

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

Thème :

Évaluation de l'ambiance acoustique dans les espaces de spectacle (Cas d'étude : l'auditorium de l'école d'Amizour)

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

Préparé par :

MEHENNA Nawal

Mme.	OUARET LADJOUZE Manel	Président de jury
Mme.	MECHERI Lynda	Examineur
Mr.	DJERMOUNE Hocine	Rapporteur
Mme.	ATTAR SARAOUI Selma	Encadreur

Année Universitaire 2020 – 2021

Résumé :

L'acoustique en architecture a pour objectif d'offrir la qualité de son la plus adaptée aux lieux d'écoute. La qualité acoustique d'une salle de spectacle dépend de son isolement acoustique de l'extérieur, et sa correction acoustique à l'intérieur.

Ce mémoire soulève la question de la qualité acoustique dans une salle de spectacle et la manière de procéder à l'améliorer dans le but de rendre les usagers plus à l'aise et plus proche à la notion du confort, et cela réside dans la compréhension de la forme géométrique de ces espaces et les matériaux utilisés pour les concevoir.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons opté pour les simulations et l'enquête et ainsi les mesures in situ pour évaluer la qualité acoustique de notre cas d'étude : l'auditorium de l'école Nationale Supérieure en Sciences et Technologies de l'Informatique et du Numérique à Amizour, à l'aide du logiciel ECOTECT

Mots clés : Salle de spectacle, la qualité de son, l'isolement acoustique, sources sonores, musique, parole, L'acoustique en architecture.

Dédicace

Je dédie ce travail :

En premier lieu à mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé au cours de mes études. Merci à vous, mon père et ma mère pour votre compréhension et vos sacrifices.

À mes soeurs Zakia, Aini, Sihem, Ouarda, Lina et mon petit frère Salah et à toute ma grande famille.

À ma meilleure amie : Celia.

À toutes mes chers enseignants du primaire, moyen, secondaire et universitaire.

À mes amis du club scientifique archi-Béjaia

À tous les gens que je connais.

Remerciements

Je tiens à remercier Dieu le tout puissant, Qui nous a donné la force, la volonté et le courage pour surmonter les épreuves que nous avons rencontré tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens tenons à adresser mes remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon encadreur : Mme ATTAR SARAOUI Selma pour son suivi, sa disponibilité et ses orientations.

Je remercie chaleureusement et avec gratitude mes enseignants du cursus universitaire.

Mes remerciements sont adressés aussi aux membres de jury qui m'ont honoré par leur présence.

Mes vifs remerciements à mes amis(es) qui m'ont apporté de l'aide de près ou de loin sans exception.

Je remercie mes amis du club scientifique Archi-Béjaia.

Enfin, un grand merci à ma famille de m'avoir soutenu pendant mon cursus universitaire.

Sommaire

Résumé	
Dédicaces	
Remerciements	
Sommaire	
Liste des figures	
Introduction générale	
Introduction.....	12
Problématique.....	13
Méthodologie.....	14
Structure du mémoire.....	15
<i>Chapitre 1 :</i>	<i>L’ambiance acoustique</i>
Introduction.....	16
1. L’ambiance acoustique.....	16
1.1 Définition.....	16
1.2 Histoire.....	16
1.3 Les aspects de l’ambiance acoustique.....	18
1.3.1 Vibrations.....	18
1.3.2 Pression acoustique.....	19
1.3.3 Puissance et intensité acoustiques.....	19
1.3.4 Unité du décibel.....	19
1.4 Les mécanismes de l’ambiance acoustique.....	19
1.4.1 L’oreille humaine.....	19
1.4.2 Le son.....	20
2. L’acoustique architecturale.....	23
2.1. La correction acoustique.....	23
2.1.1 Principes de la correction acoustique.....	23
2.2. L’isolation acoustique.....	27
2.2.2 Types d’isolement acoustique.....	27
2.2.3 Principes d’isolation acoustique.....	28

2.3. La qualité acoustique.....	28
Conclusion.....	31

Chapitre 2 : *Espace de spectacle et ambiance acoustique*

Introduction.....	32
1. Espace de spectacle.....	32
1.1. Définition d'un espace de spectacle.....	32
1.2. Types d'espace de spectacle.....	32
2. Les normes ambiantales acoustiques des espaces de spectacles.....	38
2.1. Acoustique des salles de spectacle.....	38
2.2. La forme.....	39
2.3. Les matériaux.....	41
2.4. Les normes.....	42
Conclusion.....	44

Chapitre 3 : *Processus méthodologique et corpus d'étude*

Introduction.....	45
1. Mesure in situ.....	45
2. Enquête à échantillon ciblé.....	46
Le traitement statistique.....	46
3. La simulation.....	48
Modélisation.....	48
Visualisation.....	49
4. Présentation du cas d'étude.....	53
5. La partie empirique (<i>In Situ</i>).....	57
Observations in situ.....	57
Résultats de la prise de mesure in situ.....	58
Conclusion.....	61

Chapitre 4 : *Résultats simulation et questionnaire*

Introduction.....	62
1. Simulation.....	62
Avec source sonore (<i>sans amplificateur/500 Htz</i>).....	62
Avec source sonore (<i>sans amplificateur/1000 Htz</i>).....	67
2. Enquête par questionnaire.....	72

Questions d'ordre morphologique.....	72
Questions d'ordre sonore.....	76
3. Recommandations.....	82
Conclusion.....	83
<i>Chapitre 5 :</i>	<i>Application de la recherche sur le projet fin d'étude</i>
Introduction.....	84
1. Schéma de structure + Intentions.....	84
2. Synthèses d'analyse des exemples.....	86
Chapelle Musicale Reine Élisabeth à Waterloo au Belgique.....	86
La Cité de la musique à Paris.....	88
3. Programme surfacique.....	90
4. Idéation et morphogène.....	92
5. Application.....	93
Conclusion Générale.....	94
Bibliographie.....	95
Annexes.....	98

Liste des Figures

Figure 01 : Pythagore.....	17
Figure 02 : L'accord pythagoricien.....	17
Figure 03 : Vitruve.....	17
Figure 04 : Vase de Vitruve.....	17
Figure 05 : Galileo Galilée.....	18
Figure 06 : Oscillation d'une lame d'acier.....	18
Figure 07 : Structure interne de l'oreille humaine.....	20
Figure 08 : Schéma démonstratif du son complexe et pur.....	21
Figure 09 : Représentation du mode de transmission des bruits.....	22
Figure 10 : Réflexion du son de claquement des mains.....	24
Figure 11 : Influence de l'absorption.....	24
Figure 12 : Matériaux poreux.....	25
Figure 13 : Résonateur de Helmholtz.....	25
Figure 14 : Positionnement de résonateurs de Helmholtz dans un théâtre antique.....	26
Figure 15 : Composition d'une membrane.....	26
Figure 16 : Propagation d'une onde sonore dans un auditorium.....	29
Figure 17 : L'onde directe et les ondes réfléchies se superposent et contribuent à la qualité du son.....	29
Figure 18 : Théâtre de Dionysos.....	33
Figure 19 : Plan schématique du théâtre de Dionysos.....	33
Figure 20 : Théâtre d'Épidaure.....	33
Figure 21 : Grand théâtre de Pompéi.....	34
Figure 22 : Théâtre El Teatro Malibran.....	34
Figure 23 : l'Opéra Garnier.....	34
Figure 24 : Théâtre chinois de Grauman.....	35
Figure 25 : Palais de la musique catalane.....	35
Figure 26 : Auditorium de Lucerne.....	36
Figure 27 : Théâtre régional Malek Bouguermouh de Béjaïa.....	36

Figure 28 : Salle du théâtre de Béjaïa.....	36
Figure 29 : Cinéma de Béjaïa (<i>Entrée au sous-sol</i>).....	37
Figure 30 : Salle du cinéma de Béjaïa.....	37
Figure 31 : La maison de la culture de Béjaïa.....	37
Figure 32 : La direction des Affaires religieuses et des Wakfs de Béjaïa.....	38
Figure 33 : Bibliothèque communale de Béjaïa.....	38
Figure 34 : Mesurage de la durée de réverbération.....	39
Figure 35 : Répartition des ondes sonores sur différents parois.....	39
Figure 36 : Traitement du plafond et du fond de la salle.....	40
Figure 37 : Effet de foyer par surfaces courbes.....	40
Figure 38 : Bonne propagation du son par courbe adaptée.....	40
Figure 39 : Echelle du bruit.....	43
Figure 40 : Sonomètre Digital.....	45
Figure 41 : Dessin schématique d'un sonomètre.....	45
Figure 42.43.44.45 : Explication de la procédure du remplissage du questionnaire.....	46.47.48
Figure 46 : La 3D de l'auditorium d'école d'Amizour.....	48
Figure 47 : Logiciel Ecotect Analysis 2011.....	49
Figure 48.49.50.51 : Importation de la 3D de l'auditorium d'école d'Amizour.....	50.51
Figure 52 : L'emplacement de l'amplificateur.....	52
Figure 53.54 : Réglage de l'amplificateur.....	52.53
Figure 55 : Plan de situation de l'école d'Amizour par rapport à Amizour ville.....	54
Figure 56 : Plan de masse de l'administrartion de l'école d'Amizour.....	54
Figure 57 : Plan de masse de l'auditorium de l'école d'Amizour.....	55
Figure 58 : Plan de l'auditorium de l'école d'Amizour.....	55
Figure 59 : Plan de masse numérique de l'administration de l'école d'Amizour.....	56
Figure 60 : La 3D du bloc de l'auditorium de l'école d'Amizour.....	56
Figure 61 : Porte du côté droit.....	57
Figure 62 : Porte du côté gauche.....	57
Figure 63 : Double vitrage (<i>Matériau de construction de la régie</i>).....	58
Figure 64 : Un seul amplificateur ponctuel aux derniers rangs.....	60

Figure 65 : Deux amplificateurs ponctuels aux premiers rangs.....	60
Figure 66.67.68.69.70.71.72.73.74.75 : Simulation de la propagation sonore.....	62.63.64.65.66.67.68.69.70.71
Figure 76 : Le rang occupé.....	72
Figure 77 : Le côté préféré.....	73
Figure 78 : Assimilation des conférences.....	73
Figure 79 : La place préféré.....	74
Figure 80 : Compréhension des questions des auditeurs.....	75
Figure 81 : L'existence des nuisances sonores au sein de l'auditorium.....	76
Figure 82 : Qualité du son reçu par le conférencier sans microphone.....	77
Figure 83 : Qualité du son reçu par le conférencier avec microphone.....	78
Figure 84 : Qualité de l'isolation sonore intérieure.....	78
Figure 85 : Qualité de l'isolation sonore extérieur.....	79
Figure 86 : Nécessité d'élaborer une étude acoustique.....	79
Figure 87 : Existence des échos au sein de l'auditorium.....	80
Figure 88 : Recours au microphone.....	81
Figure 89 : Utilité du microphone.....	81
Figure 90 : Plan de masse du site Jute.....	84
Figure 91 : Proposition d'aménagement du site de Jute.....	85
Figure 92 : Schéma de structure.....	85
Figure 93 : Plan de situation la chapelle musicale Reine Élisabeth.....	86
Figure 94 : Chapelle musicale Reine Élisabeth.....	86
Figure 95 : Plans de la chapelle musicale Reine Élisabeth.....	87
Figure 96 : Plan de situation de la cité de musique.....	88
Figure 97 : Plan de masse et 3D de la cité de la musique.....	89
Figure 98 : Développement de la genèse.....	92
Figure 99 : Avant-projet de l'école.....	93

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction :

Pendant des décennies, l'être-humain n'a jamais cessé de développer ces connaissances et d'améliorer ses techniques dans le domaine de la construction, en vue de s'offrir un mode de vie meilleur et équilibré, à travers un espace architectural plus modernisé qui répond aux conditions des occupants pour une longue durée, ce qui fait que l'espace architectural était toujours le centre d'intérêt de plusieurs chercheurs qui n'ont jamais arrêté d'étudier et d'exploiter les espaces architecturaux afin d'améliorer ce concept et de le rendre de plus en plus confortable pour les usagers.

Depuis la création de l'espace architectural, l'utilisateur l'a perçu de différentes façons, d'abord sous la forme d'une image, ensuite un son jusqu'à ce que ça devienne une perception globale, et ce grâce aux différentes sensations que l'on peut sentir. L'image mentale que l'utilisateur a de son espace est celle qui nous vient à l'esprit, elle est la bulle qui nous entoure et qui a été développée dans divers travaux notamment ceux de Jean Cousin (1980). C'est pour cette raison que chaque déplacement au sein de l'espace ne cesse de nous procurer grâce à toutes les sensations et à la vision en particulier, une infinité de scènes marquantes, cette image parfaite que chacun de nous a d'un espace donné, nous pousse souvent à nous imaginer un espace meilleur, qui ne sera autre qu'un renvoi à l'image parfaite¹ ; de ce fait l'importance de l'espace architectural ne réside pas seulement dans la fonction, mais aussi dans la qualité du confort que l'espace offre pour ces usagers, et le taux de satisfaction de ces derniers, qui se manifeste par la continuité de leurs activités quotidiennes sans être interrompu par le bruit et les nuisances.

La perception de l'espace architectural diffère d'une personne à une autre ; Ce qui est à remarquer, c'est que l'ensemble des usagers de l'espace le perçoit grâce aux cinq sens : « *Le visuelle, le sonore, le thermique, le toucher et l'odorat* », certes que le visuel est un élément crucial dans la perception de l'espace architectural, mais le sonore joue un rôle très important.

Le son est un composant essentiel de l'espace architectural ; l'architecte de nos jours en plus de la lumière cherche à créer une ambiance acoustique plus au moins adaptée à la nature des espaces, afin de mettre fin à des sensations désagréables qu'elle soit de type faible ou forte, ceci est lié à l'existence des bruits ou de la réverbération, qui empêche souvent les usagers d'effectuer leurs activités sereinement dans l'espace.

Parmi ces espaces dans lesquels l'ambiance sonore est un élément fondamental, on trouve les équipements publics destinés au spectacle, ce type d'équipement était souvent considéré comme culturel et existait depuis l'antiquité. A présent, nous nous intéressons dans notre travail à la notion de l'ambiance acoustique dans les espaces de spectacle, vu l'importance qu'exige ce genre d'équipement.

¹ <https://unt.unice.fr/uoh/espaces-publics-places/la-perception-de-lanalyste-et-celle-de-lusager/>

L'ambiance acoustique est, désormais, un facteur très important dans le domaine de l'architecture en général, et dans le domaine de la construction en particulier, tel que le stipule Loïc Hamayon (2010) : « *L'acoustique architecturale doit favoriser l'écoute ou, inversement, apporter une protection contre le bruit dans un espace.* » ; L'acoustique est une science qui consiste à réduire ou éliminer le bruit et les nuisances dans l'ensemble des espaces architecturaux ; En effet, dans le cas des espaces de spectacles parfois les occupants souffrent d'un nombre de nuisances désagréables, ce qui les met dans à une situation d'inconfort sonore, c'est en s'inscrivant dans ce background que nous avons choisi dans cette recherche de nos focaliser sur l'étude de l'ambiance acoustique dans les espaces de spectacles.

Problématique :

En fonction de ce qui a été expliqué dans l'introduction, nous nous sommes posés plusieurs questions auxquelles nous tenterons à travers ce travail de recherche répondre, afin de mettre en exergue le rapport qui relie l'ambiance acoustique et cette typologie spatiale. Les questions de recherche sont les suivantes :

- *Quelles sont les paramètres qui influent sur la bonne qualité d'ambiance acoustique dans les salles de spectacles ?*

Et ainsi on rejoint à la question globale posé, un nombre de questions particulières qui sont :

- *Comment pourrons nous effectuer une réflexion sur l'ambiance acoustique dès la phase conception du projet ?*
- *Quels sont les impacts qu'engendrent la mauvaise application du confort acoustique sur les usagers dans les espaces de spectacles ?*

Hypothèse :

Afin d'étudier cette science d'acoustique, les espaces de spectacles est le bon endroit qui traduit la relation entre l'espace et la bonne qualité sonore ; C'est ainsi que nos hypothèses de travail sont :

- *Il est possible que la forme architecturale et la configuration spatiale exercent une influence très grande sur la qualité acoustique dans les espaces de spectacles.*
- *Le choix de la forme géométrique utilisés, le type des matériaux et la configuration spatiale dès la phase conception, peuvent avoir un impact considérable sur la qualité acoustique recherchée.*

Dans cette recherche on va vérifier la finesse de cette hypothèse et clôturer avec une conclusion qu'elle la confirme ou l'infirme.

Objectif :

Notre recherche est fondée sur un objectif principal qui renvoie à la maîtrise des concepts indispensables à la réalisation des espaces de spectacles, et qui prendraient en charge les exigences des usagers, ce qui offrirait une bonne qualité acoustique.

Cet objectif sera atteint si nous traitons les points suivants :

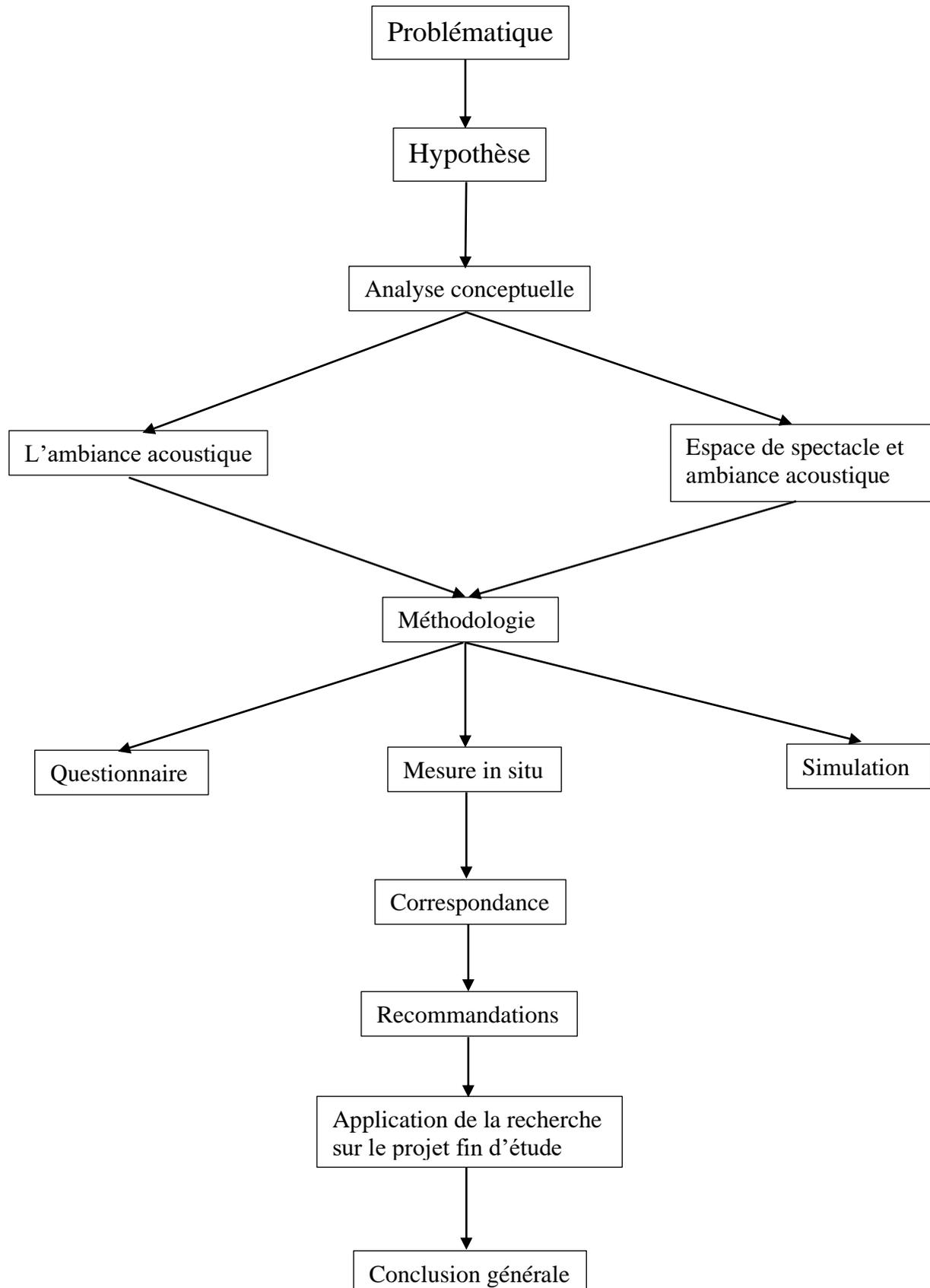
- *Mettre en évidence la relation entre l'espace architecturale et l'acoustique.*
- *Définition de l'ambiance acoustique étant un facteur très important dans la conception des équipements, notamment les espaces de spectacles.*
- *Détermination des impacts qui influencent la création d'une bonne qualité du confort sonore dans les espaces de spectacles, et trouver des solutions adéquates.*
- *Présentation d'un exemple à étudier afin de sortir avec des solutions qui permet de concevoir une bonne qualité acoustique dans l'avenir.*

Méthodologie :

Afin de bien mener cette initiation à la recherche, et de répondre objectivement à la problématique et aux questions posées, nous avons formé une démarche méthodologique qui se base sur les deux (02) phases suivantes :

- **Première phase :** Cette étape consiste à concevoir un travail documentaire qui s'appuie sur un ensemble de livres, ouvrages, articles, revues, etc., afin d'élaborer une étude basée sur des aspects théoriques qui traitera les différents points et concepts relatifs à l'ambiance acoustique et son importance en général, en suite nous avons structuré une deuxième étude qui est constitué de définir et expliquer un nombre d'aspects qui parle sur la conception des salles de spectacles, pour obtenir en conclusion dans cette phase théorique l'importance d'établir une ambiance acoustique dans la conception des salles de spectacles.
- **Deuxième phase :** Dans cette phase le travail consiste à envisager une approche analytique portant sur l'étude d'un exemple d'équipement destiné aux spectacles, afin d'en saisir les concepts architecturaux, relatifs à l'ambiance acoustique utilisé, pour ensuite comprendre le comportement de l'onde dans cette espace et les paramètres relatifs à la création de l'ambiance acoustique voulu, cette partie nous permettra par la suite de prendre en considération tous ses paramètres lors de l'idéation et la morphogenèse de notre projet fin d'étude.

Structure du mémoire :



CHAPITRE 01 :
L'ambiance Acoustique

Introduction :

L'ambiance acoustique est une discipline qui favorise l'écoute, elle contribue à offrir une protection contre les nuisances sonores dans l'espace architecturale en générale. Comme nous l'avons précisé dans la problématique nous nous focaliserons dans cette recherche sur les espaces de spectacle très particulièrement, il est donc nécessaire de comprendre les aspects et les mécanismes du phénomène sonore, de comprendre la perception du son, afin de concevoir dans le futur prochain des espaces parfaitement isolés des bruits intolérables, une réflexion longuement développée par Loïc Hamayon, (2014), dans son livre « *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments* ».

Nous allons donc explorer dans ce qui suivra les paramètres relatifs à l'ambiance sonore et à l'acoustique architecturale.

1. L'ambiance acoustique :

1.1. Définition :

Dans ce qui suit nous allons définir l'ambiance acoustique, dont ces définitions vont être en générale et non liées directement à notre travail de recherche, parmi ces définitions on trouve :

- Selon le dictionnaire de l'académie française l'acoustique est un mot grec « Akoustikos » qui signifie l'ouïe ; « *C'est une partie de la physique qui étudie la nature, l'émission, la propagation et la réception des ondes sonores.* »² ;
- Comme on peut aussi prendre en considération la définition selon le site de Larousse qui dit : « *L'acoustique est une science qui étudie les propriétés des vibrations des particules d'un milieu susceptible d'engendrer des sons, infrasons ou ultrasons, de les propager et de les faire percevoir.* »³

1.2. Histoire :

Les premiers concepts d'acoustique utilisés remontent à l'antiquité, plusieurs chercheurs et théoriciens se sont intéressés au sujet de l'acoustique et de la propagation du son dans l'espace comme étant un phénomène qui nécessite leur attention.

Au VI^e siècle av. J.-C, le philosophe grec Pythagore a réalisé des expériences sur les caractéristiques des cordes vibrantes qui ont conçu des intervalles musicaux harmonieux. Ces expériences ont mené à la création d'un système d'accord appelé : « l'accord pythagoricien ».⁴

² <http://www.la-definition.fr/definition/acoustique>

³ <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/acoustique/798#locution>

⁴ Richard E. Berg, « Acoustics », Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica Online Academic Edition, 2012. (Traduit) URL : <https://www.britannica.com/science/acoustics>

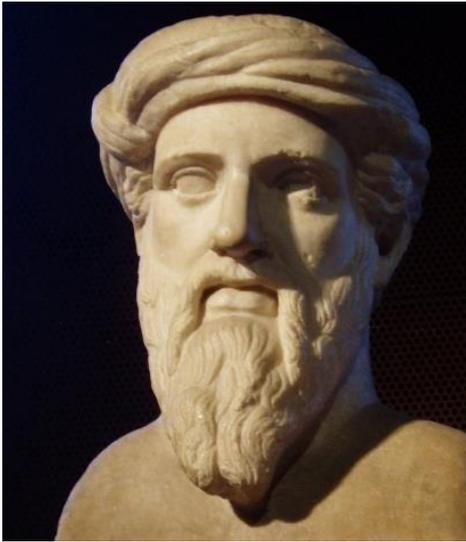


Figure 01 : Pythagore.
Source : fr.wikipedia.org
(Consulté le 02/07/2021)

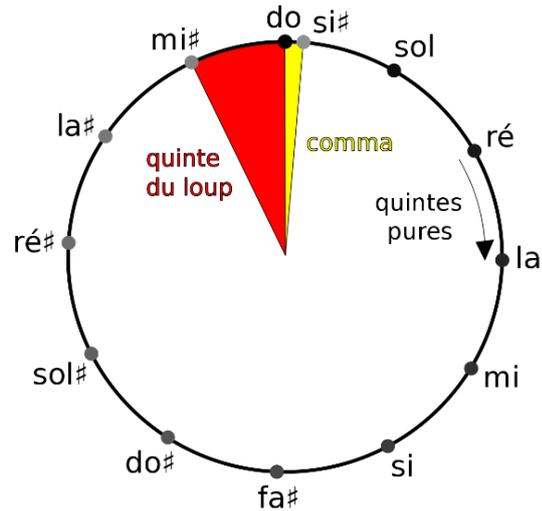


Figure 02 : L'accord pythagorien.
Source : fr.wikipedia.org
(Consulté le 02/07/2021)

Au IV^e siècle av. J.-C, le philosophe et polymathe grec Aristote a proposé que les ondes sonores se propagent dans l'air par le mouvement de l'air par une source ; Cette proposition a été fondé sur une hypothèse basée sur la philosophie que sur la physique expérimentale ; Comme il a anticipé à tort que les hautes fréquences se propagent plus rapidement que les basses fréquences ; C'était une erreur qui a persisté pendant de nombreux siècles.⁵

Au premier siècle av. J.-C, l'ingénieur en architecture romain Marcus Vitruvius Polio dit Vitruve a déterminé un mécanisme correct de la propagation des ondes sonores, comme il a décrit dans son ouvrage « De architectura » dans le cinquième livre portant sur les théâtres le concept des vases acoustique et leur utilisation qui ont été une contribution significative à la conception acoustique du théâtre.⁶

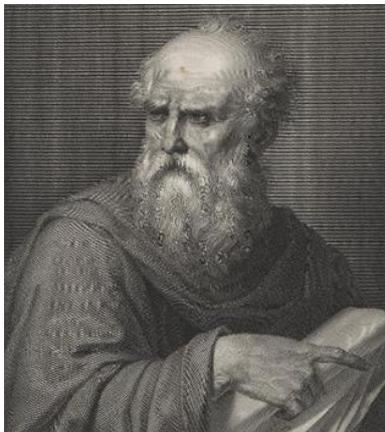


Figure 03 : Vitruve.
Source : fr.wikipedia.org
(Consulté le 02/07/2021)

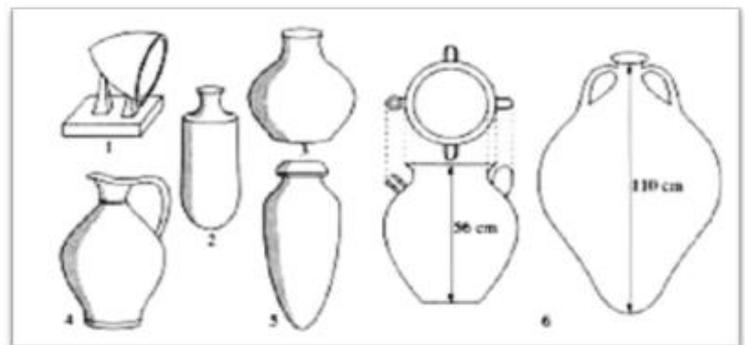


Figure 04 : Vase de Vitruve.
Source : fr.wikipedia.org
(Consulté le 02/07/2021)

⁵ Richard E. Berg, « Acoustics », Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica Online Academic Edition, 2012. (Traduit) URL : <https://www.britannica.com/science/acoustics>

⁶ Richard E. Berg, « Acoustics », Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica Online Academic Edition, 2012. (Traduit) URL : <https://www.britannica.com/science/acoustics>

La recherche moderne sur les ondes et l'acoustique est née du savant italien Galileo Galilée (1564-1642), qui a révélé la théorie qui relie le rapport des intervalles entre les notes au rapport du nombre de vibrations ; Et afin qu'il puisse prouver cette théorie Galilée a opté pour l'expérience de l'enregistrement de la trace d'une vibration sonore sur un support matériel, c'est chose qui lui a permis de compter le nombre de vibrations de deux sons d'un intervalle connu.⁷

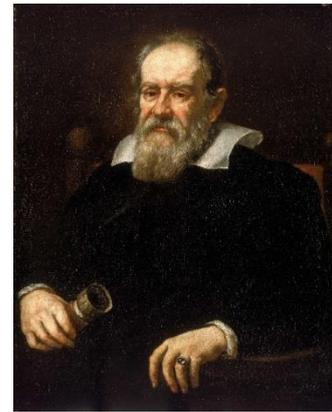


Figure 05 : Galileo Galilée.
Source : fr.wikipedia.org
(Consulté le 02/07/2021)

1.3. Les aspects de l'ambiance acoustique :

1.3.1 Vibrations :

Selon Loïc Hamayon, (2014), dans son livre « *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments* », dans l'air, les sons et les bruits peuvent être créés par la vibration d'une surface ; C'est ainsi qu'on constate qu'une vibration est une agitation d'oscillation mécanique autour d'un point d'équilibre stable.

Les vibrations se propagent en forme d'ondes sonores dans l'air, qui provoquent par la suite des sons et des bruits captés par l'oreille humaine, parfois ces vibrations peuvent mener à créer des nuisances qui perturbent le confort de l'être-humain, tel que Z, Maekawa le déclare : « *Les vibrations doivent également être considérées comme un facteur environnemental qui perturbe le confort et les activités humaines.* »⁸

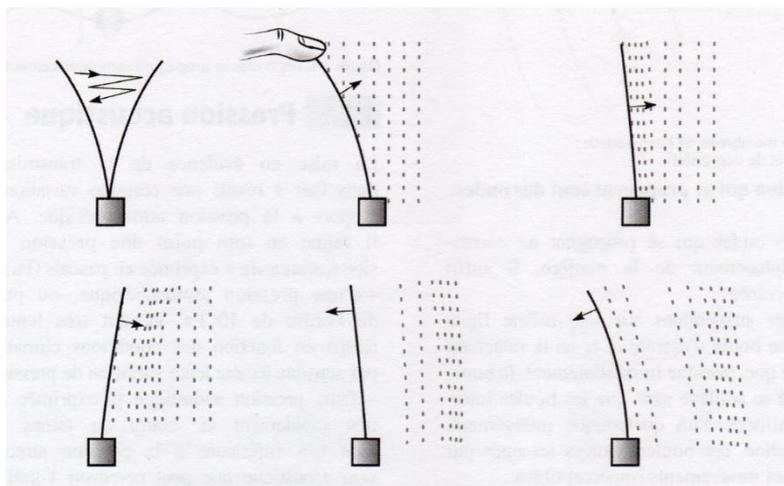


Figure 06 : Oscillation d'une lame d'acier : propagation d'ondes de pression et de dépression.
Source : Loïc Hamayon, *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*, (2014).

⁷ François Baskevitch, « *L'élaboration de la notion de vibration sonore : Galilée dans les Discorsi* », Revue d'histoire des sciences 2007/2 (Tome 60), pages 387 à 418, Mis en ligne sur Cairn.info le 01/01/2010. URL : <https://doi.org/10.3917/rhs.602.0387>

⁸ Maekawa, Z., Rindel, J. H., & Lord, P. (2011). *Environmental and architectural acoustics* (Second Edition). Spon Press. Page: 30. (Traduit)

1.3.2 Pression acoustique :

La pression acoustique P est une valeur quadratique moyenne, qui varie au cours du temps, exprimé en pascal (Pa).

La pression acoustique correspond au bruit capté par l'oreille humaine, qui évolue de 2×10^{-5} Pa à 20 Pa, ce qui fait que la pression maximum que l'oreille peut supporter est de 20 Pa.

1.3.3 Puissance et intensité acoustiques :

Selon Loïc Hamayon, (2014), dans son livre « *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments* », l'oreille humaine peut distinguer les variations périodiques instantanée à condition que ces variations soient assez rapide, minimum 20 fois par seconde, cette variation de pression à l'origine est une énergie donnée par unité de temps, qu'on exprime en Watts (W) ; Elle est appelée « puissance acoustique ».

Et on constate aussi l'intensité acoustique I , qu'on exprime en Watts par mètre carré (W/m^2) ; C'est la quantité d'énergie qui traverse une surface d'un mètre carré par seconde, L'intensité maximum que l'oreille peut supporter est de 10^{-12} W/m^2 à $1 W/m^2$.

Ainsi la relation entre l'intensité et la pression acoustique est comme suit :

$$I = p^2 / \rho c ,$$

où :

I , intensité acoustique (W/m^2) ; p , pression acoustique efficace (Pa) ;
 ρ , masse volumique de l'air ($1,293 \text{ kg/m}^3$) ; c , célérité du son (m/s) ;
 ρc , impédance (de l'air), représentant la résistance que l'air oppose à sa mise en vibration (Rayleigh).

1.3.4 Unité du décibel :

En acoustique, l'échelle utilisé afin de déterminer le niveau sonore est le décibel (dB), qui a été créé par l'Américain Alexander Graham Bell, inventeur du téléphone, en 1876 ; C'est une unité de puissance sonore qui exprime un rapport entre l'intensité sonore mesurée et l'intensité la plus petite audible par l'homme, cette échelle n'étant pas suffisante pour représenter les sensations de l'oreille humaine, le bel a été divisé en dix parties, 1 bel correspondant à 10 décibels (dB). (Loïc Hamayon, 2014)

1.4. Les mécanismes de l'ambiance acoustique :

1.4.1 L'oreille humaine :

L'oreille est un organe complexe du corps humain, elle sert à collecter et capter le son ; C'est le siège du sens de l'ouïe, elle est constitué de trois parties du système auditif, qui sont :

- **Oreille externe** : elle comprend le **pavillon** et le **conduit externe**, elle sert à collecter et amplifier et envoyer le son en forme de vibrations dans le conduit externe ; L'oreille externe joue un rôle très important pour la protection des composants de l'oreille moyenne face aux infections.
- **Oreille moyenne** : elle se compose d'une **chaîne des osselets** et la **trompe d'Eustache** (**marteau, enclume et étrier**), elle sert à transformer les vibrations aériennes en vibrations solidiennes ; L'oreille moyenne joue un rôle très important pour la protection de l'oreille interne des sons puissants venant de sources externes.
- **Oreille interne** : elle contient l'**organe vestibulaire** et la **cochlée (limaçon)**, elle sert à transformer le son en signaux nerveux par la cochlée qui sont transmis par le nerf auditif au cerveau qui interprète le message sonore, tandis que l'organe vestibulaire joue un rôle dans l'équilibre du corps.

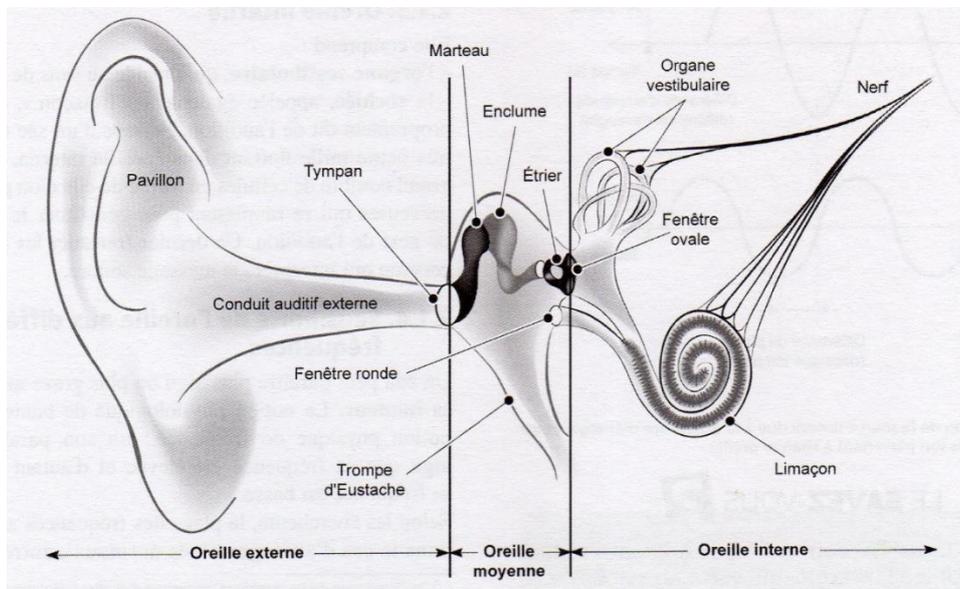


Figure 07 : Structure interne de l'oreille humaine.

Source : Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, (2014).

1.4.1 Le son :

Le son est un phénomène vibratoire, issu du mouvement périodique d'un système matériel autour d'un point d'équilibre. (Loïc Hamayon, 2014)

Le son est un mouvement ondulatoire mécanique provoqué par une onde acoustique qui se propage dans un espace.⁹

a. Types de son :

⁹ Michel BRUNEAU, André DIDIER, Jean-Claude RISSET, « SONS - Production et propagation des sons », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 02 février 2021.
URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/sons-production-et-propagation-des-sons/>

- Son pur : Appelé aussi « *tonalité pur* » ; C'est une onde associée à un signal périodique qui correspond à une courbe sinusoïdale, comme l'explique Loïc Hamayon : « *Un son pur est une sensation auditive provoquée par une onde de pression périodique purement sinusoïdale.* ».
- Son complexe : c'est la somme de sons purs, selon Loïc Hamayon, c'est une superposition d'un nombre de sons purs qui veut dire d'ondes sinusoïdales.

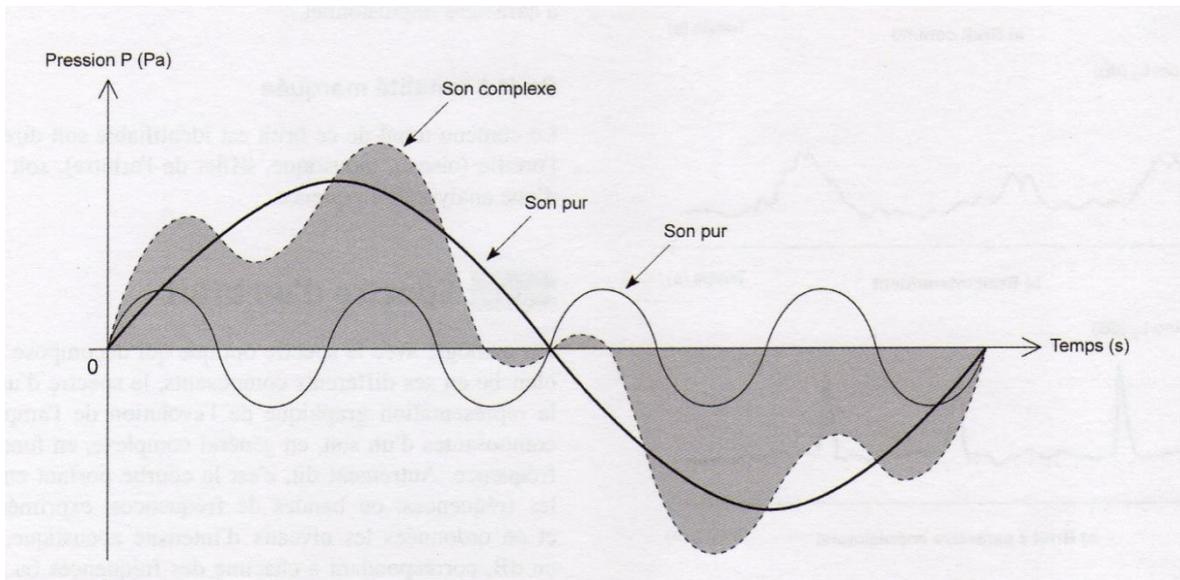


Figure 08 : Schéma démonstratif du son complexe et pur.

Source : Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, (2014).

b. Caractéristiques du son :

- Intensité sonore : Appelé aussi « *Volume* », elle dépend de la pression acoustique réalisée par la source sonore, plus la pression est grande plus le volume du son est fort ;
- Hauteur tonale : Appelé aussi « *Fréquence* », elle est définie par les vibrations de la source sonore, plus les vibrations sont plus rapides plus le son devient aigu ; Elle s'exprime en Hertz ;¹⁰
- Timbre : Appelé aussi « *Couleur* », elle dépend du nombre et de l'intensité des harmoniques, ce qui permet l'identification du son. (*Cherpillod, 2010*)

c. Le bruit :

Selon Loïc Hamayon, (2014), le bruit est un son désagréable ou gênant, une nuisance et une manifestation sonore qu'on ne veut plus entendre.

• *Mode de transmission des bruits* :

¹⁰ <http://www.sonorisation-spectacle.org/caracteristiques-d-un-son.html>

Le bruit se transmette d'un espace à un autre et de l'extérieure vers l'intérieure par les trois modes de transmission suivants :

- Transmission directe (TD) : Il s'agit d'une transmission de bruit du local d'émission vers local de réception par la paroi séparative, tel : Toiture, plancher ;
- Transmission latérale (TL) : Il s'agit d'une transmission de bruit par les parois liées à la paroi séparative, à la façade, au plancher ;
- Transmission parasite (TP) : Il s'agit d'une transmission de bruit par les canalisations, les gains, l'entrée d'air et même les défauts d'exécution.¹¹

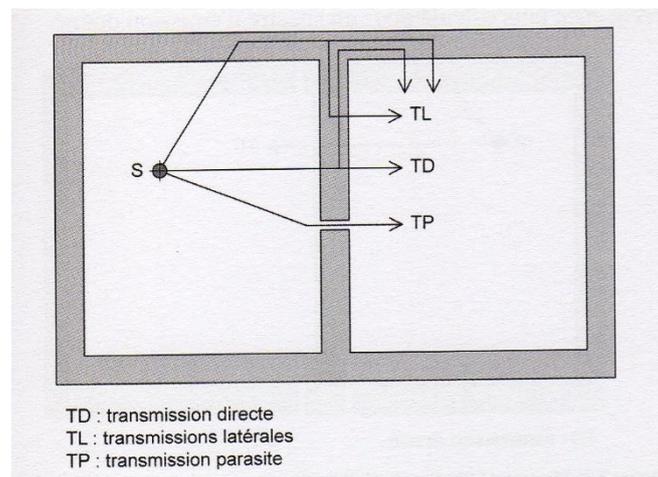


Figure 09 : Représentation du mode de transmission des bruits.

Source : Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, (2014).

• Sources du bruit :

Dans le domaine de l'acoustique, on distingue trois sources de bruit qui sont :

- Bruits aériens : C'est l'ensemble des vibrations sonores qui se propagent à partir de l'air ambiant tel : bruit du téléphone, bruit du trafic routier, ..., le bruit aérien se transmet par les parois séparatives tel : mur, plafond, toiture, ..., et on trouve deux types de bruit aérien :
 - Bruits aériens intérieurs : le claquement des mains, la conversation ;
 - Bruits aériens extérieurs : bruit de voiture, ferroviaire ;
- Bruits solidiens : C'est l'ensemble des vibrations sonores provoquées par les parois et la structure du bâtiment ; On peut aussi les appeler « bruits d'impacts » ou « bruits de chocs », relatif au choc due à une chute d'un objet ou des frappes de pas, ce qui engendre la propagation des ondes sonores au long de la structure et ainsi un inconfort acoustique pour les usagers ;

¹¹ Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments 3ème édition, Editions le moniteur, Paris, 2014.

- **Bruits d'équipements** : C'est une combinaison entre les bruits aériens et les bruits solidiens, les ondes sonores peuvent se propager à la fois par l'air et les parois ; Ce type de bruit concerne des installations tel : les ascenseurs, les ventilations, les chauffages, ...¹²

2. L'acoustique architecturale :

L'acoustique architecturale s'intéresse aux problèmes acoustiques posés par l'art du bâtiment. Elle traite des problèmes concernant la protection des locaux contre les bruits et les vibrations.¹³

Et afin de bien comprendre ce phénomène, on doit essayer d'expliquer et d'appréhender les principes de l'acoustique architecturale qui sont : **la correction acoustique** et **l'isolation acoustique**.

2.1. La correction acoustique :

La correction acoustique est un phénomène qui réfléchit et absorbe l'énergie provoquer d'une onde sonore lors de son contact avec une paroi ; Elle est pour objectif d'assurer une bonne qualité acoustique dans un espace.

Selon Loïc Hamayon, (2014), dans son livre « *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments* », pour obtenir une bonne correction acoustique, cette dernière dépend sur :

- Le volume et la forme du local ;
- La qualité de ses parois, et des matériaux utilisés.

2.1.1 Principes de la correction acoustique :

Le principe de la correction acoustique consiste à examiner l'absorption des sons pour diminuer la réverbération ; Elle est exprimée en mesurant le coefficient d'absorption α des matériaux, l'aire d'absorption équivalente A et le temps de réverbération du local T_R .

a. Réverbération :

D'après Loïc Hamayon, (2014), la réverbération est la persistance du son dans un espace après l'interruption de la source sonore ; C'est quand l'oreille capte la prolongation du son après la réflexion d'une onde sonore qui se propage dans un espace fermé ou semi-ouvert.

¹² <http://www.madeinacoustic.com/fr/bruit-aerien-solidien>

¹³ Michel BRUNEAU, André DIDIER, « ACOUSTIQUE ARCHITECTURALE », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 02 février 2021. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/acoustique-architecturale/>

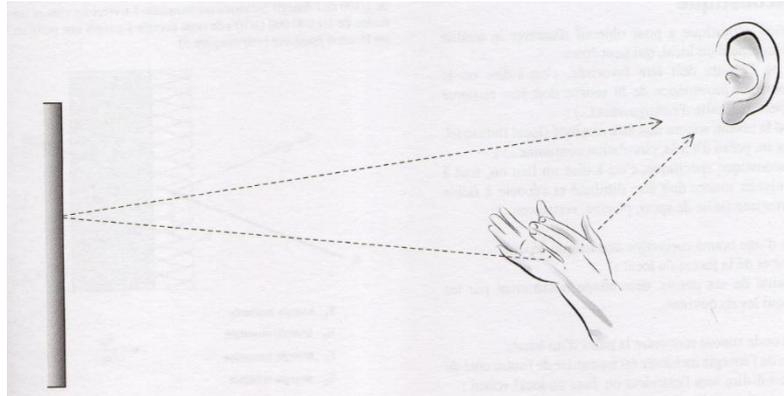


Figure 10 : Réflexion du son de claquement des mains.

Source : Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, (2014).

b. Absorption :

Selon Loïc Hamayon, (2014), dans son livre « *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments* », plus une salle contient plusieurs absorbants, plus la durée de réverbération est courte ; Et moins une salle contient d'absorbants, plus la durée de réverbération est longue, cela signifie que plus un espace est moins réverbérant plus le message sonore est clairement entendu.

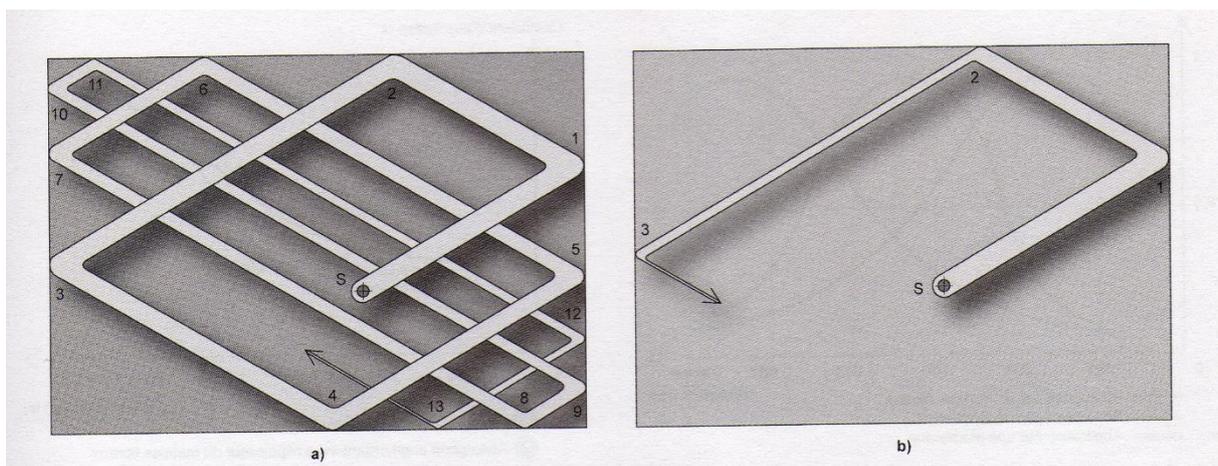


Figure 11 : Influence de l'absorption.

Source : Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, (2014).

Et afin de diminuer la réflexion de l'énergie incidente, trois types de matériaux absorbants peuvent être caractériser :

- Matériaux poreux et fibreux : On peut situer comme matériaux poreux : **paille, liège** et **bois**, ..., et ainsi pour les matériaux fibreux on trouve : **laine minérale, cuire**, ... ; C'est des matériaux absorbants à porosité ouverte, ils sont utilisés dans le domaine de l'acoustique afin de réduire les nuisances sonores à des fréquences qui varie entre 20 Hz et 20 kHz.¹⁴
L'absorption de ce type de matériaux est plus importante aux fréquences aiguës qu'aux fréquences basses. (Loïc Hamayon, 2014)

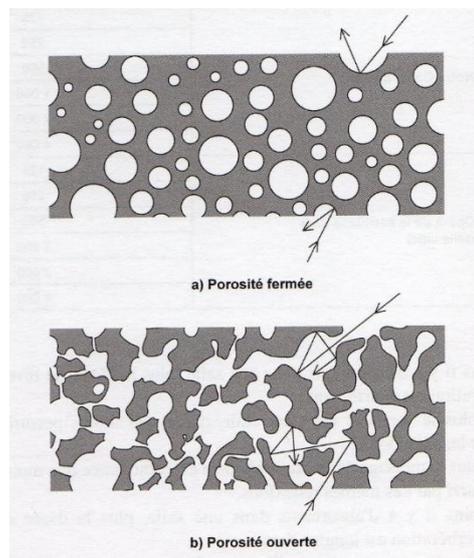


Figure 12 : Matériaux poreux.

Source : Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, (2014).

- Résonateurs : Le résonateur de Helmholtz est un phénomène de réflexion de l'air dans une cavité, il a été créé en 1850 par Hermann von Helmholtz ; Le résonateur de Helmholtz a pour objectif de réduire les bruits acoustiques et traiter les parois.
Selon Loïc Hamayon, (2014), un résonateur à air est un récipient communiquant avec l'extérieur par un tube étroit appelée « col », lorsque l'air qui passe par le col se comprime dans le résonateur, il se détend et crée une vibration qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur au niveau des parois du col ; La fréquence propre du résonateur dépend :
 - de la longueur du col ;
 - du diamètre du col et de sa section ;
 - du volume du corps.

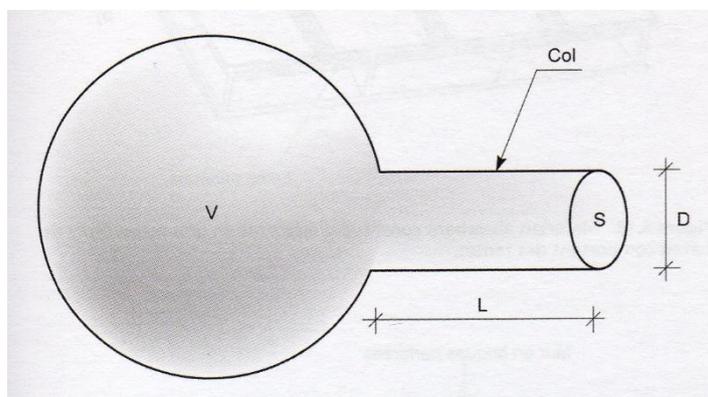


Figure 13 : Résonateur de Helmholtz.

Source : Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, (2014).

¹⁴ « Matériaux Poreux », Technique de l'ingénieur : l'expertise technique et scientifique de référence. URL : <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/materiau-poreux>

Le résonateur de Helmholtz a été appliqué durant l'antiquité dans les théâtres sous forme de vases incrustés dans les gradins afin d'absorber les ondes sonores pour contrôler les échos dans les théâtres.¹⁵

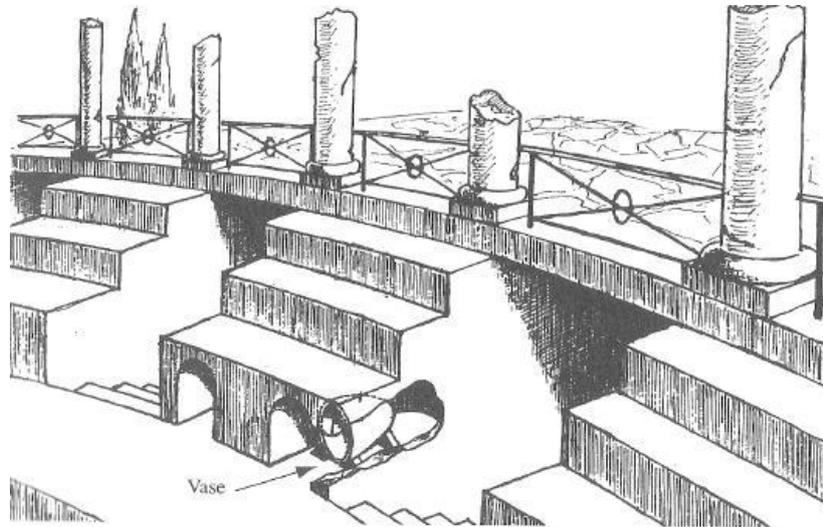


Figure 14 : Positionnement de résonateurs de Helmholtz dans un théâtre antique.
Source : www.vibratecgroup.com (Consulté le 02/07/2021)

- **Membranes** : D'après Loïc Hamayon, (2014), les membranes appelées « panneaux réfléchissants », se constituent de panneaux montés sur un cadre, placés à quelques centimètres d'une paroi.
« *L'absorption la plus importante des membranes se situe aux fréquences graves.* » (Loïc Hamayon, 2014)

Le rôle de ces membranes consiste à réduire la transmission des bruits impacts, ainsi couper la vibration de la source sonore.¹⁶

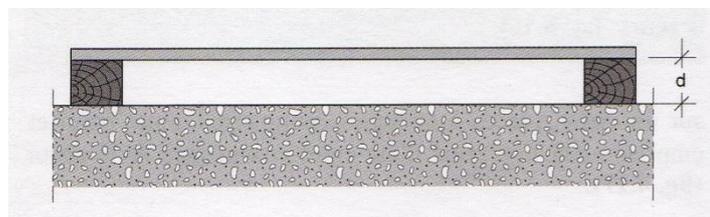


Figure 15 : Composition d'une membrane.
Source : Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, (2014).

c. Diffusion :

¹⁵ « Du traitement acoustique des théâtres de l'antiquité à celui des aéronefs d'aujourd'hui : le résonateur de Helmholtz », VibraTech. URL : <https://www.vibratecgroup.com/blog/news/du-traitement-acoustique-des-theatres-de-lantiquite-a-celui-des-aeronefs-daujourd'hui-le-resonateur-de-helmholtz/>

¹⁶ « Acoustique : choix de membrane insonorisant de planchers », Guideperrier.ca Habitation et Environnement. URL : <https://guideperrier.ca/acoustique-membrane-plancher/>

C'est un phénomène qui se provoque lors de la rencontre des ondes sonores avec un obstacle qui les réparties par la suite à plusieurs ondes réfléchies ; Et comme on peut prendre en considération l'explication de Loïc Hamayon qui dise : « *La diffusion est la répartition plus ou moins homogène des ondes sonores, provoquée simultanément par des phénomènes de réflexion, de réfraction et de diffraction.* »

2.2. L'isolation acoustique :

L'isolation acoustique est un phénomène qui absorbe et transmis l'énergie provoquer d'une onde sonore lors de son contact avec les parois ; Elle est pour objectif d'éviter la propagation du bruit aux espaces voisins.

Selon l'explication de Loïc Hamayon : « *L'isolation acoustique est l'ensemble des dispositions prises pour réduire la transmission de l'énergie depuis les sources qui la produisent jusqu'aux lieux qui doivent être protégés.* »

2.2.2 Types d'isolement acoustique :

Selon Loïc Hamayon, (2014), il a répartie l'isolement acoustique en plusieurs types, dont nous on distingue trois types fondamentaux qui sont :

- Isolement acoustique brut Db : C'est la différence arithmétique des niveaux de pression entre en espace qui émis le bruit et l'espace qu'il le reçu ; L'isolement acoustique est définie par la formule suivant :

$$Db = L1 - L2 ,$$

Où : L1 : niveau de pression acoustique émis en dB ;

L2 : niveau de pression acoustique reçu en dB.¹⁷

- Isolement acoustique normalisé Dn : ce type est pour but de comparer l'isolement d'un local vide à celui d'un local meublé ; Il est exprimé par la formule suivante :

$$Dn = Db - 10 \log A/A_0 ,$$

Où :

Dn : isolement acoustique normalisé (dB) ;

Db : isolement acoustique brut (dB) ;

A : absorption du local de réception (m²) ;

A₀ : absorption de référence (m²).

- Isolement acoustique standardisé Dnt : Ce type d'isolement prend en considération la réverbération du local de réception lors de calcul, ce qui veut dire que l'isolement acoustique standardisé est calculée lorsque la durée de réverbération est de 0.5 s ; Il est défini par la formule suivante :

¹⁷ « Isolement brut Db », Spectra : Ingénierie en acoustique et insonorisation industrielle. URL : <https://www.spectra.fr/glossaire-acoustique/>

$$D_{nt} = D_b - 10 \log T/T_0,$$

Où :

- D_{nt} : isolement acoustique standardisé (dB) ;
- D_b : isolement acoustique brut (dB) ;
- T : durée de réverbération du local de réception (s) ;
- T₀ : durée de réverbération de référence (s).

2.2.3 Principes d'isolation acoustique :

a. Principe de la masse :

La loi de masse est le premier principe de l'isolation acoustique qui consiste à utiliser de lourds parois, plus une paroi est lourde plus est étanche, comme l'explique Loïc Hamayon : « *Si la paroi ne se déplaçait pas, les sons ne seraient pas transmis.* ».

b. Principe de double paroi :

Le deuxième principe est double paroi, appelé ainsi « *masse-ressort-masse* » ; C'est un système qui consiste à construire deux parois simple séparées par une lame d'air rempli ou non d'un matériau absorbant ; Quand la première paroi reçoit les vibrations du son, la lame d'air joue le rôle d'un ressort et le matériau absorbe l'énergie incidente, ce qui empêche la transmission du son vers local de réception.

c. Principe d'étanchéité :

Le troisième principe l'étanchéité est un système constructif d'une paroi qui consiste à éviter la pénétration de l'eau de l'air ainsi le bruit dans un espace ; Ce principe contribue à assurer une étanchéité des ouvertures tel : les fenêtres ainsi les portes, ..., car la moindre interruption peut annuler l'isolation des parois.¹⁸

2.3. La qualité acoustique :

La qualité acoustique d'un espace dépend en premier lieu d'une bonne correction acoustique qui examine l'absorption des sons pour diminuer la réverbération et d'un bon isolement acoustique afin d'éviter la propagation du bruit aux espaces voisins, ce qui offre une bonne qualité de son dans les espaces de spectacle ; C'est dans ce cas que réside l'objectif de maîtriser les normes ambiantales acoustiques et l'acoustique en général, comme le décrit Hélène Horsin Molinaro : « *L'acoustique en architecture a pour objectif d'offrir la qualité de son la plus adaptée aux lieux d'écoute que peuvent être des salles de spectacles* ». ¹⁹

¹⁸ « Isolation phonique », Ooreka. URL : https://isolation.ooreka.fr/comprendre/isolation_phonique_acoustique_bruit

¹⁹ Caroline DE SA - Hélène Horsin Molinaro, « *Conception acoustique d'une salle – Intérêt du prototypage et principe de conception de maquettes* », publié le 27 mars 2017. URL : <https://eduscol.education.fr/sti/si-ens->

Lors de propagation des ondes sonores dans un espace et leurs rencontres avec les parois tel que les murs, plafonds, meubles..., ces ondes subissent à des phénomènes de réflexion, diffraction, diffusion ou absorption ; Quand une La superposition de l'onde directe se superpose sur une et de l'onde réfléchie, cela permet de concevoir la qualité du son.²⁰

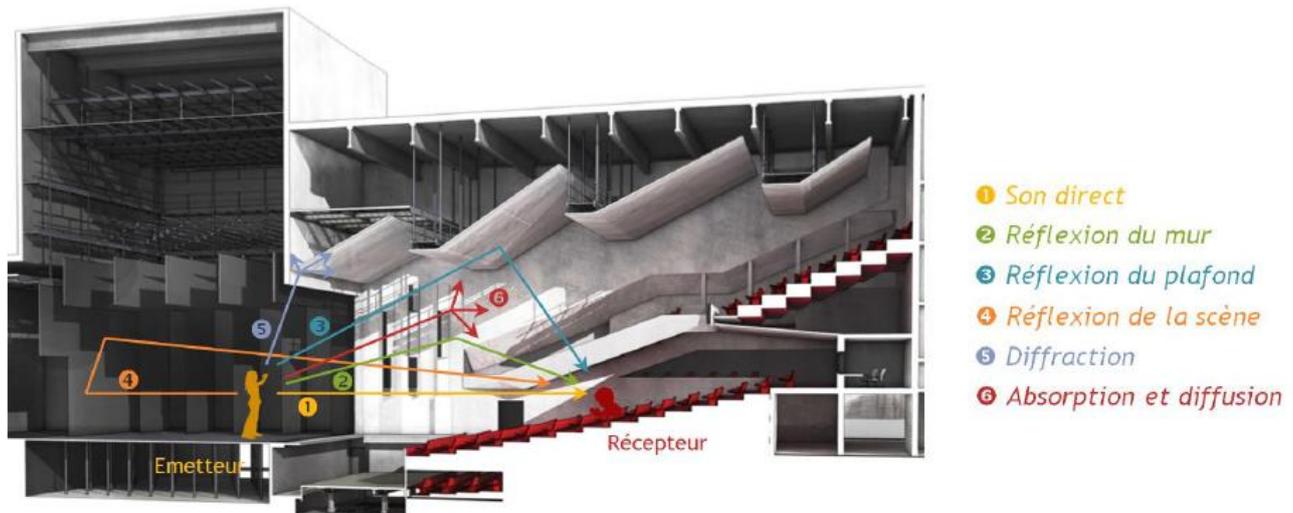


Figure 16 : Propagation d'une onde sonore dans un auditorium.
Source : Caroline DE SA - Hélène Horsin Molinaro, 2017.

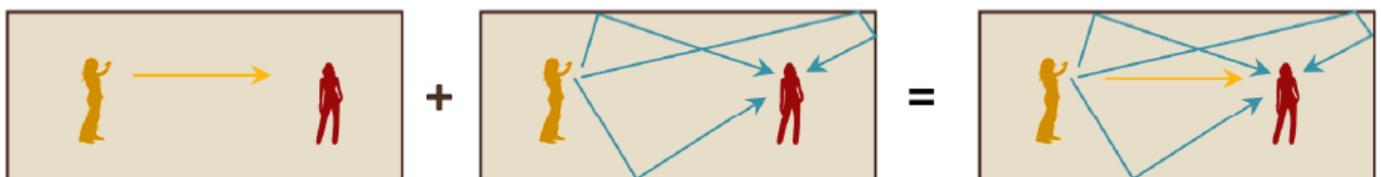


Figure 17 : L'onde directe et les ondes réfléchies se superposent et contribuent à la qualité du son.
Source : Caroline DE SA - Hélène Horsin Molinaro, 2017.

Certains architectes prennent en considération le phénomène de l'acoustique lors de la conception de leurs projets dans le but d'assurer une bonne qualité acoustique et de la paix dans les espaces conçus ; Dont l'évaluation d'une bonne qualité acoustique se fait en fonction de trois paramètres qui sont :

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

²⁰ Caroline DE SA - Hélène Horsin Molinaro, « Conception acoustique d'une salle – Intérêt du prototypage et principe de conception de maquettes », publié le 27 mars 2017. URL : https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/conception-acoustique-dune-salle-interet-prototypage-principe-conception-de-maquettes

Le niveau ambiant : Le bruit ambiant caractérise l'identité des lieux, mais il peut être considéré comme une nuisance sonore dans le cas où la conversation est interrompue.

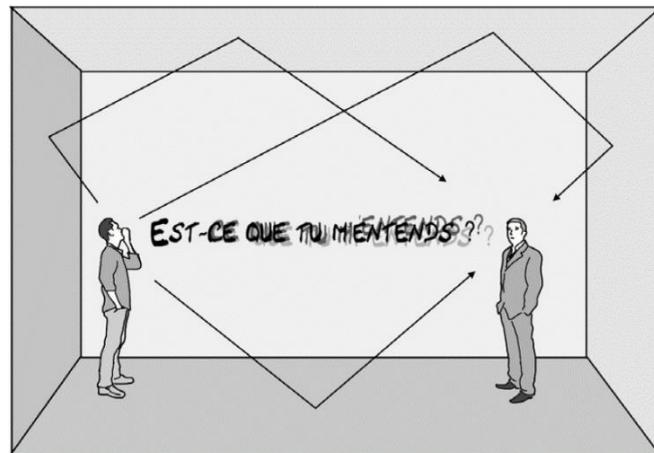


Le rapport Signal/Bruit : c'est le rapport entre le niveau sonore en dB(A) sur le niveau du bruit ambiant qui peut interrompre la conversation.



La réverbération : c'est « une persistance dans le temps d'un son du fait des réflexions et phénomènes absorption partielle sur les parois, les objets, les personnes... »²¹

²¹ PDF, Eric ALEXANDRE et Laurent SABY, « Améliorer la qualité acoustique aux accueils des Établissements recevant du public (ERP) : une nécessité pour les personnes malentendantes, un bénéfice pour tous », mars 2018. URL : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Am%C3%A9liorer%20la%20qualit%C3%A9%20acoustique%20d%C3%A9finitif%20web.pdf>



Conclusion :

L'ambiance acoustique s'est beaucoup développée de nos jours, elle est devenue un facteur très important de la conception architecturale et ce quel que soit la nature de l'équipement, qu'il soit destiné au grand public ou au particulier.

L'acoustique architecturale doit être respectée dans le projet architectural, elle est en relation avec la configuration spatiale et les matériaux, la configuration spatiale est souvent traitée lorsque nous constatons un dysfonctionnement dans le comportement de l'onde sonore, nous serons confrontés dans ce cas-là à ce que nous appelons les corrections acoustiques. Quand le comportement de l'onde est assujéti aux matériaux nous procédant à une isolation acoustique.

Grâce à la compréhension de l'acoustique architecturale et l'ambiance acoustique et de leurs aspects et leurs caractéristiques, la qualité acoustique pourrait être maîtrisée dès la conception première du projet.

CHAPITRE 02 :

*Espaces de Spectacle et
Ambiance Acoustique*

Introduction :

La conception des lieux de spectacle destiné au grand public n'a pas cessé de se développer, l'être-humaine a conçu des espaces de spectacle depuis la période de l'antiquité tel que les théâtres, les amphithéâtres, et les arènes et les colisées, ...

A l'époque actuelle nous parlons de cinémas, de théâtres, de grands palais de spectacles, ...etc. Nombreux sont les espaces qui permettent d'offrir au public divers types de divertissement parfois du drame, de la comédie, de l'art et même ce qui en relation à la science. La mission de ce genre de projet et de partager certaines messages, expériences et sentiments avec le public ; Ça peut même permettre aux spectateurs de découvrir de nouvelles cultures à travers des variétés de représentations.

L'espace de spectacle accueille et reçoit beaucoup de public, donc on peut dire que ce n'est pas un espace conçu pour un seul usager mais plusieurs, d'où l'importance de connaître et de comprendre l'impact de cette conception sur le comportement et la sensation des usagers de ce type d'espace.

1. Espace de spectacle :

1.1. Définition d'un espace de spectacle :

Avant de définir l'espace de spectacle en générale, on va essayer de définir le mot spectacle, que d'après la définition du site de Larousse : « *Ensemble de ce qui se présente au regard, à l'attention, et qui est capable d'éveiller un sentiment.* »²² ; C'est un ensemble de représentations destinés au public, ça peut être un spectacle vivant comme une pièce théâtrale ou un spectacle filmé comme au cinéma.

Ainsi un espace de spectacle c'est le lieu destiné pour recevoir ces représentations et le public au même moment ; Un espace de spectacle défait d'un autre en fonction des représentations qu'il reçoit, mais on trouve en générale qu'il se constitue d'une estrade pour l'animation et des sièges pour les spectateurs.

1.2. Types d'espace de spectacle :

L'espace destiné au spectacle a évolué à travers le temps, et cette chronologie de variation a fait que l'espace de spectacle à changer de vocation et il a eu plusieurs typologies qualificatives ; Grâce aux chercheurs et théoriciens à travers des siècles l'être humaine a réussi de maîtriser les connaissances liées au phénomène de l'acoustique.

²² <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/spectacle/74093>

Dans l'antiquité, le théâtre Dionysos est parmi les premiers théâtres construits au VI^e siècle av. J.-C ; c'est le plus ancien et le plus connu, qui prouve que les architectes à cette époque ont bien étudié le concept des théâtres afin de garantir une bonne qualité sonore pour les usagers tout en se basant sur des notions physiques, qui nous mène aujourd'hui aux aspects théoriques de l'ambiance acoustique.²³



Figure 18 : Théâtre de Dionysos.
Source : www.tripadvisor.fr
(Consulté le 02/07/2021)

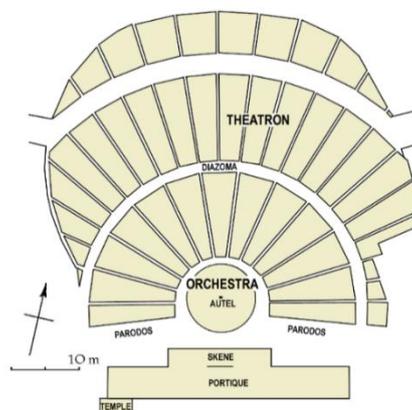


Figure 19 : Plan schématique du théâtre de Dionysos.
Source : www.eduscol.education.fr
(Consulté le 02/07/2021)

Les premiers concepts acoustiques ont été appliqués dans les théâtres grecs, c'est ainsi que les grecs ont remarqué que la propagation des ondes sonores se fait d'une manière correcte grâce à la bonne qualité acoustique utilisée, le son qui parvient de la scène peut-être entendu au fond des gradins clairement.²⁴

Si nous citons le théâtre d'Épidaure comme exemple la bonne qualité sonore qu'il offre est dû selon Nico Declercq professeur de l'institut de technologie de la Géorgie dans son article « *The acoustics of the hellenistic theatre of epidaurus: The important role of the seat rows* » à l'organisation des gradins qui sont d'une forme idéale pour laisser filtrer les basses fréquences qui sont l'un des éléments fondamentales qui produisent du bruit.²⁵



Figure 20 : Théâtre d'Épidaure.
Source : www.futura-sciences.com
(Consulté le 02/07/2021)

²³ Cours du CNAM – CPDA, acoustique architecturale, théorie et pratique, 2^{ème} année, 2006/2007, Paris.

²⁴ TPE Son, « *Matière et forme dans les salles de spectacle* », publié le 04 Novembre 2016. URL : <https://tpesonweb.wordpress.com/2016/11/04/matiere-et-forme-dans-les-salles-de-spectacle/>

²⁵ Nico F. Declercq, Cindy S. A. Dekeyser, « The acoustics of the hellenistic theatre of epidaurus: The important role of the seat rows », publié September 2007. URL : https://www.researchgate.net/publication/277216529_The_acoustics_of_the_hellenistic_theatre_of_epidaurus_The_important_role_of_the_seat_rows

Après la réussite de grecs, les romains ont mieux amélioré la qualité sonore dans la conception de leurs théâtres, cela est dû à l'utilisation d'une pente régulière des gradins afin d'éviter la moindre perturbation de la propagation des ondes sonores, et ainsi l'insertion des vases de Vitruve.²⁶



Figure 21 : Grand théâtre de Pompéi.
Source : www.routard.com
(Consulté le 02/07/2021)

Pendant le moyen âge et la renaissance plusieurs espace de spectacle avec une bonne qualité sonore ont été établi tout en se basant sur les concepts acoustiques développé par les grecs et les romains, comme le théâtre de la renaissance El Teatro Malibran réalisé par Teatro San Giovanni Grisostomo à Venise, et l'Opéra Garnier réalisé par Charles Garnier à Paris.²⁷

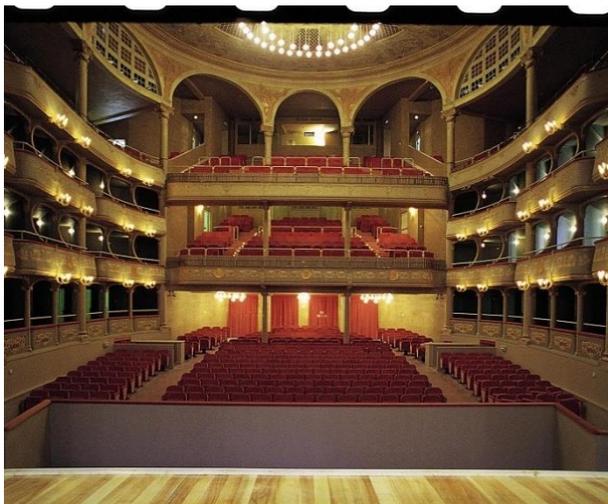


Figure 22 : Théâtre El Teatro Malibran.
Source : www.musictick.com
(Consulté le 02/07/2021)



Figure 23 : l'Opéra Garnier.
Source : www.nerienlouper.paris
(Consulté le 02/07/2021)

²⁶ <http://accoustique-des-salles.e-monsite.com/pages/ii-la-salle-de-spectacle.html>

²⁷ Cours du CNAM – CPDA, acoustique architecturale, théorie et pratique, 2ème année, 2006/2007, Paris.

Entre le moyen-âge et nos jours-ci, des améliorations ont été ajoutées aux espaces de spectacle afin d'obtenir des résultats plus satisfaisants, dont ces améliorations résident dans la modification de la forme des espaces de spectacle d'une forme elliptique à d'autres formes nouvelles, et ainsi l'utilisation des nouveaux matériaux comme le verre, le béton et le fer ; Cela permet de grandir la typologie des espaces de spectacle, tel que les salles de cinéma ou nous pouvons citer le Théâtre chinois de Grauman élaboré par l'architecte Raymond M. Kennedy aux États-Unis,



Figure 24 : l'Opéra Garnier.
Source : www.nerienlouper.paris
(Consulté le 02/07/2021)
Figure 23 : Théâtre chinois de Grauman.
Source : www.discoverlosangeles.com
(Consulté le 02/07/2021)

Et comme les salles de concert dont nous pouvons citer le Palais de la musique catalane réalisé par Lluís Domènech i Montaner à Barcelone,



Figure 25 : Palais de la musique catalane.
Source : www.visiterbarcelone.com
(Consulté le 02/07/2021)

Et ainsi les auditoriums dont nous pouvez citer l'auditorium de Lucerne réalisé par l'architecte Jean Nouvel au Suisse.²⁸



Figure 26 : Auditorium de Lucerne.
Source : www.opera-online.com
(Consulté le 02/07/2021)

Dans notre pays, il n'existe pas un grand nombre d'équipements destinés aux spectacles ; Dans la wilaya de Béjaïa on peut distinguer : Le cinéma de Béjaïa et le théâtre régional Malek Bouguermouh comme des espaces de spectacles les plus remarquables,

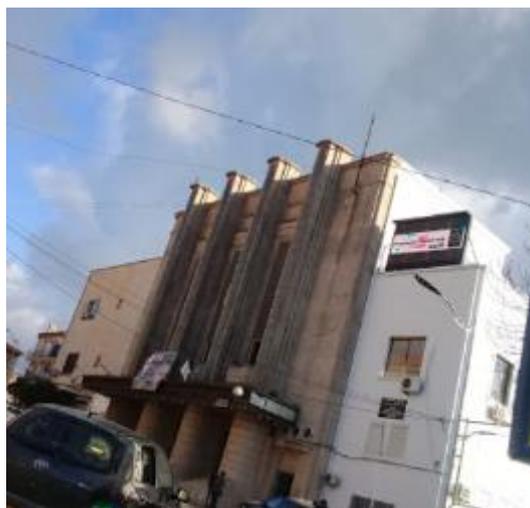


Figure 27 : Théâtre régional Malek Bouguermouh de Béjaïa.
Source : Google Maps. (Consulté le 02/07/2021)



Figure 28 : Salle du théâtre de Béjaïa.
Source : Google Maps. (Consulté le 02/07/2021)

²⁸ TPE Son, « Matière et forme dans les salles de spectacle », publié le 04 Novembre 2016. URL : <https://tpesonweb.wordpress.com/2016/11/04/matiere-et-forme-dans-les-salles-de-spectacle/>



Figure 29 : Cinéma de Béjaïa (Entrée au sous-sol).
Source : Google Maps. (Consulté le 02/07/2021)



Figure 30 : Salle du cinéma de Béjaïa.
Source : Google Maps. (Consulté le 02/07/2021)

Et ainsi on peut trouver des équipements annexe à l'intérieur du projet comme : la maison de la culture, la direction des Affaires religieuses et des Wakfs de Béjaïa et l'auditorium au niveau de la bibliothèque de Béjaïa.



Figure 31 : La maison de la culture de Béjaïa.
Source : Google Maps. (Consulté le 02/07/2021)

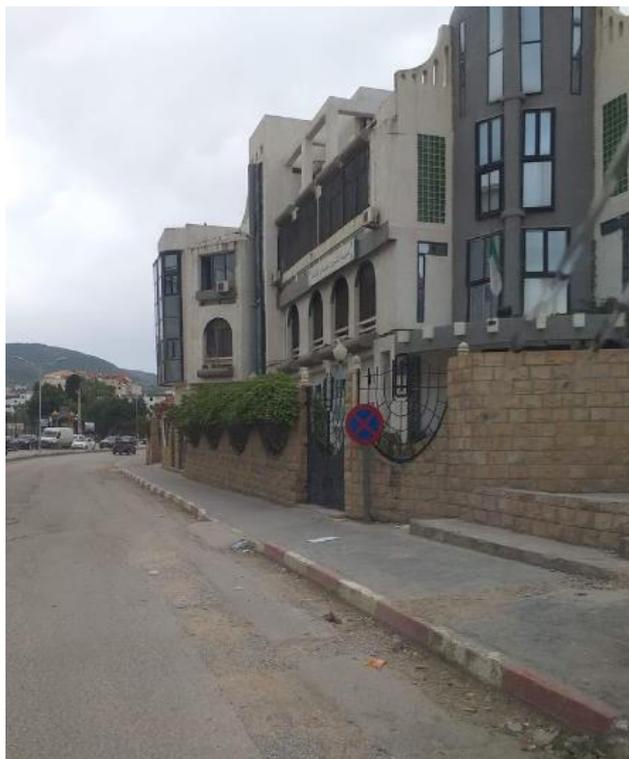


Figure 32 : La direction des Affaires religieuses et des Wakfs de Béjaïa.
Source : Google Maps. (Consulté le 02/07/2021)



Figure 33 : Bibliothèque communales de Béjaïa.
Source : Google Maps. (Consulté le 02/07/2021)

2. Les normes ambiantales acoustiques des espaces de spectacles :

2.1. Acoustique des salles de spectacle :

Lors de la conception, prendre en considération l'acoustique d'une salle de spectacle peut offrir une bonne qualité sonore et un confort acoustique aux publics ; c'est dû aux critères de l'acoustique suivants :

- Durée de réverbération : elle détermine le temps que prend un son pour se diminuer de 60 dB, après l'interruption de la source sonore. Cette durée dépend du volume de la salle.
- Echo : « Lorsque, à partir d'une courbe de durée de réverbération en chute nette, quelques pointes subjectivement reconnaissables forment saillie, elles sont dénommées échos. »²⁹

²⁹ Ernest NEUFERT, Les éléments des projets de construction, 10ème édition française revue et augmentée, P534.

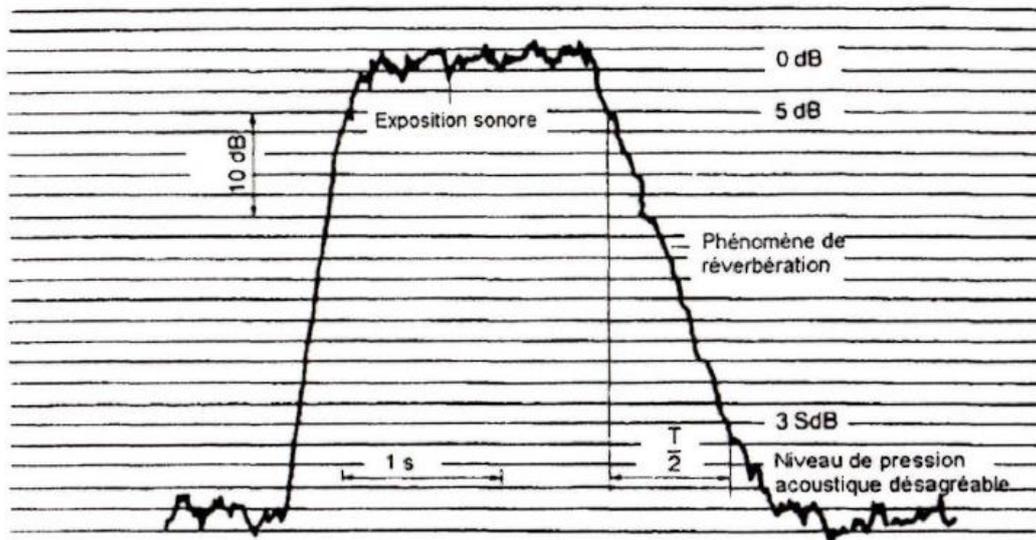


Figure 34 : Mesurage de la durée de réverbération.

Source : Neufert, édition 10.

2.2. La forme :

Lors de la conception, la forme d'un espace joue un rôle très important quand il s'agit d'une bonne isolation acoustique, tel que Loïc Hamayon explique : « ...il faut jouer sur la forme de la salle, ceci pour favoriser les premières réflexions du son depuis l'enseignant jusqu'aux élèves situés eu fond de salle, ... »³⁰

Selon Loïc Hamayon, (1996), la forme idéale pour une bonne isolation acoustique, c'est la forme qui évite les parois parallèles, car les parois inclinées permettent la réflexion du son au long de l'espace jusqu'au fond et ainsi réduire l'écho et avoir un son clair et audible.

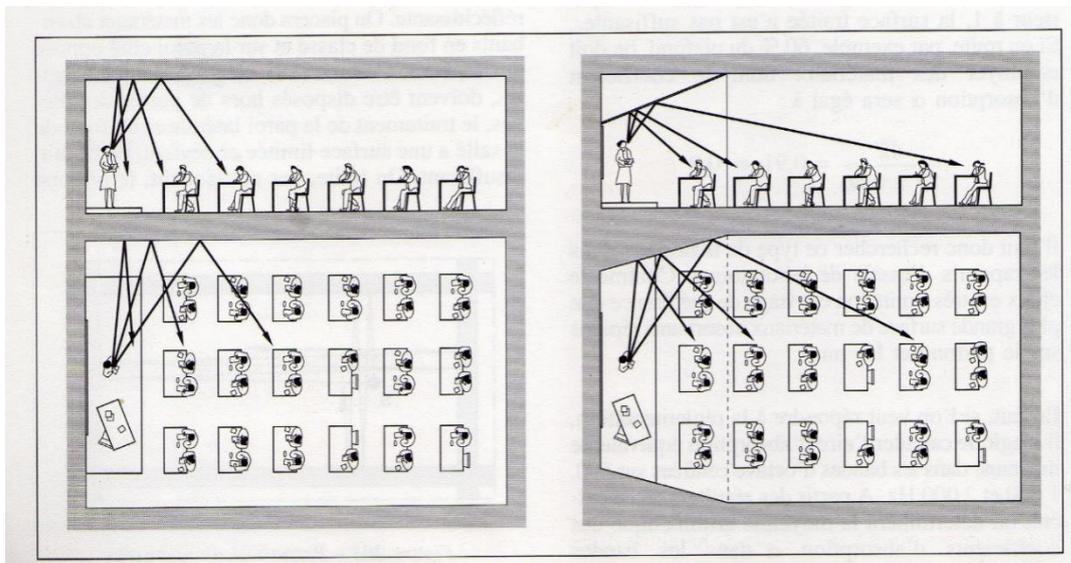


Figure 35 : Répartition des ondes sonores sur différentes parois.

Source : Loïc Hamayon, Réussir l'acoustique d'un bâtiment, (1996).

³⁰ Loïc Hamayon, Réussir l'acoustique d'un bâtiment : Conception architecturale et technique des bâtiments d'habitation et des établissements d'enseignement-Isolation et correction acoustiques, Editions Le Moniteur, Paris, 1996, Page : 218.

Dans le cas où la forme est de parois parallèles, selon Loïc Hamayon, (1996), trouve que la bonne mise en place des matériaux absorbants peut régler le problème de l'écho dans l'espace, et cela par le traitement des parois parallèles, comme le stipule Hamayon : « ..., *Il faut briser le parallélisme en posant des matériaux absorbants sur une des deux parois parallèles.* »³¹ ; Et afin de réussir ce traitement des matériaux absorbants doivent être placés au plafond dans la zone située au fond de l'espace, et cela dans le but de réfléchir le son et d'augmenter le niveau sonore au fond de l'espace.

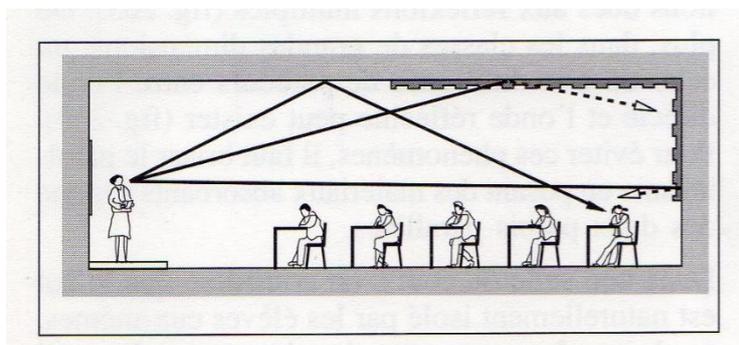


Figure 36 : Traitement du plafond et du fond de la salle.
Source : Loïc Hamayon, Réussir l'acoustique d'un bâtiment, (1996).

Selon le Neufert les surfaces courbes peuvent provoquer un effet de foyer, c'est ainsi que les salles hémisphériques dont le centre de la voûte est situé au-dessus de la scène est à éviter, car cela provoque une concentration tridimensionnelle du son ; Par contre une courbe bien maîtrisée peut assurer une bonne transmission du son. (Neufert, édition 10)

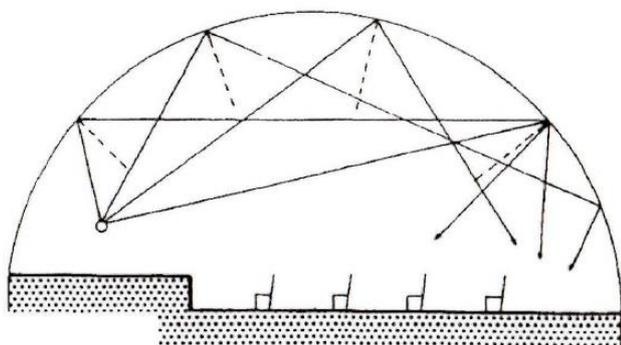


Figure 37 : Effet de foyer par surfaces courbes.
Source : Neufert, édition 10.

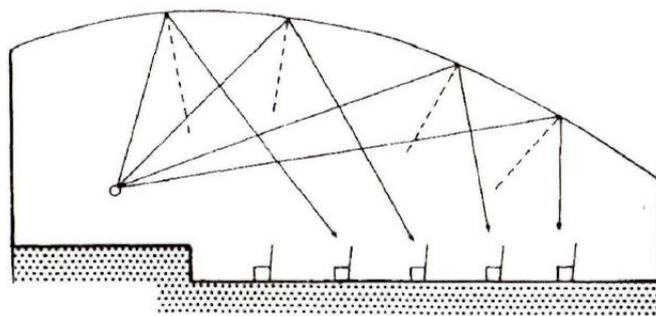


Figure 38 : Bonne propagation du son par courbe adaptée.
Source : Neufert, édition 10.

³¹ Loïc Hamayon, Réussir l'acoustique d'un bâtiment : Conception architecturale et technique des bâtiments d'habitation et des établissements d'enseignement-Isolation et correction acoustiques, Editions Le Moniteur, Paris, 1996, Page : 217.

2.3. Les matériaux :

Un matériau acoustique est un matériau absorbant qui consiste à :

- Améliorer le temps de réverbération de la pièce dit **correction acoustique**.
- Empêcher la propagation du bruit d'une pièce à une autre dit **isolation acoustique**.

La liste suivante représente les principaux matériaux absorbants :

Matériau	Avantage	Inconvénient
<p>Les mousses acoustiques</p>  <p>Source : www.spectra.fr (Consulté le 02/07/2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réduit efficacement le phénomène de réverbération acoustique. - Cible un jeu de fréquences données. - Différentes qualités de mousse, ce qui permet à tous les budgets d'y accéder.³² 	<ul style="list-style-type: none"> - Son épaisseur : pour être efficace elle doit être assez épaisse, et donc rogne l'espace intérieur. - Ne se substitue pas à un isolant thermique. - Doit être associée à d'autres isolants pour une qualité optimale. - Seule la mousse en mélamine n'est pas inflammable.³³
<p>Les laines minérales (Laine de verre et laine de roche)</p>  <p>Source : www.amazon.fr (Consulté le 02/07/2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Un bon rapport qualité/prix. - Faciles à couper. - La laine de verre et la laine de roche possèdent des qualités thermiques et acoustiques. - La laine de verre très résistant au feu.³⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> - Une production polluante, car ils sont poussiéreux et peuvent diffuser des microfibrilles irritantes. - Pas de capacité à absorber la vapeur d'eau. - Durée limitée.³⁵

³² <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/isolation-thermique/mousse-insonorisante>

³³ <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/isolation-thermique/mousse-insonorisante>

³⁴ <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/logement/les-differences-entre-la-laine-de-verre-et-la-laine-de-roche>

³⁵ <https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/isolants-et-pare-vapeur/isolants-mineraux/>

<p>La laine de fibres de polyester (<i>ouate</i>)</p>  <p>Source : www.amazon.fr (Consulté le 02/07/2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Matériau rigide, facile à travailler. - Produit non irritant. - Bonne durabilité.³⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> - Le plastique est un dérivé du pétrole. - La filière du recyclage n'est pas bien maîtrisée. - Ce matériau n'est recyclable que 1 fois et finit donc très rapidement. - Ne comporte rarement que de la fibre recyclée.³⁷
<p>La laine de coton</p>  <p>Source : www.eco-logis.com (Consulté le 02/07/2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Plus écologique. - Produit non irritant. - Bonne durabilité. - Résistante à l'humidité. - Ininflammable.³⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> - Un peu plus cher. - Plus difficile à couper.³⁹

2.4. Les normes :

Selon l'article 02 du décret n° 98-1143 du 15 décembre 1998 relatif aux prescriptions applicables aux établissements ou locaux recevant du public et diffusant à titre habituel de la musique amplifiée, à l'exclusion des salles dont l'activité est réservée à l'enseignement de la musique et de la danse impose :

- Qu'en aucun endroit accessible au public, de ces établissements ou locaux, le niveau de pression acoustique ne doit dépasser 105 dB(A) en niveau moyen et 120 dB en niveau de crête, dans les conditions de mesurage prévues par arrêté.

En mercredi 9 août 2017, un décret publié au Journal Officiel renforce la réglementation de l'article 02 du décret n° 98-1143, qui abaisse la valeur 105 dB(A) à 102 dB(A) et introduit un nouveau seuil en décibels pondérés C : 118 décibels pondérés C sur 15 minutes afin de tenir compte de l'évolution des pratiques musicales et de la présence accrue de basses fréquences.⁴⁰

³⁶ <https://www.pytaudio.com/materiaux-acoustiques-absorbants-phoniques-et-insonorisant/>

³⁷ <https://www.ecoconso.be/fr/content/cest-quoi-le-probleme-avec-le-plastique>

³⁸ <https://www.izi-by-edf-renov.fr/blog/quel-matériau-isolation-combles>

³⁹ <https://www.habitatpresto.com/mag/isolation/laine-de-coton>

⁴⁰ <http://www.controle-db.com/Reglementation-acoustique.htm>

Selon la réglementation acoustique algérienne, l'arrêté du 17 octobre 2004 : portant approbation du cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente.

La réglementation phonique exige que le niveau sonore ne doit pas dépasser 38 dB(A) pour les pièces habitables et 45 dB(A) pour les pièces de service pour des niveaux de bruit d'émission ne dépassant pas :

- 86 dB(A) pour les locaux d'habitation ;
- 76 dB(A) pour les circulations communes ;
- 91 dB(A) pour les locaux à usage autres que ceux cités précédemment.⁴¹



Figure 39 : Echelle du bruit.

Source : www.researchgate.net. (Consulté le 02/07/2021)

⁴¹ <https://www.lkeria.com/arrete-du-17-octobre-2004-13>

Conclusion :

D'après cette analyse conceptuelle les espaces de spectacle n'ont pas cessé d'évoluer à travers le temps, leur développement constitue une variété sur l'échelle configurationnel et formelle.

Chaque typologie de salle de spectacle correspond plus au moins à une typologie formelle et à un type de matériaux. et c'est en fonction de ses deux paramètres que nous allons pouvoir déterminer si nous avons atteint la qualité acoustique ou pas.

Nous pouvons conclure que pour que l'espace de spectacle soit de bonne acoustique, nous devons éviter les parois parallèles et cela afin de permettre la réflexion du son dans l'espace et ainsi la diminution des échos. Dans le cas des parois parallèles nous devons favoriser l'usage des matériaux absorbants tel : Les mousses acoustiques, Les laines minérales... Afin de résoudre tous problèmes d'échos dans ce type d'espace de spectacle.

CHAPITRE 03 :

*Processus méthodologique et
corpus d'étude*

Introduction :

Dans ce chapitre nous définirons la méthodologie suivie pour mener notre étude analytique de la qualité acoustique dans les espaces de spectacle ainsi que les corpus d'étude. Et cela à partir des mesures in situ et un questionnaire qui nous permettront de définir le phénomène de l'acoustique et le confort qu'il porte pour les usagers ; Et par l'utilisation d'un logiciel de simulation, cela nous offrira une possibilité de comprendre le phénomène de l'ambiance acoustique, ses aspects, ses concepts, et sa façon de réagir.

1. Mesure in situ :

Dans une première partie, des mesures in situ a été réalisés au sein de l'auditorium de l'école Nationale Supérieure en Sciences et Technologies de l'Informatique et du Numérique à Amizour Wilaya de Béjaïa ; Les mesures a été effectuées à base du sonomètre, ou nous avons contribué par la suite à utiliser **une grille** et **un tableau**, pour compléter nos résultats, et cela dans le but d'évaluer et de faire un état des lieux des nuisances sonores présentes au sein de l'auditorium afin de proposer des solutions pour réduire celles-ci à la source.

• Outils de mesure :

Durant les prises de mesure effectué à l'auditorium d'école d'Amizour nous avons utilisé l'application sonomètre mais qui fait foi d'un sonomètre ; C'est un instrument destiné au mesures acoustiques, il est utilisé dans les études de pollution sonore et d'acoustique environnementale dans le but de quantifier le bruit et les nuisances sonores ; En acoustique architecturale le sonomètre sert à estimer la répartition des niveaux sonores dans les espaces.⁴²

Son unité de mesure est en décibel (dB).



Figure 40 : Sonomètre Digital.
Source : www.instruments-measure.com
(Consulté le 02/07/2021)

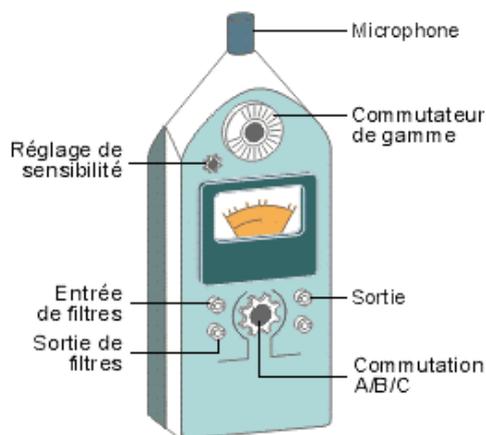


Figure 41 : Dessin schématique d'un sonomètre.
Source : www.energieplus-lesite.be
(Consulté le 02/07/2021)

⁴² <https://fr.wikipedia.org/wiki/Sonom%C3%A8tre>

2. Enquête à échantillon ciblé :

L'enquête par questionnaire est une méthode quantitative de collecte de données à partir d'un questionnaire à échantillon ciblé dans le but de vérifier une hypothèse théorique.

Dans notre recherche, une campagne d'Enquête à échantillon ciblé a été réalisée dans le but de mieux comprendre et de localiser les gênes occasionnées par ces nuisances et le confort acoustique existant au sein de l'auditorium de l'école d'amizour ; Cette enquête est destinée aux gens qui fréquentent les espaces de spectacles.

Au premier lieu nous avons préparé notre première grille du questionnaire en fonction du concept de notre recherche, ensuite nous avons trouvé que ce n'est pas un questionnaire représentatif et le nombre de variables était assis grand ce qui nous a permis d'exploiter encore plus de variables afin d'avoir un questionnaire complet, c'est ainsi que nous sommes inspirés d'un questionnaire établi par des étudiants pour leur mémoire fin de cycle en architecture sous le thème « Etude analytique de la qualité sonore dans l'espace architectural (Amphithéâtres éducatifs) » ; La grille du questionnaire est en annexe.

Concernant notre cas d'étude nous avons effectué dix-huit questions en total dont la grande partie des questions était à choix multiples, tandis que la petite partie qui reste c'est des questions pour des réponses courtes ; Le traitement du questionnaire c'est fait par le Drive comme suit :

- Le traitement statistique :

Pour le traitement des réponses de notre questionnaire, nous avons utilisé l'option du formulaire disponible sur le drive, il faut cliquer sur mon drive puis formulaire vierge comme le montre la figure 42.

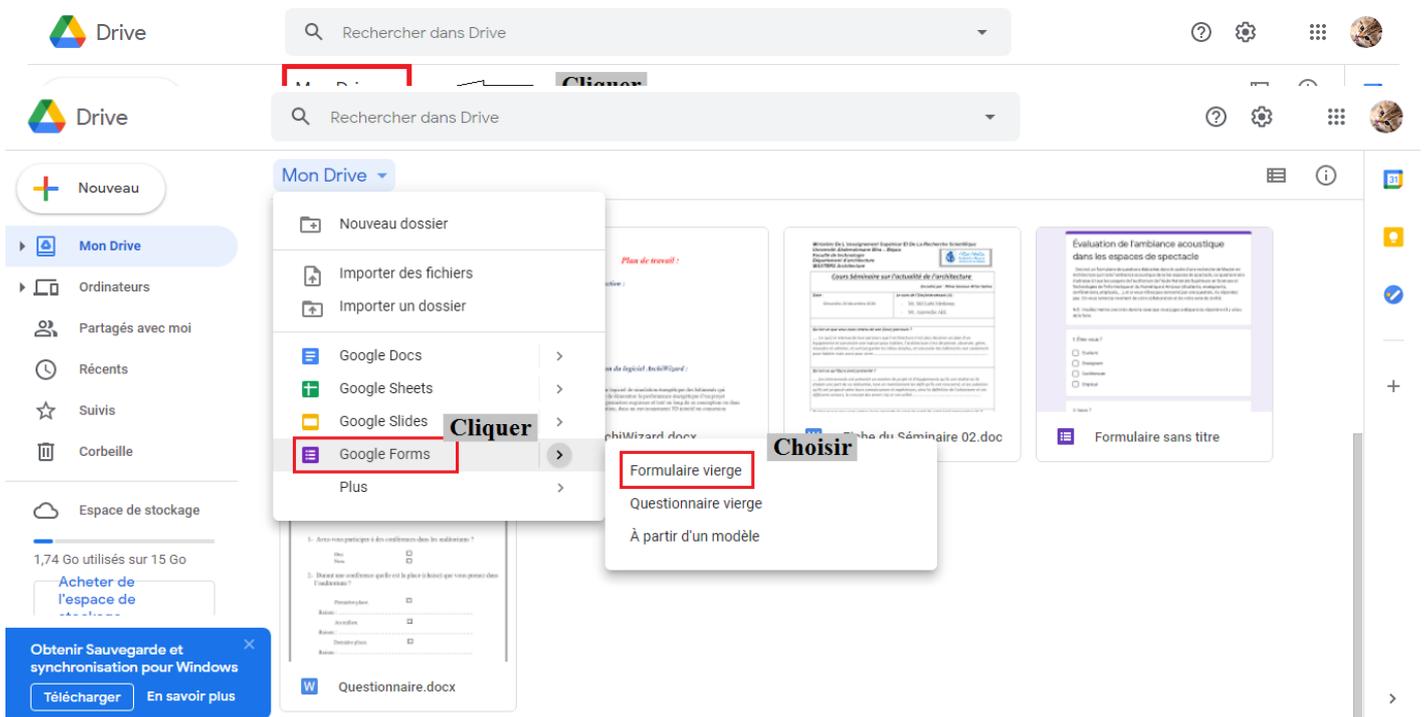


Figure 42 : Explication de la procédure du remplissage du questionnaire.

Source : Conception Auteur, 2021.

Par la suite une page sera affichée afin de remplir les questions et les choix du questionnaire : le titre, une description afin de présenter l'enquête, et après les questions et les choix.

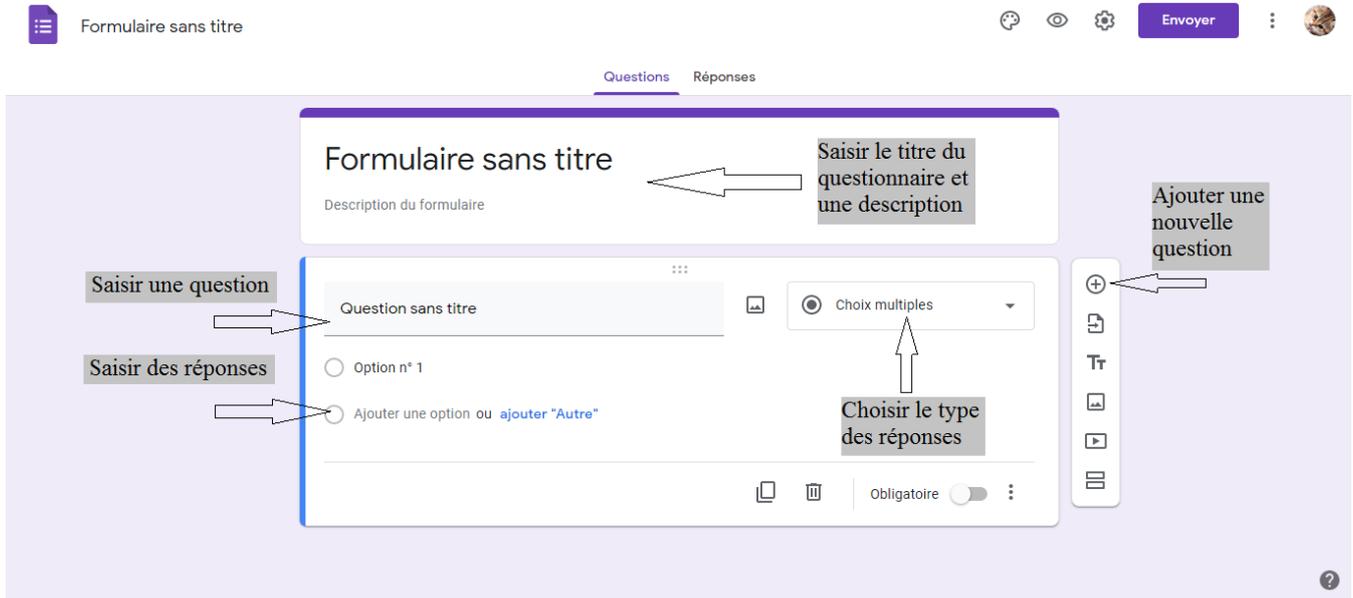


Figure 43 : Explication de la procédure du remplissage du questionnaire.
Source : Conception Auteur, 2021.

Après avoir terminé de saisir, nous avons cliqué sur obtenir le lien situé à droite en haut de l'écran de travail ; Ce lien sert pour le partager aux intéressés afin d'avoir leurs réponses.



Figure 44 : Explication de la procédure du remplissage du questionnaire.
Source : Conception Auteur, 2021.

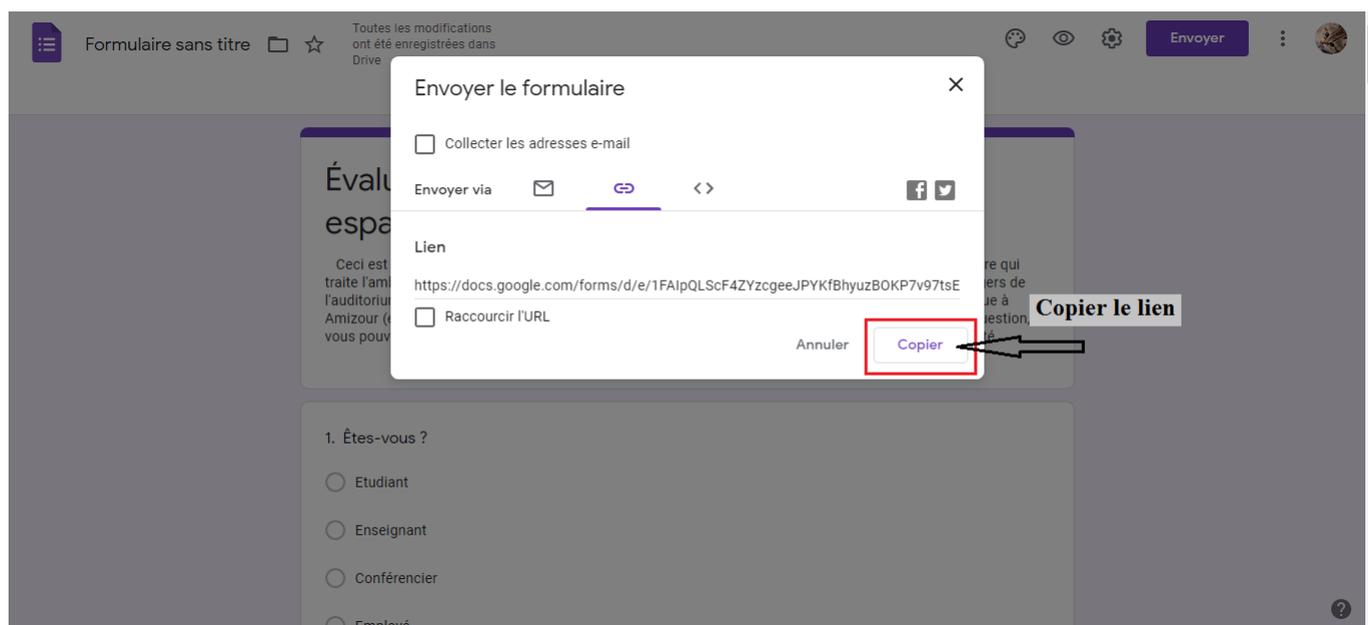


Figure 45 : Explication de la procédure du remplissage du questionnaire.
Source : Conception Auteur, 2021.

3. La simulation :

- **Modélisation :**

En premier lieu la modélisation 3D de l'auditorium du corpus d'étude été dessiné sur ArchiCad19 puis exporté avec les mêmes matériaux de construction et la même composition des parois sous format DXF afin d'analyser le son par Ecotect.

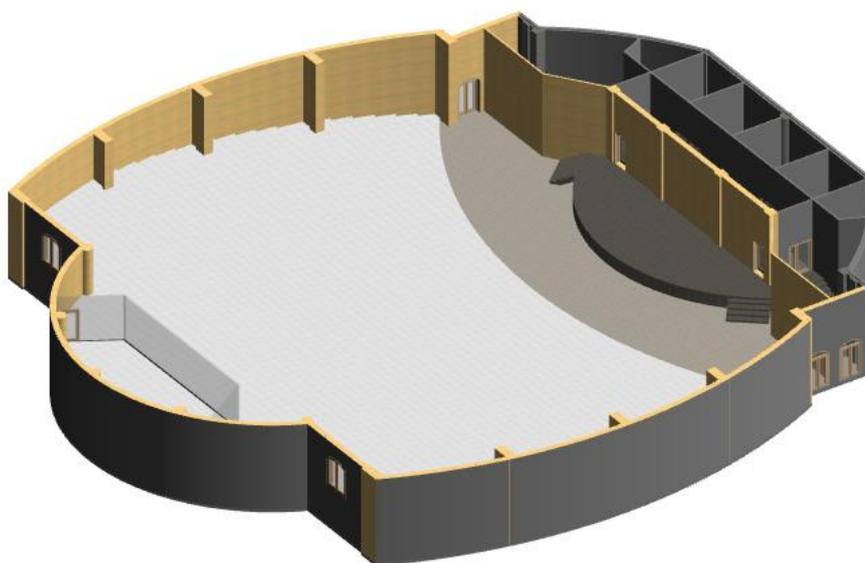


Figure 46 : La 3D de l'auditorium d'école d'Amizour.
Source : Conception Auteur, 2021.

- **Visualisation :**

En deuxième lieu, une simulation sur la 3D de l'auditorium a été effectuée à base du logiciel Ecotect, afin de valider les résultats concernant l'ambiance acoustique des processus méthodologique précédents.

- Présentation du logiciel :

Ecotect est un logiciel de simulation complet de conception depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle de détail qui associe un modèleur 3D avec des analyses solaire, thermique, acoustique et de coût.

Ecotect offre un large éventail de fonctionnalités de simulation et d'analyse. C'est un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. Il a été conçu avec comme principe que la conception environnementale la plus efficace est à valider pendant les étapes conceptuelles du design.⁴³

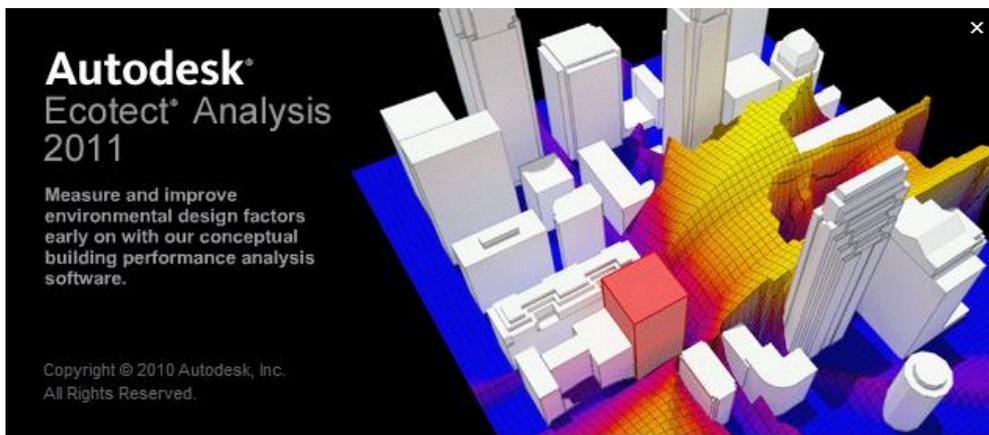


Figure 47 : Logiciel Ecotect Analysis 2011.

Source : Conception Auteur, 2021.

Logiciel d'Ecotect permet une analyse de conception durable qui fournit de nombreuses simulations et analyses énergétiques afin d'augmenter l'efficacité des bâtiments existants ou nouveaux. Ecote englobe plusieurs domaines d'utilisation dont nous pouvons citer :

- Analyse solaire ;
- Études du soleil et de l'ombre ;
- Lumière du jour et éclairage ;
- Performances thermiques ;
- Analyse énergétique de l'ensemble du bâtiment ;
- Visualisation des données météorologiques.

⁴³ MEZERDI Toufik, « *La transparence dans l'architecture tertiaire des milieux à climat chaud et sec : Cas de la ville de Biskra* », Mémoire de Magistère - Option : Architecture, forme, ambiances, et développement durable, sous la direction de BELAKEHAL Azeddine, Biskra, Université Mohamed Khider, 2012, 342 pages.

- Les procédures de vérification des résultats par simulation :

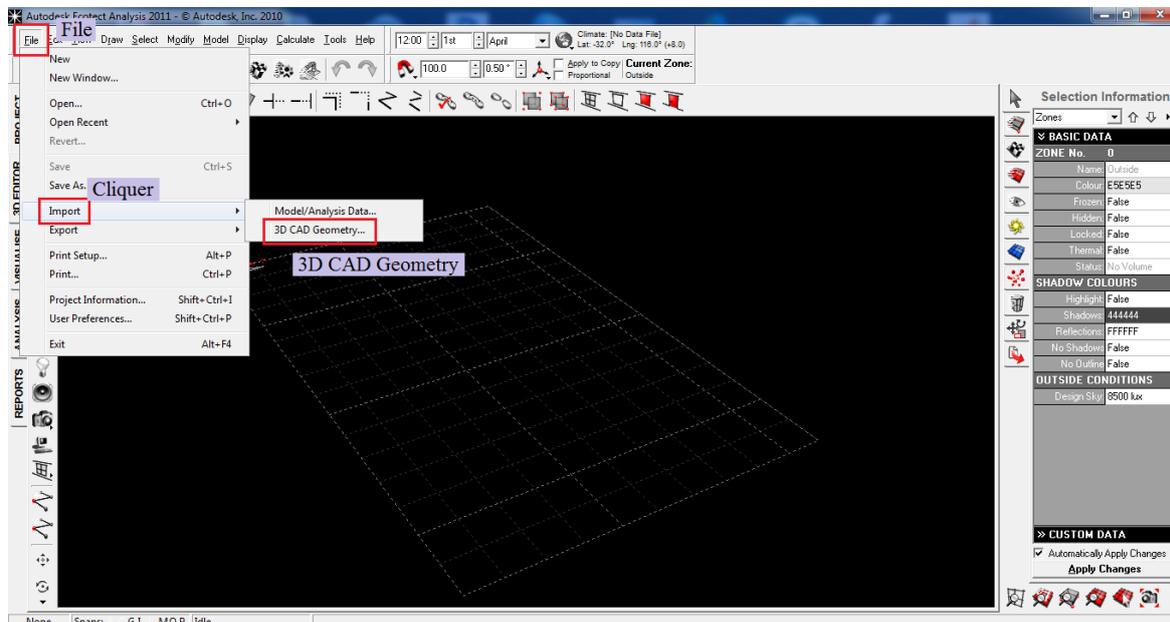


Figure 48 : Importation de la 3D de l'auditorium d'école d'Amizour.
Source : Conception Auteur, 2021.

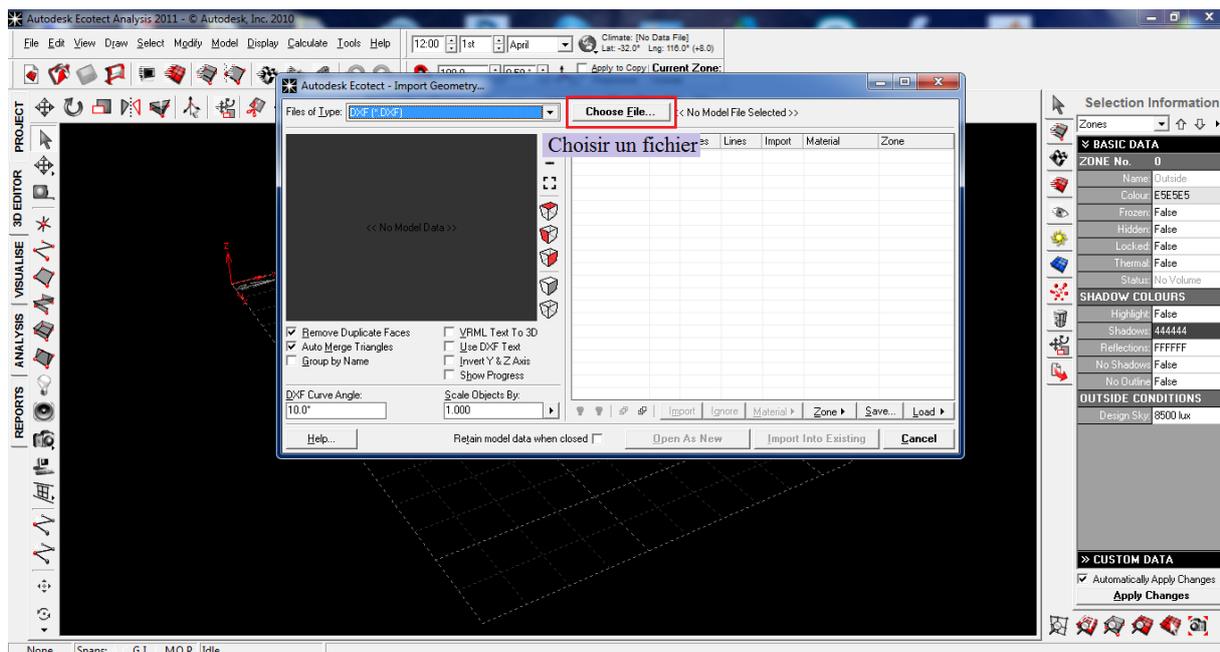


Figure 49 : Importation de la 3D de l'auditorium d'école d'Amizour.
Source : Conception Auteur, 2021.

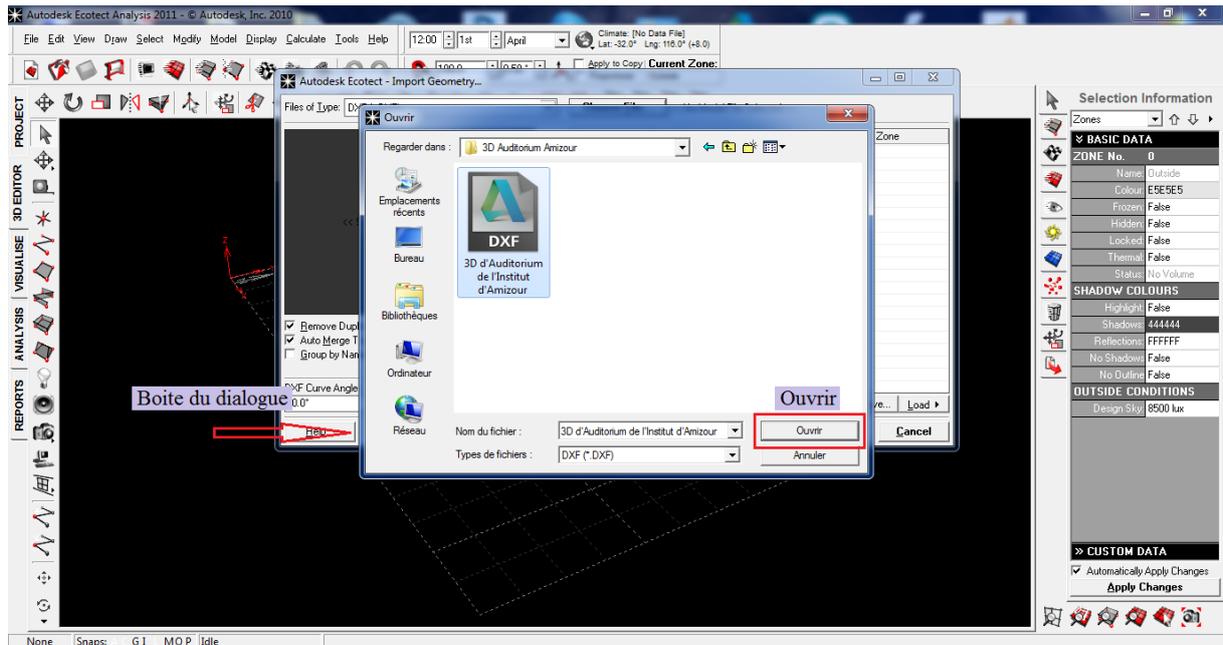


Figure 50 : Importation de la 3D de l'auditorium d'école d'Amizour.
Source : Conception Auteur, 2021.

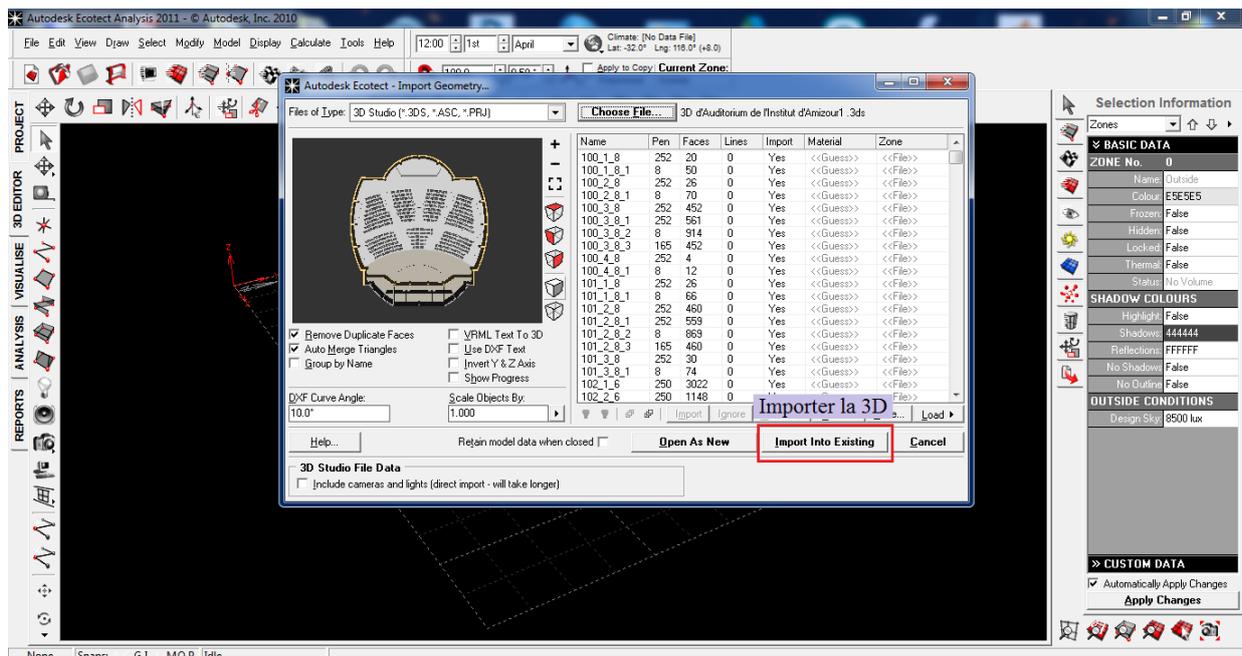


Figure 51 : Importation de la 3D de l'auditorium d'école d'Amizour.
Source : Conception Auteur, 2021.

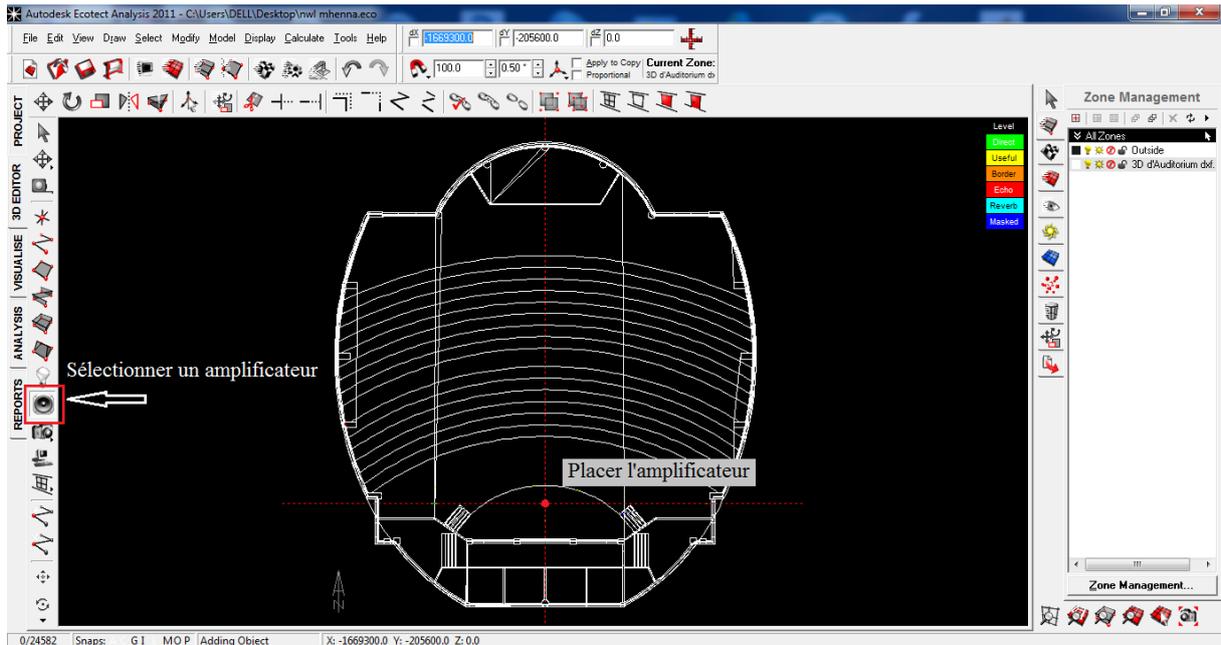


Figure 52 : L'emplacement de l'amplificateur.
Source : Conception Auteur, 2021.

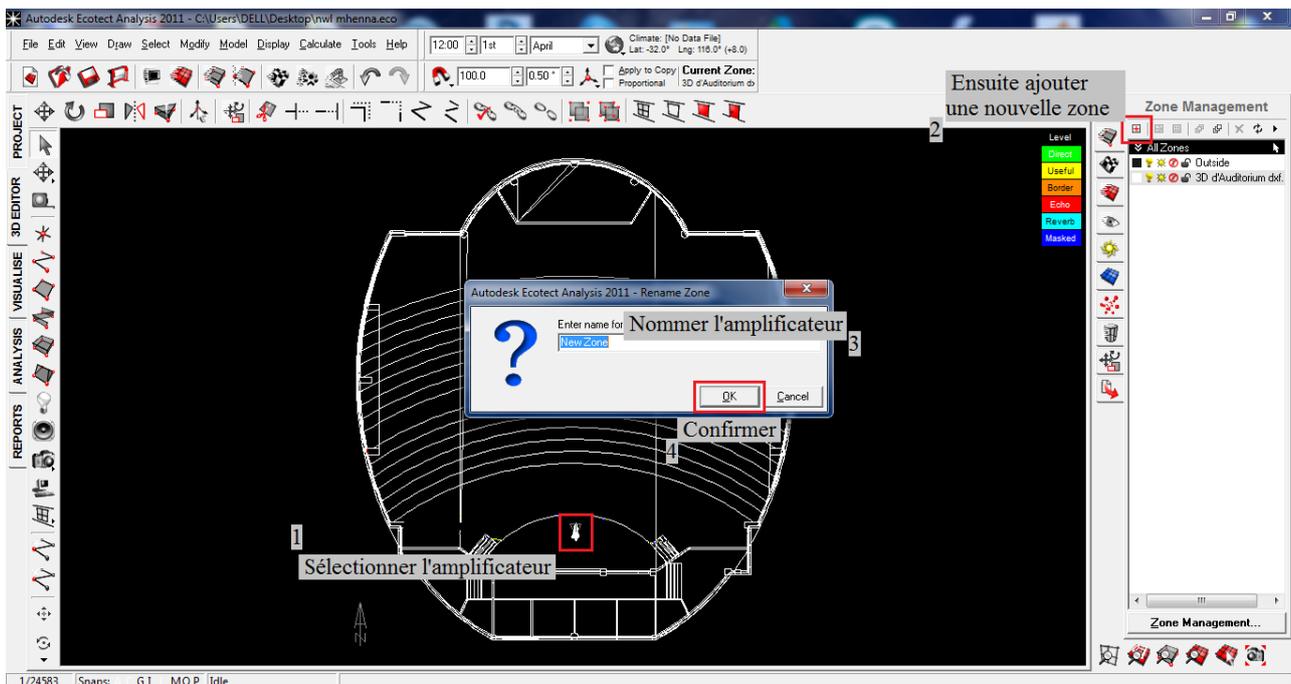


Figure 53 : Réglage de l'amplificateur.
Source : Conception Auteur, 2021.

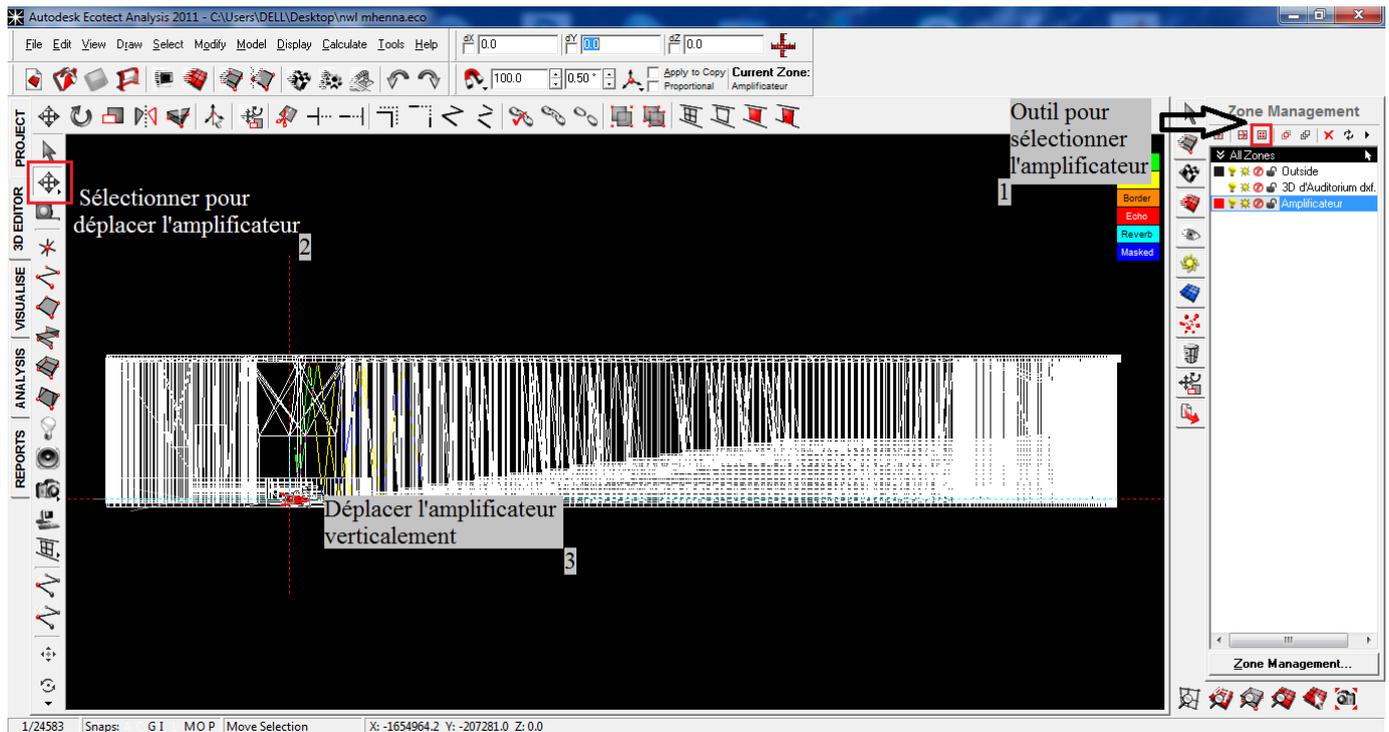


Figure 54 : Réglage de l'amplificateur.
Source : Conception Auteur, 2021.

Dans cette étape le déplacement vertical de l'amplificateur se fait à une hauteur de 2,40m ; c'est la somme de la hauteur de la scène qui est de 80cm nous lui ajoutons la hauteur de l'amplificateur par rapport à l'être-humaine qui est de 1,60m.

4. Présentation du cas d'étude :

Le cas d'étude que nous avons choisi d'analyser est l'auditorium de l'école Nationale Supérieure en Sciences et Technologies de l'Informatique et du Numérique à Amizour Wilaya de Béjaïa.

Plan de Situation :

Cette école se situe à environ 34,2 km de Béjaïa, elle se situe à la périphérie de la ville d'Amizour à environ de 2,5 km. L'école a été inauguré au l'an 2015 ; En 2019, l'université fut convertie en école Nationale Supérieure en Sciences et Technologies de l'Informatique et du Numérique ; En 2020 elle atteint 300 étudiants et 50 enseignants.⁴⁴

⁴⁴ <https://estin.dz/>



Figure 55 : Plan de situation de l'école d'Amizour. (Par rapport à Amizour ville)
 Source : Google Earth Pro (Consulté 03/07/2021).



Figure 56 : Plan de masse de l'administrartion de l'école d'Amizour.
 Source : Google Earth Pro (Consulté 03/07/2021).



Figure 57 : Plan de masse de l'auditorium de l'école d'Amizour.
Source : Google Earth Pro (Consulté 03/07/2021).

Dans cette figure nous avons superposé le plan de masse numérique que nous avons récupéré au niveau le service d'archive au Rectorat - Campus Aboudaou sur le plan de masse réalistique à l'aide de l'option de superposition disponible dans le logiciel Google Earth Pro.

Pièces graphiques :

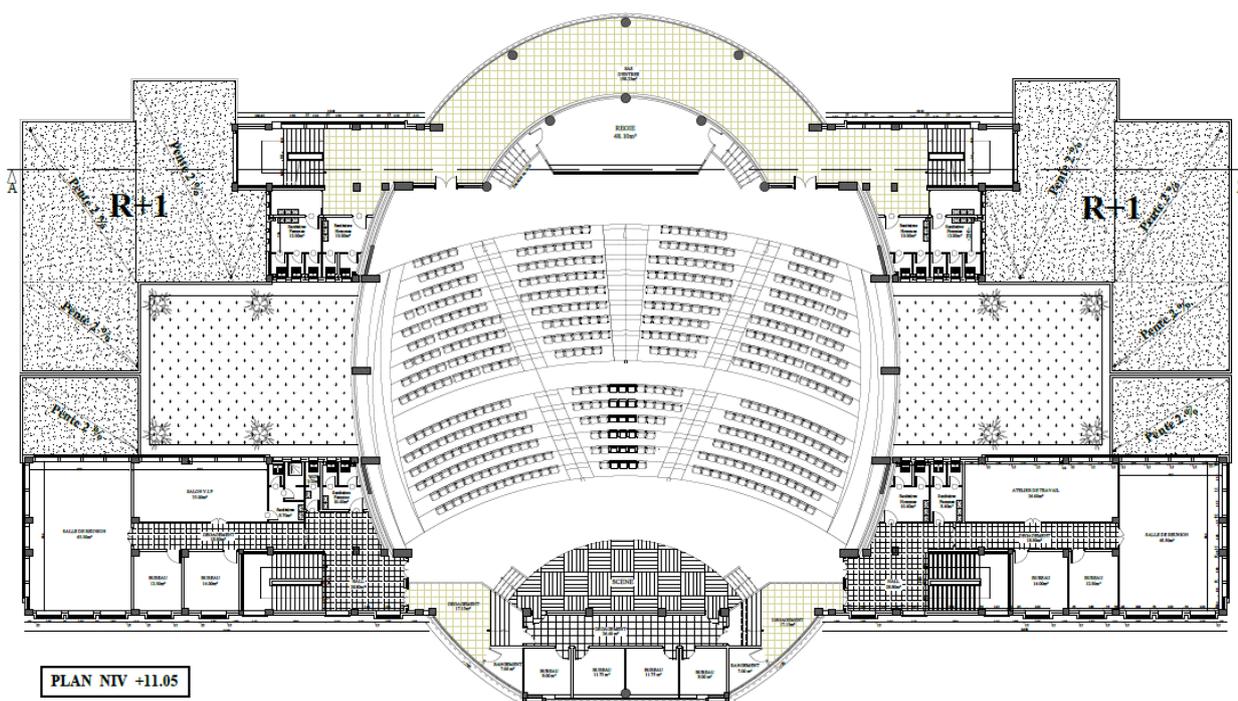


Figure 58 : Plan de l'auditorium de l'école d'Amizour.
Source : Service d'Archive au Rectorat - Campus Aboudaou.



Figure 59 : Plan de masse numérique de l'administration de l'école d'Amizour.
Source : Service d'Archive au Rectorat - Campus Aboudaou.



Figure 60 : La 3D du bloc de l'auditorium de l'école d'Amizour.
Source : Service d'Archive au Rectorat - Campus Aboudaou.

Justification du choix :

Au début nous avons un choix très varié car le mot spectacle englobe pas mal d'espace ; Dans un premier lieu notre choix s'est focalisé sur l'auditorium de la direction des Affaires religieuses et des Wakfs de Béjaia mais en raison du covid-19 nous n'avons pas l'autorisation de y'accéder donc ce choix a été annulé, alors notre deuxième choix s'est tourné vers les auditoriums au niveau des deux campus Targa-Ouzemour et Aboudaou ; Le problème de l'auditorium de campus Targa-Ouzemour c'était la non disponibilité des pièces graphique, tandis que l'auditorium du campus Aboudaou de 500 places y'avait beaucoup d'évènements dans cette auditorium auxquels nous n'avons pas la possibilité de y'assister et concernant l'auditorium de 1000 places, il a été fermé à cause des travaux de réparation à l'intérieur ; Par la suite un forum national sous le thème: "*développement durable et société: quand le patrimoine fait le lien*" a été organisé par notre club scientifique archi-béjaia au niveau de l'auditorium du l'école supérieur en science et technologie de l'informatique et du numérique à Amizour ; Cette auditorium était un espace destinée aux évènements beaucoup plus que les cours ce qui nous a permet de réaliser un travail ou nous accueillerons un grand public, c'est chose qui nous favorise l'activité du spectacle.

5. La partie empirique (In Situ) :

- **Observations in situ :**

- Les portes de l'auditorium ont été fermé afin d'éviter la moindre perturbation des mesures acoustique.



Figure 61 : Porte du côté droit.
Source : Conception Auteur, 2021.



Figure 62 : Porte du côté gauche.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

D'après les mesures acoustiques effectuées en utilisant l'application sonomètre, nous avons constaté que le niveau sonore dans l'auditorium en son état brut est compris entre 25 et 34 dB, qui est une valeur située dans le seuil d'audibilité pour une salle calme ; Mais ces normes ne sont pas suffisantes afin de juger que la qualité acoustique de l'auditorium est bonne, puisque pendant les mesures nous entendons des bruits qui parvient de l'extérieur.

- Avec source sonore (sans amplificateur) :

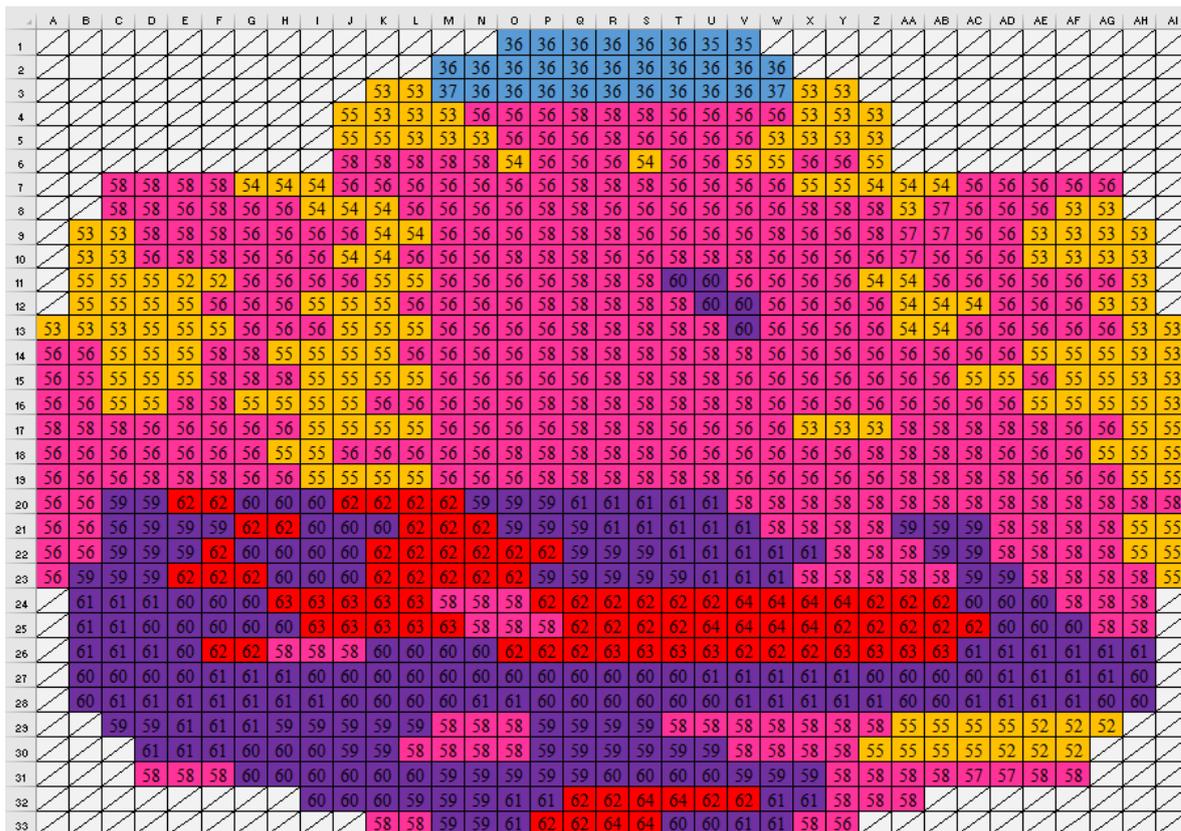
J	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI									
1															26	27	27	26	26	27	27	27																						
2															27	27	27	27	26	27	27	27	27																					
3															38	37	27	27	27	27	27	27	26	27	26	27	27	38	38															
4															38	38	38	38	38	37	37	37	41	41	39	39	39																	
5															38	38	38	40	40	40	38	38	38	37	37	37	36	36	37	37	35													
6															39	39	41	41	40	40	40	38	38	38	38	36	36	36	37	37														
7				43	43	43	43	40	40	40	43	43	42	42	42	40	40	40	40	39	39	38	38	38	38	39	39	39	38	38	37	37	37											
8				43	43	40	40	38	38	38	40	40	40	40	43	43	43	42	42	42	36	36	39	39	39	38	38	38	37	37	37	37	37											
9				43	43	43	43	41	41	41	38	38	38	40	40	40	40	40	40	39	39	39	39	39	39	37	37	38	38	37	37	37	37	37	37									
10				38	38	38	38	38	38	39	39	39	39	40	40	40	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	36	36	36	36	36	36	35	35	35									
11				38	38	38	38	38	39	39	39	39	40	40	40	40	38	38	38	38	39	39	38	39	39	38	38	37	37	37	38	38	37	37	37									
12				38	38	38	38	39	39	38	39	39	40	40	40	39	39	38	38	38	38	39	39	39	38	38	37	37	38	38	37	37	37	37										
13				38	38	38	37	37	40	40	39	39	38	38	43	43	43	43	39	39	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40	40	38	38	38	38	38								
14				38	38	38	39	39	39	43	43	43	39	39	39	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39	40	40	40	40	39	39	39	39	38	38	38	38							
15				38	38	38	38	39	39	42	40	40	40	39	39	38	38	38	39	39	38	38	38	39	39	40	40	40	39	39	39	39	39	38	38	38	38							
16				42	42	42	42	42	40	40	40	41	41	41	41	40	40	40	40	43	43	43	38	38	38	38	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40						
17				42	42	42	42	40	40	40	41	41	40	40	40	40	40	43	43	43	43	40	40	40	40	39	39	38	38	38	38	39	39	40	40	40	40	40	40					
18				42	42	42	42	40	40	40	40	41	41	40	40	40	43	43	43	43	40	40	40	38	38	39	40	40	39	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40					
19				42	42	42	42	40	40	40	40	40	42	42	42	40	40	40	41	41	41	41	40	40	40	40	40	39	39	41	41	41	41	41	41	42	42	42	42					
20				42	42	42	42	41	41	41	41	41	40	40	41	41	41	41	41	40	40	40	40	40	40	40	40	39	39	39	41	41	41	41	41	41	41	42	42	42				
21				41	41	41	41	41	40	40	40	40	40	40	41	41	41	41	41	40	44	44	44	44	44	40	40	40	40	40	43	43	43	43	43	42	42	42	42	42				
22				41	41	41	41	42	42	42	42	40	40	40	41	41	41	41	41	41	44	44	44	41	41	41	41	41	41	41	41	43	43	43	43	43	43	42	42	42				
23				40	40	40	40	40	43	43	43	43	43	43	44	44	44	44	44	44	45	45	45	45	40	40	40	40	40	41	41	40	40	41	41	40	40	41	41					
24				40	40	40	40	42	42	42	40	40	40	43	43	43	44	44	44	44	44	44	44	44	40	40	41	41	41	41	41	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41			
25				40	40	40	40	40	40	40	40	44	44	44	44	44	44	41	41	46	46	46	46	46	47	47	47	43	43	43	42	42	42	42	40	40	40	40	40	40				
26				40	40	41	41	41	40	40	41	41	41	41	44	44	44	44	46	46	46	46	46	44	44	44	44	42	42	42	42	42	42	40	40	40	40	40	40	40	40			
27				42	42	42	43	43	43	43	43	44	44	44	44	47	47	48	48	48	45	45	45	45	48	48	48	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47			
28				42	42	42	42	43	43	44	44	44	45	45	45	48	48	48	47	47	48	48	48	47	47	48	48	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47			
29				41	41	41	40	40	42	42	44	44	44	44	44	43	48	48	48	48	45	45	45	48	48	45	45	45	45	41	41	41	40	40	41	40	40	40	40	40	40	40		
30				41	42	42	44	44	43	43	44	44	44	44	44	44	48	48	45	45	45	48	48	48	45	45	45	45	41	41	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40		
31				43	43	43	43	44	44	44	48	48	48	48	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49	49	46	46	46	44	43	43	42	42										
32											44	44	48	48	48	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49	49	46	46															
33											44	44	44	50	50	50	50	56	50	50	50	56	56	49	49																			

Légende	
	25 dB - 26 dB
	35 / 36 / 37 dB
	38 / 39 / 40 dB
	41 / 42 / 43 dB
	44 / 45 / 46 dB
	47 / 48 / 49 dB
	50 / 56 / 58 dB

Interprétation :

D'après les mesures acoustiques effectuées en utilisant l'application sonomètre, nous avons constaté que le niveau sonore dans l'auditorium avec une source sonore sans un amplificateur est compris entre 25 et 58 dB, qui est une valeur située dans le seuil d'audibilité pour une conversation normale ; Mais ces normes ne sont pas suffisantes afin de juger que la qualité acoustique de l'auditorium est bonne ; Dans la figure nous remarquons que la propagation du son est faible sans l'aide d'un amplificateur, seul les gens qui sont assis au premiers rangs peuvent entendre clairement.

- Avec source sonore (avec amplificateur)



Légende	
	35 / 36 / 37 dB
	52 / 53 / 54 / 55 dB
	56 / 57 / 58 dB
	59 / 60 / 61 dB
	62 / 63 / 64 dB

Interprétation :

D’après les mesures acoustiques effectuées en utilisant l’application sonomètre, nous avons constaté que le niveau sonore dans l’auditorium avec une source sonore et amplificateur est compris entre 35 et 64 dB, qui est une valeur située dans le seuil d’audibilité pour une conversation normale ; Mais ces normes ne sont pas suffisantes afin de juger que la qualité acoustique de l’auditorium est bonne ; Dans la figure nous remarquons que la propagation du son est assez acceptable mais qu’elle diminue depuis le premier rang jusqu’au dernier rang.

La variation des valeurs inexplicable et anarchique qui se trouve au niveau de l’auditorium est due à l’existence des amplificateurs ponctuels incrustés dans le plafond, qui sont souvent mal réglés.

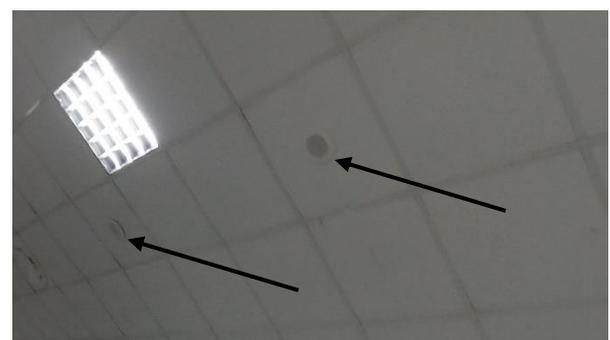
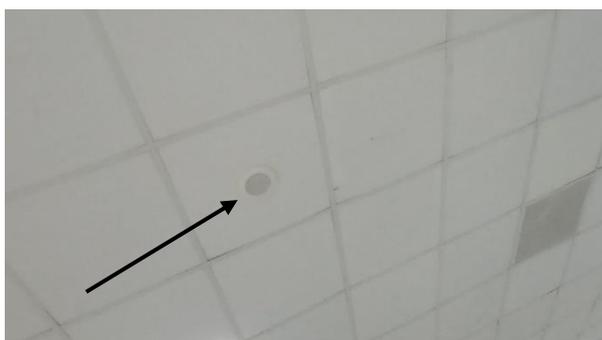


Figure 64 : Un seul amplificateur ponctuel aux derniers rangs. Source : Conception Auteur, 2021.

Figure 65 : Deux amplificateurs ponctuels aux premiers rangs. Source : Conception Auteur, 2021.

Synthèse :

A base des interprétations des trois cas effectués lors des prises in situ (*Sans source sonore, Avec source sonore-sans amplificateur, Avec source sonore-avec amplificateur*) ou nous avons essayé de comprendre le concept de la propagation des ondes sonores et leurs comportements dans un espace fermé et destinée aux publics.

L'auditorium à son état brut peut offrir un calme mais qui ne dure plus, et cela à cause du manque de matériaux absorbants et l'isolation sonore contre les bruits d'équipements ce qui fait que la phase d'isolation acoustique a été incomplète.

Selon les valeurs de la deuxième interprétation du deuxième cas où la source sonore est diffusée sans amplificateur, nous distinguons que presque sauf les auditeurs qui occupent les premiers rangs peuvent entendre la source sonore convenablement, par contre ceux des derniers rangs auront des problèmes d'écoute ; Et afin d'éviter ces problèmes d'écoute, nous pouvons toujours renforcer la source sonore par un amplificateur ; C'est une solution qui règle la moitié du problème, car si nous suggérons que ceux des derniers rangs entendent bien avec l'utilisation d'un amplificateur, les auditeurs des premiers rangs seront dans la phase de l'inconfort sonore, et l'utilisation des amplificateurs ponctuels mal gérés ne fait qu'empirer la situation.

Les valeurs acoustiques de la loge de l'auditorium contrairement à la scène et aux gradins ont été beaucoup satisfaisantes dans tous les cas effectués, bien évidemment cela est dû au matériau de construction utilisé pour concevoir la loge qui est le double vitrage.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons contribué à expliquer la méthodologie choisie pour mener notre étude analytique, et ainsi présenter le cas d'étude sur lequel la simulation et le questionnaire ainsi que les prises de mesure ont été établies, ensuite nous avons entamé l'interprétation des résultats des mesures in situ qui ont abouti à

Cependant dans le chapitre prochain nous allons nous focaliser sur l'interprétation des résultats de la simulation en parallèle avec l'enquête par questionnaire afin d'exposer l'analyse qualitative et quantitative de la qualité sonore dans les espaces de spectacle.

CHAPITRE 04 :
Résultats simulation et
enquête

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons suivre le comportement sonore et la qualité acoustique dans notre cas d'étude, par l'interprétation des résultats de la simulation et les correspondre avec l'enquête par questionnaire ; C'est notre analyse qualitative et quantitative de la qualité sonore dans les espaces de spectacle.

1. Simulation :

- Avec source sonore (sans amplificateur/500 Htz):

Temps 01 :

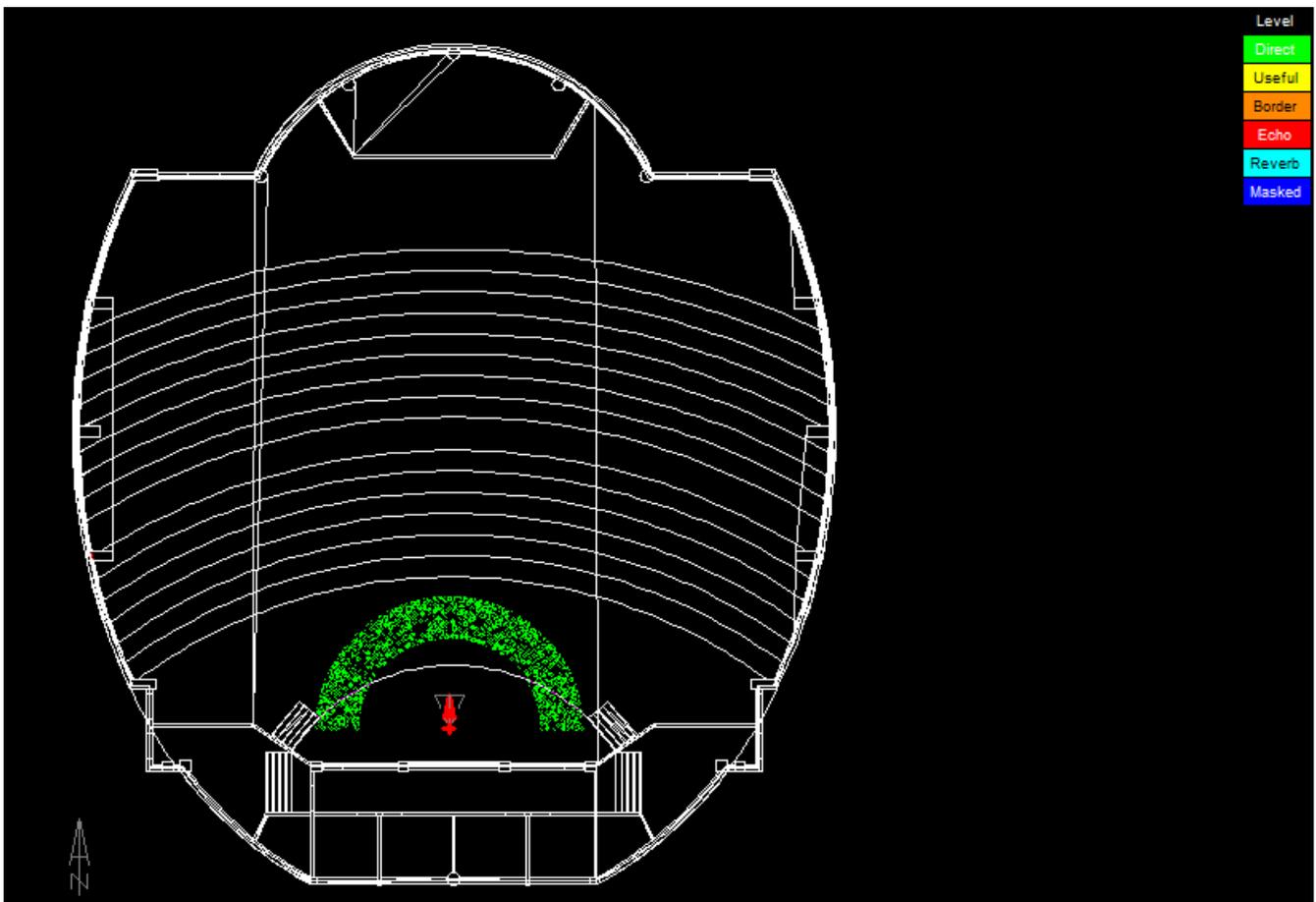


Figure 66 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le premier temps nous observons juste le son direct qui se situe devant la scène.

Temps 02 :

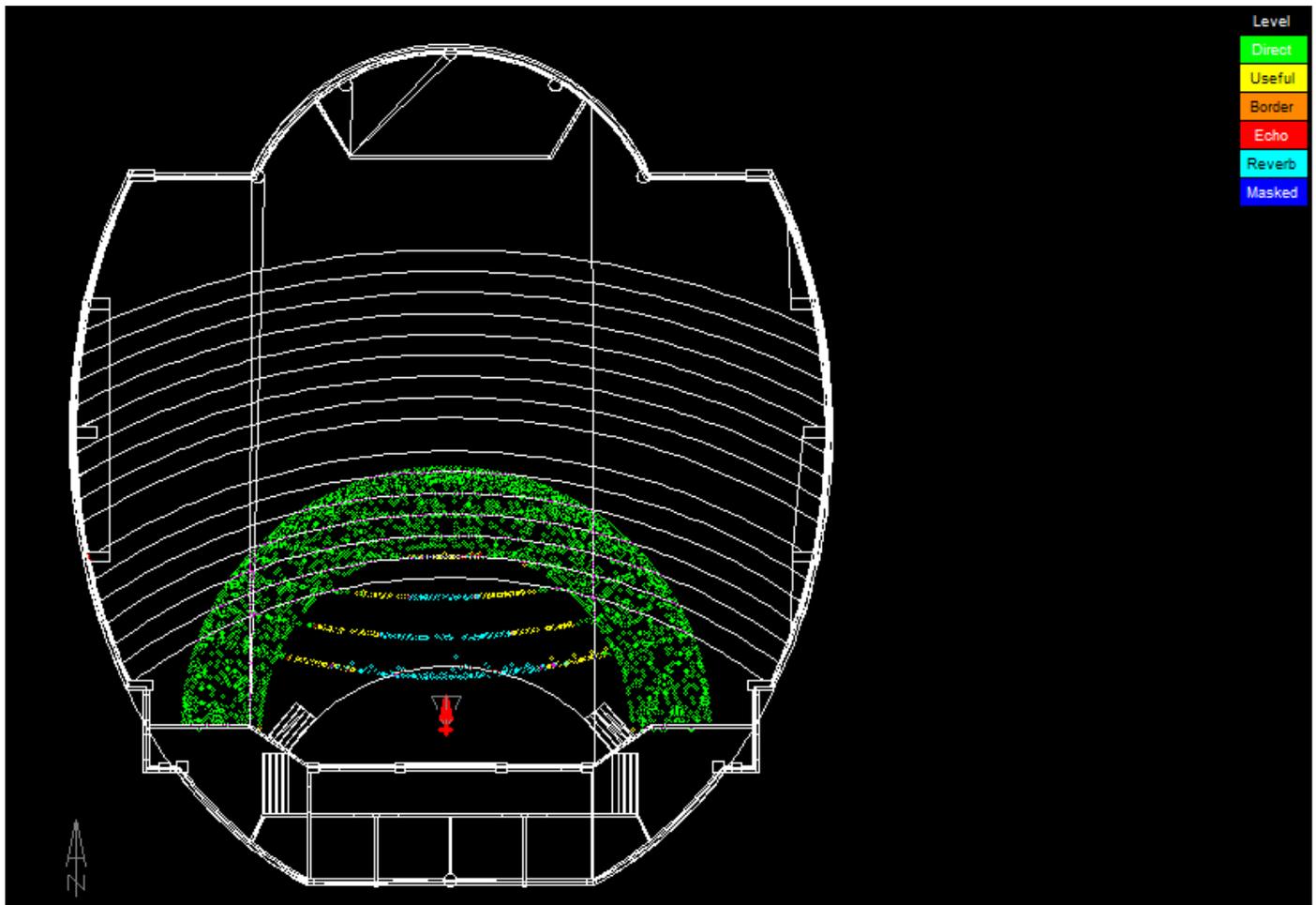


Figure 67 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le deuxième temps, quand le son direct attend un tiers de l'auditorium, nous avons l'apparition du son réfléchi juste après le son direct et une réverbération au niveau de l'avant de la scène.

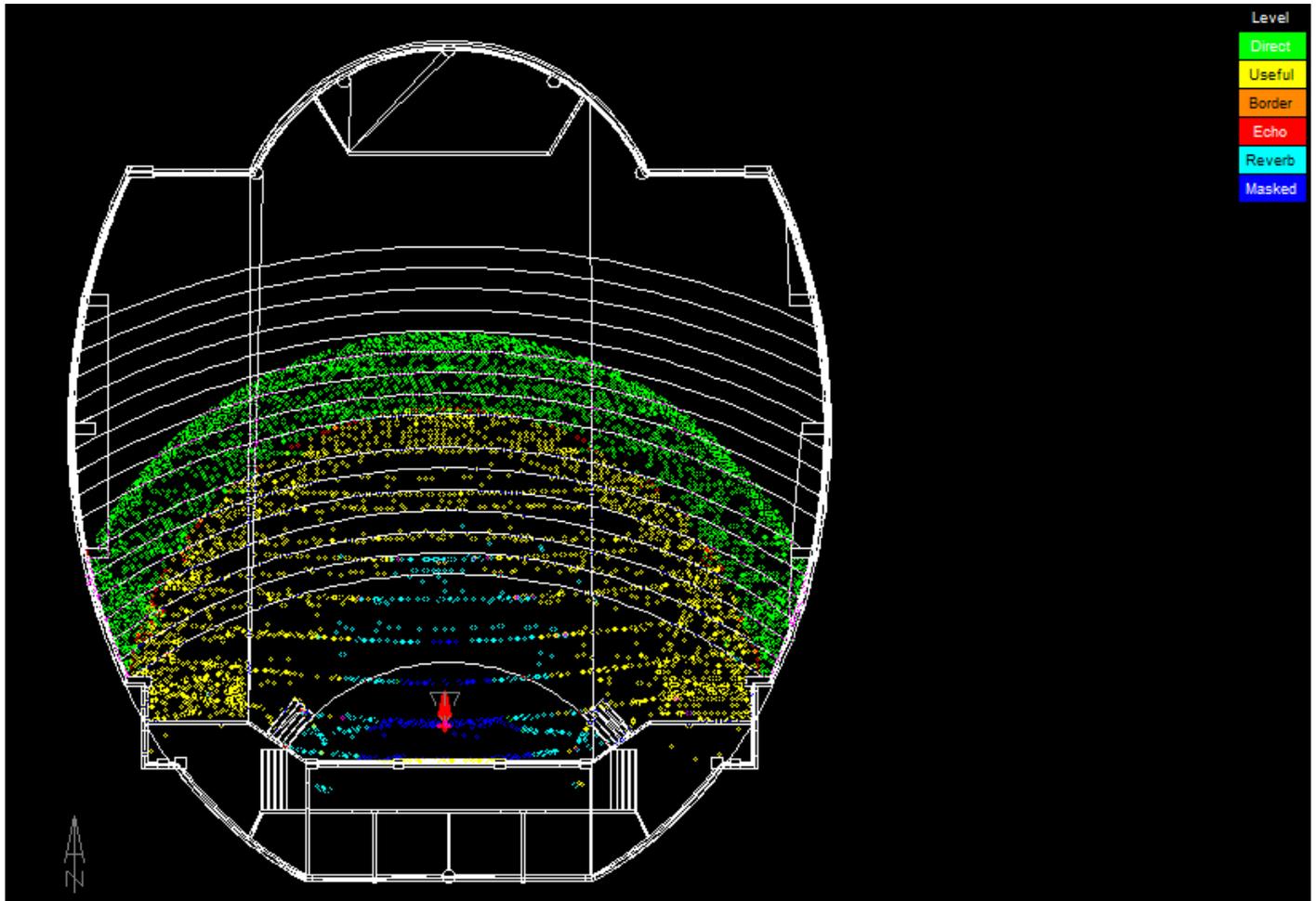
Temps 03 :

Figure 68 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le troisième temps, nous remarquons l'apparition du son masqué au niveau de la source sonore, et un grand pourcentage du son réfléchi qui presque occupe la moitié de l'auditorium, nous observons ainsi de la réverbération devant la scène et l'apparition de l'écho d'un tout petit pourcentage aux deux côtés de la salle ce qui justifier la réponse des gens interrogés à propos de l'écho, et le son direct qui est toujours présent.

Temps 04 :

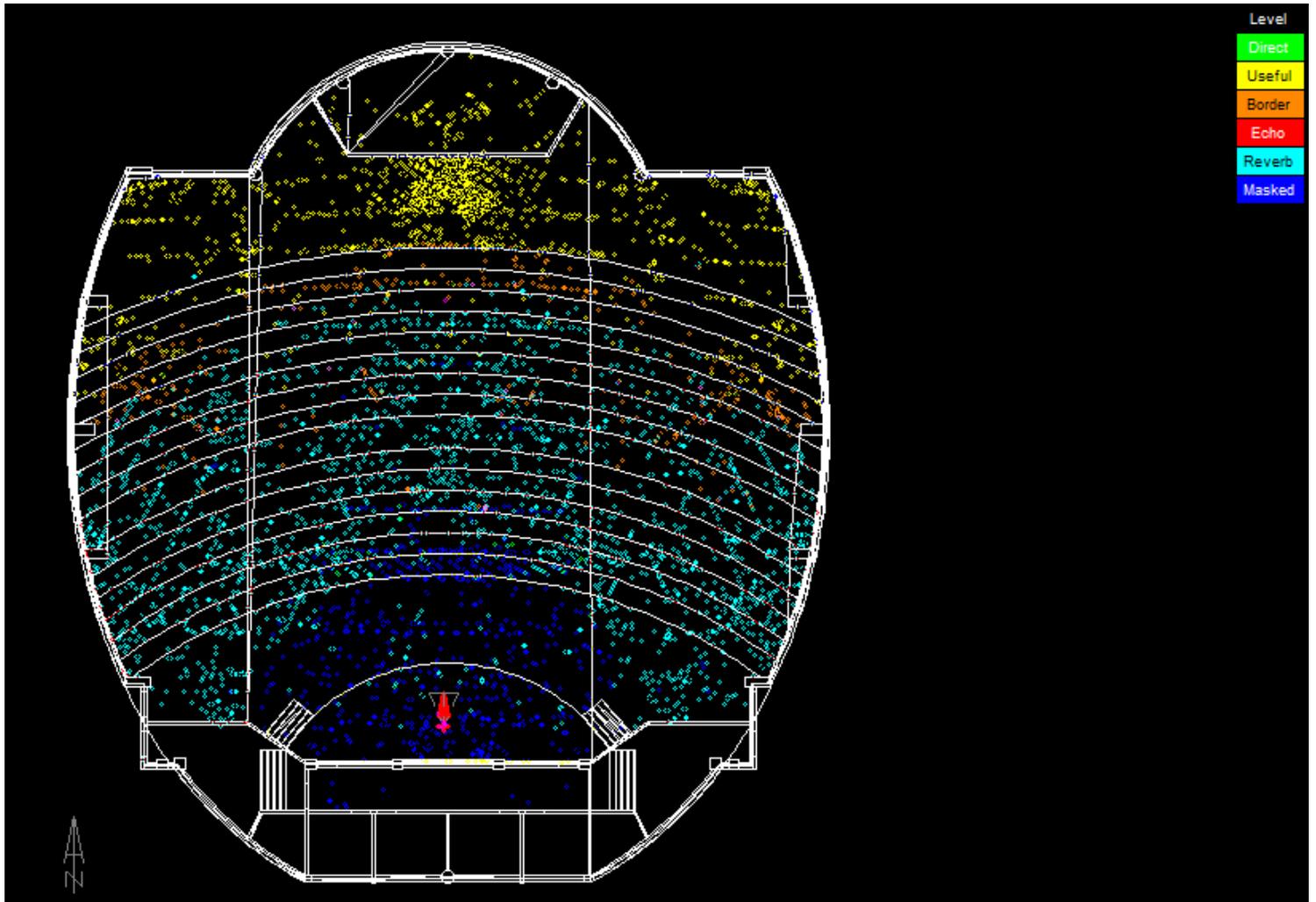


Figure 69 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le quatrième temps, lorsque le son direct atteint la limite de notre auditorium, 50% du son qui caractérise l'auditorium est de la réverbération, un tiers et de nature réfléchi, et le devant de la scène est un son masqué, comme nous remarquons aussi une toute légère apparition de l'échos au niveau des premiers rangs de l'auditorium, et ainsi nous observons une limite sonore au niveau des derniers rangs.

Temps 05 :

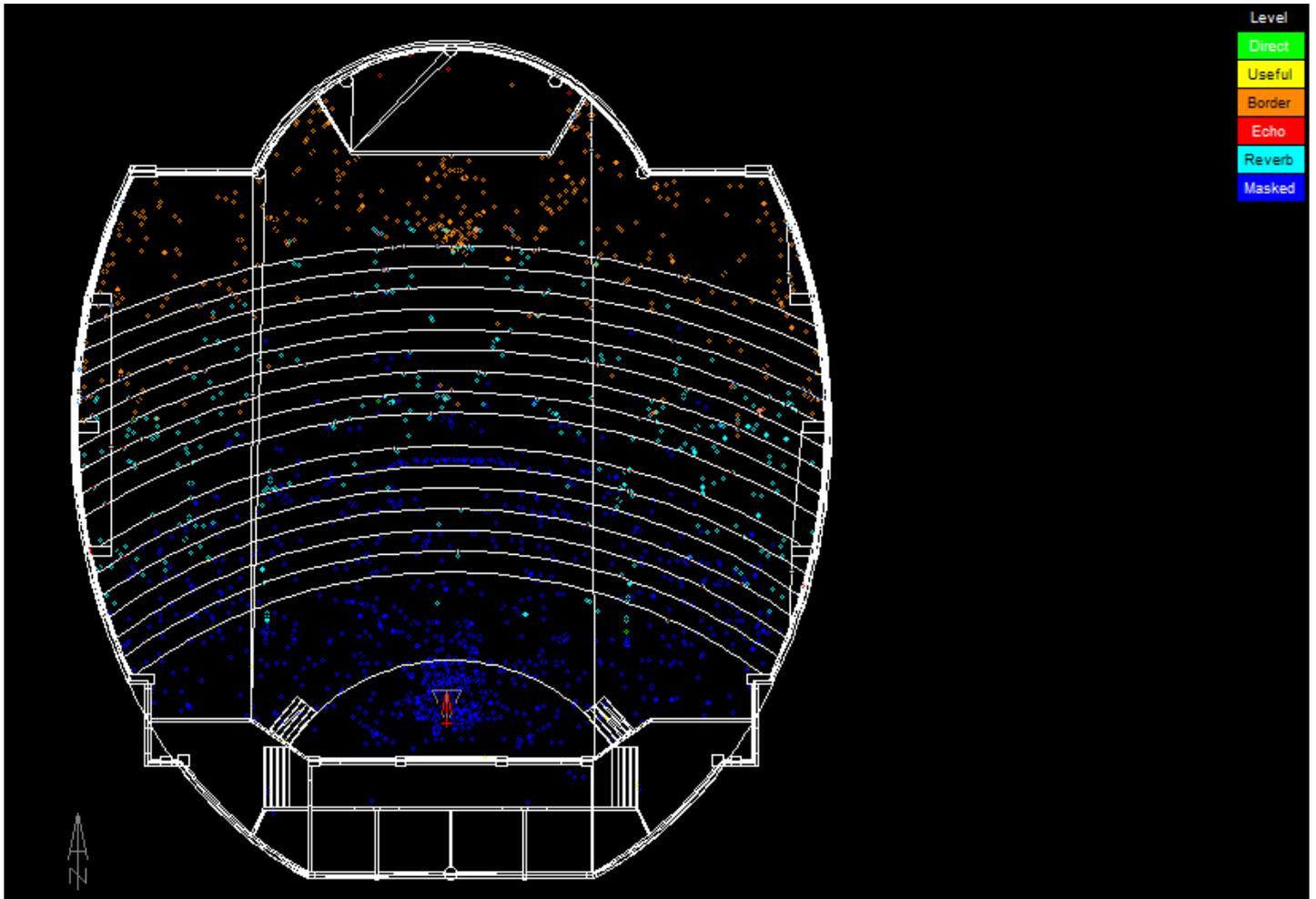


Figure 70 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le cinquième temps et dernier, nous remarquons que le son masqué règne sur l'auditorium, et la présence de la réverbération au niveau des derniers rangs et au milieu, et enfin des barrières sonores qui se trouvent au fond à la limite de la salle.

- Avec source sonore (sans amplificateur/1000 Htz) :

Temps 01 :

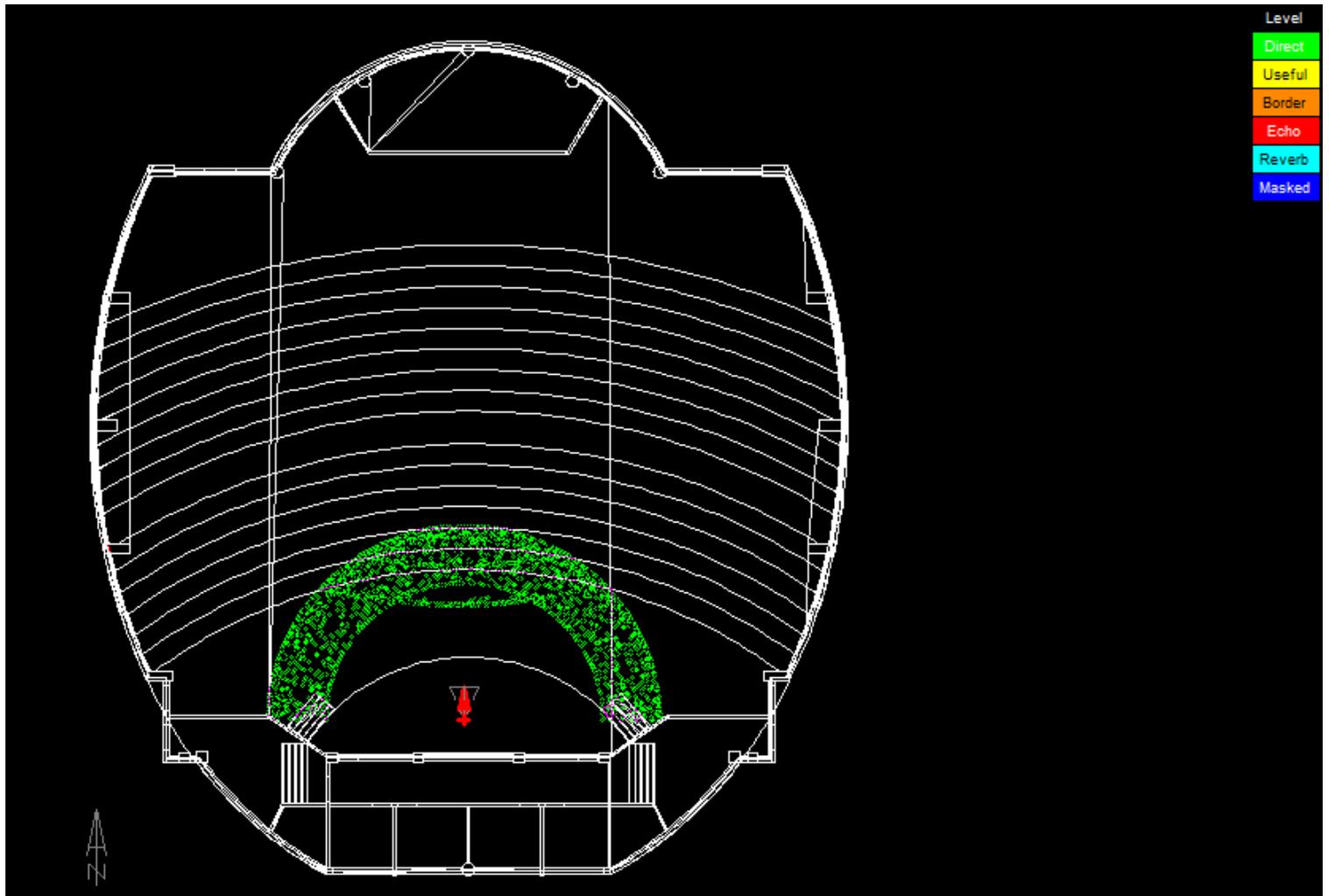


Figure 71 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le premier temps nous observons le son direct qui se situe devant la scène au niveau des premiers rangs précisément au milieu ; C'est ce qui justifie la réponse des gens interrogés à propos de leurs rangs et côté préférés.

Temps 02 :

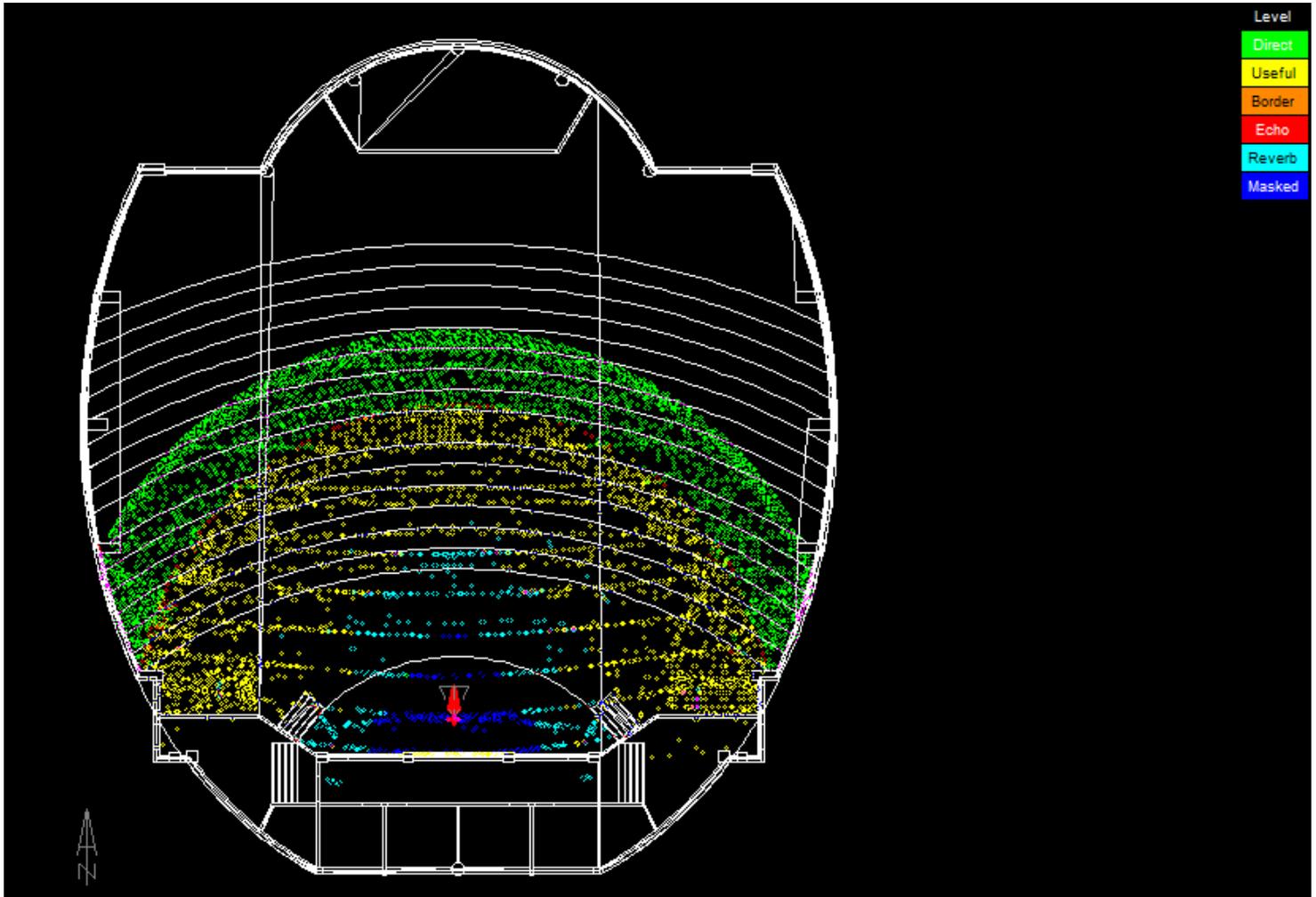


Figure 72 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le deuxième temps, nous remarquons l'apparition du son masqué au niveau de la source sonore, et un grand pourcentage du son réfléchi qui presque occupe la moitié de l'auditorium, nous observons ainsi de la réverbération devant la scène et l'apparition de l'écho juste après le son direct et le son direct qui est toujours présent.

Temps 03 :

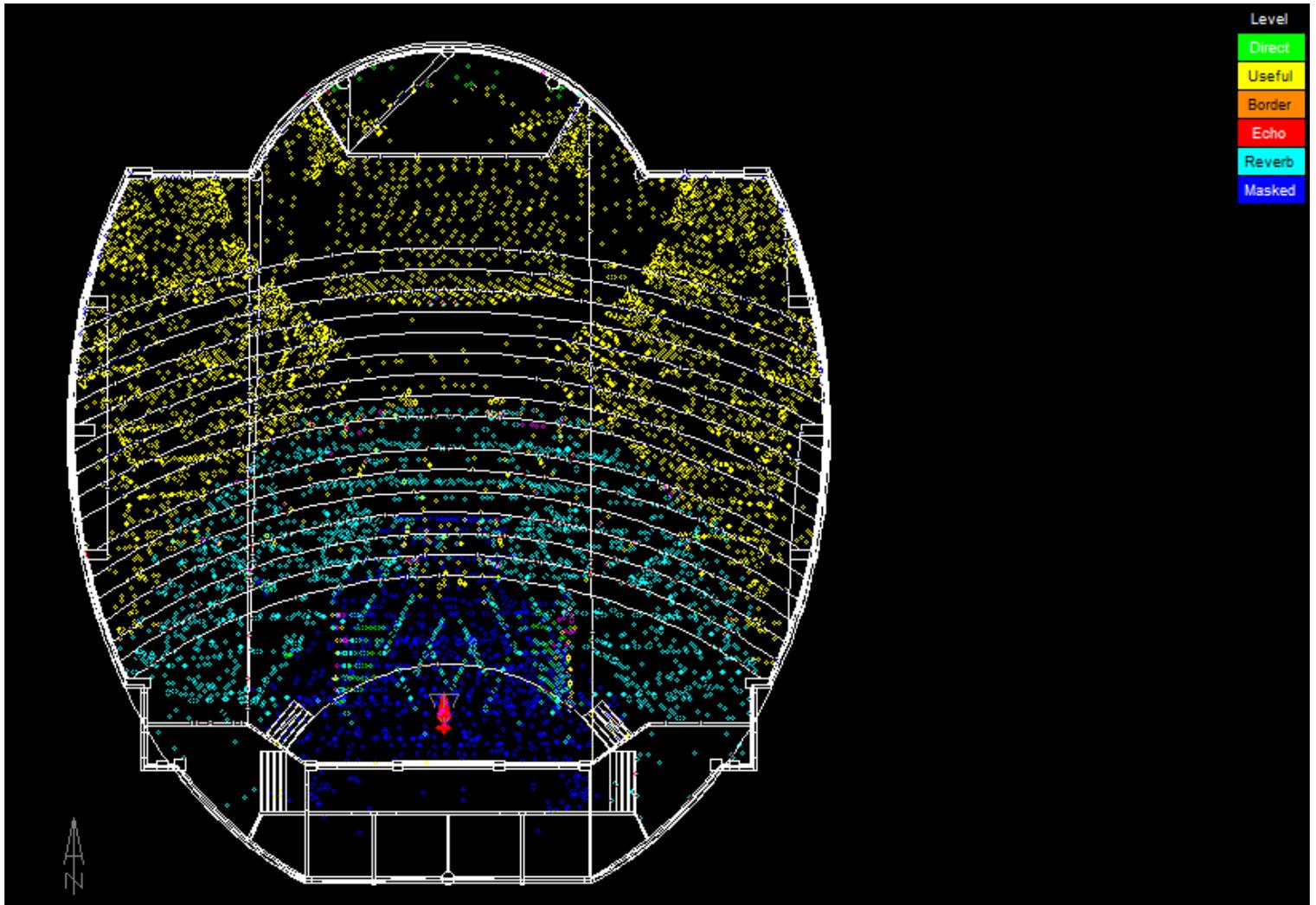


Figure 73 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le troisième temps, lorsque le son direct atteint la limite de notre auditorium, 50% du son qui caractérise l'auditorium est de nature réfléchi, un tiers c'est de la réverbération, et le devant de la scène est un son masqué, comme nous remarquons aussi une apparition de l'échos d'un petit pourcentage au niveau des premiers rangs de l'auditorium.

Temps 04 :

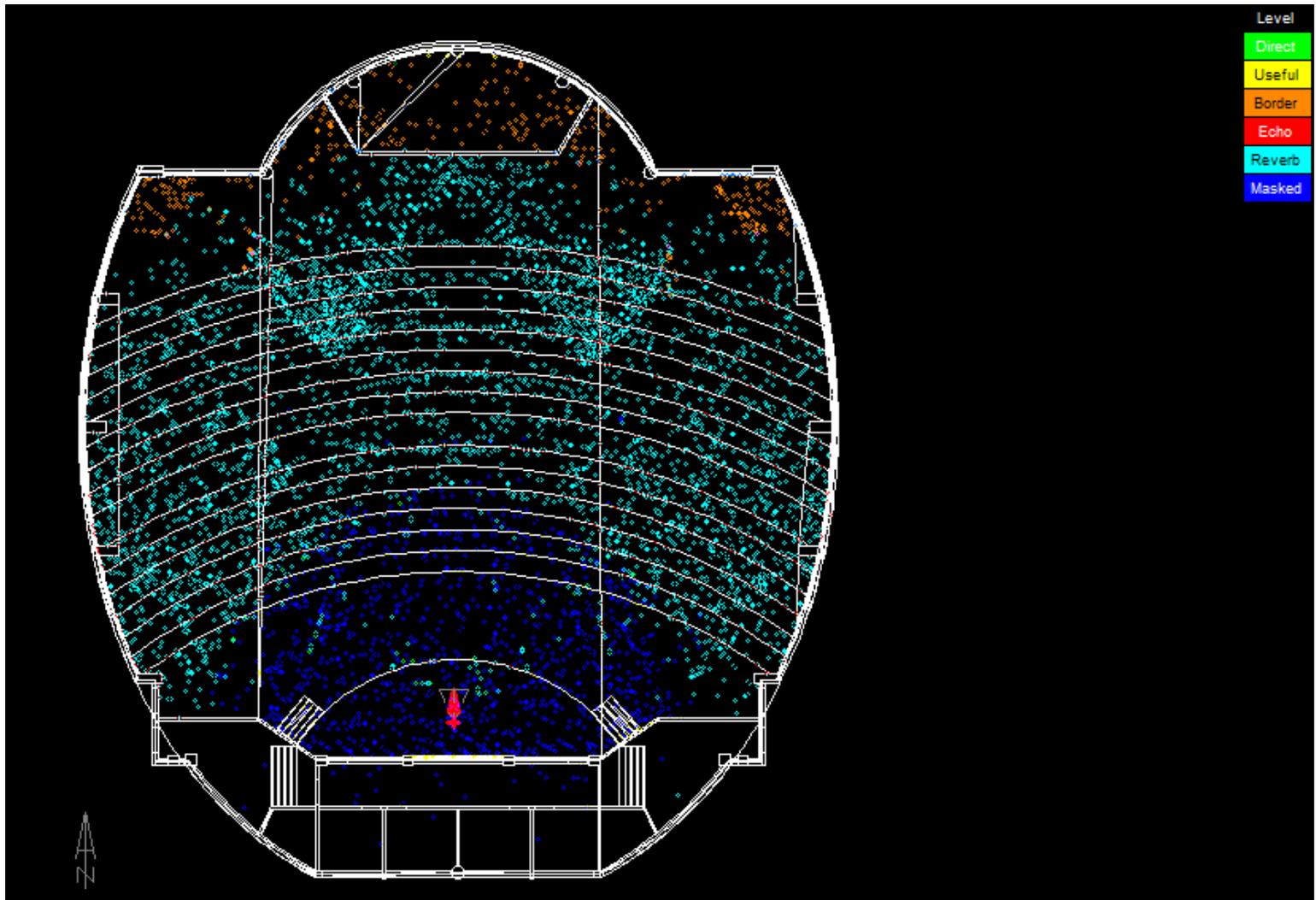


Figure 74 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le quatrième temps, nous remarquons que le son masqué occupe la scène et les premiers rangs, la réverbération occupe un pourcentage de 50% de l'auditorium, et enfin des barrières sonores qui se trouvent au fond à la limite de la salle.

Temps 05 :

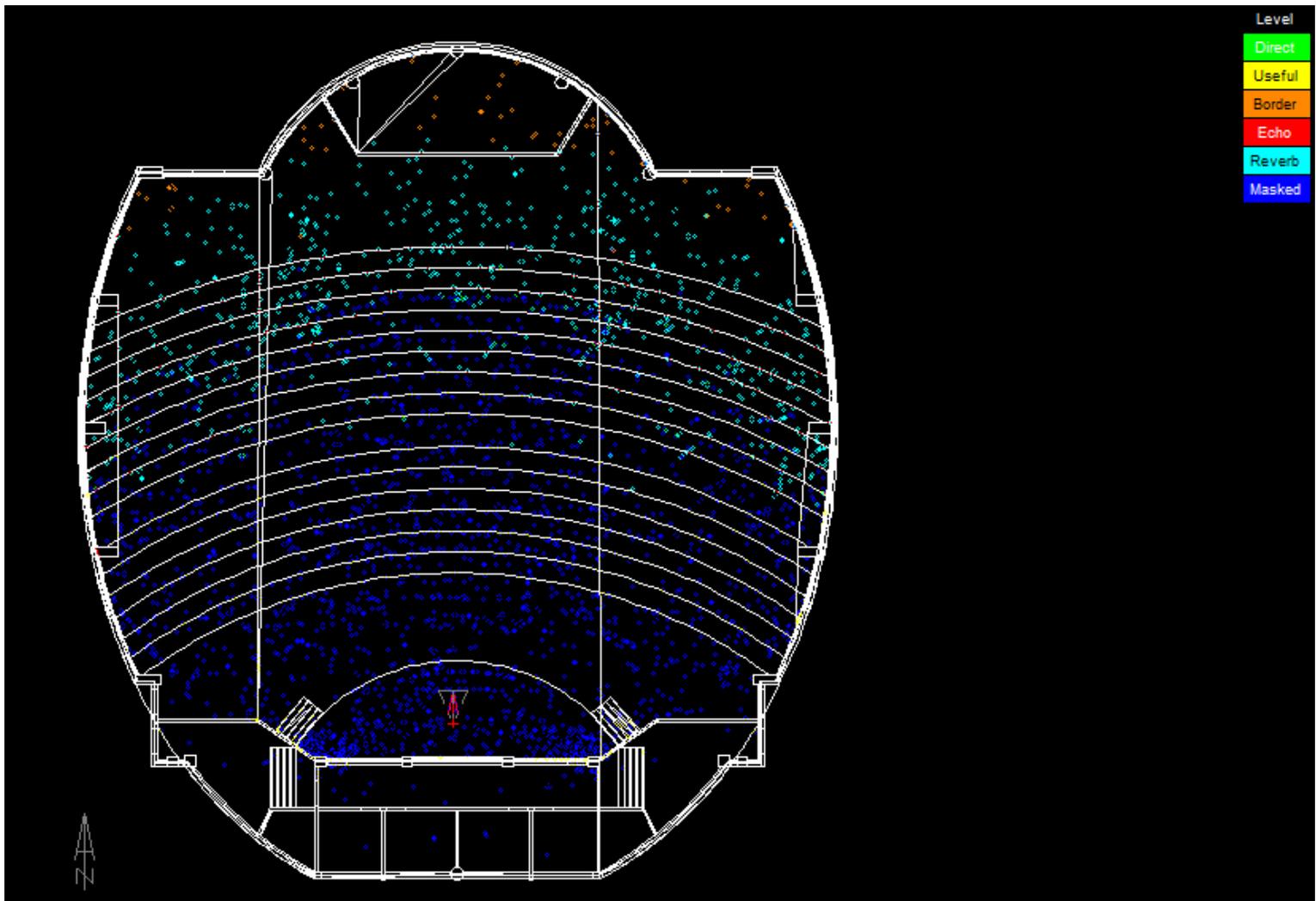


Figure 75 : Simulation de la propagation sonore.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Dans le cinquième temps et dernier, nous remarquons que le son masqué règne sur l'auditorium, et la présence de la réverbération nous au niveau des derniers rangs, et enfin des barrières sonores qui se trouvent au fond à la limite de la salle d'un petit pourcentage.

2. Enquête par questionnaire :

Nous avons partagé le lien du questionnaire aux étudiants, aux enseignements et à toutes personnes ayant une relation avec la communauté universitaire et qui ont déjà assisté à des conférences au niveau de l'auditorium d'école d'Amizour, et bien précisément nous avons partagé le lien du questionnaire avec les étudiants de l'école d'Amizour ; Le nombre des gens qui ont pu répondre à l'enquête est de 65 personnes.

Les questions significatives sont renvoyées aux annexes.

- Questions d'ordre morphologique :

Nous regroupons dans cette catégorie morphologique les questionnes qui portent sur les rangs et le côté occupé dans l'auditorium.

4. Quel rang occupez-vous dans l'auditorium souvent ?

66 réponses

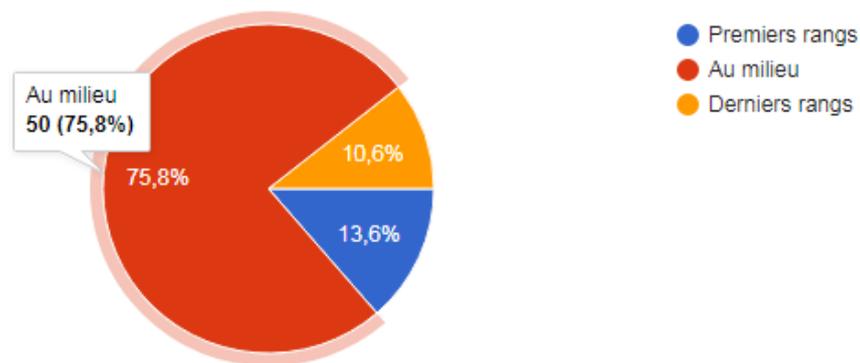


Figure 76 : Le rang occupé.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

75,8% des personnes interrogés préfèrent occuper les rangs du milieu.

5. Quel côté préféreriez-vous occuper durant une conférence ?

65 réponses

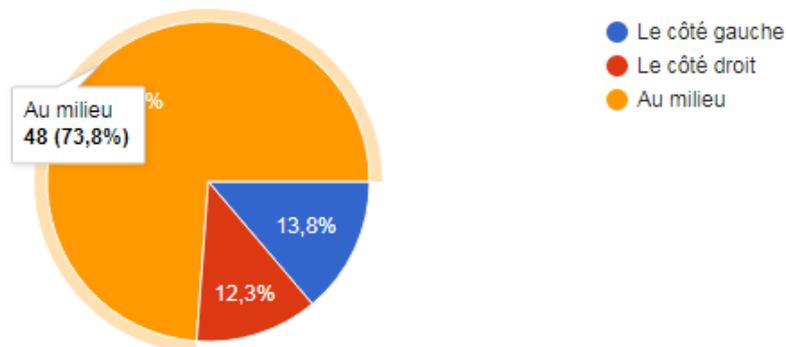


Figure 77 : : Le côté préféré.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

73,8% des personnes interrogés préfèrent occuper le côté au milieu.

6. Est-ce que vous arrivez à suivre la conférence entièrement ?

66 réponses

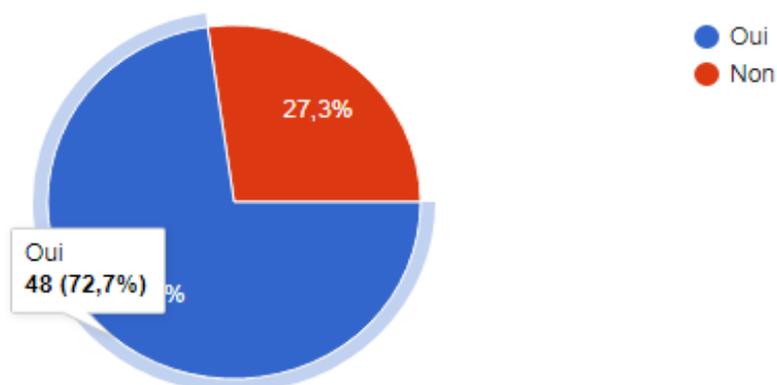


Figure 78 : Assimilation des conférences.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

72,2% des personnes interrogés ne trouvent pas de difficulté de suivre la conférence

✓ Question posée exclusivement aux conférenciers :

10. Quelle place préféreriez-vous occuper lors de la présentation de votre conférence ?

40 réponses

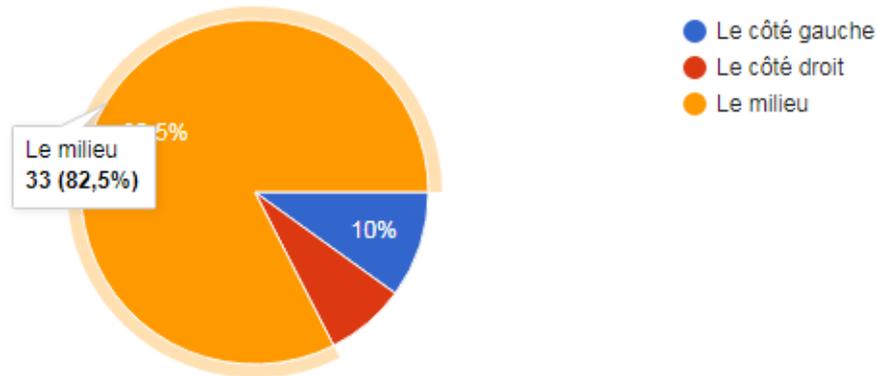


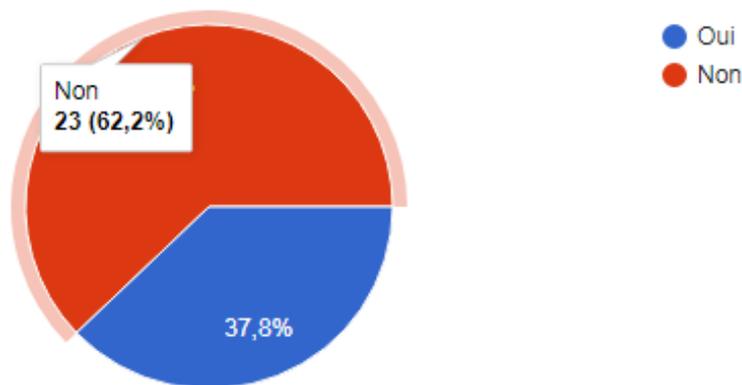
Figure 79 : La place préféré.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

82,5% de 40 conférenciers interrogés préfèrent occuper le côté du milieu lors de la présentation de leurs conférences, et leurs causes sont dû selon eux à la vision et la bonne propagation de leurs discours.

13. Quand une personne vous pose une question, est ce que vous arrivez à l'entendre quelle que soit sa place ?

37 réponses



Si non, de quelle place pensez-vous que la question peut-être plus clair ?

32 réponses

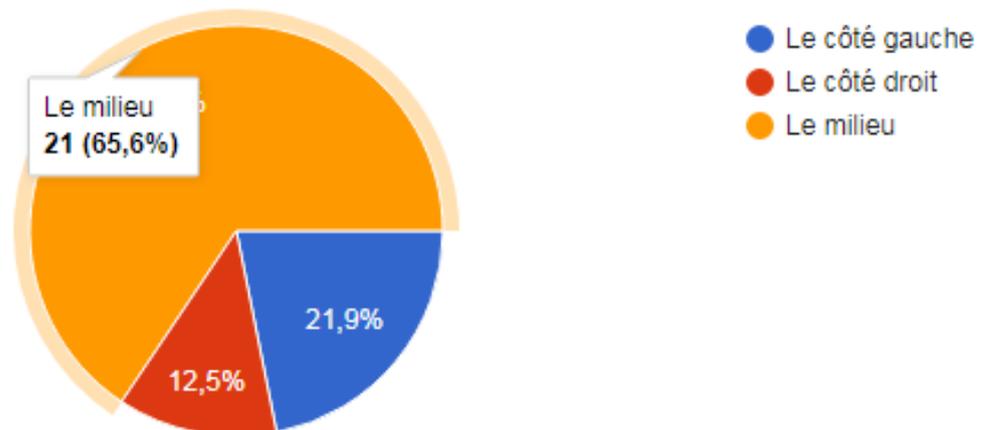


Figure 80 : Compréhension des questions des auditeurs.

Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

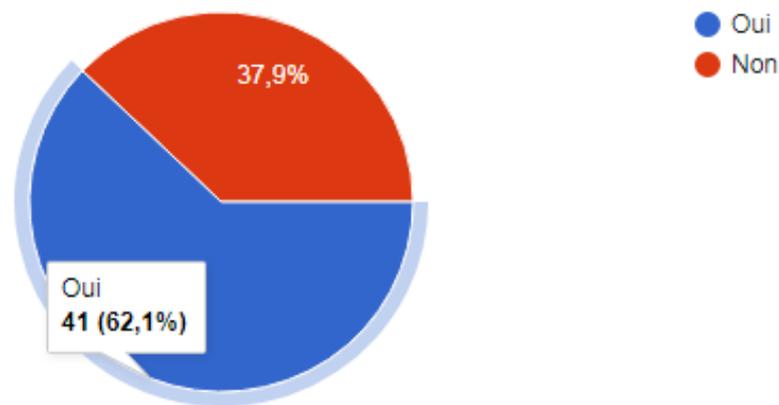
62,2% de 37 conférenciers interrogés n'arrivent pas à entendre les auditeurs qui leurs posent de questions, et la place qui selon eux que les questions posées par les auditeurs semblent être plus claires est le milieu. (65,6% de 32 conférenciers).

- Questions d'ordre sonore :

Nous regroupons dans cette catégorie les questionnes en relation avec l'ambiance acoustique, et la qualité sonore, ainsi que les nuisances sonores à l'intérieur et l'extérieur dans l'auditorium.

7. Est-ce qu'il existe des nuisances sonores au sein de l'auditorium ?

66 réponses



Si oui, quels sont les différentes sources de gêne au sein de cet auditorium ?

47 réponses

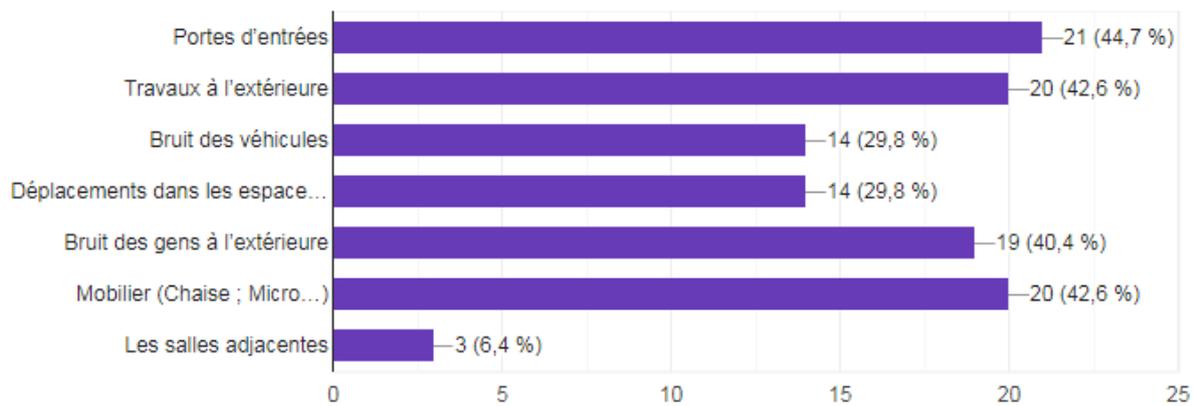


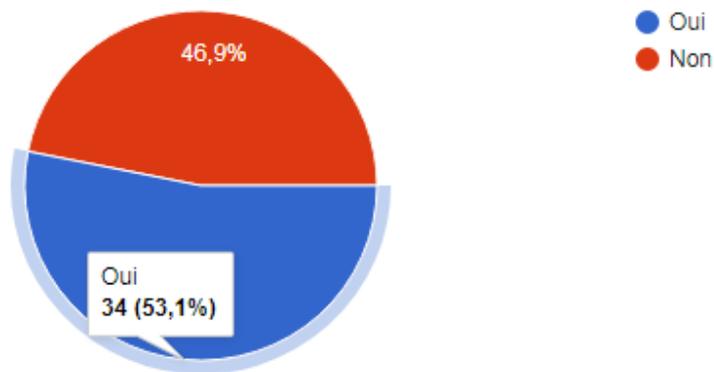
Figure 81 : L'existence des nuisances sonores au sein de l'auditorium. Source :

Interprétation :

62,1% des personnes interrogés trouvent que l'auditorium contient des naissances sonores à l'intérieur, et parmi ces différentes nuisances sonores les plus gênant d'après le diagramme ci-dessus : les portes d'entrées, travaux à l'extérieur, le mobilier et le bruit des gens à l'extérieur.

8. Avez-vous déjà assisté à une conférence dont le conférencier n'utilise pas un microphone ?

64 réponses



Si oui, vous arrivez à l'entendre ?

39 réponses

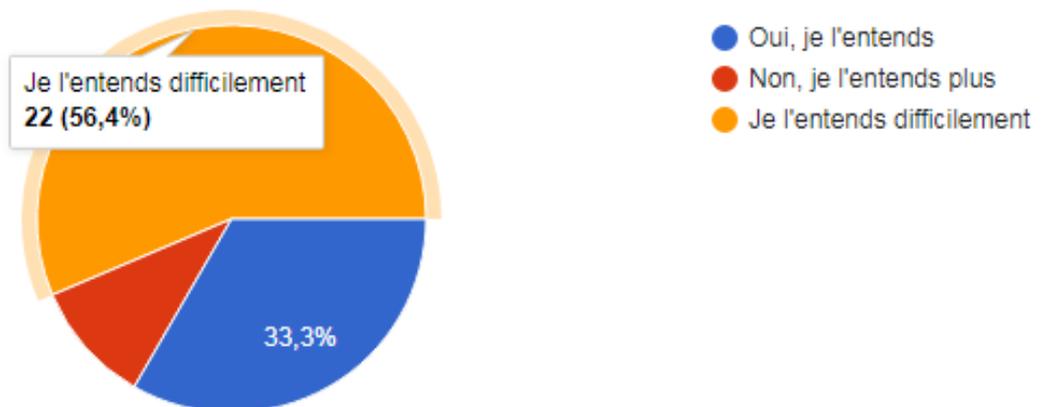


Figure 82 : Qualité du son reçu par le conférencier sans microphone.

Source :

Interprétation :

Les 22 (56,4%) personnes parmi les 34 (53,1%) qui ont assisté déjà à une conférence dont le conférencier n'utilise pas un microphone, trouvent des difficultés à entendre la voix du conférencier.

9. Comment vous recevez la voix du conférencier ?

60 réponses

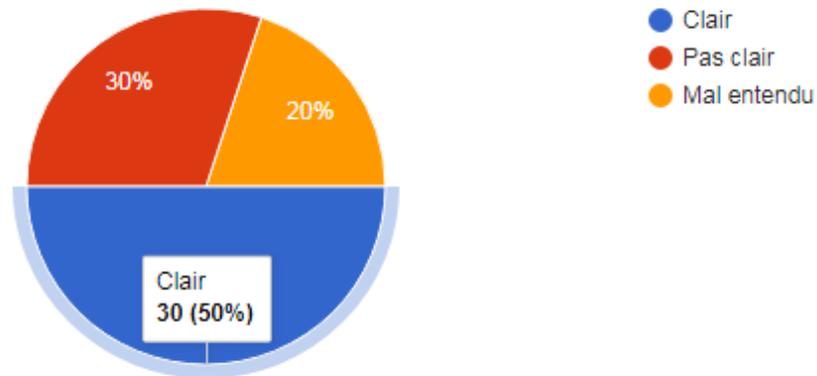


Figure 83 : Qualité du son reçu par le conférencier avec microphone. Source :

Interprétation :

50% des personnes interrogés trouvent que la voix du conférencier qui parvient des microphones semble plus clair.

15. Que pensez-vous de l'isolation sonore intérieure de l'auditorium ?

61 réponses

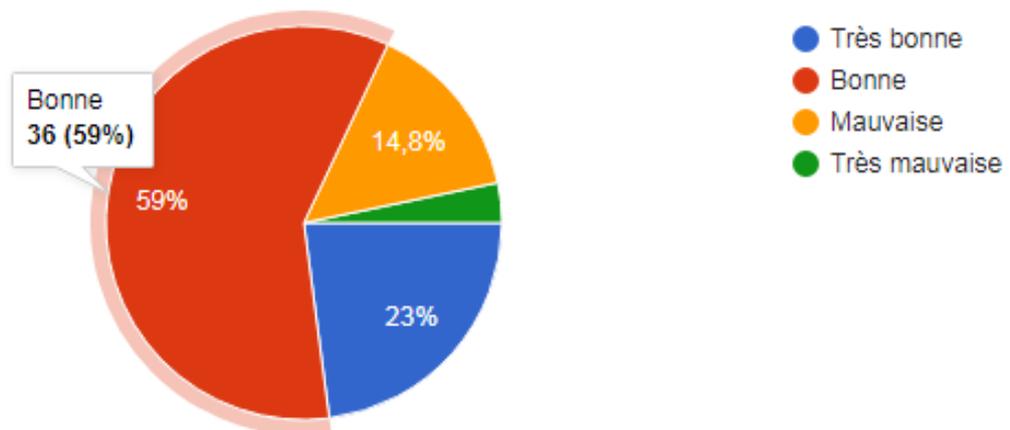


Figure 84 : Qualité de l'isolation sonore intérieure. Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

59% des personnes interrogés trouvent que l'isolation sonore intérieur de l'auditorium semble être bonne.

16. Que pensez-vous de l'isolation sonore extérieure de l'auditorium ?

59 réponses

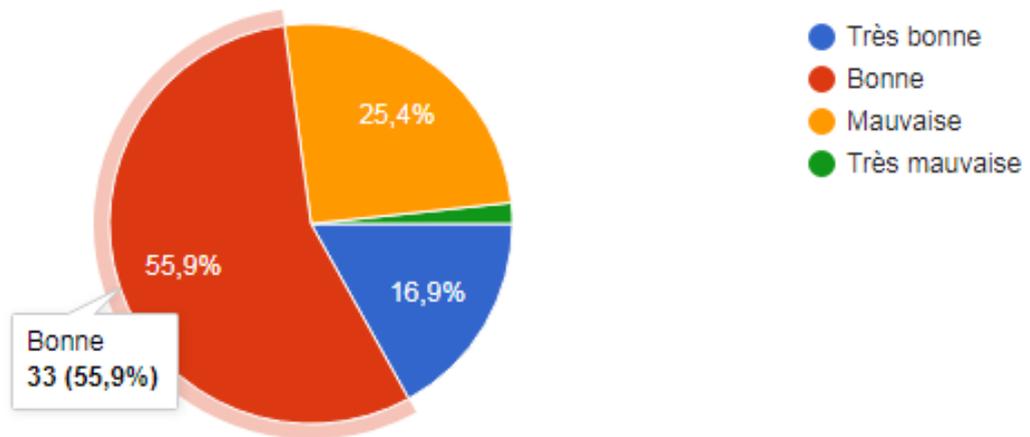


Figure 85 : Qualité de l'isolation sonore extérieur.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

55,9% des personnes interrogées trouvent que l'isolation sonore extérieur de l'auditorium semble être bonne.

17. Selon vous, est-ce que cet auditorium nécessite une étude acoustique (sonore) ?

61 réponses

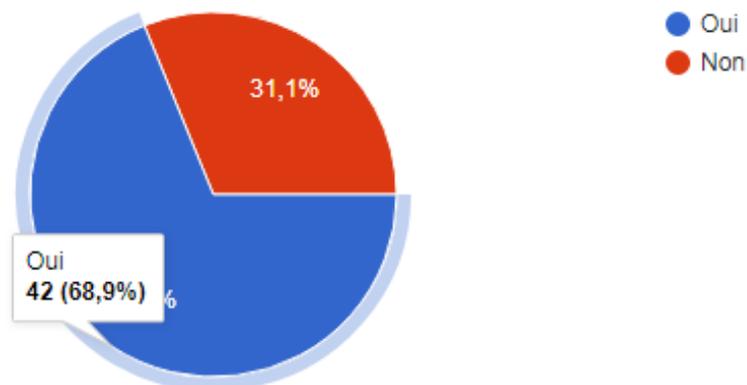


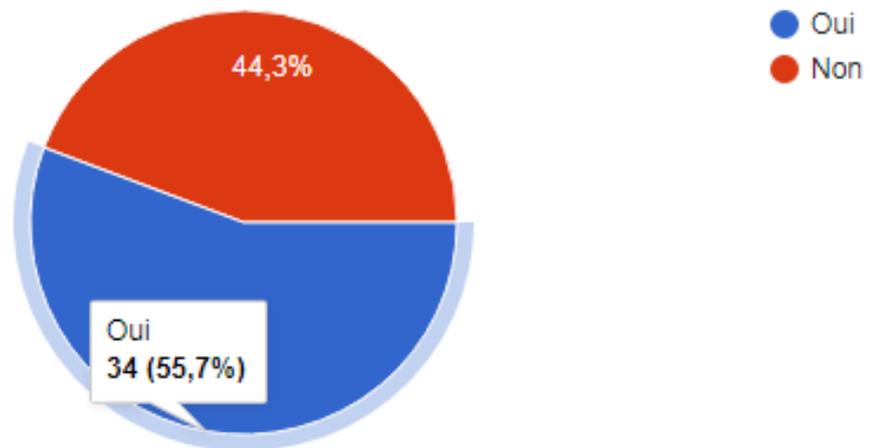
Figure 86 : Nécessité d'élaborer une étude acoustique.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

68,9% des personnes interrogés trouvent qu’il est nécessaire d’élaborer une étude acoustique au sein de l’auditorium.

14. Est-ce que vous entendez des échos dans cet auditorium ?

61 réponses



Si oui, comment vous les trouvez ?

39 réponses

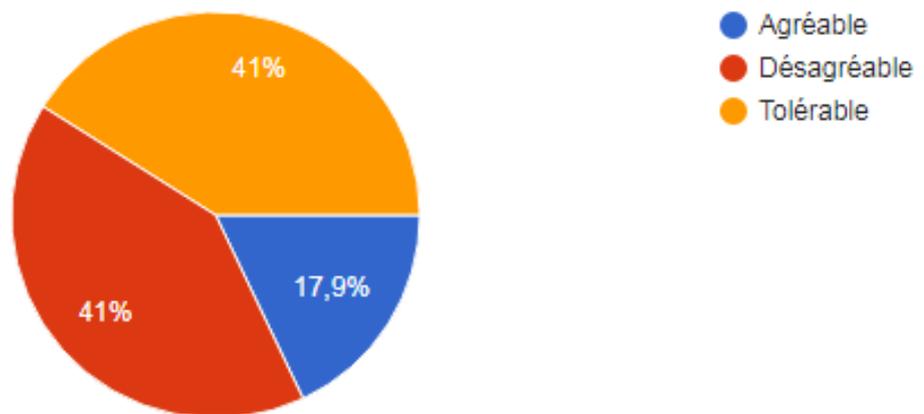


Figure 87 : Existence des échos au sein de l’auditorium.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

55,7% des personnes interrogés trouvent que l’auditorium contient des échos à l’intérieur, dont 41% de 39 personnes trouvent que ces échos sont tolérables et parfois désagréables.

✓ Questions posées exclusivement aux conférenciers :

12. Avez-vous déjà présenté votre conférence sans l'utilisation d'un microphone ?

39 réponses

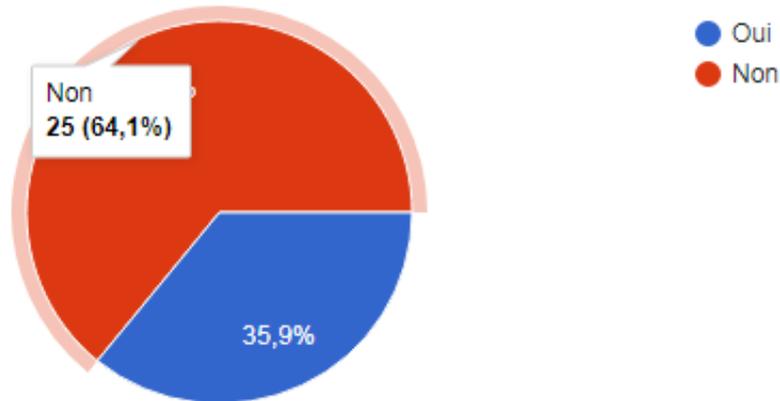


Figure 88 : Recours au microphone.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

Les 25 (64,1%) conférenciers parmi les 39 (35,9%) interrogés n'ont pas présenté déjà leurs conférences sans l'utilisation d'un microphone, mais parmi ceux qui ont fait, la réaction des auditeurs été divisé en deux, ceux qui n'entendent pas et ceux qui entendent d'un niveau normal.

11. Est-ce que vous vous sentez obliger de parler fort même avec un microphone durant la présentation de votre conférence ?

40 réponses

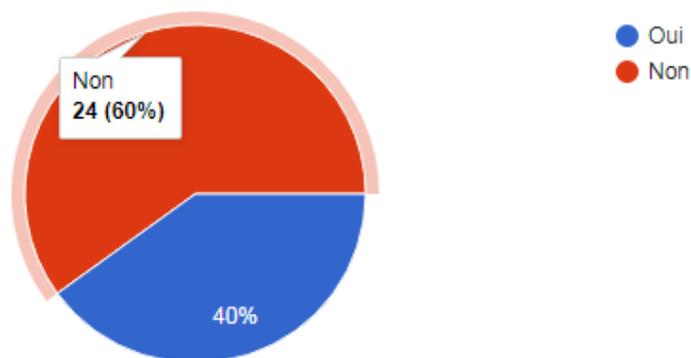


Figure 89 : Utilité du microphone.
Source : Conception Auteur, 2021.

Interprétation :

60% des conférenciers interrogés trouvent que à l'aide d'un microphone, ils ne sont pas obligés de parler fort.

Synthèse :

L'ensemble des personnes interrogées que ce soit étudiant, enseignant, conférencier, employé semble occupé le milieu sur les gradins de l'auditorium ou sur scène, puisque la centralité est jugée étant une bonne place pour mieux entendre ; Dans l'ensemble l'écoute au niveau de l'auditorium lors d'un événement est un peu acceptable, mais il existe toujours des nuisances sonores qui gênent le confort des usagers, c'est ainsi que la plupart des personnes interrogées trouvent qu'il est nécessaire d'élaborer une étude acoustique au sein de l'auditorium d'école d'Amizour, malgré que ce n'est pas un auditorium bâti depuis plusieurs années, mais il paraît que la qualité acoustique qu'il offre est insuffisante

3. Recommedations :

- Le choix du site doit prendre en considération la distance entre un projet architectural et la source de bruit.
- Le choix de l'emplacement et de l'orientation du projet architectural doit prendre en considération des limitations acoustiques du lieu, tel que l'installation des écrans acoustique.
- L'espace sensible salle de classe de la théorie musicale doit être placer au côté calme, loin de la source de bruit, et séparément des classes de la pratique musicale.
- Utilisation des matériaux insonorisant au niveau des gradins de l'auditorium pour éviter la réflexion des ondes sonores et l'écho.
- Utilisation des matériaux avec un bon effet d'isolation acoustique comme le double vitrage.
- La taille et le volume d'un espace doit être étudiés pour éviter la réverbération à long terme et ainsi les échos.
- Création d'un espace sas insonorisé entre les salles de classe, afin d'éviter les nuisances sonores.
- Traitement des couloirs pour éviter la réverbération et la propagation du bruit à l'intérieur des classes.
- Entretenir les joints des portes et des fenêtres.

Conclusion :

Dans ce chapitre les résultats de la simulation et de l'enquête par questionnaire nous a permis d'établir des recommandations dont nous avons essayé d'éviter les erreurs faites dans la cas d'étude, afin que nous puissions concevoir notre propre projet avec une bonne qualité sonore et une bonne isolation acoustique à travers plusieurs paramètres liés au matériaux de construction et à la forme du projet ainsi que la bonne disposition des espaces bruyants et non bruyants.

CHAPITRE 05 :
Application de la
recherche sur le projet
fin d'étude

Introduction :

Dans ce chapitre nous avons d'abord évoqué l'étape de la conception de notre projet fin d'étude qui est une école de musique et ses concepts architecturaux, toutes en élaborant un schéma de structure afin de lier le thème de notre recherche l'ambiance acoustique à notre projet fin d'étude l'école de musique.

1. Schéma de structure + Intentions :



Figure 90 : Plan de masse du site Jute.
Source : Google Maps, 2021.

Dans le plan de la proposition d'aménagement, c'est un terrain rectangulaire d'une surface de 4800m² (80x60m).



Figure 91 : Proposition d'aménagement du site de Jute.
Source : Conception Auteur, 2021.

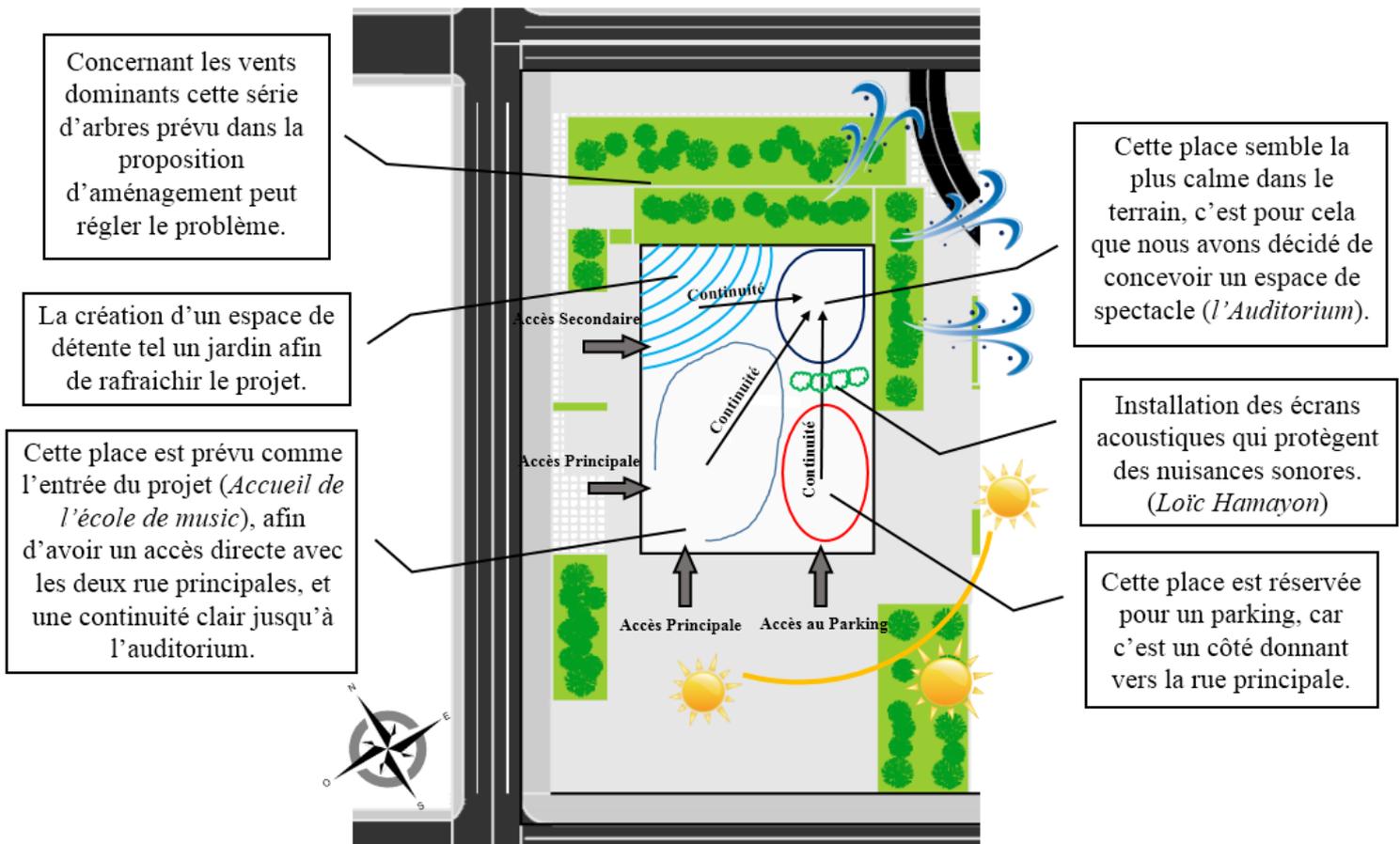


Figure 92 : Schéma de structure.
Source : Conception Auteur, 2021.

2. Synthèses d'analyse des exemples :

Chapelle Musicale Reine Élisabeth à Waterloo au Belgique

1 – Situation :

La chapelle musicale Reine Élisabeth se situe à 1,5Km de Waterloo et de 28,5Km de la ville de Bruxelles.

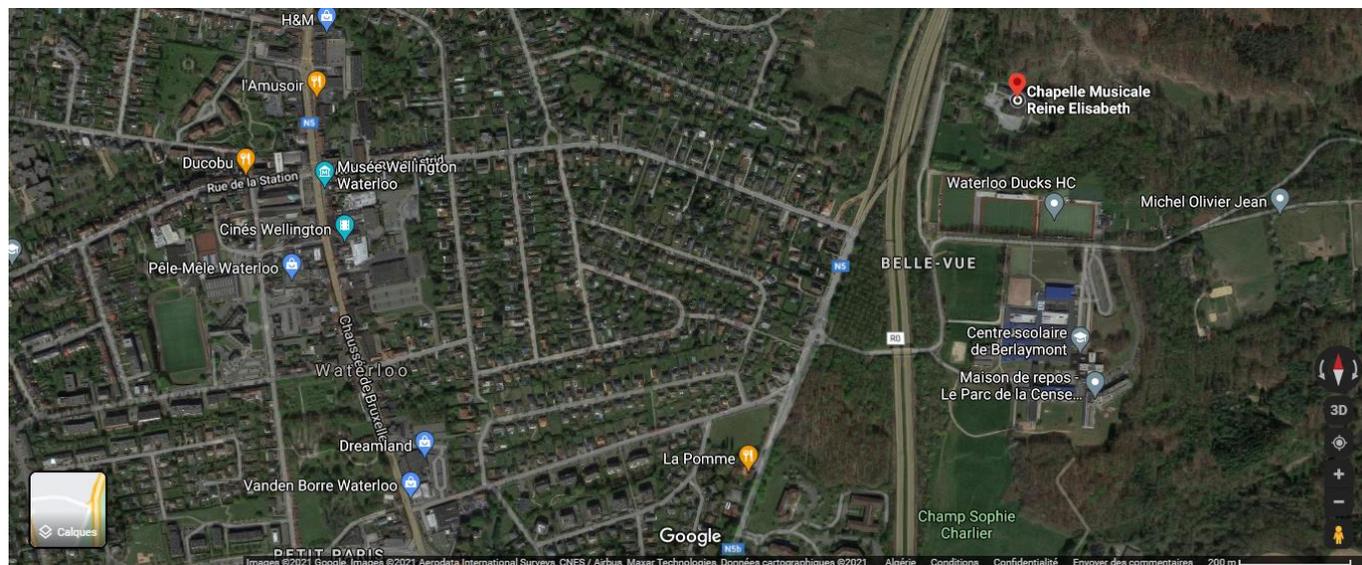


Figure 93 : Plan de situation la chapelle musicale Reine Élisabeth.

Source : Google Maps, 2021.

C'est une institution d'enseignement supérieur artistique fondée par la Reine Élisabeth de Belgique le 11 juillet 1939 construite d'après les plans de l'architecte Yvan Renchon, siégeant à Bruxelles et établie à Waterloo.

La chapelle a été inaugurée en 2015 avec la nouvelle Aile de Launoit actuel directeur de l'institution ; cette nouvelle aile comporte :

- 20 studios de logement pour accueillir plus d'artistes ;
- Un grand studio de musique offrant un réel studio d'enregistrement bien équipé ;
- 02 studios de musique à disposition des professeurs, musiciens et ensembles résidents ou en concert.



Figure 94 : Chapelle musicale Reine Élisabeth.
Source : www.architectura.be/fr. (Consulté 03/07/2021)

2 – Les plans :

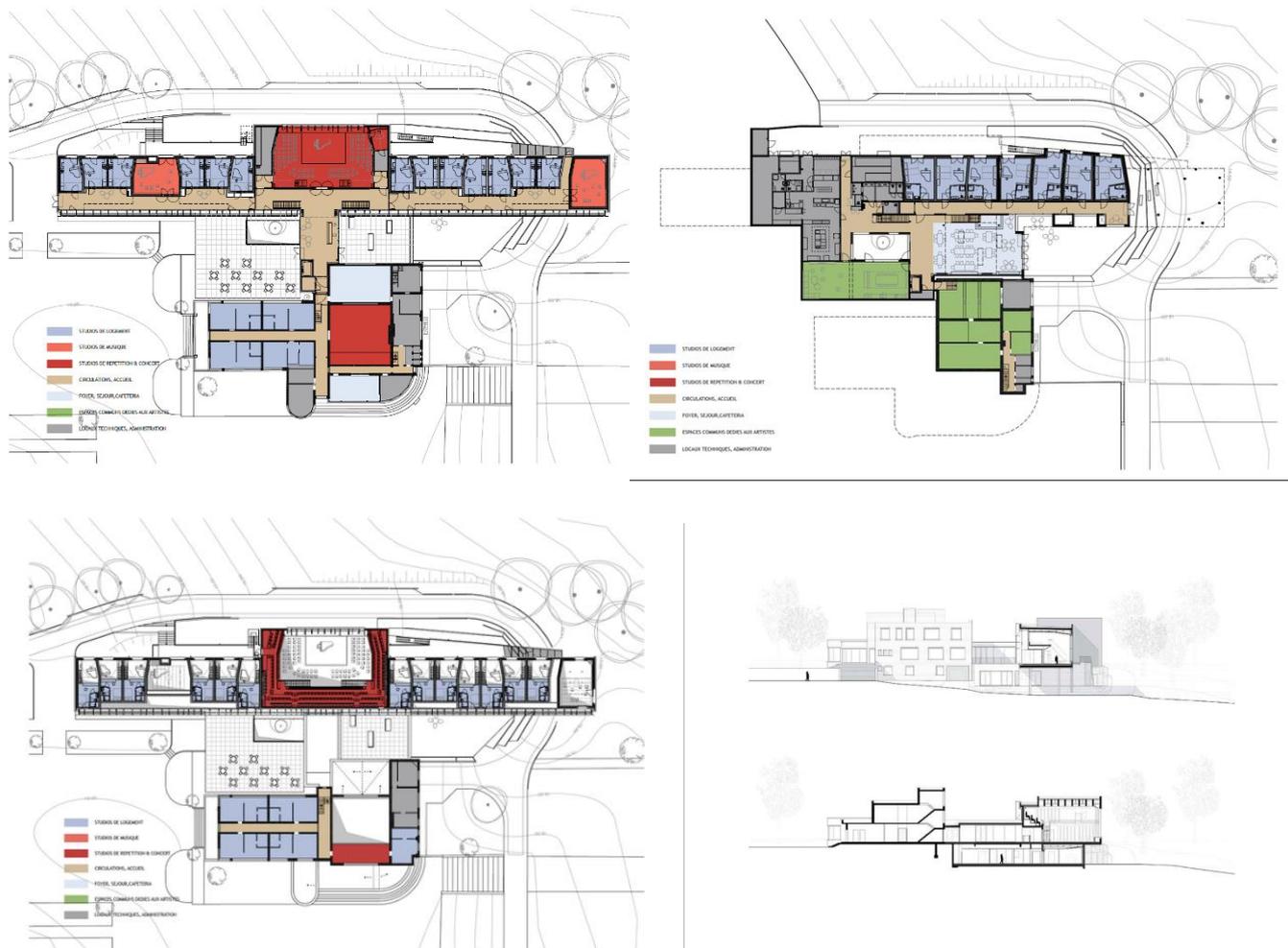


Figure 95 : Plans de la chapelle musicale Reine Élisabeth.
Source : www.architectura.be/fr. (Consulté 03/07/2021)

3 – Les caractéristiques acoustiques

Rémi Raskin (Capri Acoustique) a orienté le projet sur deux stratégies :

- L'isolation des locaux les uns avec les autres ;
- Et la maîtrise de la qualité sonore.

Chaque studio logement et studio de répétition est isolé dans un principe de « boîte dans la boîte », ce qui rend la composition et la structure du bâtiment particulièrement complexe.

Des ensembles de matériaux isolants et absorbants sont composés en fonction de la géométrie de chaque local et de sa fonction.

Le bois était le matériau important, sous forme de plancher, lambris et correcteurs acoustiques.⁴⁵

⁴⁵ <https://www.architectura.be/fr/actualite/8344/la-chapelle-musicale-reine-elisabeth-deploie-ses-ailes-synergy-international-et-lescaut>

4 – Points tirée :

- ✓ La forme simple du projet.
- ✓ La répartition des espaces à l'intérieur.
- ✓ La répartition des espaces à l'extérieur.
- ✓ Les matériaux de construction.
- ✓ Les vues que le projet offre.

La Cité de la musique à Paris

1 – Situation :

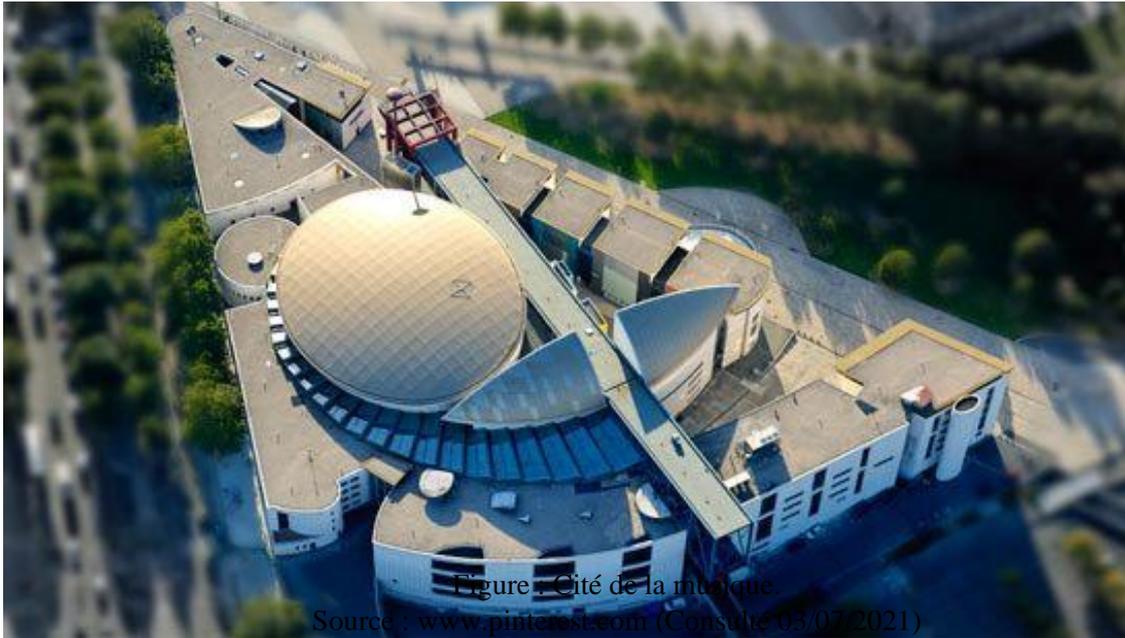
La cité de la musique se situe à 5,8Km de la ville de Paris.



Figure 96 : Plan de situation de la cité de musique.
Source : Google Maps. (Consulté 03/07/2021)

La Cité de la musique-Philharmonie de Paris est le premier des deux bâtiments réalisés du pôle musical de la Philharmonie de Paris, conçue par l'architecte Christian de Portzamparc et inaugurée le 7 décembre 1995 ; Elle comporte :

- Trois salles publiques offertes à leurs premières prestations ;
- 170 salles et studios de travail ;
- Une médiathèque riche de 100 000 documents en prêt ou en consultation ;
- Un service audiovisuel intégré performant ;
- Un restaurant, des logements, un gymnase, etc.



2 – Le plan :

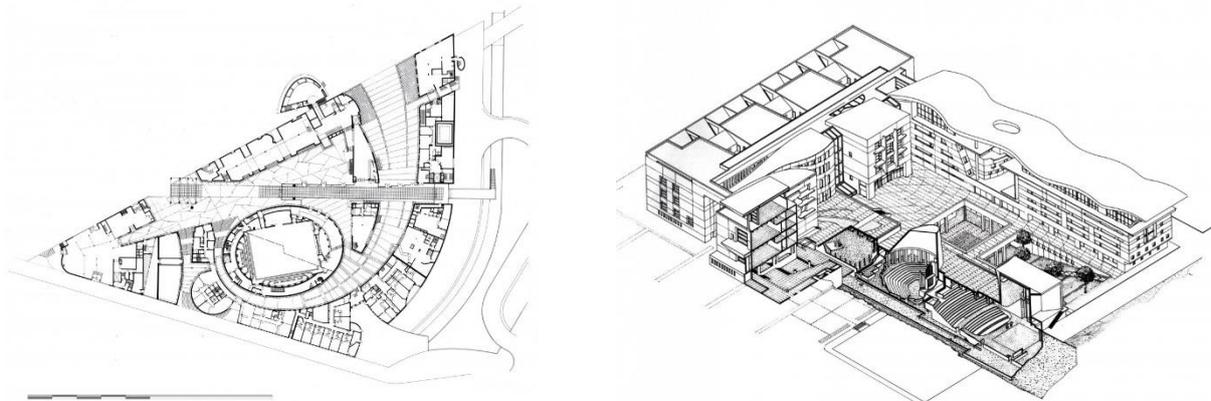


Figure 97 : Plan de masse et 3D de la cité de la musique.
Source : www.christiandeportzamparc.com. (Consulté 03/07/2021)

4 – Points tirée :

- ✓ L'idéation du projet sous forme d'un cor d'harmonie.
- ✓ La bonne intégration des espaces dans des formes irrégulières.
- ✓ Les matériaux de construction utilisés.
- ✓ La salle polyvalente centrale.

3. Programme surfacique :

Entité	Sous-Entité	Surface (m ²)
Accueil	Bureau d'accueil	25 m ²
	Salle d'attente	30 m ²
	Espace d'exposition	100 m ²
	Dépôts d'instrument	20 m ²
	Partothèque	100 m ²
	Sanitaires	15 m ²
	Boutique	30 m ²
	Cafétéria	50 m ²
Surface totale de l'entité :		370 m ²
Formation Musicale	Trois Salles de formation théorique	3 x 35 m ²
	Salles formation musicale	2 x 45 m ²
	Musique assistée par ordinateur	45 m ²
Surface totale de l'entité :		240 m ²
Pratique Musicale	Salles cours d'instruments	5 x 30 m ²
	Salle percussions	45 m ²
	Salle d'orchestre	100 m ²
	Studio de travail personnel	2 x 20 m ²
	Régie d'enregistrement	2 x 15 m ²
Surface totale de l'entité :		365 m ²

Audition / Diffusion	Auditorium	600 m ²
	Annexes (Régie, Stockage, Local piano)	15m ² / 20m ² / 15m ²
Surface totale de l'entité :		650 m ²
Administration	Bureau du directeur	18 m ²
	Secrétariat	15 m ²
	Bureau directeur adjoint	15 m ²
	Responsable administratif	15 m ²
	Atelier Appareteur-Technicien	30 m ²
	Salle de réunion	25 m ²
	Salle d'attente	25 m ²
	Salle des enseignants	20 m ²
Surface totale de l'entité :		163 m ²
Logistique	Archives	15 m ²
	Sanitaires	15 m ²
	Locaux entretien/propreté	12 m ²
	Locaux techniques	35 m ²
Surface totale de l'entité :		77 m ²
Surface totale du projet :		1865 m ²

4. Idéation et morphogène :

L'idée de notre projet de fin d'étude est inspirée à base d'une clé de sol, ou nous avons essayé de la traduire à une conception architecturale.

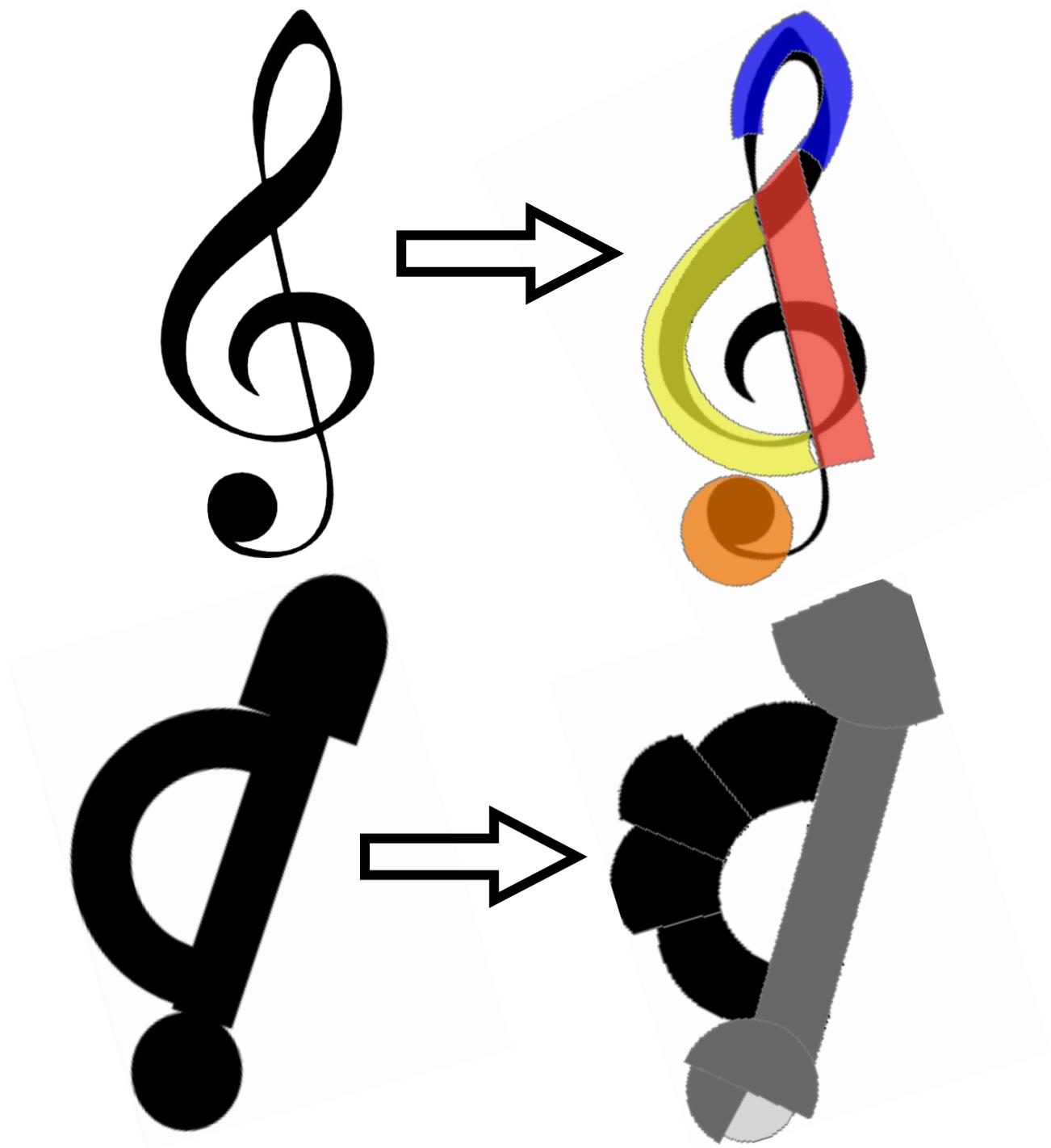


Figure 98 : Développement de la genèse.
Source : Conception Auteur, 2021.

5. Application :

Dans cette phase nous avons essayé de détailler le coté auditorium de notre projet fin d'étude école de musique.

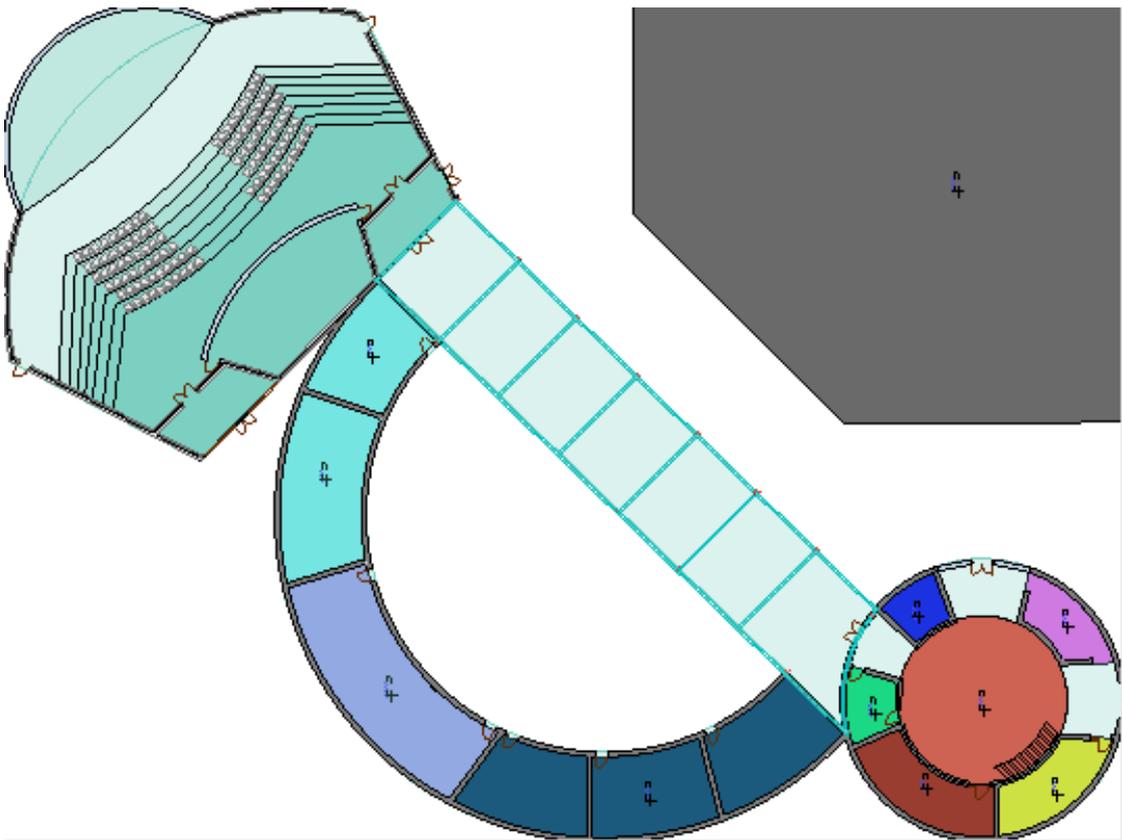


Figure 99 : Avant-projet de l'école.
Source : Conception Auteur, 2021.

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion Générale :

- Dans la première partie nous avons effectué un travail de conceptualisation basé sur l'analyse des concepts liés au son et la qualité sonore ainsi que des aspects théoriques de l'ambiance acoustique, dans un premier temps nous avons conclu que le son est une onde qui se propage dans l'espace et qui possède un certain nombre de caractéristiques tel que les vibrations, l'intensité, la pression et la puissance, mesuré en décibel, et nous avons constaté effectivement plusieurs paramètres à prendre en compte afin de promouvoir une bonne qualité sonore dans les espaces et ainsi offrir un confort acoustique aux usagers.
- Dans la deuxième partie de cette conceptualisation nous avons élaboré une petite étude sur l'espace de spectacle concernant sa signification, son historique et ses types, et ainsi ses normes acoustiques et les matériaux utilisés pour leurs constructions ; Nous avons réalisé que la forme idéale qui permet la bonne propagation du son est une forme qui évite les parois parallèles
- En passant de cette partie à notre troisième partie qui est le processus de recherche et le cas d'étude sur lequel nous allons travailler et examiner la composante sonore afin de s'en tirer des conclusions et d'essayer de les appliquer dans le projet de fin d'étude ; Donc le cas d'étude choisi est l'auditorium de l'école Nationale Supérieure en Sciences et Technologies de l'Informatique et du Numérique à Amizour ; Notre recherche exige des techniques variées, dont la première c'est la mesure in situ, et la deuxième c'est la simulation, alors nous avons élaborer un processus méthodologique pour analyser l'auditorium par des prises de mesure et une petite enquête à échantillon destiné aux étudiants et aux gens qu'ils le fréquentent, et enfin une simulation pour valider les résultats déjà mis en exergue dans la travail des mesures in situ ; Pour la partie empirique, les résultats des mesures in situ ont présenté des anomalies, l'auditorium n'était pas bien isolé de l'extérieur et beaucoup de nuisances sonores pénètrent à l'intérieur, cela a été confirmé par l'enquête.
- La simulation nous a permet avec les même matériaux et composantes d'avoir une idée un peu claire sur le comportement sonore de l'auditorium, dont le phénomène de l'échos et de réverbération dure et masque le son direct une période de temps dans des endroits précis de l'auditorium.
- A partir de tous cette variation nous avons choisi le projet qui sera l'école de musique, dans lequel nous allons avoir dans sa conception un auditorium pour l'évènementiels, Nous avons essayé de prendre le son en considération dès la phase avant-projet, donc nous avons pris le terrain situé au site de Jute à la wilaya de Béjaia, c'est un site dont nous avons proposé un nouveau plan d'aménagement, nous avons par la suite analysé les deux exemples : chapelle musicale reine Élisabeth à Waterloo au Belgique et cité de la musique à Paris, dont les éléments qui nous ont inspiré : l'idéation du projet, la bonne intégration des espaces dans des formes irrégulières, les matériaux de construction utilisés ; par la suite nous avons établi notre propre idéation du projet qui est d'une forme de clé de sol ou nous avons essayé de la traduire à une conception architecturale ; Cette étape nous a permet de concevoir un projet en ayant des composantes sonores, mais nous comptons pas s'arrêter juste là, nous avons encore du temps pour développer le projet, et voir réellement si la composante sonore a été prise en considération ou pas.

Bibliographie

Bibliographie :

- *Ouvrage :*

1 - Maekawa, Z., Rindel, J. H., & Lord, P. (2011). Environmental and architectural acoustics (Second Edition). Spon Press. Page: 30. (Traduit)

2 - Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments 3ème édition, Editions le moniteur, Paris, 2014.

3 - Loïc Hamayon, Réussir l'acoustique d'un bâtiment : Conception architecturale et technique des bâtiments d'habitation et des établissements d'enseignement-Isolation et correction acoustiques, Editions Le Moniteur, Paris, 1996, Page : 217.

4 - Ernest NEUFERT, Les éléments des projets de construction, 10ème édition française revue et augmentée,

- *Article :*

1 - Michel BRUNEAU, André DIDIER, « ACOUSTIQUE ARCHITECTURALE », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 02 février 2021. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/acoustique-architecturale/>

2 - Michel BRUNEAU, André DIDIER, Jean-Claude RISSET, « SONS - Production et propagation des sons », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 02 février 2021. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/sons-production-et-propagation-des-sons/>

3 - Caroline DE SA - Hélène Horsin Molinaro, « Conception acoustique d'une salle – Intérêt du prototypage et principe de conception de maquettes », publié le 27 mars 2017. URL : https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/conception-acoustique-dune-salle-interet-prototypage-principe-conception-de-maquettes

4 - François Baskevitch, « L'élaboration de la notion de vibration sonore : Galilée dans les Discorsi », *Revue d'histoire des sciences* 2007/2 (Tome 60), pages 387 à 418, Mis en ligne sur Cairn.info le 01/01/2010. URL : <https://doi.org/10.3917/rhs.602.0387>

5 - « Matériaux Poreux », Technique de l'ingénieur : l'expertise technique et scientifique de référence. URL : <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/materiau-poreux>

6 - « Du traitement acoustique des théâtres de l'antiquité à celui des aéronefs d'aujourd'hui : le résonateur de Helmholtz », VibraTech. URL : <https://www.vibrategroup.com/blog/news/du-traitement-acoustique-des-theatres-de-lantiquite-a-celui-des-aeronefs-daujourd'hui-le-resonateur-de-helmholtz/>

7 - « Acoustique : choix de membrane insonorisant de planchers », Guideperrier.ca Habitation et Environnement. URL : <https://guideperrier.ca/acoustique-membrane-plancher/>

8 - PDF, Eric ALEXANDRE et Laurent SABY, « Améliorer la qualité acoustique aux accueils des Établissements recevant du public (ERP) : une nécessité pour les personnes

malentendantes, un bénéfice pour tous », mars 2018. URL:

<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Am%C3%A9liorer%20la%20qualit%C3%A9%20acoustique%20d%C3%A9finitif%20web.pdf>

9 - Richard E. Berg, « Acoustics », Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica Online Academic Edition, 2012. (Traduit) URL :

<https://www.britannica.com/science/acoustics>

10 - « Isolement brut Db », Spectra : Ingénierie en acoustique et insonorisation industrielle.

URL : <https://www.spectra.fr/glossaire-acoustique/>

11 - Nico F. Declercq, Cindy S. A. Dekeyser, « The acoustics of the hellenistic theatre of epidaurus: The important role of the seat rows », publié September 2007. URL :

https://www.researchgate.net/publication/277216529_The_acoustics_of_the_hellenistic_theatre_of_epidaurus_The_important_role_of_the_seat_rows

12 - TPE Son, « Matière et forme dans les salles de spectacle », publié le 04 Novembre 2016.

URL : <https://tpesonweb.wordpress.com/2016/11/04/matiere-et-forme-dans-les-salles-de-spectacle/>

13 - « Isolation phonique », Ooreka. URL :

https://isolation.ooreka.fr/comprendre/isolation_phonique_acoustique_bruit

- **Mémoire et cour :**

1 - MEZERDI Toufik, « La transparence dans l'architecture tertiaire des milieux à climat chaud et sec : Cas de la ville de Biskra », Mémoire de Magistère - Option : Architecture, forme, ambiances, et développement durable, sous la direction de BELAKEHAL Azeddine, Biskra, Université Mohamed Khider, 2012, 342 pages.

2 - Cours du CNAM – CPDA, acoustique architecturale, théorie et pratique, 2ème année, 2006/2007, Paris.

- **Site Internet :**

<http://www.la-definition.fr/definition/acoustique>

<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/acoustique/798#locution>

<http://www.sonorisation-spectacle.org/caracteristiques-d-un-son.html>

<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/spectacle/74093>

<http://www.madeinacoustic.com/fr/bruit-aerien-solidien>

<http://accoustique-des-salles.e-monsite.com/pages/ii-la-salle-de-spectacle.html>

<https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/isolation-thermique/mousse-insonorisante>

<https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/isolation-thermique/mousse-insonorisante>

<https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/logement/les-differences-entre-la-laine-de-verre-et-la-laine-de-roche>

<https://energieplus-lesite.be/techniques/enveloppe7/composants-de-l-enveloppe/isolants-et-pare-vapeur/isolants-mineraux/>

<https://www.pytaudio.com/materiaux-acoustiques-absorbants-phoniques-et-insonorisant/>
<https://www.ecoconso.be/fr/content/cest-quoi-le-probleme-avec-le-plastique>

<https://www.izi-by-edf-renov.fr/blog/quel-materiau-isolation-combles>
<https://www.habitatpresto.com/mag/isolation/laine-de-coton>

<http://www.controle-db.com/Reglementation-acoustique.htm>

<https://www.lkeria.com/arrete-du-17-octobre-2004-13>

<https://estin.dz/>

<https://www.architectura.be/fr/actualite/8344/la-chapelle-musicale-reine-elisabeth-deploie-ses-ails-synergy-international-et-lescaut>

<https://unt.unice.fr/uoh/espaces-publics-places/la-perception-de-lanalyste-et-celle-de-lusager/>

Annexes

Annexe :

Questionnaire :

1 - Comment qualifiez-vous l'écoute ?

Je n'entends pas

J'entends bien

J'entends avec gêne

2 - Est-ce que vous arrivez à suivre la conférence entièrement ?

Oui

Non

3 - Avez-vous déjà assisté à une conférence dont le conférencier n'utilise pas un microphone ?

Oui

Non

Si oui, vous arrivez à entendre ?

4 - Comment vous recevez le son du conférencier ?

Clair

Avec gisement

Pas clair

Mal entendu

5 - C'est quoi le niveau de gêne que vous rencontrez durant les conférences ?

- Pas de gênes
- Supportable.
- Excessif.
- Insupportable.

6 - Quels sont les différentes sources de bruit au sein de l'auditorium ?

- Portes d'entrées.
- Travaux à l'extérieure.
- Voiture.
- Déplacements dans les espaces adjacents.
- Bruit des gens à l'extérieure.
- Mobilier (Chaise ; Micro...).
- Les salles adjacentes.

7 Que pensez-vous de l'isolation acoustique intérieure du bâtiment ?

- Très bonne.
- Bonne.
- Mauvaise.
- Très mauvaise.

8 Que pensez-vous de l'isolation acoustique extérieure du bâtiment ?

- Très bonne.
- Bonne.
- Mauvaise.

Très mauvais.



8. Est-ce qu'il existe des nuisances sonores au sein de l'auditorium ?

oui

non

- Questions pour les conférenciers :

9. Quelle place vous préférez occuper lors de la présentation de votre conférence ?

Le côté gauche

Le côté droit

Le milieu

10. Est-ce que vous vous sentez obligé de parler fort même avec un microphone durant la présentation de votre conférence ?

Oui

Non

11. Avez-vous déjà présenté votre conférence sans l'utilisation d'un microphone ?

Oui

Non

Si oui, c'était quoi les problèmes que vous avez rencontrés ?

12. Quand une personne vous pose une question, est-ce que vous arrivez à l'entendre

Quel que soit sa place ?

Oui

Non

Si non, de quelle place pensez-vous que la question peut-être plus claire ?

Le côté gauche

Le côté droit

Le milieu

13. y'a-t-il des échos dans cet auditorium résonne ?

Oui

Non

Si oui, est ce que vous trouvez ça :

Agréable

Désagréable

Rien de particulier

17. Selon vous, est-ce que cet auditorium nécessite une étude acoustique ?

Oui

Non

18. Comment décrivez-vous l'ambiance sonore générale de l'auditorium de l'école d'amizour en unephrase ?

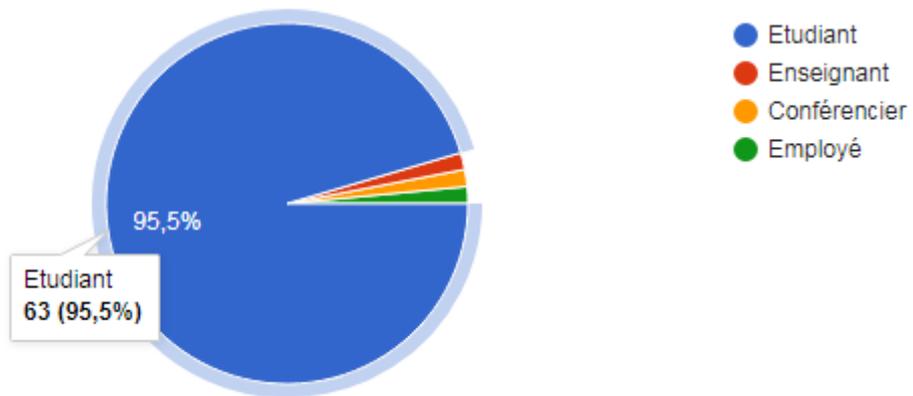
.....
.....
.....
.....
.....
.....

.....
.....
.....
.....

Merci beaucoup pour votre coopération.

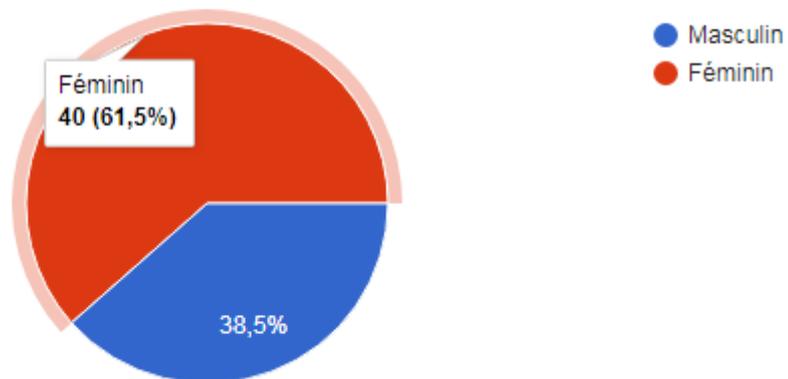
1. Êtes-vous ?

66 réponses



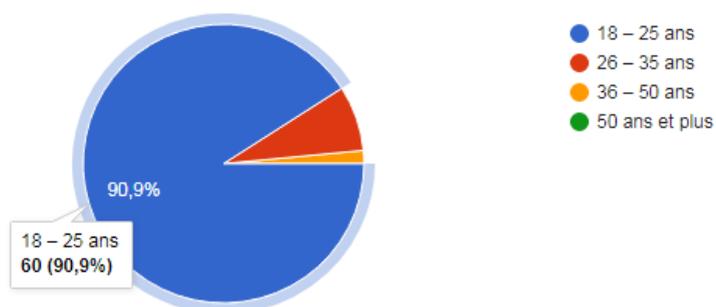
2. Sexe ?

65 réponses



3. Quel âge avez-vous ?

66 réponses



18. Que pensez-vous de l'ambiance sonore générale de l'auditorium de l'école d'Amizour ?

31 réponses

Mauvaise
Pas mal
Mauvais
Assez bonne
bonne
Je la trouve très bonne
Bonne
Quand on est à l'extérieur l'isolation est parfaite on entend rien de ce qui se passe à l'intérieur , or que lorsque on est à l'intérieur dé que les portes s'ouvre on entend tous ce qui se passe à l'extérieur
Je pense qu'elle est mauvaise.
Elle est moyenne
Elle manque de plus d'étude et d'analyse
Mal traitée, il y a toujours des nuisances quand on on est à l'intérieur
Ah parfaite car tout est nouveau
Moyenne
dans l'ensemble elle est bonne