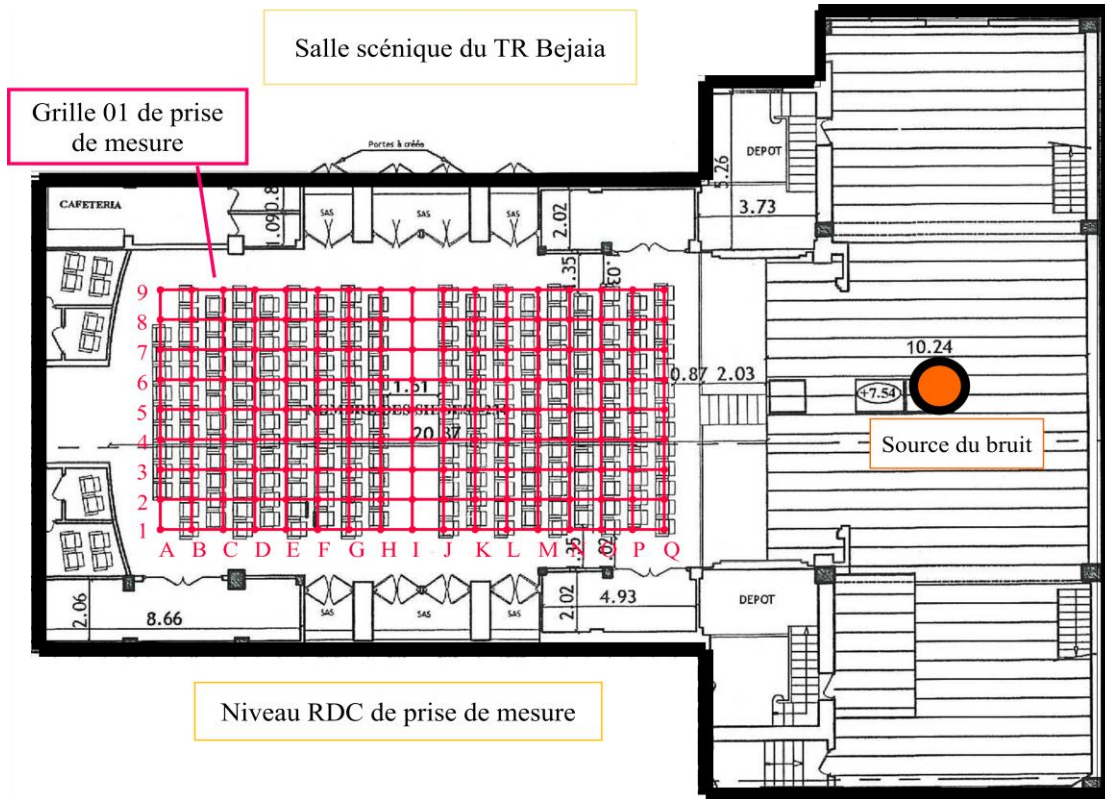
Afin de faciliter la tâche de la prise de mesure, une grille a été dessinée pour déterminer les différents points de prise de mesure (Figure 3.4) sur les deux niveaux : RDC et balcons de la salle. La grille est composée de deux axes : un axe suivant les lettres alphabétiques (A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-N-O-P-Q) pour le niveau du RDC et (A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-N-O-P-Q-R-S-T-U) pour le niveau des balcons. Un autre axe qui suit des chiffres de (1 à 9) pour le RDC et (1 à 13) pour les balcons. Ces axes se croisent en points qui constituent les emplacements de la prise de mesure avec une distance de 1 m entre chaque point.

-Date : Le 22 Février 2021 de 10h à 12h.

-Hauteur : L'appareil a été placé sur l'appui de tête des sièges de la salle.

-Sources de bruit : Piano, Baffe musique.

Les figures ci-dessous montrent les points de prise de mesure :



-Niveau du RDC-

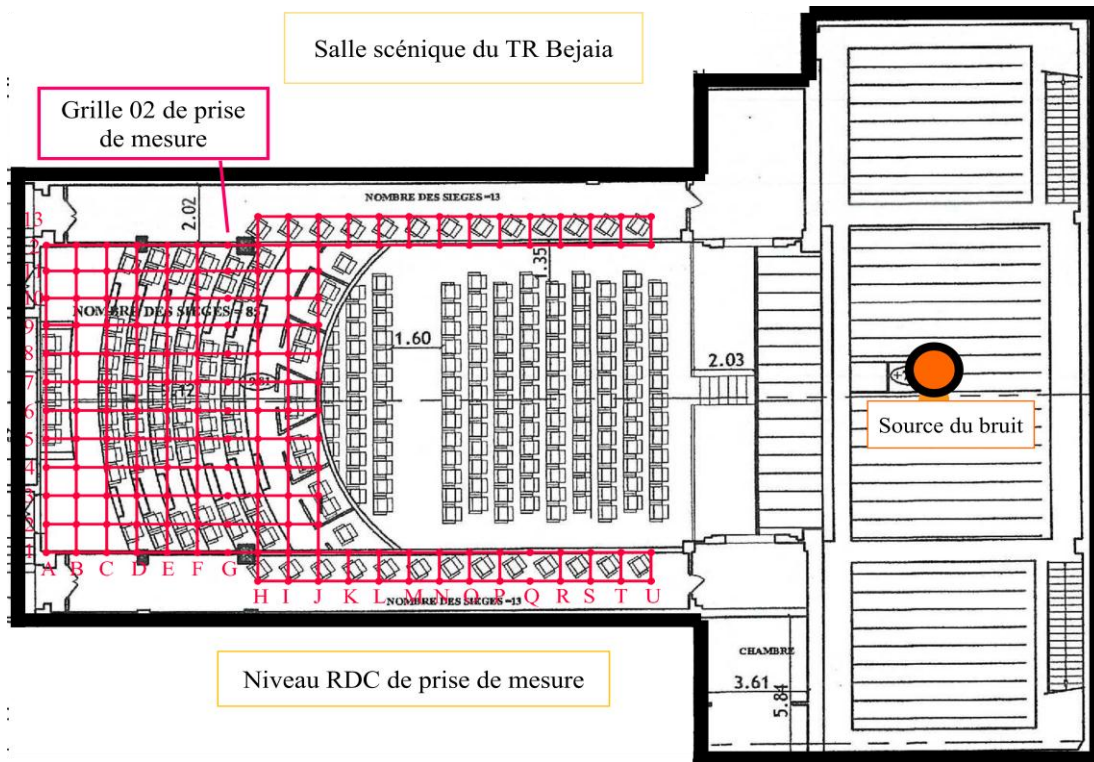


Figure 3-4: Grilles de prise de mesure. (Source MAHINDAD, 2006). Traitée par l'auteur.

Scénario 1 :

Les prises de mesure ont été effectuées sur les deux niveaux de la salle scénique en absence totale de source sonore (calme plat), et cela afin de déterminer si elle était exposée aux différentes sources de bruits intérieurs ou extérieurs.

Scénario 2 :

Les prises de mesure ont été effectuées sur les deux niveaux de la salle avec une source sonore sans micro (piano), et cela afin de déterminer la propagation uniforme ou non-uniforme du son dans la salle.

Scénario 3 :

Les prises de mesure ont été effectuées sur les deux niveaux de la salle avec une source sonore avec micro (Baffles de musique), et cela afin de déterminer la propagation uniforme ou non-uniforme du son dans la salle.

3.1.4 Résultats de prise de mesure :

Les tableaux et grilles ci-dessous montre les résultats obtenues lors de la prise de mesure.

S1-Niveau RDC: Calme plat :

Dans ce premier scénario, les mesures ont été réalisées sans présence de source sonore.

Tableau 3-1: Résultats des mesures du son en cas de calme plat (Source : Auteur, 2021).

9	40 [☆]	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	46 [☆]	46 [☆]
8	40 [☆]	40 [☆]	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	46 [☆]	46 [☆]
7	40 [☆]	44	40 [☆]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	46 [☆]
6	40 [☆]	44	44	40 [☆]	40 [☆]	40 [☆]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
5	40 [☆]	40 [☆]	40 [☆]	40 [☆]	40 [☆]	40 [☆]	40 [☆]	43	43	43	45	45	45	45	45	45	45
4	44	44	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
3	44	44	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	46 [☆]	46 [☆]
2	44	44	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	46 [☆]	46 [☆]
1	44	44	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	46 [☆]	46 [☆]
Points	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Valeur minimale									Valeur maximale							

Dans ce tableau les résultats montrent des variations de son entre 40 (valeur minimale) et 46 (valeur maximale).

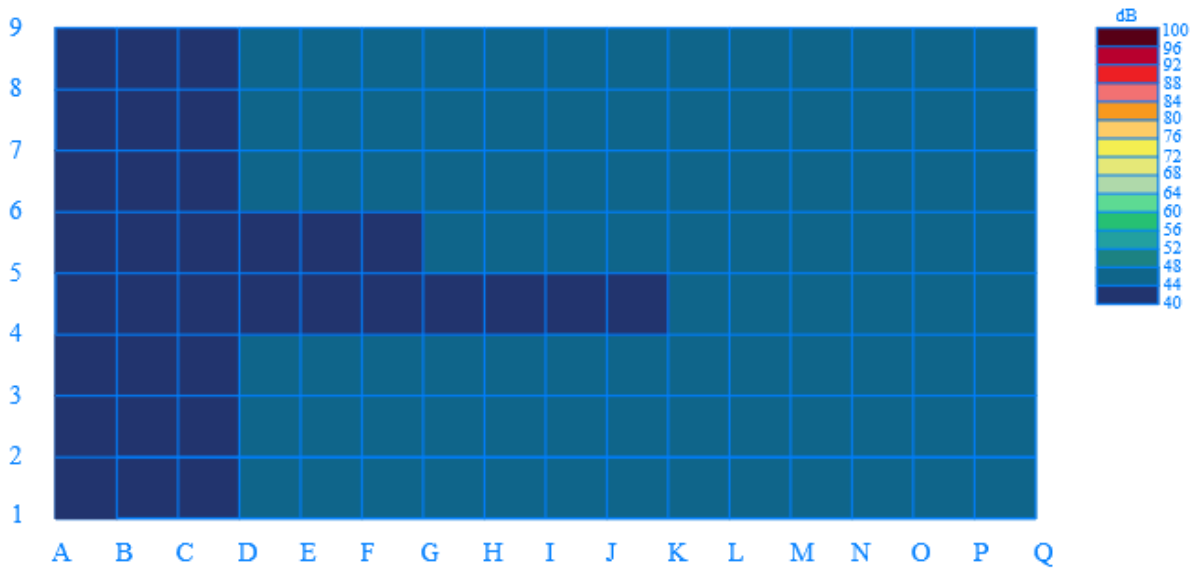


Figure 3-5: Mesure de son en cas de calme plat au niveau du RDC (Source : Auteur, 2021).

La grille ci-dessus montre que les premières places devant la scène marquent les niveaux sonores les plus hauts (45dB-46dB), en revanche places au fond de la salle marquent les niveaux les plus bas (40dB-44dB). Les places du milieu marquent des niveaux constants 45dB

- L'augmentation des niveaux sonores dans les périphéries de la salle et dû au bruit provenant de l'extérieur à travers les ouvertures (les portes).
- Le niveau sonore diminue au fond de la salle, ce qui explique la diminution du bruit prévenant de l'extérieur.

S2-Niveau RDC: Son sans micro :

En gardant la même grille, les mesures dans ce cas sont réalisées en présence d'une source sonore sans amplificateur (un piano), dont le nombre de décibels est 75 dB.

Tableau 3-2: Résultats des mesures du son en cas de son sans micro (Source : Auteur, 2021).

9	55 [☆]	55 [☆]	64	64	64	64	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]
8	55 [☆]	55 [☆]	64	64	60	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	64	65	65
7	55 [☆]	55 [☆]	55 [☆]	64	60	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	64	64	64	64
6	55 [☆]	55 [☆]	55 [☆]	60	64	64	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	64	64	64	64	64	64
5	55 [☆]	55 [☆]	55 [☆]	60	60	60	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
4	60	60	60	60	64	64	64	64	64	64	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	64	64	64	64
3	60	60	60	60	64	64	64	64	64	64	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	64	64	65 [☆]
2	60	60	60	60	64	64	64	64	64	64	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]
1	60	60	60	60	64	64	64	64	64	64	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]	65 [☆]
Points	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Valeur minimale											Valeur maximale					

Dans ce cas du bruit sans micro, le tableau montre des variations de son entre 55 (valeur minimale) et 65 (valeur maximale).

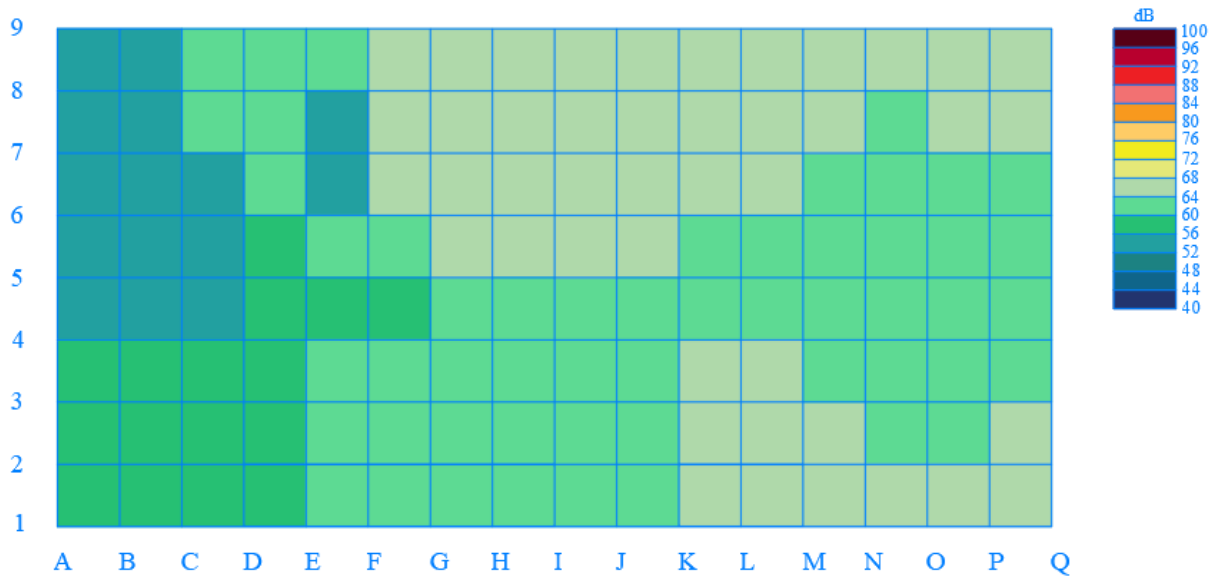


Figure 3-6: Mesure du son en cas de son sans micro au niveau du RDC (Source : Auteur, 2021).

Les premières places et les places du milieu marquent des niveaux constants entre 64 dB et 65 dB. Le changement se prévoit dans les dernières places avec un niveau sonore qui varie de 55 à 60 dB.

- Le niveau sonore est constant en présence d'une source de son sans micro, ce qui explique la propagation homogène du son dans la salle.
- Le niveau sonore diminue d'une faible variation dans les dernières places, est cela est dû à la diminution du son en s'éloignant de la source.

S3-Niveau RDC: Son avec micro :

En travaillant toujours avec la même grille, les mesures dans ce cas sont réalisées en présence d'une source sonore avec amplificateur (baffe musicale), le nombre de décibels est 100 dB.

Tableau 3-3: Résultats des mesures du son en cas de son avec micro (Source : Auteur, 2021).

9	92★	92★	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	
8	92★	92★	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	
7	92★	92★	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	
6	92★	92★	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	
5	92★	92★	92★	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	
4	92★	92★	92★	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	
3	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	96	98★	98★	
2	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	96	98★	98★	
1	94	94	94	94	94	94	94	94	94	96	96	96	96	96	96	98★	98★	
Points	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
	Valeur minimale											Valeur maximale						

Dans le cas du bruit avec micro, les résultats montrent des variations de son entre 92 (valeur minimale) et 98 (valeur maximale).

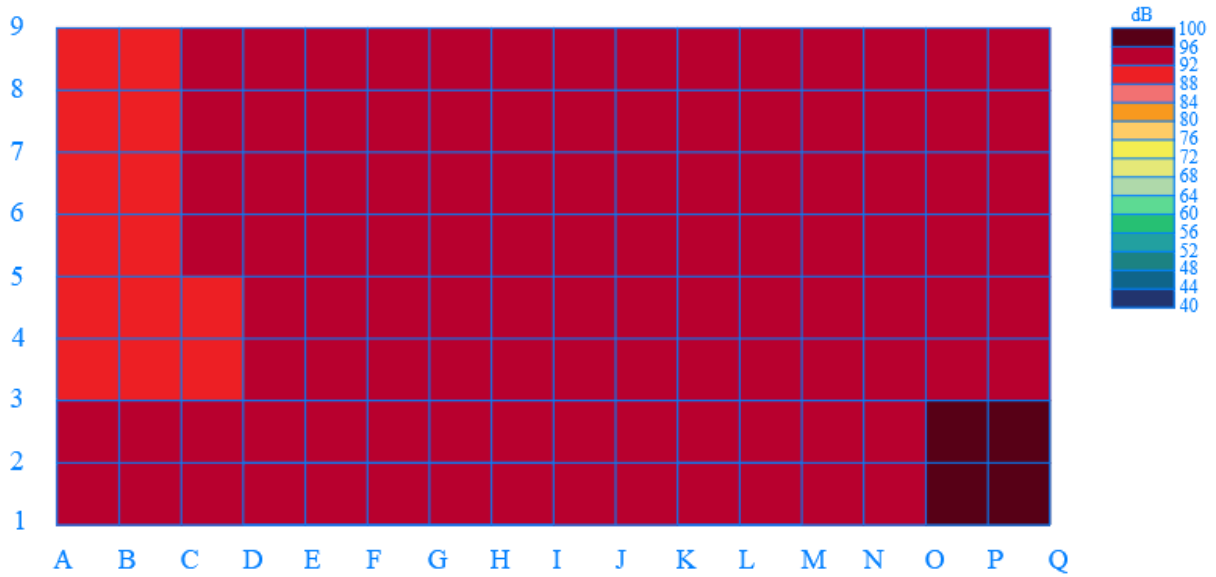


Figure 3-7: Mesure de son en cas de son avec micro au niveau du RDC (Source : Auteur, 2021).

Les premières places marquent les niveaux les plus hauts entre 98 dB et 96 dB. Les places du milieu marquent un niveau constant de 94 dB.

- Le niveau sonore est constant en présence d'une source de son avec micro, ce qui explique la propagation homogène du son dans la salle.
- Le son diminue d'une faible variation en s'éloignant de la source sonore.

S1-Niveau balcons: Calme plat :

Comme dans le premier scénario, les mesures ont été réalisées sans présence de source sonore.

Tableau 3-4: Résultats des mesures du son en cas de calme plat (Source : Auteur, 2021).

13	41	41	41	41	44★	44★	44★	43	43	42	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
12	41	41	41	41	44★	44★	44★	43	43	42												
11	40★	40★	41	41	44★	44★	44★	43	43	42												
10	40★	40★	41	41	44★	44★	44★	43	43	42												
9	40★	40★	41	41	44★	44★	44★	43	43	42												
8	40	40	41	41	41	44★	44★	43	43	42												
7	40★	40★	41	41	44	44	44	43	43	42												
6	40★	40	41	41	41	44	44	43	43	42												
5	40★	40★	41	41	41	44	44	43	43	42												
4	40	40★	41	41	41	41	41	43	43	43												
3	40★	40★	41	41	41	41	41	43	43	43												
2	40★	40	41	41	41	41	41	43	43	43												
1	40★	40★	41	41	41	41	41	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Points	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
	Valeur minimale											Valeur maximale										

Dans ce cas les résultats montrent des variations de son entre 40 (valeur minimale) et 44 (valeur maximale).

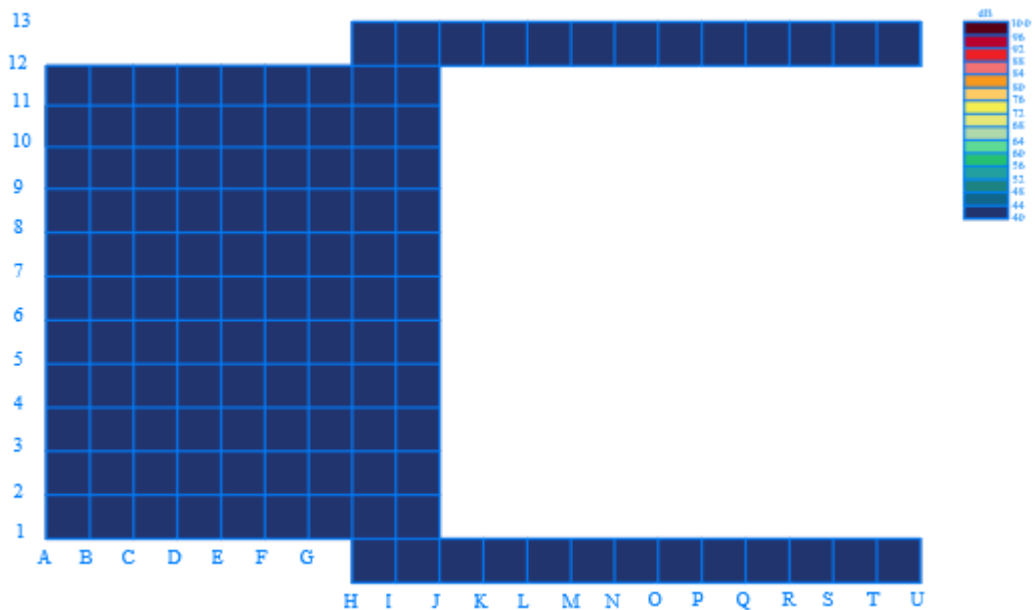


Figure 3-8: Mesure de son en cas de calme plat au niveau des balcons (Source : Auteur, 2021).

Les résultats montrent que le niveau du son diminue en s'éloignant de la source.

- Le niveau sonore diminue au fond de la salle, ce qui explique la diminution du bruit provenant de l'extérieur.
- Le niveau du son est constant, donc la propagation du son est homogène.

S2-Niveau balcons : Son sans micro :

Les mesures ont été effectuées en gardant la même grille du niveau des balcons.

Tableau 3-5: Résultats des mesures du son en cas de son sans micro (Source : Auteur, 2021).

13	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	59	60	60	60	60	64	64	64	67★	67★	67★	67★
12	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	59											
11	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	59											
10	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	59											
9	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60											
8	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60											
7	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60											
6	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60											
5	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60											
4	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60											
3	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60											
2	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60											
1	55★	55★	55★	55★	56	56	56	60	60	60	64	64	64	64	64	64	64	67★	67★	67★	67★
Points	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	Valeur minimale										Valeur maximale										

Dans ce cas, les résultats montrent des variations de son entre 55 (valeur minimale) et 67 (valeur maximale).

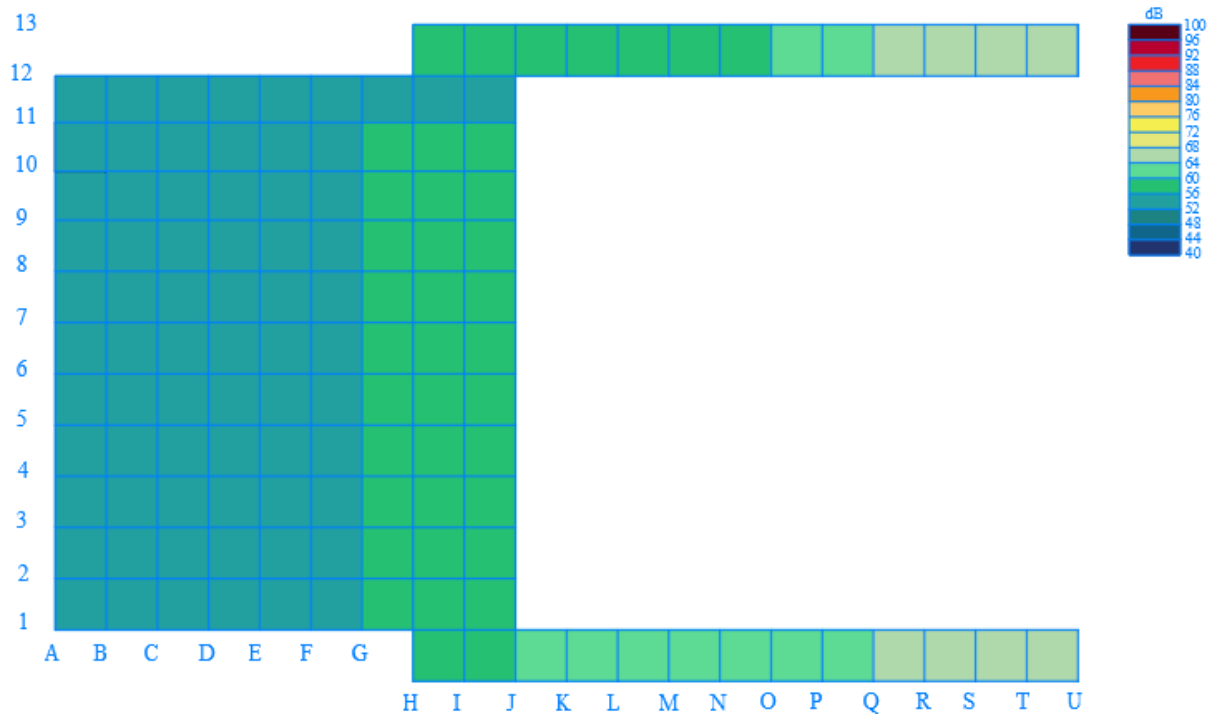


Figure 3-9: Mesure de son en cas de son sans micro au niveau des balcons (Source : Auteur, 2021).

Les résultats montrent que le changement se prévoit par apport à la partie basse, on constate que le niveau sonore a vécu un affaiblissement de 55 dB.

- En présence d'une source de bruit sans micro, la variation des niveaux sonores entre les premières et dernières places est importante, ce qui explique que le son n'est pas constant et la propagation n'est pas uniforme dans la salle.

S3-Niveau des balcons: Bruit avec micro :

Avec la même grille, les mesures dans ce cas sont réalisées en présence d'une baffe musicale.

Tableau 3-6: Résultats de mesure du son en cas de son avec micro (Source : Auteur, 2021).

13	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
12	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
11	92★	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
10	92★	92★	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
9	92★	92★	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
8	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
7	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
6	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
5	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
4	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
3	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
2	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★												
1	94	94	94	94	94	94	94	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★	96★
Points	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
	Valeur minimale											Valeur maximale										

Dans le cas du bruit avec micro, les résultats montrent des variations de son entre 92 (valeur minimale) et 96 (valeur maximale).

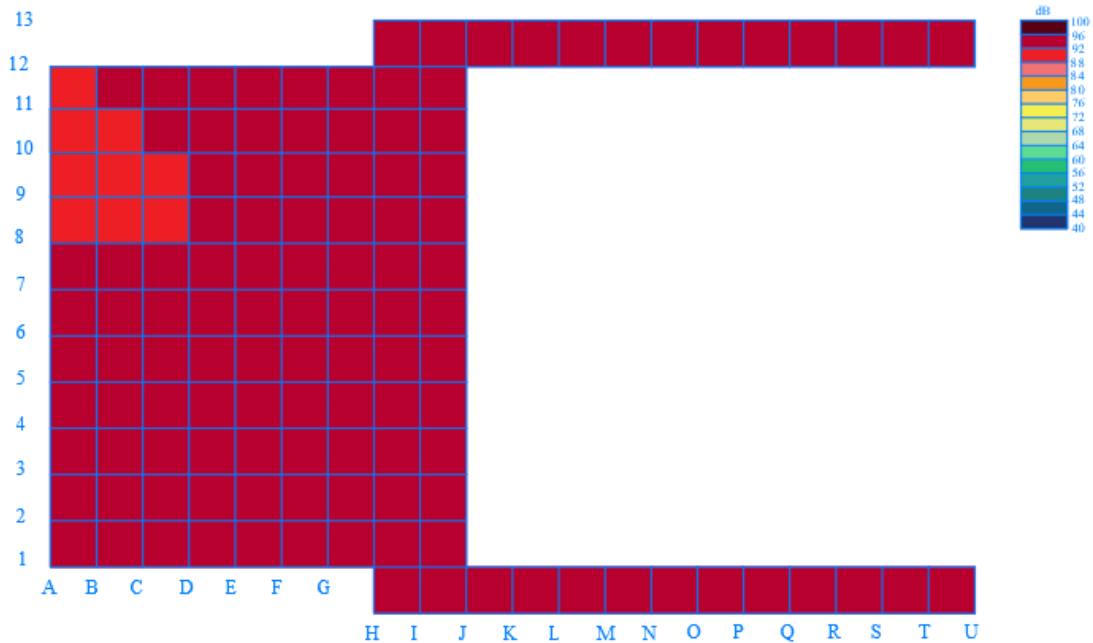


Figure 3-10: Mesure de son en cas de son avec micro au niveau des balcons (Source : Auteur, 2021).

Les premières places marquent les niveaux les plus hauts 96 dB. Les places en arrière marquent un niveau constant de 94 dB.

- Le niveau sonore est constant en présence d'une source de son avec micro, parce que la variation entre les niveaux sonores est très faible.
- Le niveau sonore diminue en éloignant de la scène, ce qui explique la diminution du son en s'éloignant de la source.

3.1.5 Interprétation des résultats :

3.1.5.1 Première lecture des résultats :

Selon les résultats ci-dessus on remarque que le niveau du son est constant dans les différents niveaux (RDC et balcons) du théâtre, il varie de :

40-46 : En cas d'absence de source sonore (Calme plat).

55-67 : En cas de son sans micro (Piano).

92-98 : En cas de son avec micro (Baffe de musique).

- Les résultats expliquent une propagation homogène du son. Le niveau sonore diminue avec faible variation, ce qui explique la bonne répartition du son dans la salle.
- La forme géométrique de la salle « Boite à chaussure » est la forme idéale en qualité sonore, ceci est le facteur majeur qui a intervenu sur la performance acoustique de la salle.

3.1.5.2 Deuxième lecture des résultats :

On remarque à partir des résultats que :

- Les niveaux sonores augmentent le long de la périphérie de la salle.
- En cas de calme plat (sans aucun bruit) les niveaux sonores atteignent 45 dB. Cela est dû aux bruits provenant soit des appareils de ventilation dans la salle soit du bruit routier à l'extérieur qui s'infiltré surtout du côté des ouvertures (portes).
- On peut déduire que la salle ne dispose pas d'une bonne qualité de correction et d'isolation acoustique, cela est dû à la faible performance des isolants acoustique (bois et laine de verre) au niveau des parois.

3.2 ETUDE QUALITATIVE : L'enquête sur terrain

La deuxième étude traite le volet qualitatif, l'étude est destinée à entendre les usagers de la grande salle et évaluer leurs satisfactions vis-à-vis du confort acoustique.

3.2.1 Présentation de l'enquête :

Notre méthode est l'enquête par questionnaire celle qui permet de quantifier et comparer l'information. Un questionnaire est un ensemble de questions, construit dans le but d'obtenir l'information correspondant aux questions de l'évaluation. L'échantillon interviewé a été sollicité pour répondre directement aux questions car un bon questionnaire décline en effet la problématique de base en questions élémentaires (Voir annexe n⁰¹).

3.2.2 Déroulement de l'enquête :

Le but de ce questionnaire est d'évaluer la satisfaction des participants concernant le confort acoustique dans la salle scénique.

Tableau 3-7: Récapitulatif du déroulement de l'enquête (Source : Auteur, 2021).

Type du questionnaire	Le questionnaire regroupe des questions fermées, et cela afin de clarifier la signification de la question pour les répondants et faciliter le processus de réponse.
La sélection des participants	La population visée est composée de toute personne qui a eu l'expérience d'assister à un spectacle, au sein de la salle scénique du théâtre. Notre enquête s'est portée sur un échantillonnage de 30 personnes. Cela pour pouvoir avoir des réponses et des résultats assez fiables concernant l'évaluation du confort acoustique.
Echantillonnage	Nous avons opté pour un échantillonnage représentatif d'une population donnée et généraliser les résultats.
Période	Ce questionnaire a été réalisé sur une période de 15 jours (du 3 au 18 Mai 2021).
Procédure	Il a été demandé à chaque participant de répondre aux questions selon son expérience vécue, en assistant à une pièce théâtrale ou un spectacle par apport à sa perception du son et du bruit.

3.2.3 Analyse et interprétation des résultats :

L'interprétation des résultats est divisée en trois catégories principales:

- Les résultats qui concernent la perception du son.
- Les résultats qui concernent la perception du bruit.
- La satisfaction vis-à-vis du confort acoustique.

3.2.3.1 Age :

L'âge est un facteur principal dans la perception du son car la perte d'audition s'accroît avec l'âge. L'histogramme ci-dessous montre le pourcentage des personnes selon l'âge.

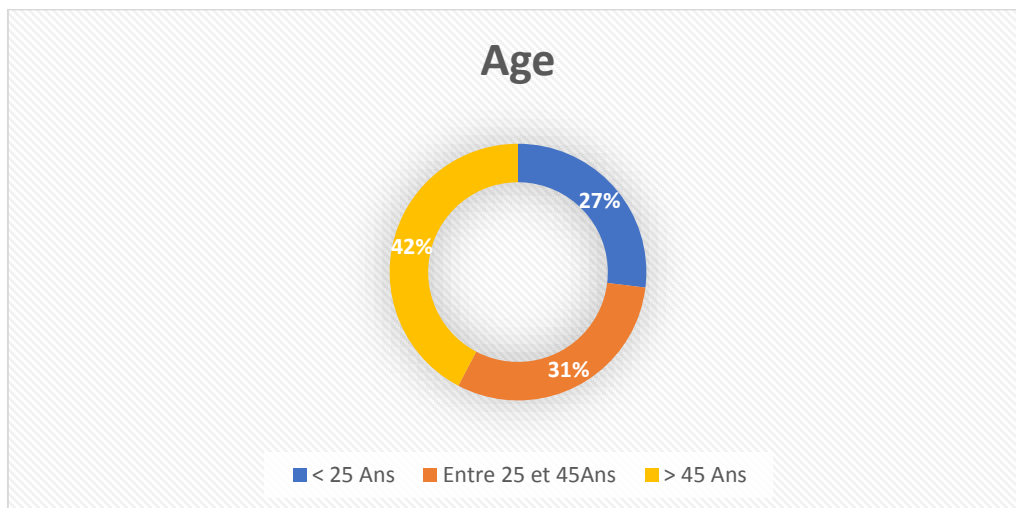


Figure 3-11: Histogramme montrant la catégorie d'âge questionnée lors de l'enquête (Source : Auteur, 2021).

Il nous dévoile que :

- Un pourcentage de 42% des personnes questionnées appartient à la catégorie d'âge supérieure à 45 ans.
 - Par la suite, la catégorie d'âge entre 25 et 45 ans avec un pourcentage de 31%.
 - Un pourcentage de 27% représente la catégorie d'âge inférieure à 25 ans.
- Les pourcentages sont repartis presque de la même manière pour toutes les catégories afin d'avoir des résultats assez fiables et généralisés.

3.2.3.2 Perception du son :

Ce diagramme traite les deux résultats concernant la perception du son (Entendre les paroles des artistes et le problème d'échos).

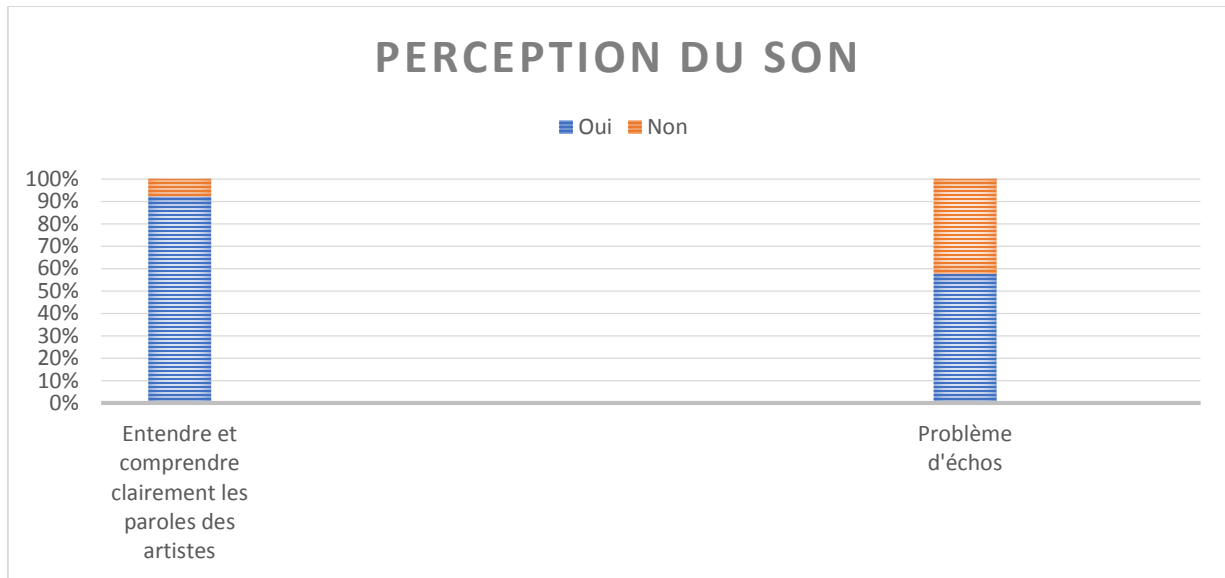


Figure 3-12: Diagramme concernant la perception du son dans la salle (Source : Auteur, 2021).

Il nous dévoile que :

- Une majorité de 92 % des personnes questionnées entendent et comprennent clairement les paroles des artistes.
 - Une très faible minorité d'un pourcentage de 8 % n'entendent pas les paroles des artistes.
 - La moitié des personnes questionnées 58% ont eu des problèmes d'échos au niveau de la salle scénique.
 - Un pourcentage moins faible de 42% indique que les personnes questionnées n'ont pas eu des problèmes d'échos.
- La perception du son est claire pour les spectateurs, par contre la salle scénique dispose d'un problème d'échos.

3.2.3.3 La place choisie dans la salle :

Le diagramme ci-dessous montre le choix de la place dans la salle. Il montre que :

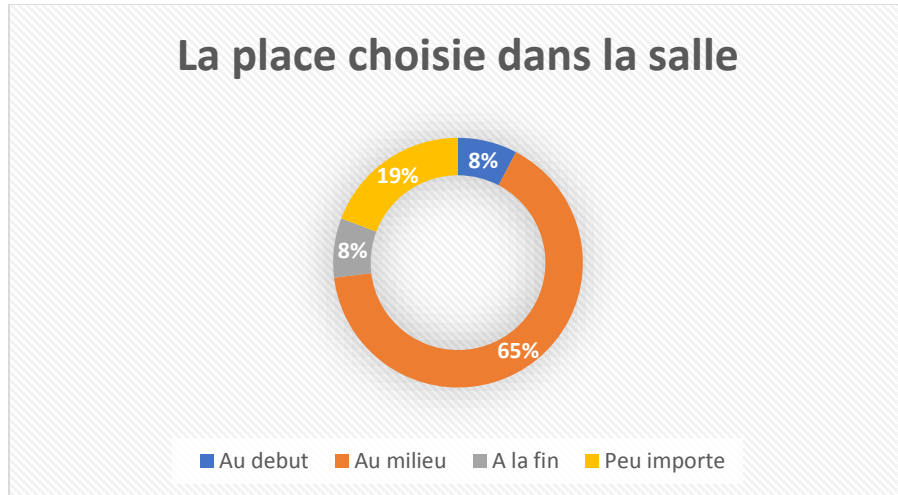


Figure 3-13: Diagramme concernant le choix de la place dans la salle (Source : Auteur, 2021).

- Un pourcentage élevé de 65% des personnes interrogées préfèrent de choisir leurs places au milieu.
- Un pourcentage de 19 % ne se soucie pas de l'endroit.
- Un pourcentage minime de 8 % préfère les places du début ou de la fin.
- Plus de la moitié des personnes interrogées indique que le choix de la place est relié à la perception du son.
- Les places du milieu sont les plus préférées des spectateurs, et cela est relié à la bonne perception du son.

3.2.3.4 Le son mât ou réverbérant :

Cet histogramme montre la perception du son s'il est mat ou réverbérant.

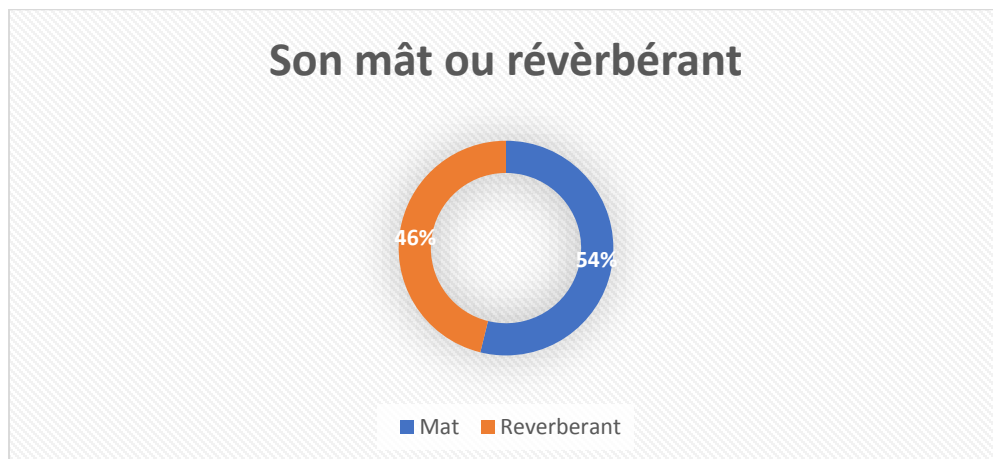


Figure 3-14: Histogramme concernant le son mat ou réverbérant (Source : Auteur, 2021).

Il montre que :

- La majorité des personnes questionnées 54 % estiment que la salle dispose d'un son mat (son uniforme qui ne résonne pas).
 - Un pourcentage presque équivalent de 46 % indique que les personnes questionnées estiment que la salle dispose d'un son réverbérant (son confus qui décroît).
- Les personnes questionnées estiment que le son est uniforme et ne résonne pas dans la salle.

3.2.3.5 La perception du bruit :

Ce diagramme traite les deux résultats concernant la perception du bruit (Entendre le bruit d'équipement technique et entendre le bruit du trafic automobile).

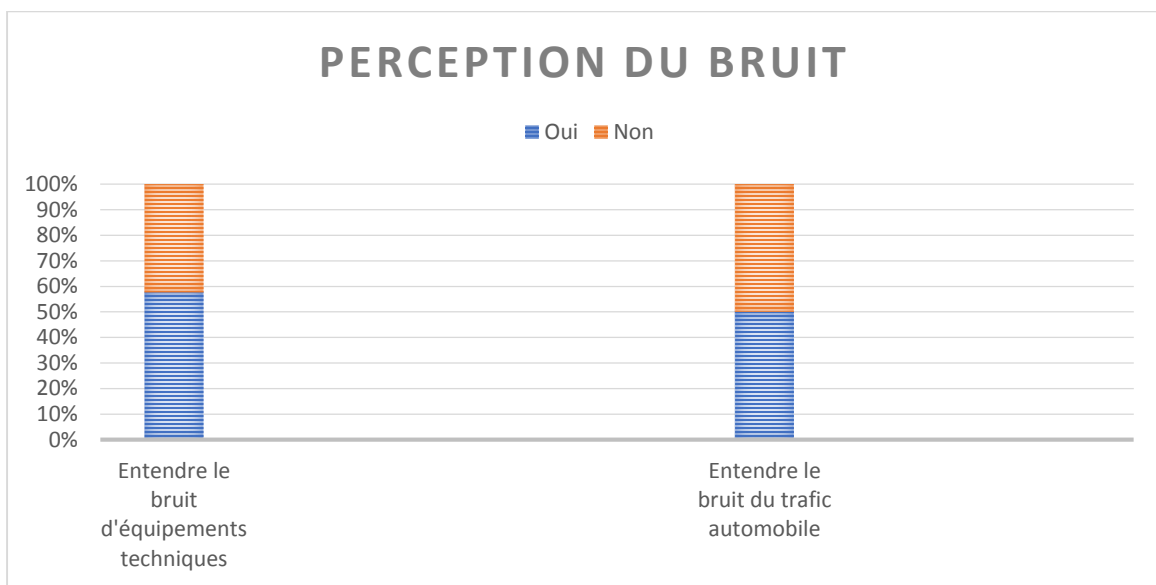


Figure 3-15: Diagramme concernant la perception du bruit (Source : Auteur, 2021).

Il nous dévoile que :

- La majorité des personnes questionnées 58% entendent des bruits d'équipements techniques (ventilation).
- Un pourcentage peu faible de 42% indique que les personnes questionnées n'entendent pas les bruits des équipements techniques.
 - Les personnes qui ont perçu le bruit des équipements techniques l'estime faible.

- Les deux pourcentages sont égaux (50%) par apport à la perception des bruits provenant de l'extérieur.
 - Les personnes qui ont perçu le bruit extérieur l'estime de très faible.
- La salle scénique dispose d'un problème de bruits provenant des équipements techniques qui se résume dans le bruit des climatiseurs.
- La salle scénique ne dispose pas d'une bonne isolation concernant le bruit provenant de l'extérieur (bruits du trafic automobile).

3.2.3.6 La satisfaction vis-à-vis du confort acoustique :

Le diagramme concernant la satisfaction des spectateurs vis-à-vis du confort acoustique dans la salle montre que :

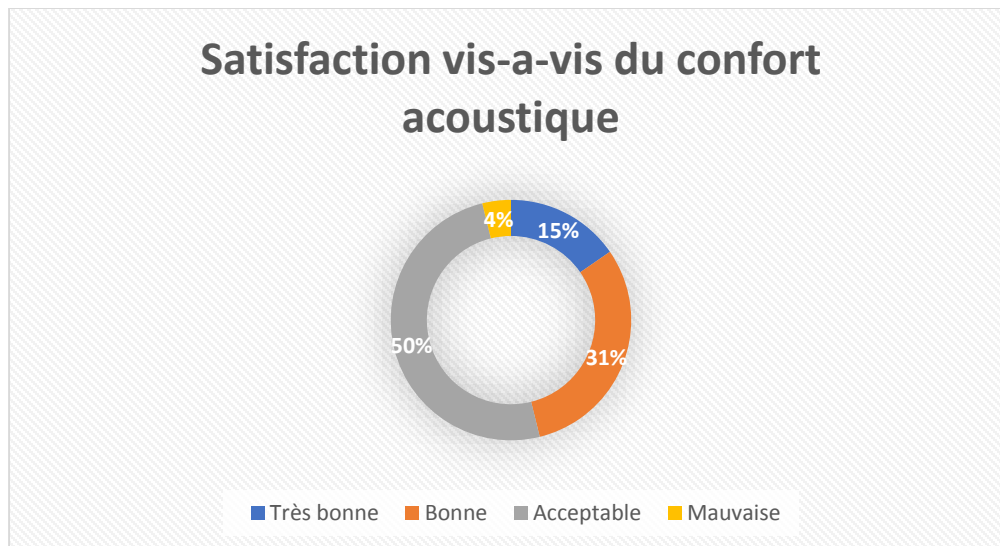


Figure 3-16: Histogramme montrant la satisfaction des spectateurs vis-à-vis du confort acoustique (Source : Auteur, 2021).

- La majorité des personnes questionnées 50 % trouve que leur satisfaction vis-à-vis du confort acoustique était acceptable.
- Un pourcentage peu faible, 31 % des personnes questionnées jugent que leur satisfaction était bonne.
- Un pourcentage de 15 % des personnes interrogées juge que leur satisfaction était très bonne.
- Un très faible pourcentage de 4 % des personnes interrogées juge que leur satisfaction était mauvaise.

- Une minorité de 4 % affirme leur mauvaise satisfaction vis-à-vis du confort acoustique dans la salle, mais la majorité (50%) trouve que leur expérience était acceptable.

3.2.4 Synthèse :

Les résultats de l'enquête montrent que la salle du théâtre dispose d'une bonne intelligibilité sonore, c'est-à-dire que la musique et les paroles des artistes sont bien comprises par les auditeurs.

Malgré l'utilisation de matériaux isolants dans la salle, la perception du bruit des équipements techniques (ventilation) et le bruit d'extérieurs (bruits du trafic automobile) restent comme des sources de gêne sonore dans la salle.

- On conclut que les résultats issus de l'enquête sont en concordance avec les résultats ressortis lors de la prise de mesure.

Conclusion :

La partie empirique englobe deux méthodes d'étude et d'évaluation : une méthode quantitative, dans laquelle les résultats ont été obtenus par des prises de mesure dans la salle scénique du TR Bejaia. Quant à l'étude qualitative, une enquête sur terrain auprès des usagers du théâtre. Afin d'estimer leurs satisfactions vis-à-vis du confort acoustique dans la salle scénique.

Les résultats obtenus lors des deux méthodes quantitative et qualitative ont montré que la salle dispose d'une bonne distribution des ondes sonores, L'énergie sonore est répartie d'une manière uniforme dans la salle, ce qui explique la bonne qualité acoustique de la salle. Les spectateurs ont affirmé leur perception claire des paroles des artistes.

L'utilisation du bois et de la laine de verre sur les parois de la salle n'étaient pas suffisant pour empêcher les bruits provenant de l'extérieurs ou de diminuer le bruit d'équipement causé par les appareils de ventilation. Ce qui engendre des problèmes d'isolation et de correction acoustique.

Chapitre 4 Simulation numérique sur la salle scénique du théâtre

Introduction :

Afin de mieux cerner les problèmes acoustiques assujettis à la salle scénique du TR Bejaia, une étude empirique avait été faite dans un premier temps, elle nous a permis de faire une première lecture du comportement sonore de la salle en question, nous comptons dans ce chapitre avoir plus de précision, mais cette fois ci vis-à-vis de l'onde sonore, et vue la complexité du phénomène sonore et le fait qu'il ne soit pas visible, nous n'avons trouvé que la simulation numérique pour le faire, d'où sont importance dans notre étude. L'objectif est d'approfondir nos connaissances pratiques sur l'aspect de l'acoustique et de comprendre la propagation, l'absorption et la transmission des ondes sonores dans notre cas d'étude.

Ce travail nous permettra de découvrir d'autres paramètres influants sur le comportement acoustique de la salle et les résultats serviront à enrichir les connaissances et à comprendre la performance acoustique de la salle.

4.1 Présentation d'Ecotect :

Ecotect est un logiciel de simulation complet de conception depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle de détail qui associe un modéleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût. Ecotect offre un large éventail de fonctionnalités de simulation et d'analyse. Principalement utilisé par les architectes et les ingénieurs du bâtiment pour évaluer la performance de leurs bâtiments (TRISNAWAN, 2018).

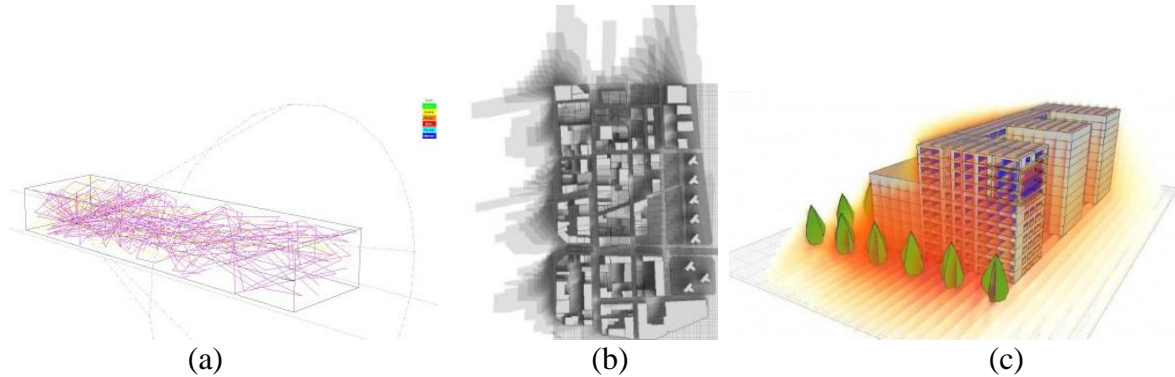


Figure 4-1: Résultats de simulation sous Ecotect, acoustique (a), ombrage (b) et performances thermiques (c) (Source : ARTURO, 2010).

4.2 Objectifs :

Cette simulation est menée pour évaluer l'efficacité sonore de la scène scénique du TR Bejaia. Le logiciel Ecotect a été utilisé pour voir la propagation du son et déterminer les problèmes engendrés par la salle.

4.3 Réalisation du model à simulé :

La réalisation du modèle à simuler à été effectué l'aide du logiciel ArchiCAD. Une première étape consiste à concevoir le volume (Figure 4.2) avec ces dimensions géométriques soit 24m de longueur, 10m de largeur et 9m de hauteur sous plafond pour l'espace spectateur et soit 26m de longueur, 9m de largeur et 9m de hauteur pour l'espace des artistes.

-Superficie : 500 m²

- Volume : 4 300 m³

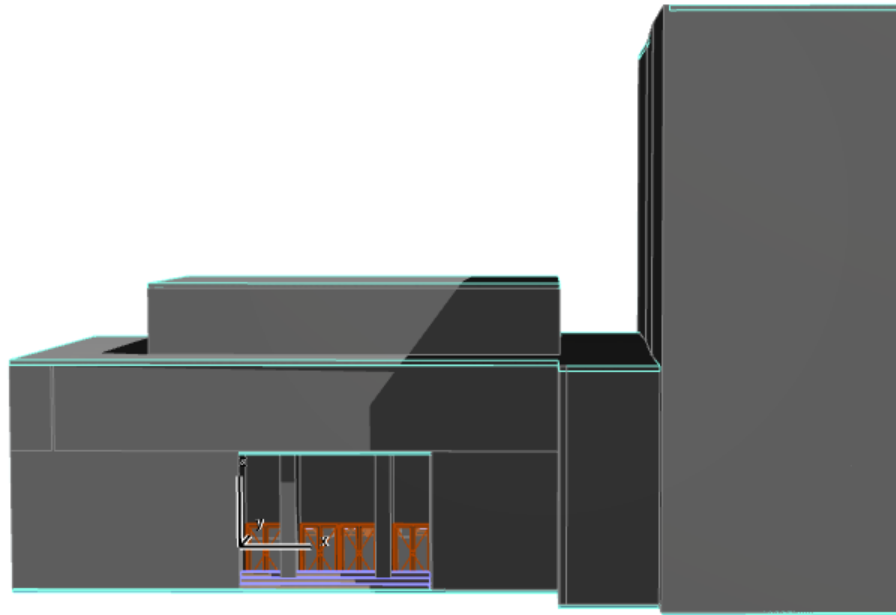


Figure 4-2: Modèle à simulé sur ArchiCAD (Source : Auteur, 2021).

Les murs intérieurs (Figure 4.3) de la salle sont construits en béton avec une épaisseur de 10cm avec un traitement anti-bruit composé du bois et de la laine de verre. Le sol et le plafond sont en béton, et ils ne sont pas dotés d'un traitement acoustique.

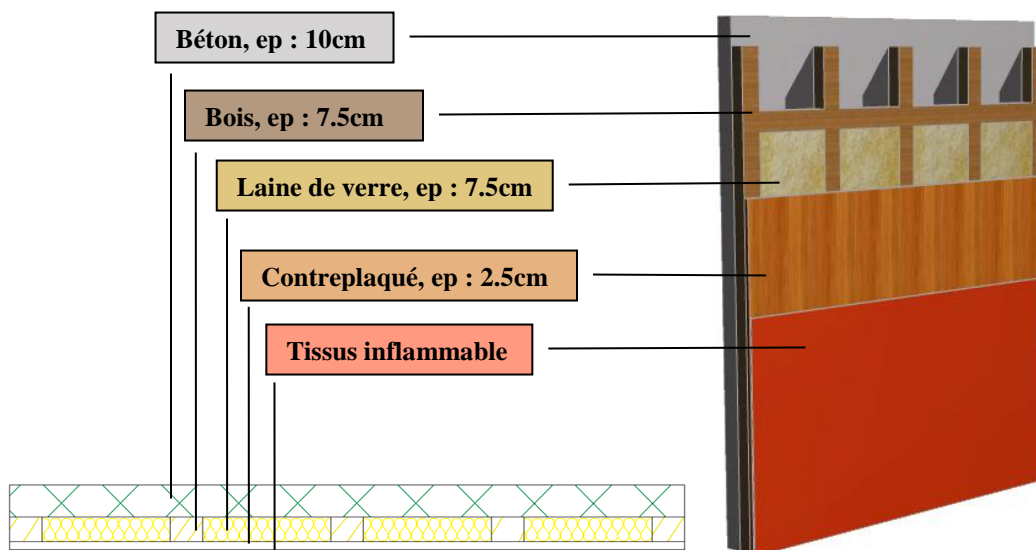


Figure 4-3: Vue en plan et en 3D de la composition de la paroi de la salle scénique (Source : Auteur, 2021).

4.3.1 Importer le modèle à Ecotect :

Une deuxième étape (Figure 1.3) consiste à importer le modèle 3D sur Ecotect au format de fichier DXF.

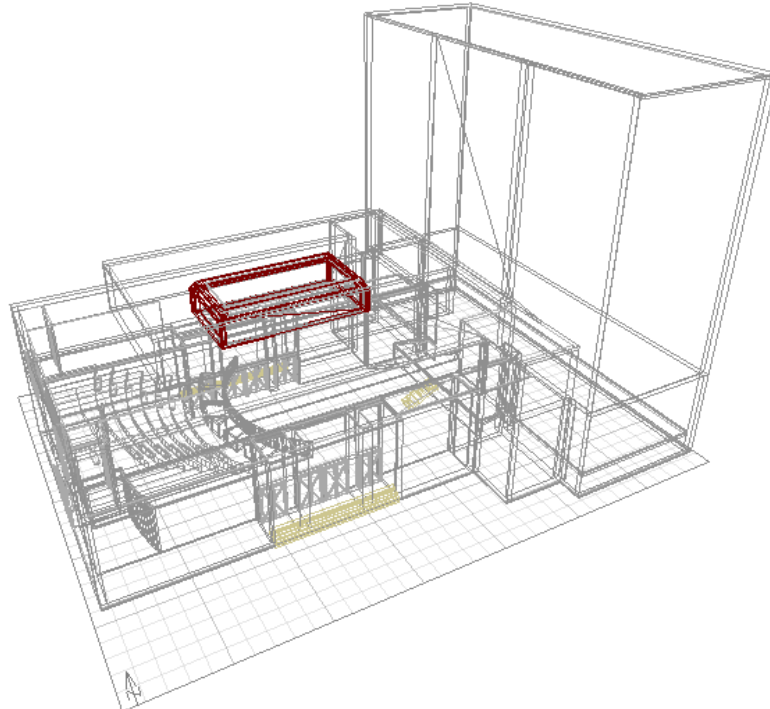


Figure 4-4: Modèle simulé sur Ecotect (Source : Auteur, 2021).

4.3.2 Insertion des matériaux :

Après avoir importé le modèle, il a été nécessaire d'insérer le type de matériaux pour le plafond, les murs et le sol.

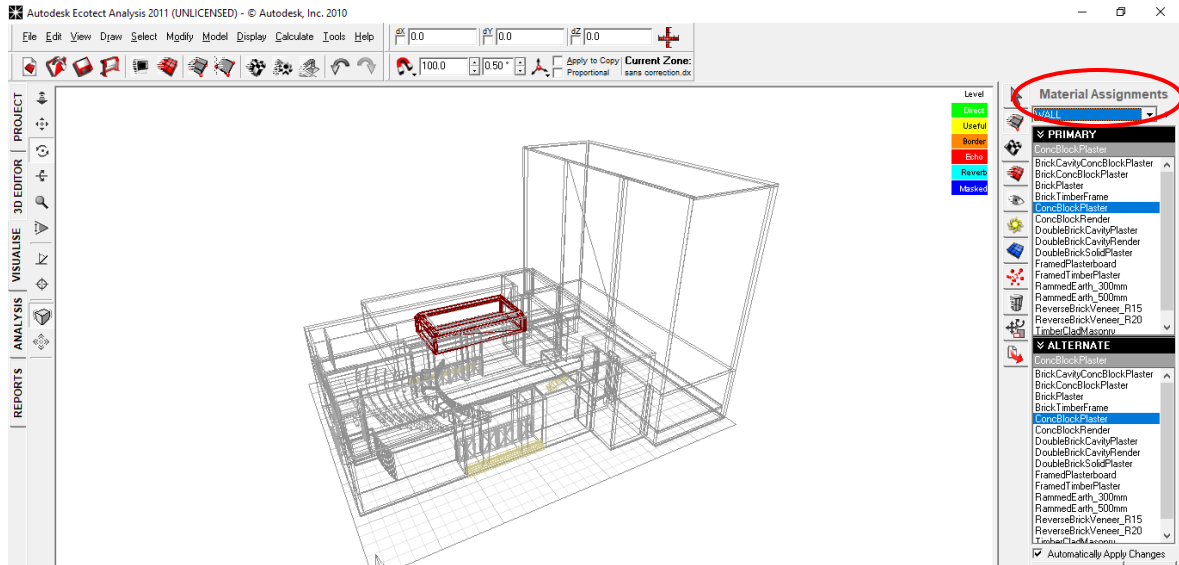


Figure 4-5: Insertion des matériaux pour le modèle (Source : Auteur, 2021).

4.3.3 Protocole de l'analyse acoustique:

Avant de commencer l'analyse, il faut s'assurer de la visualisation du modèle, pour avoir la bonne vision du projet. Après, nous avons placé une source sonore de 500 Hz (fréquence médium). Pour lancé la simulation il faut suivre les étapes de l'analyse (voir annexe n^o2).

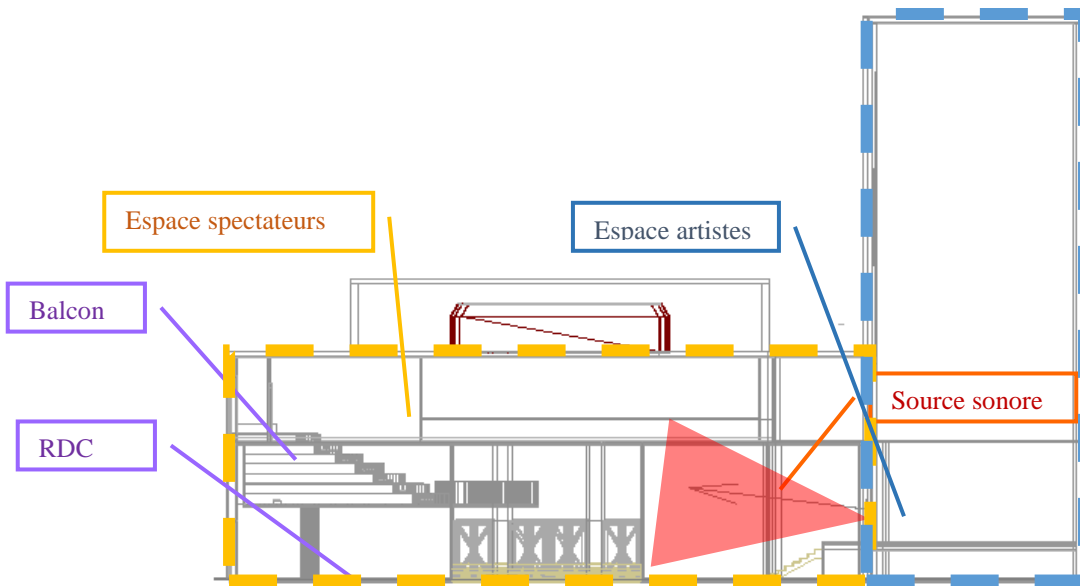


Figure 4-6: Schéma montrant l'insertion de la source sonore (Source : Auteur, 2021).

4.4 Résultats et discussion :

Les images ci-dessous sont des images d'animations dans lesquelles les rayons verts présentent un son direct, les rayons jaunes représentent un son utile, les rayons bleu-ciels représentent une réverbération et les rayons bleus représentent un son masqué.

Les animations ci-dessous montrent la propagation des rayons sonores en fonction du temps (en seconde).

L'interprétation des résultats s'est basée sur le travail de SARAOUI et al., 2018 dans « *Topologie spatio-sonore de l'espace architectural muséal* ».

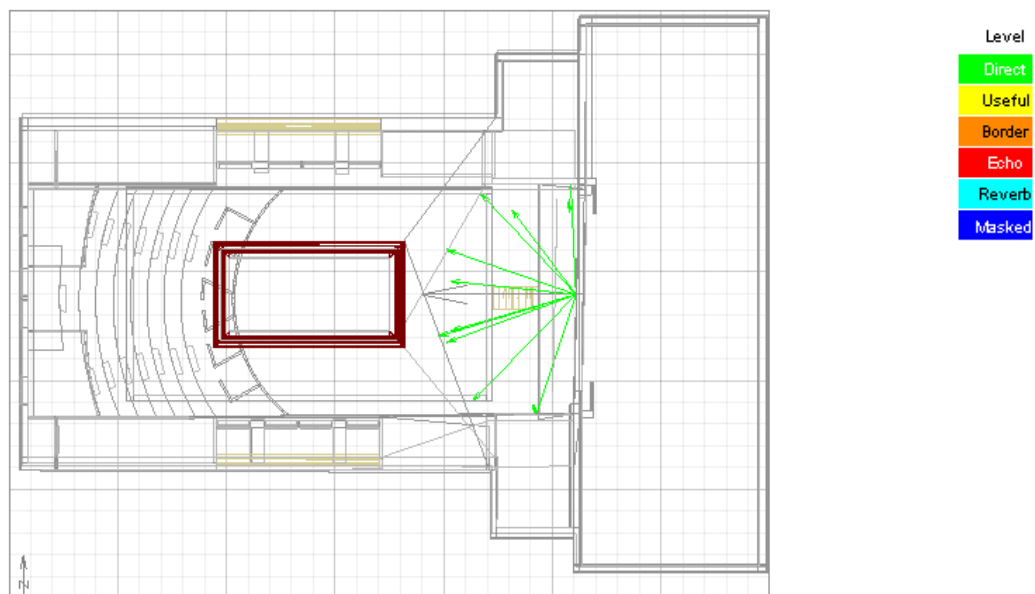


Figure 4-7: Propagation des rayons en 10 s (Source : Auteur, 2021).

Après 10 secondes, l'animation montre la propagation du son (rayons verts) à partir de l'émetteur (source sonore) au récepteur (spectateurs) d'une manière directe, orienté vers l'espace des spectateurs.

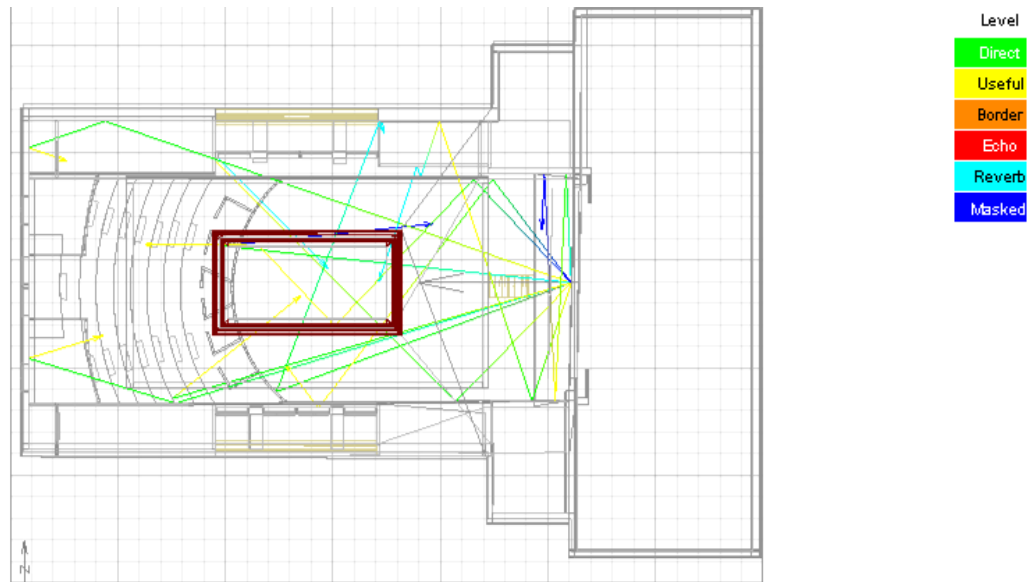


Figure 4-8: Propagation des rayons en 20s (Source : Auteur, 2021).

Les rayons directs (rayons en verts) se reflètent à partir des parois de la salle. Ce qui produit un son utile (rayons en jaune). C'est comme ça que les rayons sonores se propagent tout au long du parcours de la salle. La propagation des rayons suit la géométrie de la salle. Comme on remarque, une apparition des rayons réverbérés (rayons en bleu-ciels).

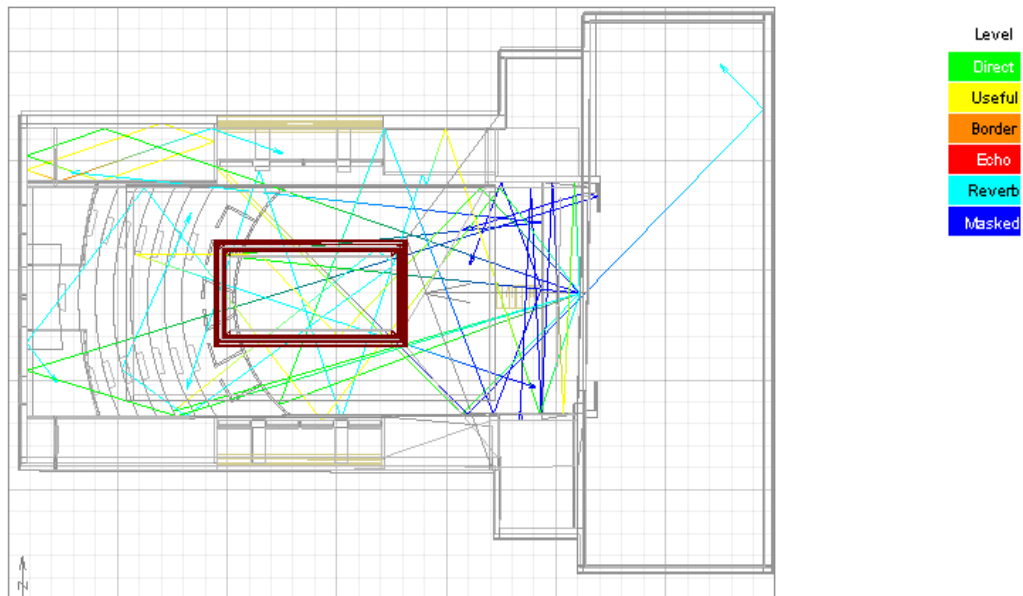


Figure 4-9: Propagation des rayons en 40s (Source : Auteur, 2021).

Après 40 secondes, on remarque toujours l'existence des rayons directs (rayons en verts) et des rayons utiles réfléchis (rayons en jaunes) affectés par les caractéristiques de l'espace ou les obstacles. On remarque aussi que, le nombre des rayons réverbérés augmente dans la salle.

Le son projeté par la source proche masque les rayons sonores réfléchis. C'est comme ça que des rayons de réverbération (rayons en bleu-ciels) sont apparus.

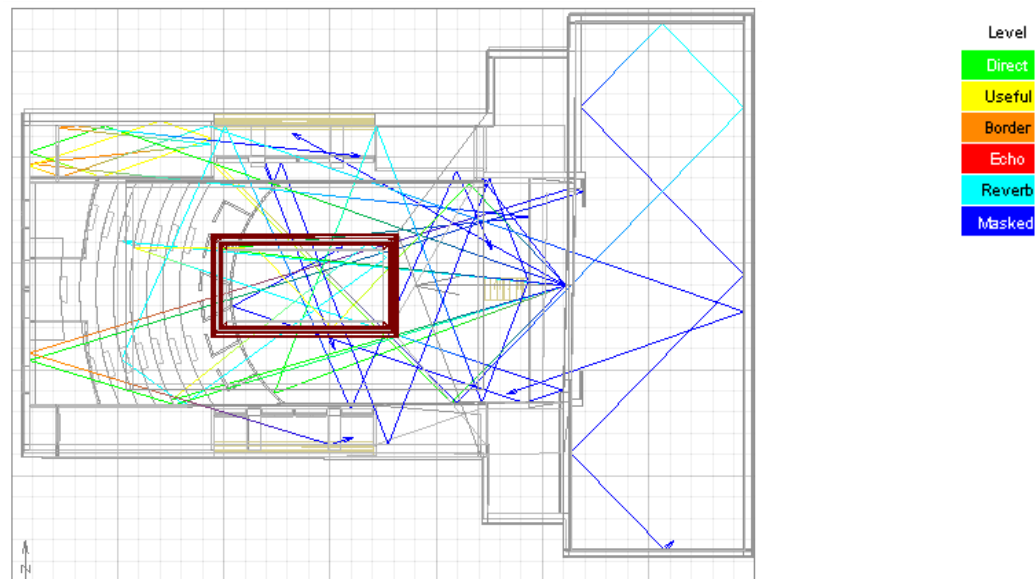


Figure 4-10: Propagation des rayons en 60s (Source : Auteur, 2021).

L'animation montre la diminution du son utile. Les rayons réverbérés (rayons en bleu-ciels) se frappent sur les surfaces près de la scène, ces rayons se reflètent en arrière scène en produisant un son masqué (rayons en bleus).

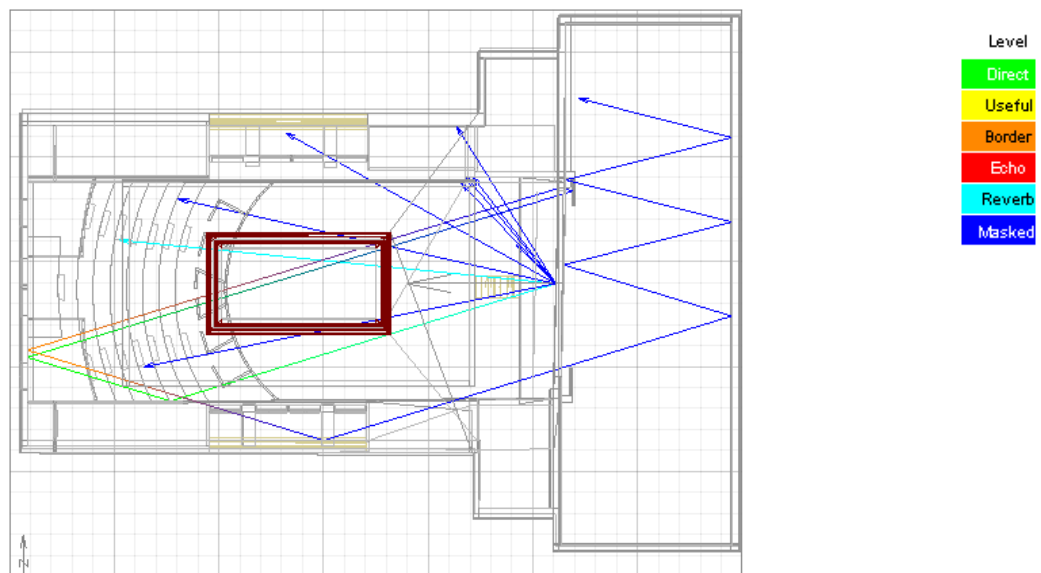


Figure 4-11: Propagation des rayons en 80s (Source : Auteur, 2021).

La totalité des rayons utiles et réverbérés deviennent un son masqué (rayons en bleus). Le son masqué est un son à fréquences inaudibles. Ces rayons masqués se reflètent aussi en arrière scène.

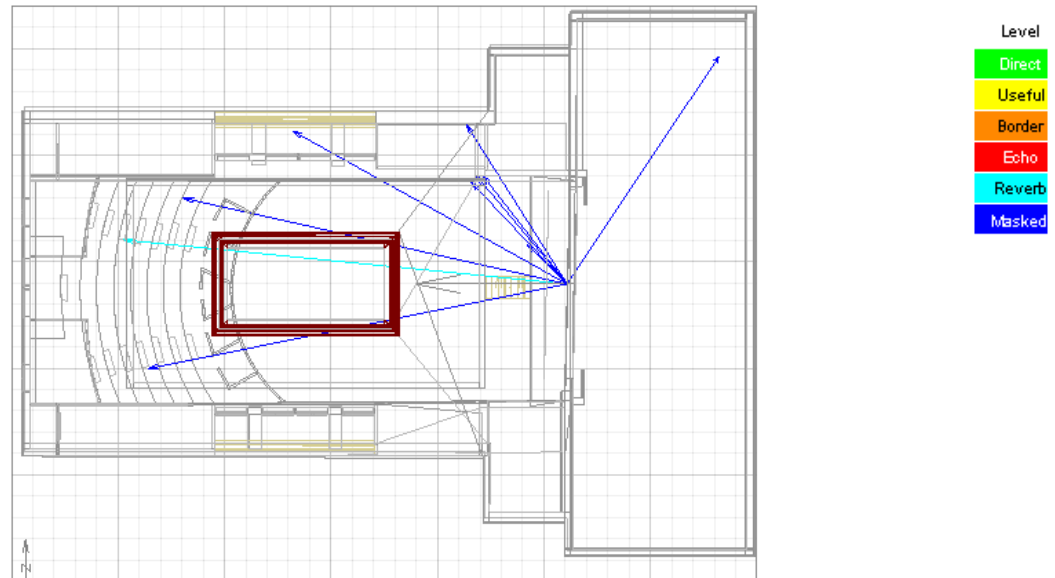


Figure 4-12: Propagation des rayons en 100s (Source : Auteur, 2021).

Après 100 secondes tous les rayons dans la salle sont masqués. L'intensité du son décroît progressivement.

Le graphe ci-dessous montre la variation des ondes sonores dans la salle en fonction du temps.

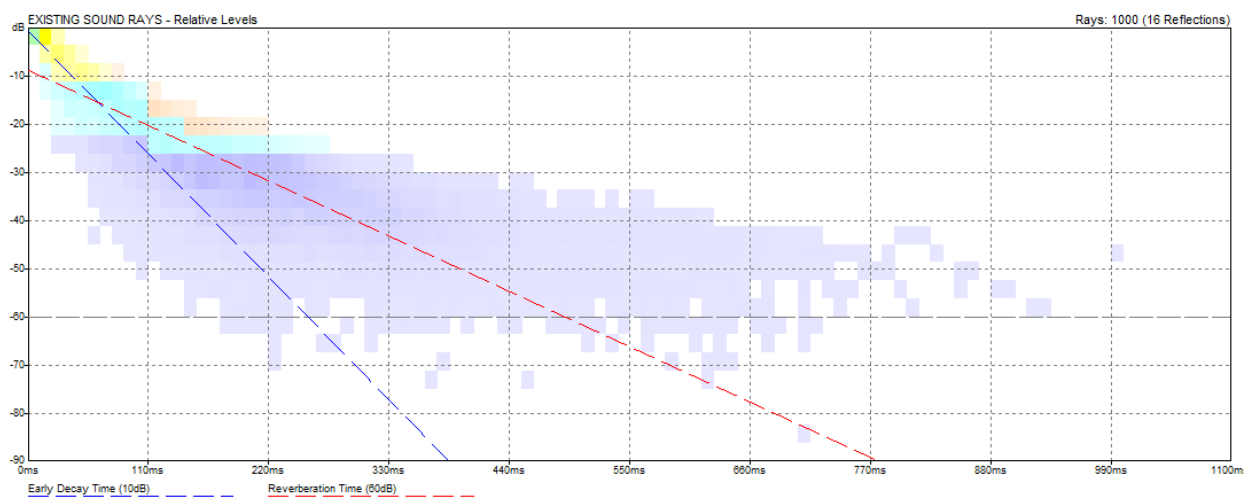


Figure 4-13: Les niveaux relatifs à la réponse impulsionnelle des rayons sonores (Source : Auteur, 2021).

A partir du graphe, on remarque que la variation du son utile (en jaune) est plus faible (environ 0.1 seconde) par rapport à la variation du son réverbéré (en bleu-ciel) d'environ 0.3 seconde, et du son masqué (en bleu). Ce dernier présente la variation la plus grande (environ 0.9 seconde) du son propagé dans la salle.

4.5 Synthèse :

Nous avons pu démontrer à travers cette étude que, les rayons sonores se propagent dans la salle à partir de la source sonore. Les premiers rayons sont des rayons directs qui se reflètent par les parois réfléchissantes de la salle. En constituant ainsi le son utile qui se diffuse dans tout l'espace des spectateurs.

- La salle scénique du théâtre maintient les qualités de diffusion sonore uniforme.

Dans la salle scénique, on remarque une présence de réverbération causé par l'hétérogénéité (rapport réflexion/absorption) de la composition des parois parallèles régulièrement espacées (deux galeries placées en part et d'autre et un balcon au milieu).

- La salle scénique engendre un problème de réverbération dû au faible rendement des surfaces réfléchissantes.

Les animations et le graphe ont aussi montré un effet de masque provoqué par la réduction du son près de la source sonore. Les ondes sonores utiles sont moins longues par rapport aux autres ondes. Ainsi que, le retour du son vers l'arrière scène. Cela est engendré par l'absence de réflecteurs au niveau de la scène.

- On dit que la salle présente un environnement acoustique assez recommandable.

4.6 Comparaison des résultats :

L'objectif de cette comparaison est de valider les résultats obtenus par la simulation. Dans ce cas la comparaison sera effectuée par l'observation du comportement du son dans la salle scénique dans le cas du son sans amplificateur (75 dB) équivalent à 500 Hz prit lors de la simulation. Les schémas ci-dessous (figure 4.14) montrent les deux grilles de prise de mesure

(cas du son sans amplificateur) sur les deux niveaux (RDC et balcons). Ainsi que la vue en plan et la vue en face qui montre le comportement des ondes sonores lors de la simulation.

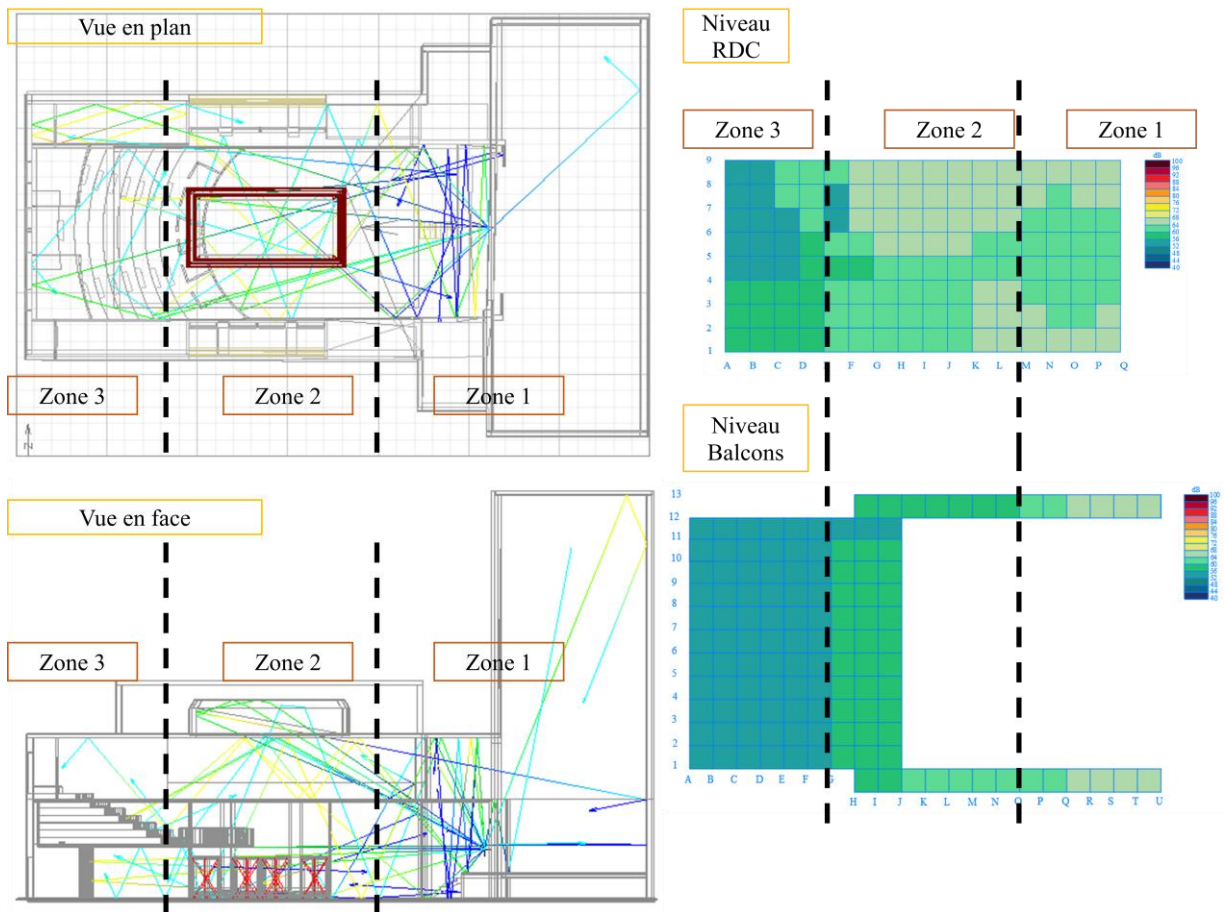


Figure 4-14: Schéma montrant les différentes zones de prise de mesure et de simulation (Source: Auteur, 2021).

-Zone 1: On remarque une augmentation du son qui varie de 64 dB dans les places du milieu à 65 dB dans les places des deux extrémités. Les ondes sonores se frappent sur les parois latérales en créant des ondes réfléchies ce qui explique l'augmentation du son sur les extrémités et un son masqué, ce qui explique la diminution du son dans les places du milieu.

-Zone 2: Dans cette zone, on remarque une forte augmentation de ondes sonores réfléchies par les parois et le plafond, ce qui a de son tour à augmenté le niveau sonore à sa valeur maximale (65 dB) presque dans toutes les places.

-Zone 3: on peut remarquer une faible diminution du niveau sonore (55 dB -60 dB), dû à la dissipation de l'onde sonore (faible intensité) par l'effet du retour du son dû à l'éloignement de la source sonore.

- Les ondes sonores se propagent dans tout l'espace scénique par réflexion des parois latérales et du plafond, la variation des niveaux sonores entre les deux niveaux de salle (RDC et balcons) est très faible ce qui explique la propagation homogène du son dans la salle. Cela se reflète sur la satisfaction des spectateurs.
- Autre que les bruits extérieurs qui affectent la performance acoustique de la salle scénique, l'onde sonore lors de son parcours, est influencée par les caractéristiques hétérogènes de la paroi ainsi que le mouvement anarchique de l'onde sonore. Ce qui entraîne une l'augmentation ou la diminution du niveau sonore dans la même zone.
- Le comportement acoustique du son lors de la simulation, nous a permis de bien comprendre les valeurs enregistrées lors de la prise des mesures. On dit que c'est travail de complémentarité entre les deux études.

A travers cette comparaison, on arrive à conclure qu'il y ait une corrélation entre l'étude empirique et la simulation.

4.7 Optimisation du cas d'étude :

Les résultats précédents issus de la simulation ont montré les lacunes qui se trouvent au niveau de la salle scénique, tel que la longue variation de l'effet de masque. A travers cette modification des matériaux au niveau des parois, nous essaierons de proposer quelques solutions pour améliorer les performances acoustiques de la salle.

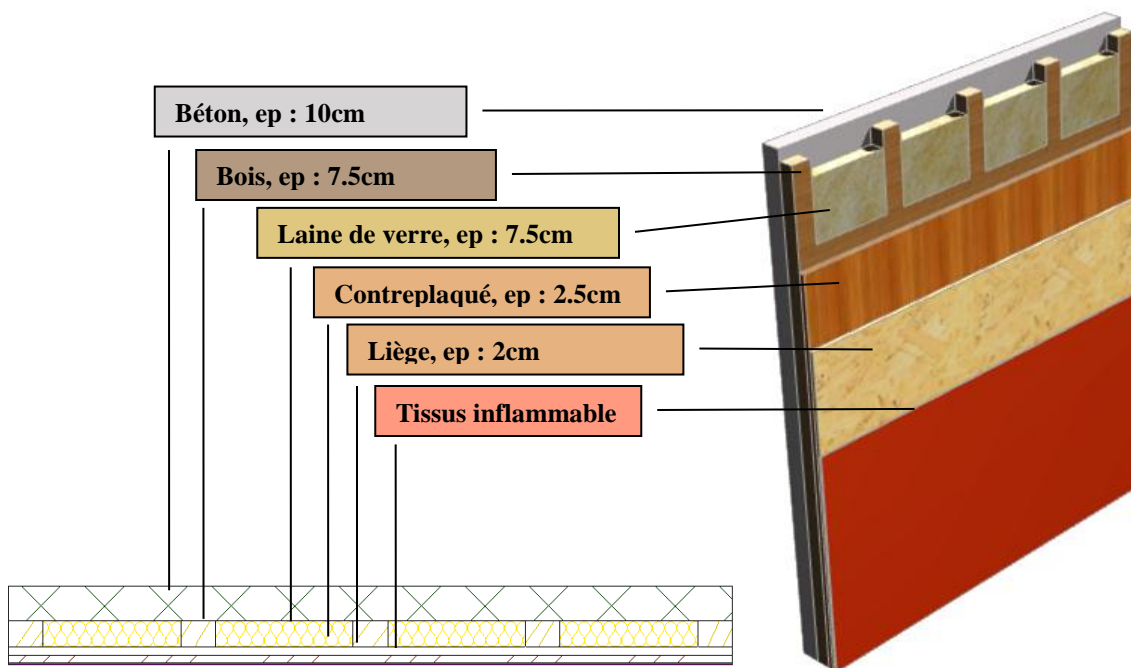
4.7.1 Composition de la paroi avec un traitement acoustique :

Notre modification consiste à intervenir sur les composantes des parois latérales de la salle, et cela en appliquant une nouvelle couche isolante qui est « le liège expansé ».

Le liège étant considéré comme un matériau moins poreux et dense est l'un des meilleurs absorbant, il a un haut pouvoir d'isolation acoustique (KELLATI et al., 2007).

Tableau 4-1: Comportement Phonique du liège (Source: toutleliege.com).

Réduction bruits d'impacts	20 dB BF (graves 100-315 Hz) 40 dB MF (médioms 400-1215 Hz) 30 dB HF (aigus 1600-4000 Hz)
Réduction bruits aériens	30 dB BF (graves 100-315 Hz) 35 dB MF (médioms 400-1215 Hz) 34 dB HF (aigus 1600-4000 Hz)



4-15: Vue en plan et en 3D de la composition de la paroi après le traitement acoustique (Source : Auteur, 2021).

4.7.2 Résultats et discussion :

Après avoir suivre les étapes précédentes et lancer la simulation comme dans le premier cas, On a obtenu les résultats qui se résument dans le graphe ci-dessous. Le graphe montre la variation des ondes sonores dans la salle en présence d'un traitement acoustique « Liège » en fonction du temps.

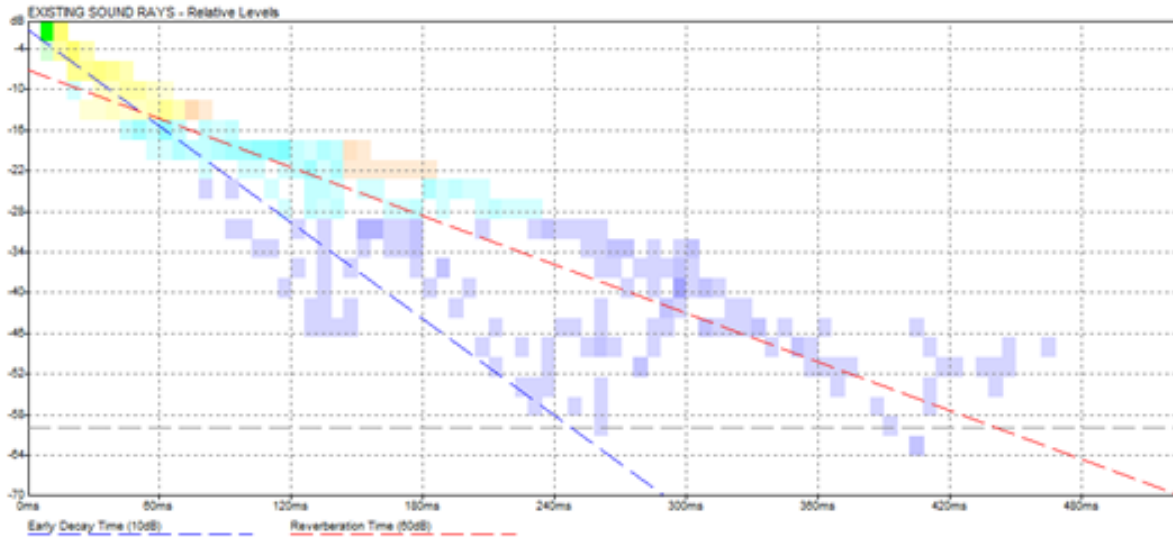


Figure 4-16: Les niveaux relatifs à la réponse impulsionnelle des rayons sonores en présence d'un traitement acoustique (Source : Auteur, 2021).

En présence d'un traitement acoustique, le graphe montre que les ondes sonores ont tendance à se dissiper, les rayons masqués (en bleus) se sont réduits, ils prennent moins de temps par rapport au premier cas. En revanche, nous remarquons une augmentation de la variation des ondes utiles, ce qui signifie une augmentation de la réflexion positive dans notre espace (en jaune).

4.8 Synthèse :

Le graphe montre que dans la salle scénique en présence d'un traitement acoustique qui est « le liège expansé », une diminution de l'effet de masque, qui résulte de l'absorption de ces ondes par le liège, cette diminution sera accompagnée d'une diminution de la réverbération et offrira à l'onde sonore un temps plus court pour disparaître, ce qui permettra une intelligibilité de la parole au niveau de toute la salle.

Conclusion :

Le son constitue une onde de nature invisible à l'œil, la simulation numérique est le seul moyen pour la rendre visible et quantifiable, elle permet de reproduire des situations difficiles à mesurer. Le fait de visualiser par une simulation le son dans la salle scénique du théâtre de Bejaia, nous a permis de déceler plus de détails par rapport à l'étude empirique et mettre en exergue les problèmes engendrés par des paramètres invisibles dans la salle.

Les animations effectuées sur le modèle Ecotect nous ont montré l'importance de la géométrie dans la conception architecturale des espaces scéniques. Cela se manifeste précisément dans l'orientation des ondes sonores et leur parcours. Les caractéristiques des matériaux qui constituent la paroi peuvent affecter la propagation du son, soit par absorption pour les matériaux absorbants ou par réflexion pour les matériaux réfléchissants.

L'apport de la simulation dans la recherche est constamment associée à une amélioration significative des connaissances, des pratiques et des comportements. Chose qui permet d'apporter des modifications et des corrections nécessaires sur l'objet étudié.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le son est une sensation auditive provoquée par une onde acoustique dans un milieu physique. Contrairement au son, le bruit est un son jugé indésirable. Les lieux contemporains destinés à l'écoute du son - parole ou musique - connaissent parfois des déboires : la musique est sans vie, sans dynamique, sans substance. Les salles de spectacle sont les meilleurs exemples pour traiter la question du son. Ce qui fait qu'une démarche scientifique visant à la maîtrise des phénomènes acoustiques est aujourd'hui opérationnelle. L'objectif de notre recherche est de maîtriser l'aspect acoustique et de définir les stratégies nécessaires pour assurer une haute performance acoustique dans les salles de spectacle. Cette étude nous a permis de générer les principales conclusions qui touchent à la partie théorique, qui est composée de deux chapitres, ainsi que la partie pratique, qui est constitué de trois méthodes d'évaluation.

La partie théorique, nous a servi de recueillir des connaissances théoriques indispensables pour notre travail, que l'acoustique d'une salle de spectacle dépend de deux critères essentiels sont à considérer: la géométrie de la salle et les matériaux constituant les parois. Le volume doit être vaste afin que le son rebondisse longtemps. Les matériaux sont caractérisés d'un point de vue acoustique par leurs coefficients d'absorption. Un paramètre est aussi très important pour caractériser l'acoustique d'une salle est le temps de réverbération. En effet, cette grandeur permettra de savoir si le son sera prolongé ou non et donc influera sur la bonne utilisation de la salle selon son fonctionnement.

Quant à la partie pratique, notre objet d'étude s'est focalisé sur l'évaluation de la qualité acoustique de la salle scénique du théâtre régional de Bejaia. Pour cela, nous avons effectué une étude empirique de deux volets : quantitatif et qualitatif. Le volet quantitatif est réalisé par des prises de mesure au niveau de la salle scénique, il se résume en trois scénarios : le premier scénario en cas de calme plat, le deuxième scénario en cas de son sans amplificateur (75 dB), et le troisième scénario en cas de son avec amplificateur (100 dB). Les résultats obtenus ont confirmé une bonne intelligibilité du son dans la salle malgré les faibles variations du niveau sonore causé par les différents bruits provenant soit, du trafic automobile ou des bruits des équipements de ventilation. Le volet qualitatif, est une enquête qui a été réalisée auprès des usagers de la salle scénique du TR Bejaia, qui ont reçu des questionnaires type pour l'évaluation de leur perception du son dans la salle. La majorité des personnes questionnées

Limites de recherche :

L'objectif voulu par ce travail est de définir les stratégies nécessaires pour assurer une meilleure qualité sonore dans les salles de spectacle. Ainsi qu'une élaboration d'une étude empirique qui sert à vérifier l'existence de la qualité acoustique dans la grande salle du théâtre régional de Bejaia.

-L'accès limité à l'information était un obstacle pour s'étaler sur l'aspect acoustique qui est un domaine très peu élaboré dans les travaux de recherche.

-En plus, le manque de moyens est une limite qui nous a empêchés d'accéder aux logiciels payants qui donnent des résultats plus précis.

-Ainsi, Le manque des instruments de mesure nous a pas permis d'effectuer des prises de mesure à l'aide des logiciels plus performants de l'acoustique, tel que un sonomètre. Néanmoins on a pu effectuer des prises de mesure au niveau du cas d'étude et exploiter un logiciel gratuit au cours de notre étude.

Perspectives de recherche :

Notre recherche est basée sur les stratégies conceptuelles et techniques qui contribuent à offrir un confort acoustique dans les salles de spectacle. Tel que la géométrie et les matériaux utilisés dans les salles de spectacle. Pour cela, des études quantitatives et qualitatives ont été proposées pour répondre à notre problématique et nos besoins en matière du confort acoustique. Des recherches supplémentaires seront très utile et pouvant compléter les résultats obtenus, il s'agit de l'étude de :

- L'impact du volume de la salle sur la réflexion et la diffusion du son dans les salles de spectacle.
- L'apport des réflecteurs sur le confort sonore des salles de spectacle.
- Le confort psycho-acoustique dans les salles de spectacle.

Bibliographie

- Adessi, C. (2020). Cours de Physique Acoustique. Université de Lyon. Tiré de <http://ilm-perso.univ-lyon1.fr/cadessi/orthophonie.html>.
- Anthony et al. (2007). The behaviour of sound in an enclosed space. *Acoustics and Noise Control*. Consulté en ligne le 10 janvier 2021. Tiré de <http://sdngnet.com/Files/Lectures/FUTA-ARC-507/Assignments/2007%20Assignments/Term%20Papers/Behaviour%20of%20Sound%20in%20an%20Enclosed%20Space.pdf>.
- Arturo, D. (2010). Ecotect analysis. Institute of advanced architecture of Catalonia. Barcelone.
- AUFFRET, M. (2015). *Les notions essentielles de l'acoustique* [Conférence]. Conseil en Acoustique, France. Tiré de <https://www.bruit.fr/images/stories/pdf/FIPS-juin-2015/maurice-auffret.pdf>.
- Boudier & Guibert (2006). LES ONDES SONORES .Niveaux sonores, Puissance, Pression, Intensité. Consulté en ligne le 6 janvier 2021. Tiré de acoustique.voila.net/1A2006_2007/Cours/06_PuissPressIntens.pdf.
- Boudjema & Masrouf (2016). Le lac de Mézaia : une opportunité pour un développement touristique et durable. Mémoire de fin de cycle pour l'obtention de Diplôme d'architecture : Université Mouloud Mammeri.
- Bui Van, T. (1996). *Acoustique architecturale*. Alger, Algérie : Office des publications universitaires.
- Centre de Référence professionnelle bruxellois (2015). Le point sur l'isolation acoustique. Tiré de https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/DOCU_20151208_PointIsolationAcoustique_FR.pdf
- Chelkoff, G. (1993). Du confort acoustique au confort sonore : évolutions des pratiques et de l'architecture du logement. *Modes de vie et architectures du logement, Plan construction*. Doi : hal-01168071, version 1.
- CNFPT (2017). Les différentes formes de spectacle vivant et leurs spécificités. Tiré de <https://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/bin/view/vitrine/M%C3%A9tiers%20du%20spectacle%20-%20Les%20diff%C3%A9rentes%20formes%20de%20spectacle%20vivant%20et%20leur%20sp%C3%A9cificit%C3%A9s>.
- Crispin, C. (2015). DÉTAILS TECHNIQUES ACOUSTIQUES. *Bruxelles Environnement*. Tiré de https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/pres_20150223_rhpe_4_lacou_fr.pdf.
- Daumal, F. (1990). L'architecture acoustique, un nouveau concept. *Journal de Physique Colloques*. Doi : 10.1051/jphyscol:19902248.
- De sa & Molinaro (2017). Conception acoustique d'une salle – Intérêt du prototypage et principe de conception de maquette. *EDUSCOL-STI*. Tiré de : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>.
- Delcros, F. (2016). Les ondes sonores et leurs impacts sur la sante. Thèse soutenue pour obtenir le diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie. Université de Lorraine.
- DRAC Centre (2009). La notion de spectacle vivant.
- Duhamel, D. (2013). Acoustique. École d'ingénieur. Doi : cel-01510839, version 1.
- Fondation pour la recherche médicale. (2006). Surdité. *Recherche & Santé*, 2(106). Tiré de <https://www.frm.org/upload/pdf/n106.pdf>.
- Frize, N. (1995). La place des bruits dans la ville. *Hommes & libertés*, (83).
- Hamayon, L. (2006). *Réussir l'acoustique d'un batiment*. Paris, France : Le moniteur.
- Hamayon, L. (2010). « Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments ». Paris, France : Le moniteur.
- ISOVER (s.d.). Acoustique du bâtiment : Les Fondamentaux. *Acoustique du bâtiment*. Tiré de <https://www.isover.fr/sites/isover.fr/files/assets/documents/Guide-Acoustique-Batiment.pdf>.
- Kahle Acoustics & Altia (2006). Philharmonie de Paris : PROGRAMME ACOUSTIQUE. Tiré de <https://kahle.be/articles/Programme-acoustique882B7.pdf>.
- Kellati et al. (2007). Etude de propriétés thermophysiques et acoustiques du liège compact et granulaire. *Revue des Energies Renouvelables*.
- Krauss et al. (2009). Acoustique du bâtiment. INSA Lyon : France.
- Kuznik et al. (2009). Acoustique du bâtiment. INSA Lyon : France.

Leardi, L. (2019). Basic principles of Acoustics: Why Architects shouldn't leave it all to consultants. Tiré de <https://www.archdaily.com/909793/basic-principles-of-acoustics-why-architects-shouldnt-leave-it-all-to-consultants>.

Mayer, N. (s.d.). Onde sonore. futura-sciences. Consulté le 1 janvier 2021. Tiré de <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-onde-sonore-15526/>.

Péquignot, B. (2013). De la performance dans les arts : Limites et réussites d'une contestation. *Communications*, 1 (92). Tiré de <https://www.cairn.info/revue-communications-2013-1-page-9.html>.

Pignal, G. (2003). Étude acoustique et vibratoire pour la transformation d'un auditorium en salle polyvalente. Mémoire présenté à l'obtention de la maîtrise en génie de la construction. Université du Québec.

Saint-Gobain (2016). La place des bruits dans la ville. *Les essentiels de l'habitat*, (5). Tiré de http://www.seformeravecsaint-gobain.com/medias/page_essentiels/Essentiel%20%20-%20Introduction%20%20C3%A0%20l'acoustique%20du%20b%C3%A2timent%20-%202016.pdf.

Saraoui et al. (2018). Topologie spatio-sonore de l'espace architectural muséal. *Courrier du Savoir*. (26).

Sridi, N. (2013). Etude de membranes ultra-fines pour intégration de transducteurs acoustiques ultra-sonores. Thèse soutenue pour obtenir le grade de docteur Nano-Electronique et Nano-Technologies. Université de grenoble. Doi : tel-00954586.

Trisnawan, D. (2018). *Ecotect design simulation on existing building to enhance its energy efficiency* [Conférence]. Conference Series Earth and Environmental Science, Indonesie. Doi: 10.1088/1755-1315/105/1/012117.

Van damme, M.(2008). Formation Bâtiment Durable : ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT. *Bruxelles Environnement*.

Sites internet

<https://collections.louvre.fr/ark:/53355/cl010014483>.

<https://www.liberte-algerie.com/actualite263114/print/1>.

<http://perceptionsonoretpe.free.fr/I-1.html>.

<http://perceptionsonoretpe.free.fr/I-1.html>.

www.schoolmouv.fr/cours/l-intensite-sonore/fiche-de-cours.

<http://perceptionsonoretpe.free.fr/I-1.html>.

<https://www.techniques-alternatives.com/B3/index.php/catalogue/materiaux-poreux-ou-permeables/147-produit-materiaux-poreux>.

<https://patrimoine.auvergnhonealpes.fr/illustration/ivr8220134203841nuca/94c04279-7218-44ce-bf2c-093f2657b0e6>.

<https://www.arts-in-the-city.com/2018/06/05/concert-philharmonie-de-paris/>.

<http://philharmonie.com/fr/venue/berlinskaya-filarmoniya>.

<http://www.lam.jussieu.fr/Publications/Theses/these-paul-luizard.pdf>.

<https://docplayer.fr/47566653-2-1-le-palais-garnier.html>

<https://www.beethovenhalle.de/en.html>.

https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/conception-acoustique-dune-salle-interet-prototypage-principe-conception-de-maquettes

<https://apkpure.com/fr/sound-meter-decibel-noise>.

<https://www.facebook.com/fitb.dz/meter/app.tools.soundmeter.decibel.noisedetector>.

<http://www.jeannouvel.com/projets/philharmonie-de-paris/>

<https://www.ccs.ac.uk/dance-2018-the-evolution/>.

<http://www.ceuxdebougie.com/05-HIST/5.34.2.html>.

<https://www.guidesulyse.com/fr/fiche-contenu.aspx?id=443>

<https://philharmoniedeparis.fr/fr>.

<http://www.jeannouvel.com/projets/philharmonie-de-paris/>.

ANNEXES

Chapitre 5 Annexes

Annexe 01 Questionnaire

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Abderrahmane Mira - Bejaia
Faculté de Technologie
Département d'Architecture

Questionnaire

Dans le cadre de la préparation d'un mémoire de Master en Architecture consacré à « l'étude du confort acoustique dans les salles de spectacle ». Nous avons l'honneur de vous remettre ce questionnaire qui a pour but d'évaluer votre satisfaction concernant le confort acoustique dans la salle scénique du théâtre régional de Bejaïa.

Votre contribution serait sans aucun doute d'un apport essentiel pour notre recherche. Nos remerciements anticipés.

Mettez une croix (X) s'il vous plait dans la case correspondante.

1-Sexe :

Homme Femme

2-Age :

< 25 ans Entre 25 et 45 ans > 45 ans

3-Au niveau de la salle scénique, vous entendez et vous comprenez clairement les paroles des artistes ?

Oui Non

4-Quelle place choisissez-vous dans la salle ?

Au début Au milieu A la fin Peu importe

5-Le choix de la place est t-il en raison de bien entendre :

Oui Non

6-Avez-vous déjà rencontré des problèmes d'échos ?

Oui Non

7-Estimez-vous que votre salle dispose d'un son plutôt :

Mât (son uniforme qui ne résonne pas) Réverbérant (son confus qui décroît progressivement)

8-Est-ce que vous entendez des bruits d'équipements techniques (ventilation par exemple) ?

Oui Non

9-Vous diriez que ce bruit est gênant ?

Très gênant Gênant Moyen Faible Très faible

10-Est-ce que vous entendez des bruits provenant de l'extérieur (trafic automobile par exemple) ?

Oui Non

11-Le niveau du bruit provenant de l'extérieur à travers les ouvertures est t-il ?

Très gênant Gênant Moyen Faible Très faible

12- Comment évaluez-vous votre satisfaction vis-à-vis du confort acoustique dans la salle?

Très bonne Bonne Acceptable Mauvaise Très mauvaise

Merci pour votre collaboration et le temps que vous avez consacré à ce questionnaire.

Annexe 02 Étapes de simulation

-**Étape 1:** Marquer le plafond comme objet réflecteur.

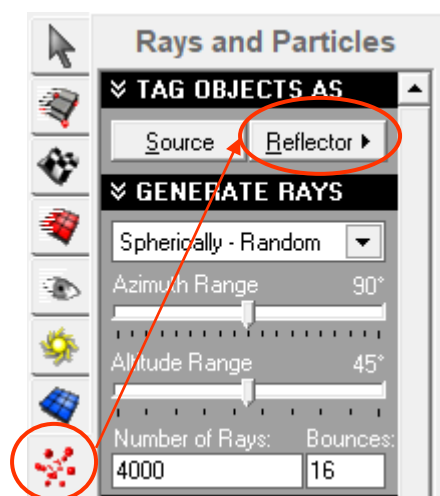


Figure 5-1: Mise en place de la source sonore (Source : Ecotect, 2021). Traitée par l'auteur.

-**Étape 2:** Projeter les rayons sonores vers les réflecteurs à partir de la source. Nous allons donc le faire simplement en générant l'option sur le rayon et les particules - sous- titre: **générer des rayons** - vers des réflecteurs étiquetés.

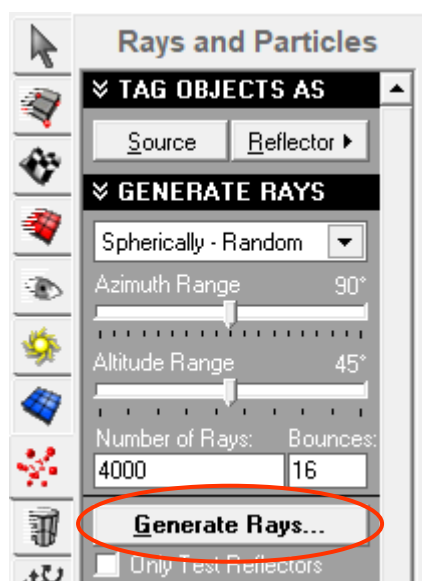


Figure 5-2: Option « générer des rayons » (Source : Ecotect, 2021). Traitée par l'auteur.

-Étape 3: Pour mieux comprendre comment le son se déplace dans un espace, il est utile d'essayer les animations de rayons acoustiques d'Ecotect. Choisir le type d'affichage de rayon en cliquant sur l'option « rayons animés ».



Figure 5-3: Option « rayons animés » (Source : Ecotect, 2021). Traitée par l'auteur.

-Étape 4: Cliquer sur le bouton démarrer pour la vidéo de la propagation des rayons.

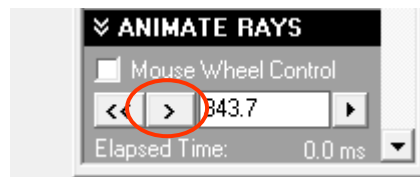


Figure 5-4: Bouton « démarrer » (Source : Ecotect, 2021). Traitée par l'auteur.

Annexe 03 Analyse du site

Présentation du site : « Site du lac »

Zone humide en milieu urbain, d'une étendue de 2,5 hectares et d'une profondeur pouvant atteindre les 18 mètres, le lac de Mézaïa, au cœur du tissu urbain de la ville de Bejaia, et fait partie du Parc national du Gouraya (BOUDJEMA et MASROUR, 2016).

Situé au milieu de la ville de Bejaia, Le site représente le nouveau centre ville de la wilaya de Bejaia. Il dispose d'un centre aménagé pour le loisir autour duquel on trouve un ensemble d'équipements touristiques. Il peut constituer un lieu de détente urbain si celui-ci n'était pas à l'abandon.

Justification du choix de site:

-Cette aire d'étude à un emplacement stratégique, elle est facilement repérée et accessible par la route nationale de krim Belkacem.

-Site urbain à forte polarité, une partie vivante de la ville de Bejaia qui mériterait qu'un équipement à échelle nationale lui soit attribué.

-Le contexte du site est un contexte majoritairement culturel ; à proximité se situe le théâtre de verdure de Bejaia, la maison de la culture, la direction de la culture, le centre culturel islamique et un musée de la faune et de la flore dans le site lui-même.

-L'emplacement du terrain permet une desserte facile et une bonne visibilité au projet.



Figure 5-5: Site du Lac Mezaia (POS B30) (Source : Google Earth, 2021). Traitée par l'auteur.

Situation et limites du site :

Le site du lac est situé au Nord Ouest de la ville de Bejaia, il est considéré parmi les sites les plus importants de la ville du fait la densité des habitants et l'existence des différentes équipements (culturels, administratifs, sportifs, etc.).



Figure 5-6: Situation du quartier du lac (Source : Google earth).

➤ Le POS 30

P.O.S B30 - Ex POS 8A - Approuvé sous N° 11/09 du 17/08/09

Commune	Secteur	POS	Superficie (ha)	Limite	Type d'intervention	COS	Echéance
Bejaia	SU 127	B30	43,76	- Nord: Route - Sud: Oued Serir - Est: Route de Boukhiana - Ouest: Route (BVD K.Belkacem)	Restructuration	Néant	CMT

Figure 5-7: Le POS B30 (Source : Règlement d'Urbanisme PDAU Bejaia EDITION FINALE approuvé ministère).

Limites du site :

- Ce site est délimité du nord par la route de Hassiba Ben Boulaid de 15m de largeur.
- De l'est par la route nationale de Krim Belkacem de 17,5m de largeur.
- De l'ouest et du sud ouest par l'Oued Sghir.

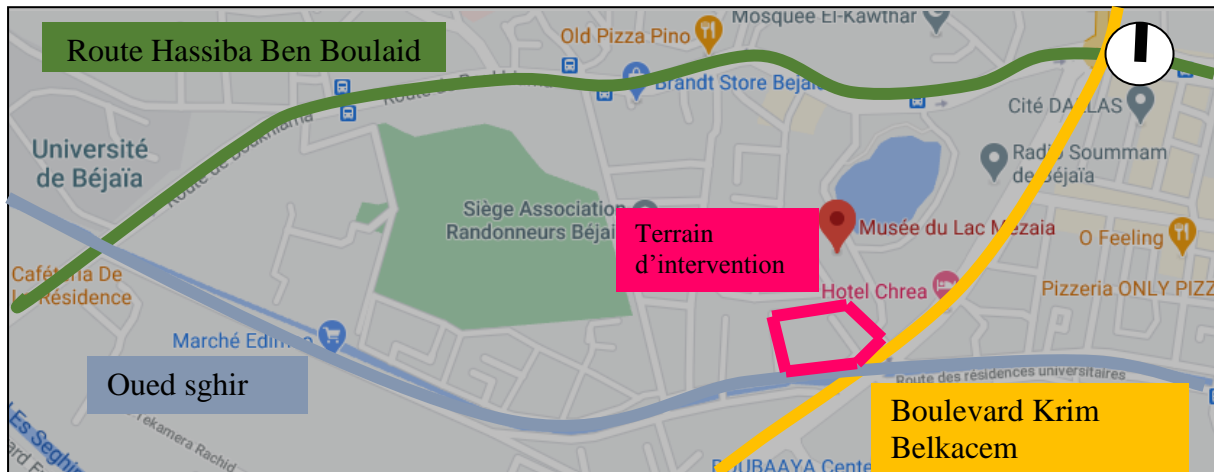


Figure 5-8: Limites du site d'intervention (Source: Google Earth). Traitée par l'auteur.

Délimitation du site :

La position centrale du quartier qui renferme une zone humide dans un milieu urbain dense renforce son attractivité. Le site est bordé par un tissu à vocation industrielle (dépôt et usine) au Sud et à l'Ouest, et des cités résidentielles à l'EST et au Nord.

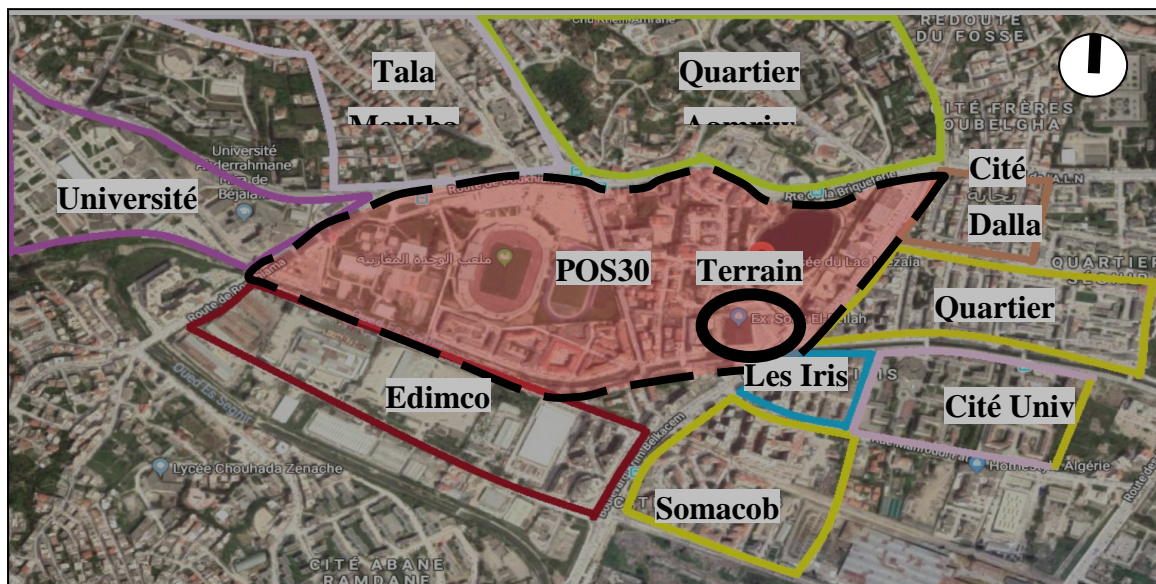


Figure 5-9: Les quartiers qui entourent le quartier du lac (Source : Google Earth). Traitée par l'auteur.

On accède à ce site venant de la sortie de la ville de Bejaia (Bir slam) en empruntant le Boulevard Krim Belkacem (Route nationale N°24). En venant de l'intersection de Tazeboujt en empruntant la route de Hassiba Ben Boulaid qui s'étend de Boukhiamma jusqu'au nœud principal d'Aamriw. Ou en venant du centre ville en passant par la rue de la liberté puis le boulevard d'ALN qui s'étend jusqu'au nœud principal d'Aamriw.



Figure 5-10: Système viaire du quartier du lac (Source : Google Maps). Traitée par l'auteur.

Le système viaire :

Les deux Boulevards Krim Belkacem et Hassiba Ben Boulaid sont dotés d'un flux important de circulation, ce qui leur permet une attractivité importante à l'échelle de la ville.

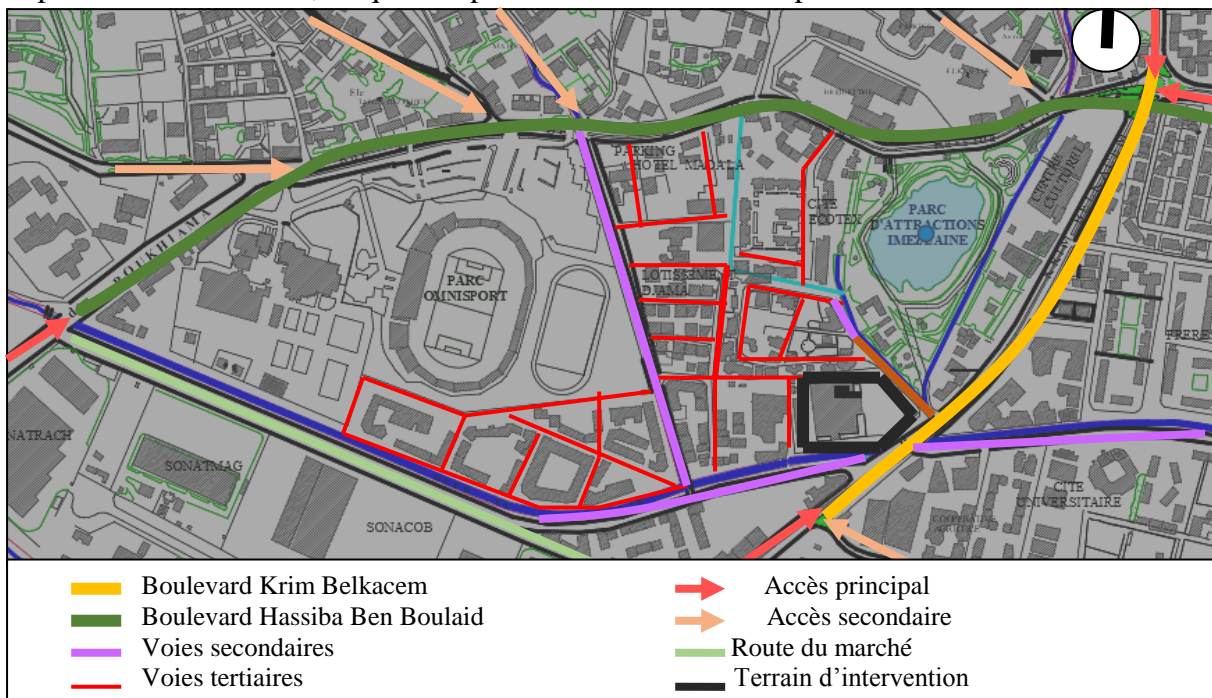


Figure 5-11: Système viaire du site (Source: Auteur, 2021).

Les nœuds :

Le nœud d'Aamriw est le seul nœud aménagé par un jet d'eau central, par contre les autres nœuds sont non-aménagés.

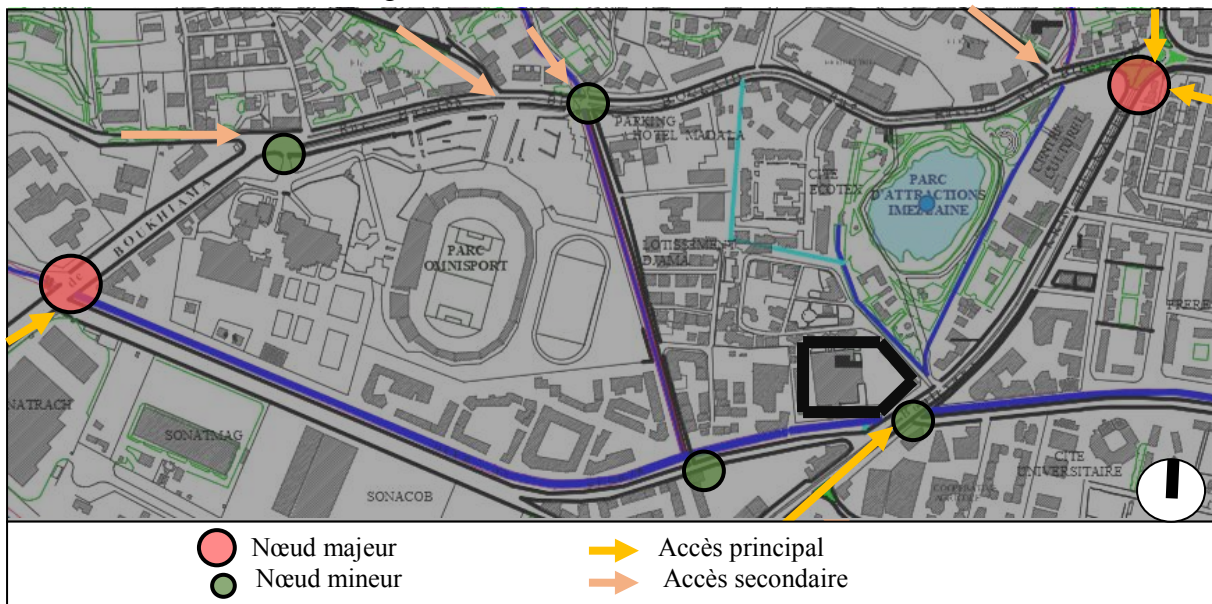


Figure 5-12: Nœuds aménagés au niveau du site (Source: Auteur, 2021).

Climat du site:

L'orientation Sud de notre assiette d'intervention lui confère un avantage d'un bon ensoleillement, elle est exposée aux vents dominants de direction Nord Est en été, et aussi essentiellement de brises du lac. Ce qui confirme sa situation à proximité d'une zone humide.

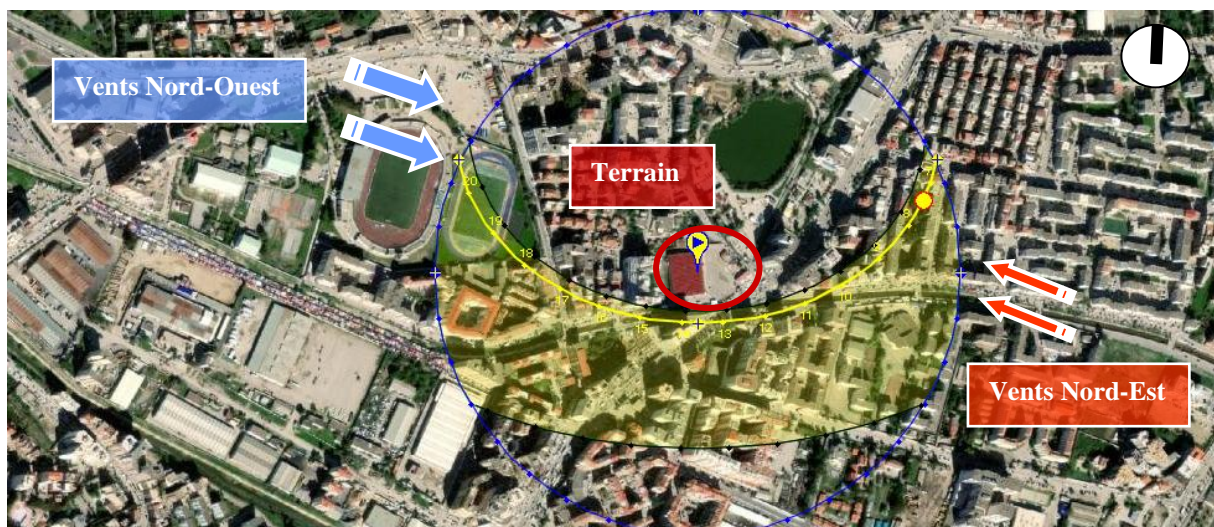


Figure 5-13: Lecture climatique de notre site (Source: sunearthtools.com). Traitée par l'auteur.

Cadre bâti et non bâti :

La prédominance du bâti par rapport au non bâti et la diversité des typologies du bâti. On remarque une grande hauteur des gabarits (R+7/ R+12) et un manque des espaces publics.

-Le cadre bâti : se résume en : Habitat individuel, habitat mixte, habitat semi-collectif, habitat collectif, équipements de quartier et d'inter-quartier. On remarque à ce niveau un manque d'entretien ainsi que certaines bâtisses inachevées.

-Le cadre non-bâti : se résume dans la placette et le parc d'attraction, et les deux Oueds Seghir et Serir.

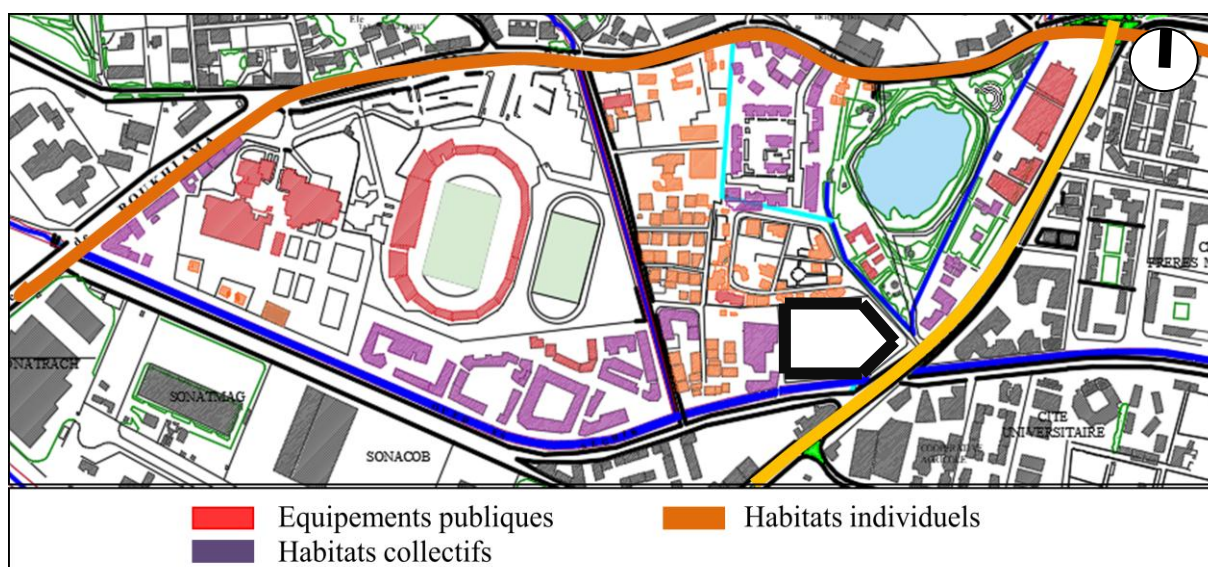


Figure 5-14: Le cadre bâti du quartier (Source : Auteur, 2021).

La diversité du cadre bâti en termes d'équipements et d'activités de loisir (parc d'attraction), de culture (maison de la culture, bibliothèque d'Aamriw) et de sport (parc omnisport) font en sorte que le quartier soit un pôle d'attraction important à l'échelle de la ville.



Figure 5-15: Le cadre bâti du quartier (Source : Auteur, 2021).

Les points de repères :

La maison de la culture, la bibliothèque d'Aamriw, le parc Alivava et le nœud majeur d'Aamriw sont des équipements connus, c'est pour cela qu'on les considère comme des points de repères à notre zone d'étude.

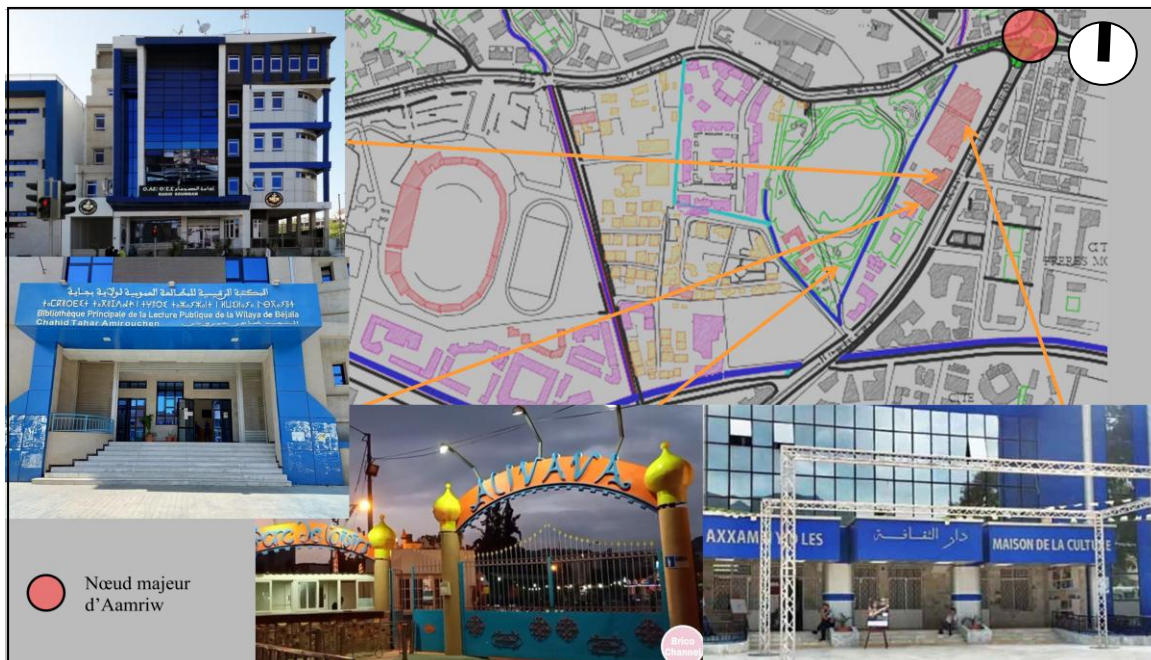


Figure 5-16: Les points de repère (Source : Auteur, 2021).

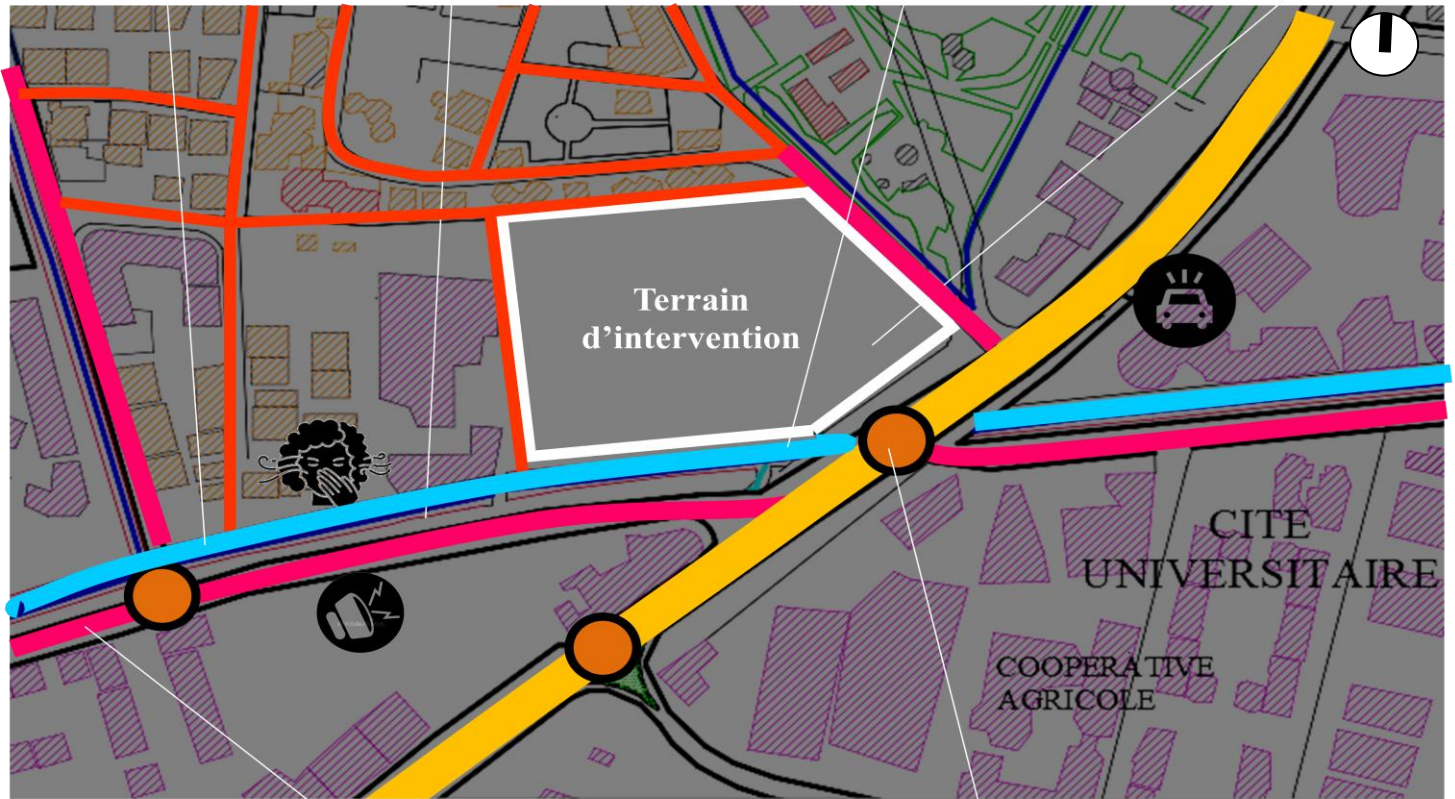
Schéma de structure :

Epuration du Oued Sghir et installation de bacs à fleurs odorantes

Création des voies pour piétons des deux extrémités de la voie

Construction de ponts pour piétons menant directement vers la parcelle d'intervention

Faire un recul du projet et aménagement d'une esplanade



Déplacement du marché vers le terrain de la wilaya pour éviter le bruit et le jet des déchets dans l'oued Sghir

Réaménagement du nœud par une trémie afin de régler le problème de circulation











	Boulevard Krim Belkacem (voie principale)		Habitat collectif
	Voies secondaires		Habitat individuel
	Voies tertiaires		Équipements
	Nœud mineur		Oued Sghir


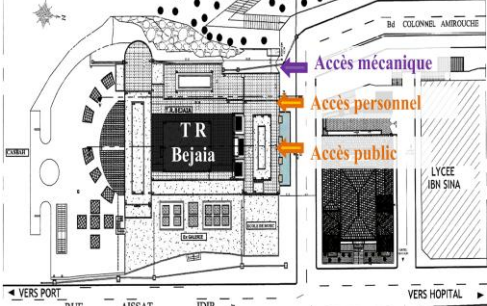


Figure 5-17: Schéma de structure de l'air d'intervention (Source : Auteur, 2021).

Annexe 04 Synthèse des analyses des exemples

Le tableau ci-dessous présente la synthèse d'une analyse de deux exemples : La Philharmonie de Paris et le Théâtre régional de Bejaia. La comparaison entre les deux exemples précités concerne principalement l'aspect acoustique (Forme de la grande salle, isolement acoustique de la grande salle, Retour du son vers la scène, éloignement des spectateurs, réverbération).

Tableau 5-1: Tableau récapitulatif des analyses des exemples (Source : Auteur, 2021).

	La philharmonie de Paris	Théâtre régional de Bejaia
Type	<p>La Philharmonie « Pierre Boulez » de Paris.</p>  <p>Figure 5-18: Philharmonie de Paris (Source : Atelier Jean Nouvel).</p>	<p>Le théâtre Abdelmalek Bouguermouh de Bejaia.</p>  <p>Figure 5-19: Situation Théâtre régional Abdelmalek Bouguermouh de Bejaia (Source : Page officielle du théâtre sur Facebook, 2018).</p>
Date de construction	2009-2015	1936 Date de réhabilitation : 2015
Architectes	Atelier Jean Nouvel	Albert MOREN
Situation géographique	Elle est située dans le 19 ^{ème} arrondissement dans le parc culturel de la Villette.	Il se situe à coté du Boulevard Colonel Amirouche à l'ancienne ville de Bejaia.
Accessibilité	<p>Deux accès :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'un depuis le parc de La Villette, en passant «sous » le bâtiment. -Un autre en montant les marches d'un vaste escalier par lequel on rejoint le hall de la grande salle. 	<p>Deux accès :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Un accès pour le public -Un autre pour le personnel. Les deux sont situés du coté du Boulevard du Colonel Amirouche.

	 <p>Figure 5-20: Plan d'accès à la philharmonie (Source : chagall.philharmoniedeparis.fr) Traitée par l'auteur.</p>	 <p>Figure 5-21: Accessibilité au théâtre régional de Bejaia (Source : Agence d'urbanisme et d'architecture Rafik MAHINDAD, 2008). Traitée par l'auteur.</p>
<p>Enveloppe extérieure</p>	<p>Une architecture minérale parcourable, la forme extérieure du bâtiment est constituée d'un assemblage de plans obliques formant rampes.</p>  <p>Figure 5-22: Façade de la philharmonie de Paris coté du jardin (Source : Atelier Jean Nouvel). Traitée par l'auteur.</p>	<p>La forme extérieure des bâtiments est de style moderne, caractérisée par une composition asymétriques et une utilisation de formes géométriques simples et de lignes parallèles.</p>  <p>Figure 5-23: Façade principale du TRB (Source : ceuxdebougie.com).</p>
<p>Composant es de la philharmonie de Paris</p>	<p>Elle se développe sur cinq niveaux, la Philharmonie comprend deux grandes salles de répétition pour orchestre, six salles de répétition, des studios de travail, un pôle administratif, un pôle éducatif, des espaces d'exposition, des espaces de restauration, des commerces. Ainsi que des activités pédagogiques, et des résidences.</p>	<p>Le théâtre se développe en trois niveaux. Il est composé de loges des artistes, des salles de dépôt, une salle des archives, des vestiaires, un studio d'enregistrement, des locaux techniques, des bureaux, des ateliers de décors, un salon d'honneur, une cafétéria ainsi que la grande salle scénique :</p> <p>-La salle possède une capacité de 234 places assises réparties en un parterre, et trois balcons.</p>

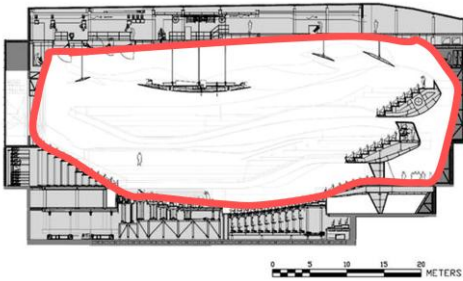
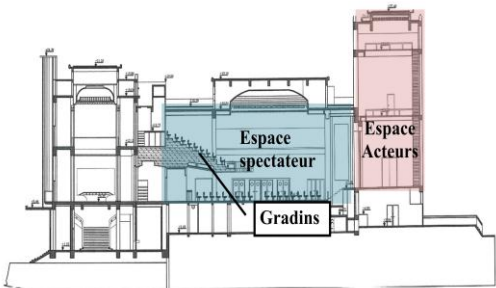
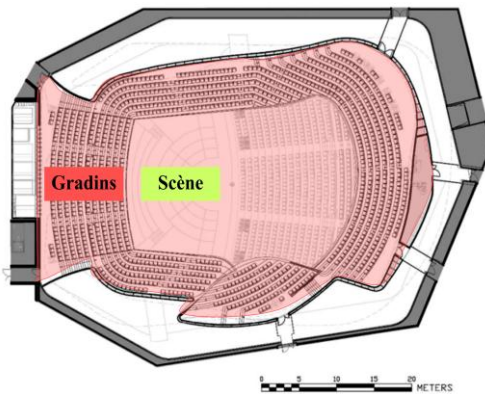
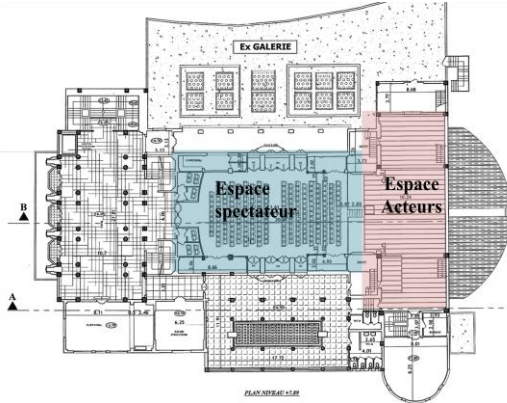
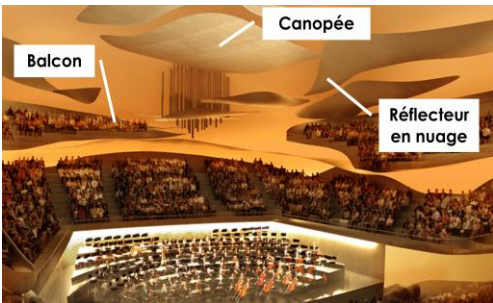
		<p>-La scène débute par une fosse des musiciens (actuellement condamnée) et offre une ouverture de 08m. Elle mesure 9m de profondeur, placée en frontale vis-à-vis du public.</p>
Matériaux	<p>Matériaux extérieurs : L'habillage extérieur est un assemblage d'écailles d'inox.</p> <p>Matériaux de finition :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Plâtre -Bois sur plâtre -Bois sur plâtre -Bois sur les planches GF -Pin sylvestre 	<p>Matériaux de finition : Les matériaux sont principalement réfléchissants acoustiquement (parquet au sol, plâtre et béton), c'est pour cela des matériaux tel que le bois et la laine de verre ont été ajouté aux murs.</p>
Forme de la grande salle	<p>Un mixe de deux configurations :</p> <ul style="list-style-type: none"> -En vignobles -Boîte à chaussures  <p>Figure 5-24: Coupe longitudinale de la salle philharmonique vue vers le jardin (Source : Philharmonie de Paris, 2012). Traitée par l'auteur.</p>	<p>Boîte à chaussures de forme rectangulaire allongée, avec un haut plafond de 9m.</p>  <p>Figure 5-25: Coupe longitudinale de la salle scénique (Source : Agence d'urbanisme et d'architecture Rafik MAHINDAD, 2008). Traitée par l'auteur.</p>
Type de l'espace scénique	<p>-Espace scénique intégré</p>  <p>Figure 5-26: Plan de la salle scénique montrant l'intégration de la scène et des gradins.</p>	<p>-Espace scénique isolé</p>  <p>Figure 5-27: Plan de la salle scénique montrant l'isolation de la scène et des gradins.</p>

	Figure 5-26: Plan de la salle Philharmonie de Paris (Source : Nagata acoustique, 2015) traitée par l'auteur.	Figure 5-27: Plan de la salle scénique (niveau +7.89) (Source : Agence d'urbanisme et d'architecture Rafik MAHINDAD, 2008). Traitée par l'auteur.
Isolement acoustique	-Système d'isolation boîte dans la boîte	-Système d'isolation boîte dans la boîte
Retour du son vers la scène	-Non : Mise en place des canopées pour assurer les réflexions du son par le plafond.  <p>Figure 5-28: L'intérieur de la salle de concert (Source : Atelier Jean Nouvel, 2015).</p>	-Oui : Absence de réflecteurs sous le plafond de la scène
Eloignement des spectateurs	Répartition des spectateurs à 360° autour de la scène.	Répartition des spectateurs en face de la scène sur le parterre et les balcons.
Réverbération	Utilisation de matériaux absorbants et de géométrie particulière pour favoriser les réflexions précoces.	Problème de réverbération.

Annexe 05 Idéation et morphogénèse

Projet choisis : « Centre d'arts performants » :

C'est une forme d'art non traditionnelle souvent avec des thèmes politiques ou d'actualité qui comporte généralement une présentation en direct à un public ou à des spectateurs et s'appuie sur des arts tels que le théâtre, la poésie, la musique, la danse ou la peinture (PEQUIGNOT, 2013).



Figure 5-29: Arts performants (Source : ccs.w.ac.uk).

Justification du choix du projet :

Nous avons opté pour ce choix pour divers raisons :

- Un centre d'art performant est un lieu qui va permettre à l'ouverture de l'esprit et à la découverte d'un nouveau type d'art.
- Le monde a besoin de plus et de meilleurs penseurs : Selon « L'International Art Foundation » des études indiquent qu'une personne exposée aux arts acquiert une capacité spéciale à penser de manière créative, à être original, à découvrir, à innover et à créer des attributs de propriété intellectuelle essentiels au succès individuel et à la prospérité sociale dans la société du 21^e siècle.

- Proposer au spectateur un portrait de sa société, de sa réalité, afin que celui-ci puisse développer une conscience de sa propre condition et des multiples réalités de son environnement.
- Le manque de ce type de construction au niveau de la wilaya de Bejaia.

-Nom du projet: « The Search for Harmony »

Dans un monde plein de bruit, nous avons tendance de chercher un endroit ou nous pouvons nous sentir à nouveau, un endroit ou nous pouvons avoir des moments spéciaux qui nous rencontrent avec la musique et les performances magiques. « The Search for Harmony » nous emmène du quotidien que nous vivons à une imagination plus large dans laquelle nous trouvons l'harmonie souhaitée pour un moment précieux dans notre vie.

-Rang de l'équipement :

- Centre à échelle régionale.
- Population ciblée : Les artistes, Les étudiants des beaux arts, Les amateurs de l'art.
- Capacité d'accueil : Environ 400 personnes.

Objectifs :

- Créer un espace à double fonction : Apprentissage d'arts performants pour les amateurs de l'art et loisir pour le grand public (Représentations théâtrales et spectacles).
- Amener les amateurs de l'art d'une manière générale et les artistes d'une manière spécifique à développer leurs formations intellectuelles et enrichir leurs compétences.
- Familiariser le public aux représentations et aux découvertes artistiques.
- Avoir une image architecturale qui manquera le site.
- Créer un pole attractif qui va contribuer au dynamisme de la ville de Bejaia.

Programme :

Unité	Sous-unité	Nombre	Surface
I- ACTIVITE ACCUEIL			
Accueil	-Hall d'entrée	1	10 m ²
	-Dégagement et exposition	1	50 m ²
	-Billetterie	1	50 m ²
	-Bureau information – renseignements	1	10 m ²
	-Cafétéria	1	100m ²
	-Sanitaires	4	20 m ²
Total			240 m²
II- ACTIVITE SPECTACLE			
a- Accueil des artistes et des techniciens			
Responsables artistiques et personnels	-Bureaux de professeurs	3	100m2
	-Salle de réunion	1	
	-Vestiaires	2	
	-Sanitaires (y compris douche)	2	
Habillage et maquillage	-Atelier habillage	1	40m2
	-Atelier maquillage	1	
Artistes et musiciens	-Loge de dépôt d'instruments musicaux	1	800m2
	-Vestiaires	3	
	-Sanitaires	2	
b – Répétitions			
Musique	-Scène de répétition	1	150 m2
	-Salles de travail	2	
	-Régie d'enregistrement audio visuel	1	
Chant	-Salle pour chanteurs	1	50 m2
Chorégraphie	-Salle de répétition ballets	2	80 m2
Espace bibliothèque et documentation	-Salle de consultation	1	120m2
	-Salle de stockage	1	
	-Bureau du bibliothécaire	1	
c- Espaces scéniques			

Scène principale et annexe	-Plateau de scène	1	300 m2
	-Salles de décors	2	
Fosse d'orchestre	- Fosse d'orchestre	1	20 m2
d- Salle de spectacles			
Espace spectateurs	-Gradins	3	600m2
	-Galleries	2	
	-Allées	2	
Régies	-Régie son	1	
	-Régie vidéo	1	
	-Régie projection	1	
	-Régie de retransmission radio et TV	1	
e-Ateliers de décors			
Menuiserie	-Atelier de menuiserie	1	30m2
Peinture	-Atelier de peinture	1	20m2
Serrurerie	-Atelier de serrurerie	1	30m2
Couture	-Atelier de couture	1	20m2
Magasin	-Magasin pour accessoires et costumes	1	50m2
Total			2 410 m²
III- ADMINISTRATION ET SERVICES			
a- Administration			
Direction générale	- Bureau directeur	1	100m2
	- Secrétariat	1	
	- Salle d'attente	1	
	- Salle de réunion	1	
	- Sanitaires	1	
Finances et comptabilités	-Bureau économiste	1	20 m2
Moyens généraux	-Bureaux du personnels	1	80m2
b-Service technique			
Locaux techniques	- Électricité	1	100m2
	- Chauffage	1	

	- Climatisation	1	
	- Réserve d'eau et protection incendie	1	
Locaux de maintenance	-Ateliers pour électriciens, plombiers, peintres + locaux d'entretien	3	150m ²
Total			450 m²
IV-PAKING			
Parking	-Parking pour le public	1	500m ²
	-Parking pour le privé	1	
TOTAL			3 600m²

Idéation et morphogénèse :

Le spectacle dans sa définition est un ensemble d'actions tragiques et de comédie, Le concept du projet était de créer une forme « dramatique » ou un "Drama Box" avec une forme cubique et riche en expériences spatiales par la création de parcours de "découverte".

Avec l'utilisation du concept « Boite dans la boîte » qui est un système d'isolation en acoustique, le "Drama Box" sera une alternative de boîtes. Une grande boîte constituée de plusieurs boîtes petites à l'intérieur.

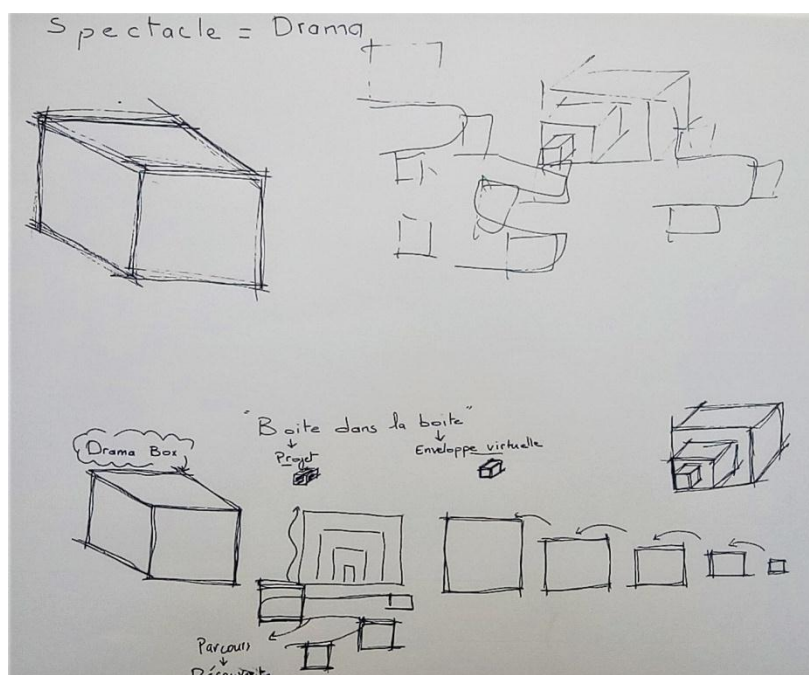


Figure 5-30: Première idée du projet (Source: Auteur, 2021).

-Intervention au niveau du terrain :

L'air d'intervention est divisé par un axe perpendiculaire à la voie secondaire en deux parties :

1-Espace esplanade : cet espace sert comme une grande place publique qui garde la mémoire du lieu (Souk El Fellah). Il est créé afin d'éloigner le projet du bruit provenant du grand Boulevard de Krim Belkacem. Cette esplanade sera constituée de bancs, de végétation et de petits kiosques musicaux.

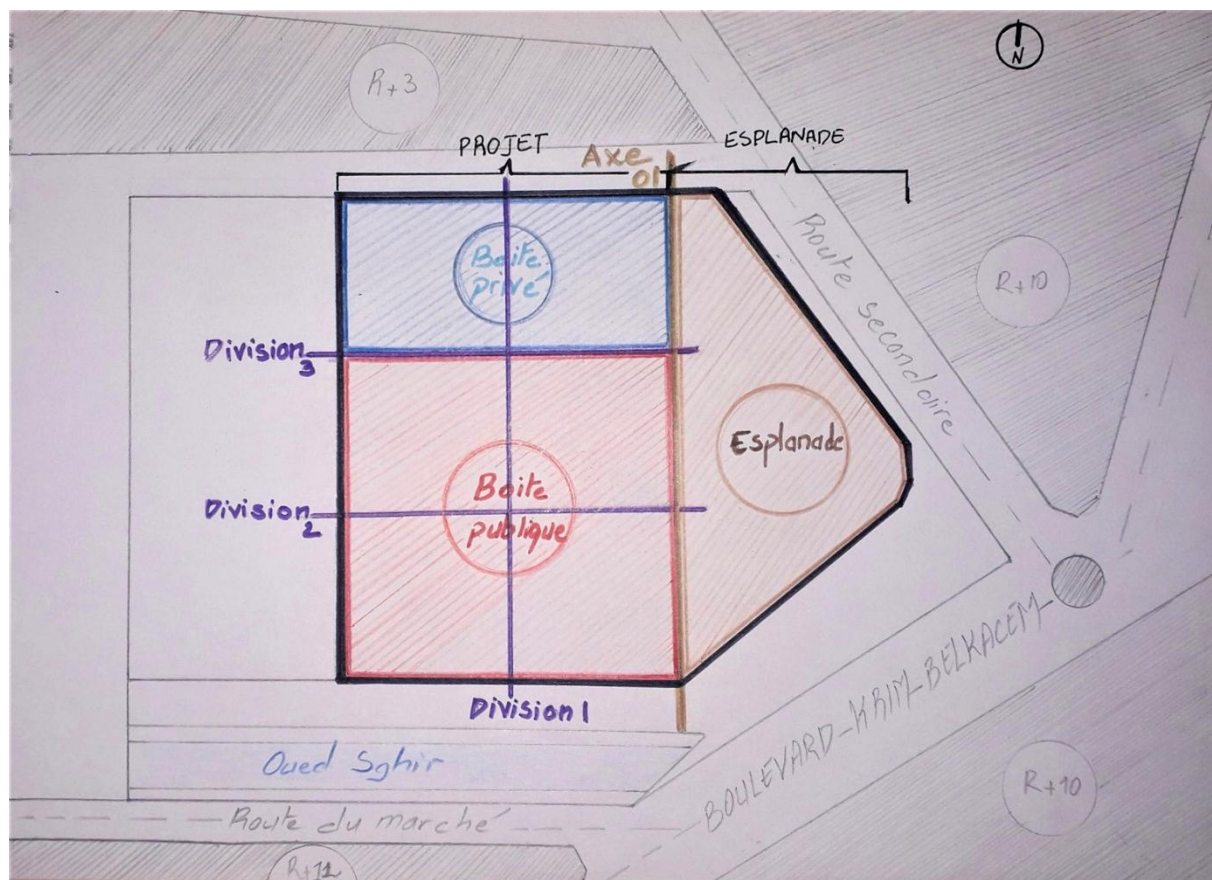


Figure 5-31: Intervention au niveau du terrain (Source : Auteur, 2021).

2-Espace projet : c'est la partie qui englobe les différentes entités du projet. On utilisant le concept « Boite dans la boite » notre projet présente une grande boite dramatique se compose de deux autres boites virtuelles à l'intérieur : Boite publique ; se compose des activités liées aux visiteurs. Et une autre boite privé qui constitue les activités liés aux artistes et aux personnels du centre. Chaque une de ces boites englobe plusieurs boites de taille différentes créant ainsi un jeu de volume.

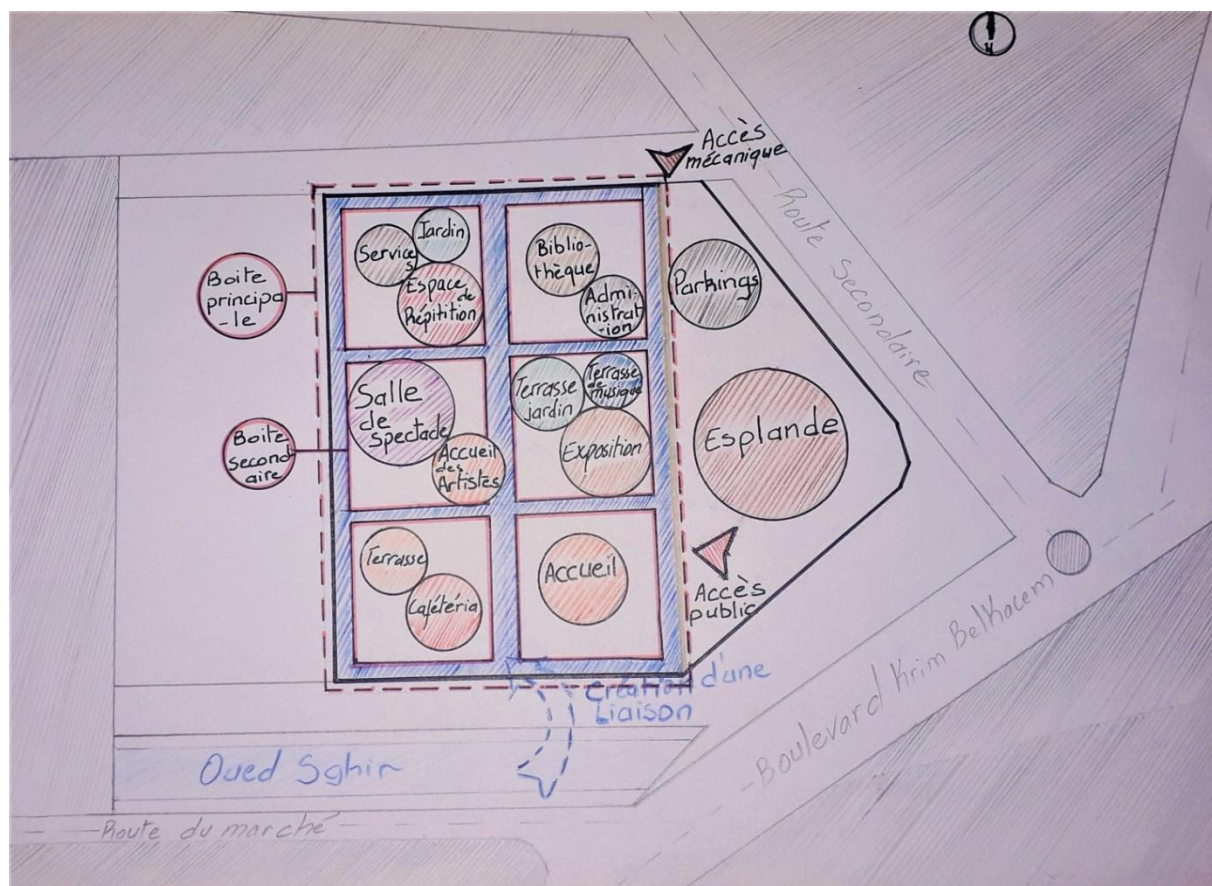


Figure 5-32: Zoning des différentes activités (Source : Auteur, 2021).

La réflexion du projet est faite comme suit :

Un cube de 92*70 m divisé en 06 unités cubiques qui se composent de : L'accueil (en orange), la salle de spectacle (en violet), l'administration (en gris), la répétition, et les différents jardins et terrasses.

On respectant la superficie du programme, et on ayant toutes les activités du centre en tête, plusieurs volumes (Box) ont été créés. La salle de spectacle, entourée des autres entités pour l'isoler du bruit extérieur ainsi que l'espace de répétition pour les artistes. La grande salle présente le volume le plus grand.

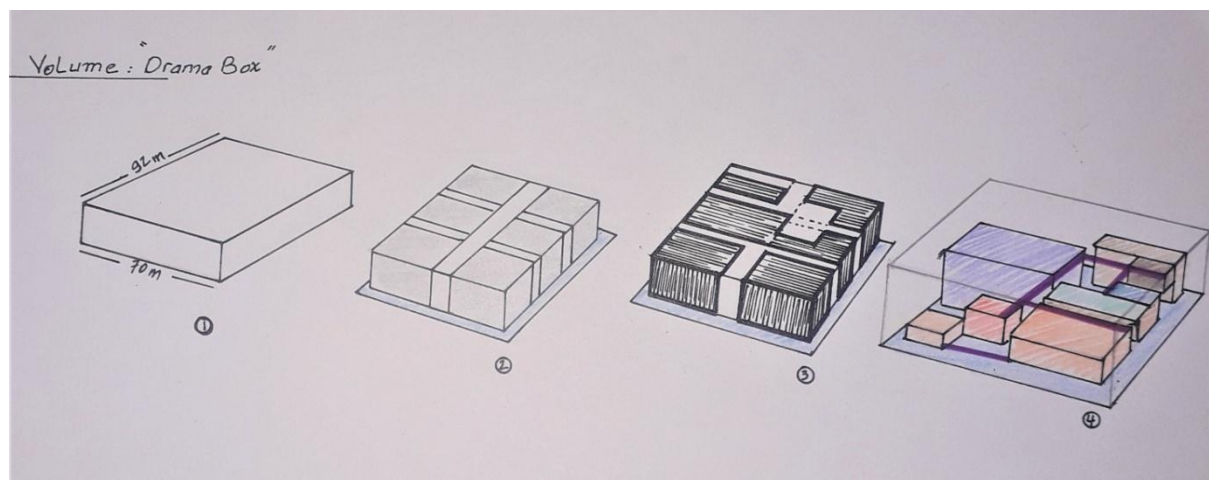


Figure 5-33: Réalisation du volume (Source : Auteur, 2021).

Le projet sera équipé d'une variété d'espaces fonctionnels accessibles à la fois par des passages horizontaux et verticaux à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment créant une promenade publique en plein air. La promenade relie l'accueil de la salle de spectacle, et les différentes entités. Les terrasses et jardins contribuent à la création d'un environnement confortable pour les personnes. Les terrasses végétalisées vont permettre de réduire considérablement la charge thermique du bâtiment et offrir un espace de détente pour les visiteurs.

L'aspect de la découverte sera aussi concrétisé par l'utilisation de différents matériaux de couleurs différentes pour créer des surfaces réfléchissantes et absorbantes du son selon le fonctionnement.

Cette partie constitue un « avant projet » pour arriver dans la période restante à continuer le projet et effectuer une simulation.

ملخص

تؤثر الضوضاء علينا جميعاً بشكل يومي، سواء في المنزل أو في العمل أو في أماكن الترفيه حيث يصبح الصوت مهمًا للغاية. عندما يتعلق الأمر بقاعات العرض، يصبح الصوت عاملاً أساسياً في تحديد جودة المكان. سيركز عملنا هذا على مسألة توفير الراحة الصوتية التي تتكون من تقليل التلوث الضوضائي والحفاظ على رضا المستخدم. تتناول القضية الراحة الصوتية التي يشعر بها المستخدمون والاستراتيجيات المفاهيمية والتقنية المستخدمة لضمان الراحة الصوتية في قاعات العرض. يعتمد هذا البحث على ثلاث طرق: دراسة كمية تجريبية عن طريق القياسات في الموقع ودراسة نوعية في شكل استبيان والمحاكاة العددية باستخدام برنامج Ecotect. أجريت هذه الدراسات على مستوى قاعة العرض الكبيرة لمسرح بجاية الإقليمي. سمحوا لنا بتقييم جودة الصوت في الغرفة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها تجانساً جيداً لانتشار الصوت في الغرفة، ولكن مع مشاكل العزل والتصحيح الناتجة عن الضوضاء الخارجية والداخلية المختلفة.

الكلمات المفتاحية: الضوضاء، الصوت، قاعة العرض، الراحة الصوتية، المسرح، قاعة المسرح، جودة الصوت.