



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Larbi Tébessi – Tébessa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture

جامعة العربي التبسي – تبسة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المعمارية

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master Académique

Domaine: Architecture, Urbanisme et Métiers de la ville

Filière: Architecture

Spécialité: Architecture

Thème:

**L'évaluation du confort acoustique dans un
auditorium universitaire
Cas d'étude: Auditorium MALEK BEN NABII
Université Larbi Tébessi - Tébessa**

Elaboré par: FERSADOU Amine Abdelhafidh

Encadré par: Dr. TARTAR Nassima

Présenté et soutenu publiquement, le: 13 /06/2022, devant le jury composé de :

1- Dr. FEZZAI Soufiane	MCA	Président
2- Dr. TARTAR Nassima	MCB	Rapporteur
3- Mr. BIBIIMOUNE Walid	MAA	Examineur1
4- Mme. MESSAI Fayza Radhia	MAA	Examineur 2

Année universitaire: 2021/2022

REMERCIEMENTS

A ALLAH Le tout puissant, le miséricordieux 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.

Dans le cadre de ma formation de master « Architecture, environnement et technologie », je tiens à remercier tous les intervenants et les professeurs en charge des enseignements de cette spécialité. Je remercie également très chaleureusement, mon encadreur madame Dr. TARTAR Nassima, qui m'a soutenu tout au long de l'année et qui a été à l'écoute et disponible lors de la construction de ce mémoire.

Je remercie notamment tous mes chers enseignants pour leurs aides tout au long ma formation universitaire.

Je souhaite ainsi, remercier tous les membres de jury Pour l'intérêt qu'ils l'ont manifesté pour ce travail et les discussions que nous avons pu avoir et qui m'ont permis de progresser.

Enfin, d'un point de vue personnel je remercie mes deux chères - mon père et ma mère - qui ont éclairé et éclairent mon chemin dès ma naissance. Je remercie tous mes amis et collègues qui ont été à mes côtés pendant cette année d'études. J'espère que ma production sera à la hauteur de leur investissement et de leurs attentes.

Merci



Sommaire

Introduction Générale	
Introduction	I
Constats positifs et négatifs	II
Questions de recherche	II
Hypothèses de recherche	II
Objectifs de recherche	III
Méthodologie d’approche	III
Structure de mémoire	III
Chapitre n° 01: le confort Acoustique	
Introduction	2
I. Le confort :	3
I.1. L’Architecture et le Confort :	3
II. L'acoustique.....	3
II.1 le confort acoustique	3
II.1 L’historique de l’acoustique :	4
II.1.1 Antiquité et Moyen âge	4
II.1.2 Le XVIIIème siècle	5
II.1.3 Le XIXème siècle	5
II.1.4 Le XXème siècle	6
II.1. Principes généraux d'acoustique	6
II.1.1. Le son	6
A. Définition du son	6
B. Catégories du son	7
1. Catégorie 1 : basse fréquence	7
2. Catégorie 2 : moyenne fréquence	7
3. Catégorie 3 : Haute fréquences	7
C. La perception du son	7
D. Caractéristiques d’un son	7
E. Types de son	8
1. Son pur	8

2. Son complexe	8
3. Son confus	8
II.1.2. Le Bruit	8
A. Sources du bruit	9
1. Sources ponctuelles	9
2. Sources linéaires	9
II.2.3. La propagation du son dans l'espace architectural	10
II.2.4 Le son direct	12
A. Les premières réflexions	12
B. L'intelligibilité d'un son	13
C. La performance acoustique	13
. Coefficient d'absorption α	14
. Aire d'absorption équivalente A	14
D. Durée de Réverbération	14
II.3 Étude de l'acoustique dans un espace architectural	15
II.3.1 Volume	15
A. Le volume de la salle :	16
B. La forme	16
C. Principe de plan	16
D. Principe de coupe	16
E. Matériaux	18
II.4 La correction acoustique : (technique)	19
II.4.1 Le continuum : Correcteur d'ambiance acoustique	19
II.4.2 Les Réflecteurs	19
II.5 L'isolation acoustique	20
Conclusion	22
Chapitre n° 02 : L'acoustique dans les auditoriums	
Introduction :	24
I -Définition de la culture :	25
I.1 L'équipements culturels :	25
I.2 Les équipements culturels et leurs classifications :	25
I.2.1 Les fonctions	27

I.3.1 Les quatre pôles de système culturel	27
II Définition de l'auditorium	27
II.1 Aperçu historique	28
II.1.1 Antiquité.....	28
A. Théâtres grecs.....	28
B. Théâtres romaine	29
II.2.2 Moyen Âge et la Renaissance.....	30
II.2.3 Entre le Moyen-âge et aujourd'hui	30
II.3 Les exigences techniques	30
. Utilisateurs.....	30
. Fonctions	31
. Espaces	32
. Salle d'exposition	32
-La scène.....	32
- Scène de face	33
- Scène ouverte	33
- Scène orbitale	33
- La scène flexible	34
- Espaces des coulisses	34
II.4 Normes de conception de l'auditorium	35
II.4.1 Méthodes d'éclairage	35
II.4.2 Conception de décoration	36
A. Surface de la scène principale	36
B. L'inclinaison de la salle	37
C. Atelier	38
D. Balcons	38
E. Format de siège	39
II.4.3 Conditions de visualisation	40
II.5. La qualité acoustique d'un auditorium	40
II.5.1 La perception des sources sonores présentes dans la salle	40
II.5.2 L'isolement acoustique de la salle vis-à-vis de l'extérieur.....	40
II.5.3 Le problème de la qualité acoustique des auditoriums	40

A. Géométrie.....	40
II.5.4 Etude de l'acoustique dans les auditoriums.....	41
II.6 Exemples de traitement acoustique.....	42
A. Pour les petites salles.....	42
B. Pour les grandes salles	42
II.6.1 Typologies des salles de conférence et leurs comportements sonores	46
A. Principe de plan	46
1. Salle en boîte à chaussure (boîte dans la boîte).....	46
2. Salle en arène	47
3. Salle en éventail.....	49
4. Salle en Asymétrie.....	50
B. Principe de coupe	51
1. Optimisation par : matériaux composants	52
2. Optimisation par : l'inclinaison de la toiture	52
Conclusion	54
Chapitre n° 03 : Analyse de l'auditorium universitaire (université de Tébessa) et autres exemples	
Introduction.....	56
I. Situation et caractéristiques de la zone d'étude :	57
I.1. Situation géographique	57
I.2. Le climat de la wilaya de Tébessa	57
I.2.1 Températures moyennes	57
I.2.2. Les précipitations	58
I.2.3. Les Vents	58
II. présentation du cas d'étude « l'auditorium Malek Ben Nabi de l'université de Tébessa »	59
II.1. Implantation du projet.....	60
II.2. Etude plan de masse.....	60
II.3 l'environnement immédiat.....	61
II.4. La volumétrie.....	62
II.5. Etude des plans	62
II.6. Les façades	63
II.7. Etude intérieure	64

II.8. Etude climatique	64
II.9 Analyse des exemples	65
II.9.1 Présentation des exemples livresques.....	65
A. Programme	66
B. Étude Architectural	71
C. Analyse spatiale et fonctionnelle	74
D. Analyse acoustique	76
E. Caractéristiques de la salle	77
F. Les matériaux composants	78
G. Correction acoustique (isolement acoustique)	79
Conclusion	81
Chapitre n° 04 : la état de l'art et positionnement épistémologique	
Introduction	83
I. Les études antérieures	84
I.1 La première étude.....	84
I.1.1.1. La première étape.....	84
I.1.2. La deuxième étape.....	85
I.1.3. La troisième étape.....	86
I.2. La deuxième étude	86
I.3 La troisième étude	89
II. Les méthode d'évaluation	92
II.1.La méthode expérimentale	92
II.1.1 La technique du questionnaire	92
II.1.2. Méthode de calcul	92
II.1.3. La technique de la simulation	92
II.1.4. Quelques logiciels de simulation acoustique	93
III. La technique de simulation "Ecotectanalysis"	94
III.1 Le choix d'outil de simulation "Ecotectanalysis"	95
III.2.Les étapes du travail avec "ECOTECT analysis 2011.....	95
III.2.1.Les étapes du travail de simulation via le logiciel ECOTECT sont.....	95
A. Première étape : importer le dessin 2D de logiciel Autocad.....	96
B. La deuxième étape : créer le volume 3D de la salle principale.....	96
C. La troisième étape.....	97

D. La quatrième étape	97
III.2.2 Création des modèles de simulation (les scénarios).....	98
A. Les paramètres des modèles d'analyses	98
• Etape 01	98
• Etape 02.....	99
• Etape 03.....	100
Conclusion	101
Chapitre n°05 : démonstration et résultats	
Introduction	103
I. Analyse des scénarios	104
I.1.Etape 01	104
I.1.1.Interprétation de résultat 01	105
I.2.Etape 02	106
I.2.1 Interprétation de résultat 02	107
I.3.Etape 03	107
I.3.1.Interprétation de résultat 03	108
Conclusion	109
Chapitre n° 06 : projet d'un auditorium universitaire	
Introduction	111
I. Les enseignements.....	112
I.1 Volet urbain	112
I.2 Volet architectural	112
I.3 Volet acoustique	112
II. Analyse du terrain.....	114
II.1. Les critères du choix.....	114
II.2. La situation géographique.....	114
II.3. La morphologie du terrain.....	115
II.4. L'accessibilité du terrain.....	115
II.5. L'environnement immédiat.....	115
II.6. La topographie du terrain.....	116
III. Le programme.....	117

III.1. L'idée conceptuelle du projet	118
III.2. Les plans	120
Conclusion.....	123
Conclusion générale	125
Bibliographie	127
Annexes.....	130
Liste des figures	
Liste des graphes.....	
Liste des tableaux	
Résumé	

INTRODUCTION GENERALE :

Introduction :

L'acoustique, est la science du son et des facteurs liés à l'audition, en tant que science physique du son, occupe une place particulière dans les champs de la science moderne.

Elle constitue un élément essentiel, générateur de la vie sur la terre, elle présente une partie indéniable de notre vécu quotidien et nous influence psychologiquement.

Il est vrai que, lors de la conception architecturale les préoccupations acoustiques sont toujours reléguées au second plan par rapport aux visuelles, la complexité du comportement du son conduit beaucoup d'architectes à négliger les qualités du son dans l'espace. Les solutions aux problèmes acoustiques ne seront élaborées que lorsque l'ouvrage est achevé et cela que par de simples solutions techniques.

Même si le confort acoustique n'est pas toujours pris en compte dans le domaine de la construction et des aménagements dans notre pays, il est de plus en plus recherché par les algériens qui sont soucieux de leur qualité de vie. Pour la première fois en Algérie, un colloque qui traite du bruit et ses méfaits a été organisé le 29 Mars 2008, son objectif étant de sensibiliser les pouvoirs publics, les entreprises et les citoyens afin d'agir pour régler les nuisances sonores.

Historiquement, la question de l'acoustique dans le bâtiment remonte jusqu'à l'Antiquité. Certains théâtres ouverts, comme le Théâtre d'Épidaure en Grèce, témoignent déjà de solides connaissances sur le comportement du son dans un espace, comportement en grande partie lié aux lois de la trigonométrie découvertes par Pythagore (environ 580-490 avant J-C). L'objectif dans ces théâtres, était d'obtenir la meilleure qualité acoustique possible afin que la voix des acteurs parvienne jusqu'aux auditeurs assis dans les gradins. De fait, ces lieux sont toujours nimbés de légendes quant à l'excellence de leur acoustique.

L'acoustique en architecture a pour objectif d'offrir la qualité de son la plus adaptée aux lieux selon leurs fonctions principales. La conception acoustique d'un auditorium n'est pas similaire à un lieu de culte, ou une bibliothèque etc.

Les constats négatifs et les constats positifs :

Les salles de conférences ont une conception architecturale spécifique pour assurer une distribution optimale du son, malheureusement la conception de la salle de conférence de l'université de Tébessa n'a pas pris en considération le confort acoustique comme un élément important, ils n'ont pas bien étudié l'utilisation des matériaux durs dans les surfaces intérieures qui réfléchissent le son, ils ont utilisé aussi des formes simples qui donne une mauvaise propagation du son.

Mais le fait que l'université de Tébessa contient une salle de conférence est un point positif de lui-même, car avant 2004 l'université n'a pas eu un espace pour accueillir des événements, des conférences ou des spectacles.

Questions de recherche :

La question principale :

Comment peut-on assurer une qualité acoustique optimale dans un auditorium ?

Les questions secondaires :

Quelle est la relation entre la conception architecturale et le rondement acoustique ?

Quelle sont les matériaux isolants disponibles dans le marché algérien qui peuvent offrir un meilleur confort acoustique ?

Comment peut-on assurer une bonne isolation acoustique avec l'efficacité du rondement acoustique ?

Les hypothèses :

L'hypothèse principale :

-La conception architecturale des auditoriums joue un rôle important dans le confort acoustique.

Les hypothèses secondaires :

- Seule la forme et les matériaux choisis sont déterminants d'une qualité sonore optimale.
- Le recours aux réflecteurs est indispensable car les solutions architecturales ne sont pas Suffisantes.

Les objectifs :

Définir une forme optimale qui permet d'assurer une propagation harmonieuse du son dans les auditoriums.

Prendre en considération les matériaux pouvant créer un espace acoustique confortable et en mesure de transmettre du bien-être aux utilisateurs.

Trouver les solutions techniques (réflecteurs, amplificateurs, ...etc.) Adéquates et compatibles avec les solutions architecturales (forme, volume, matériaux...etc.).

Proposer des recommandations qui permettent aux architectes de prendre en compte le facteur du son dans les auditoriums dès la phase de la conception architecturale.

Méthodologie d'approche :

Ce travail s'articule sur deux parties :

Partie théorique : Recherche théorique sur la distribution du son dans le vide architectural.

En mettant en évidence les antécédents théoriques de la distribution du son dans le domaine architectural de l'étude du confort sonore interne et externe, comportement sonore dans le vide, sa distribution, ses formes, ses dimensions et les matériaux qui l'aident.

Organiser une transition en vue de vérifier la problématique et de l'appliquer dans la phase de conception.

Partie analytique : Évaluation sous forme d'ECOTEC, comme un logiciel de simulation pour évaluer le confort acoustique dans le cas d'étude.

Structure du mémoire :

CHAPITRE 01 : l'Acoustique architectural,

Dans ce chapitre, nous présenterons l'ensemble des définitions pour le confort sonore et acoustique, ainsi pour le son.

Déterminer les normes permettant d'atteindre un confort et un son sain et d'identifier les mécanismes de conception à partir des formulaires, les dimensions et les matériaux de construction, qui améliorent la distribution audio et les études d'exemples pour déterminer l'application de ces normes.

CHAPITRE 02 : Auditorium

Dans ce chapitre, on définira la culture, parler de l'historique de la culture, déterminer les rôles et les fonctions de la culture, définir les équipements culturels et leurs classifications.

INTRODUCTION GENERAL

Nous allons étudier le projet théoriquement à partir de l'identification des concepts et de l'ensemble de définitions autour des auditoriums et les renforcer par un ensemble de normes pour améliorer la conception.

Pour approfondir, nous analyserons un exemple existant pour identifier les relations spatiales et fonctionnelles.

CHAPITRE 03 : Cas d'étude : auditorium de l'université de Tébessa

Dans ce chapitre, on analysera le cas existant au niveau du plan, façade et volume et on se concentrera sur le point de la qualité acoustique de la salle principale de l'auditorium pour définir les problèmes de la propagation du son et déterminer le niveau de gêne (bruit extérieur et bruit intérieur) et finir par synthèse pour les utiliser dans le projet final.

CHAPITRE 04 : l'état de l'art

Dans ce chapitre on va utiliser l'ECOTECT comme un logiciel de simulation pour évaluer le confort acoustique dans le cas d'étude (auditorium Malek Benabi de l'université de Tébessa) Par des différents scénarios

CHAPITRE 05 : interprétation des résultats

Ce chapitre consiste les résultats du chapitre précédent, on va choisir le meilleur résultat pour l'utiliser dans la phase de l'élaboration du projet.

CHAPITRE 06 : élaboration du projet

Dans ce chapitre on va présenter et analyser le terrain choisi pour notre projet et expliquer les différentes étapes d'élaboration du projet.

Chapitre n° 01 : le confort acoustique

Introduction :

La manière dont l'homme entend, et dont il est physiologiquement affecté par le son a été un sujet de discussion pendant des années. De nombreuses études en acoustique ont donc été menées pour atteindre cet objectif.

Dans un premier temps, nous toucherons l'histoire de l'acoustique dans les différentes périodes de l'histoire.

Dans un deuxième temps nous étudierons les principes de l'acoustique (les notions de base) et les caractéristiques du son ainsi que les différents problèmes acoustiques que rencontre l'architecte lors de la conception d'un projet architectural dans le but de comprendre toutes les propriétés du son qui vont nous servir de base pour commencer notre recherche.

I. Le confort :

Selon V. Candau, « le confort dépend de l'ensemble des commodités procurant de l'agrément, générant une impression plaisante ressentie par les sens et l'esprit, voire même un certain plaisir... tout ce qui fait défaut, qui est difficile à utiliser, qui ne correspond pas aux attentes, qui gêne ou qui est désagréables est contraire à la notion de confort. »

John E. Crowley a proposé en 2001, la définition suivante du confort : « a self conscious satisfaction with the relationship between one's body and its immediate physical environment. » il s'agit d'un état de satisfaction quant à la relation entre le corps et son environnement physique immédiat.

Pour Roulet, « assurer une bonne qualité de l'environnement intérieur c'est entre autres satisfaire des besoins des occupants, donc assurer leur confort ».

I.1. L'Architecture et le Confort :

C'est ici la base de tout confort, la conception architecturale a, au fil du temps, évoluer dans ce sens. Et le seul examen des plans permet de connaître la conception que se fait l'architecte de la vie Familiale et de la vie sociale. Mais il est bien évident que ce n'est pas le plan qui commande la mentalité, mais la mentalité qui commande le plan. De sorte que l'évolution des plans des châteaux et des résidences nous permet de suivre l'évolution de la mentalité des époques auxquelles ils ont été construits.

II. L'acoustique

II.1 Le confort acoustique :

Au carrefour de l'architecture, de la physique et de la psychologie, l'acoustique architecturale étudie comment les constructions sont influentes sur la propagation et la résonance des sons. Cette étude est faite dans un but précis, par exemple la protection des locaux contre les bruits et vibrations (isolation acoustique) ou l'optimisation des conditions d'émissions et de réception des ondes sonores en fonction de l'utilisation du local (correction acoustique). (Guillemin, 1882)

II.1.1 L'historique de l'acoustique :

A. Antiquité et Moyen âge :

Homère au VIII^{ème} siècle avant notre ère distingue déjà les composantes fondamentales du son : l'intensité, la hauteur et le timbre et présente le son comme « une réalité », qui se déplace dans l'espace, et comme une force capable de frapper les oreilles, voire de déplacer des objets. Il a déjà conscience des liens entre les phénomènes de son, d'écho et de résonance.

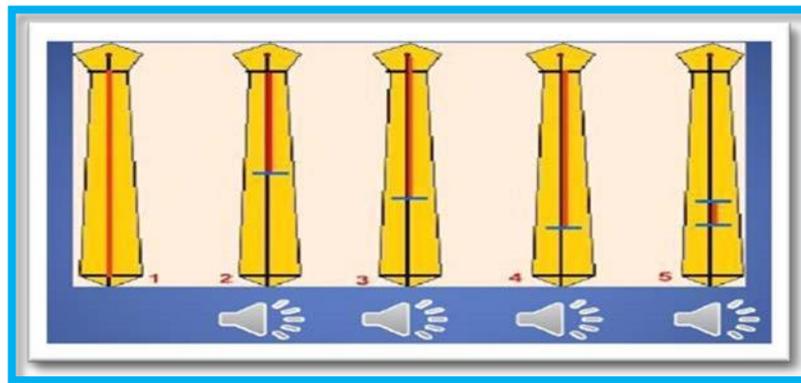


Figure 1: les rapports de longueurs

(Source : brève histoire de l'acoustique 2015)

Pythagore qui est le premier à associer mathématiques et musique, et ses disciples réalisent les premières expériences sur des cordes vibrantes, et ils remarquent qu'il existe un lien entre la longueur de la corde, sa tension et la note qu'elle produit. Les rapports de longueurs simples ($1/2$, $2/3$, $3/4$ etc. ...) déterminent des intervalles musicaux remarquables (octave, quinte, quarte etc. ...) qui avaient frappé les observateurs de l'Antiquité.

Les vases de Vitruve (Marcus Vitruvius Polio, dit Vitruve, est un architecte romain qui vécut au I^{er} siècle av. J.-C.) représentent un autre héritage marquant de l'époque antique. Ils étaient utilisés dans les théâtres pour interférer passivement avec les phénomènes acoustiques du lieu. Ces cavités jouaient donc un rôle de filtre acoustique atténuant certaines fréquences pour en amplifier d'autres. Les dimensions auxquelles ces vases étaient généralement conçus font imaginer qu'ils servaient à faire résonner les ondes de fréquences proches de celles de la voix. (Brève histoire de l'acoustique 2018)

Marin Mersenne (1588-1648), philosophe et religieux français publie, après quelques essais, deux gros volumes intitulés De l'harmonie universelle (1636), où il traite de toutes les questions physiques et mathématiques intéressant les instruments et la voix, Il quantifie l'expérience de Pythagore. (brève histoire de l'acoustique 2018)

B. Le XVIIIème siècle :

Joseph Sauveur (1653-1716) crée le terme d'« acoustique » pour désigner la science de l'étude des sons.

« Par défaut des organes de la voix qui ne commencèrent à se débarrasser qu'en Ce temps-là, mais lentement et par degrés, mais n'ont jamais été bien libres... ce Qui l'obligea à penser davantage » 3 (Fontenelle, Eloge de Mr Sauveur, 1716).

En 1716, le savant français Philippe de la Hire formule l'idée que le son est produit par le tremblement des molécules d'air dans l'entourage de la corde vibrante, tandis que Newton estime que le son est produit directement par la corde vibrante.

En 1791, le Français Etienne Pérolle démontre que les sons se conduisent plus loin dans L'eau que dans l'air.

En 1711, le luthiste anglais John Shore (1662-1752) invente le diapason accordé à 440 Hz, ce sera l'outil d'une normalisation des fréquences.

Jean le Rond d'Alembert (1717-1783), Leonhard Euler (1707- 1783) et Joseph Louis Lagrange (1736-1813) établissent le formalisme définitif de la théorie de la propagation des ondes, grâce à la découverte de la notion mathématique de dérivée partielle par d'Alembert.

Première détermination expérimentale précise en 1738 par César François Cassini de la vitesse du son, à l'aide de coups de canon tirés la nuit (pour voir les flammes sortant de la bouche de l'arme) entre l'Observatoire de Paris, Montmartre, Fontenay-aux-Roses

Le physicien allemand Ernst Florens Friedrich Chladni (1756-1827) étudie à partir de 1787 les motifs des ondes stationnaires provoquées par les vibrations de plaques solides sur lesquelles il à déposer une fine couche de sable (motifs de Chladni). Il publie un « Traité de l'acoustique » en 1802. (brève histoire de l'acoustique 2018)

C. Le XIXème siècle :

En 1822, François Arago et Riche de Prony réalisent de nouvelles expériences plus rigoureuses pour mesurer la vitesse du son dans l'air, sur ordre du Bureau des longitudes. Les résultats

donnent la valeur de 340,88 m/s à une température de 15,9 °C. Après correction, la vitesse du son à 0 °C est de 330,9 m/s.

En 1860, Gustave Theodore Fechner publie l'ouvrage fondateur « Eléments of psychophysiques » de psychophysique, cette « science exacte des relations fonctionnelles ou relations de dépendance entre le corps et l'esprit », dans lequel il développe les bases de la mesure des sensations, en particulier des sensations auditives.

En 1866, August Kundt (1839-1894) étudie les résonances des sons dans les tuyaux et met en évidence les ondes stationnaires sonores dans un tube rempli d'air (tube de Kundt).

Karl Rudolph Koenig (1832-1901), physicien français d'origine allemande, développe une palette complète d'instruments scientifiques permettant de détecter et de produire des sources sonores. Il publie notamment un Catalogue des appareils d'acoustique (1859), et quelques expériences d'acoustique (1882). (brève histoire de l'acoustique 2018)

D. Le XXème siècle :

L'analyse physique et mathématique de l'acoustique architecturale ne prit réellement forme qu'au début du XXe siècle, grâce aux travaux de l'Américain Wallace Sabine.

En 1918, Langevin utilise des ultrasons pour mesurer la profondeur des océans et détecter les icebergs, il invente le sonar.

En 1940, Harvey Fletcher (Bell Téléphone Labs) jette les bases de la Psycho acoustique moderne (il démontre l'effet de masque d'un son fort sur un son plus faible de fréquence voisine). (brève histoire de l'acoustique 2018)

II.2. Principes généraux d'acoustique :

II.2.1 Le son :

A. Définition du son :

Tout son résulte de la vibration d'un corps qui met en vibration l'air environnant, sous forme d'onde de pression et de dépression. C'est la variation de pression qui se déplace de proche en proche. L'onde acoustique est une onde de pression à l'image d'une onde à la surface de l'eau (Champilou 2012)

Le son est une Sensation auditive engendrée par une onde acoustique qui se propage dans un Milieu élastique, « La vitesse de propagation du son dans l'air est de 340 m/s ». (Champilou 2012)

Le son n'est pas figé comme une image, il bouge, se diffuse, et évolue dans l'espace-temps,

est peut se déterminer en physique par un certain nombre de paramètres calculables ou mesurables, Comme la fréquence, l'intensité.

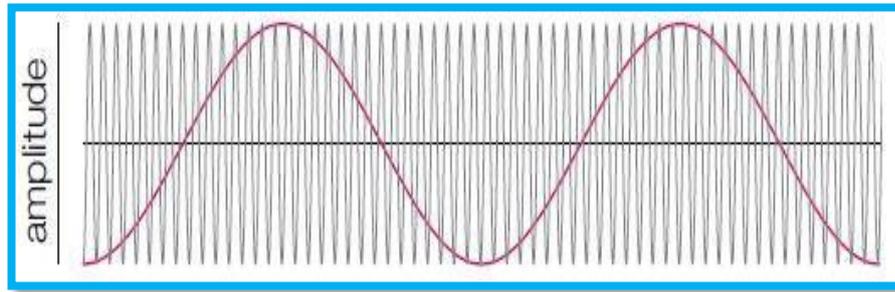


Figure 2: représentation graphique d'une onde sonore

(Source: Steve Cherpillod.2011)

B. Catégories du son :

Selon sa fréquence, on distingue 3 catégories de son ; à savoir : (Champilou 2012)

1. Catégorie 1 : BASSE FREQUENCE

Tous les sons d'une fréquence inférieure à 100 Hz.

2. Catégorie 2 : MOYENNE FREQUENCE

Le son d'une fréquence allant de 100 Hz à 2 KHz.

3. Catégorie 3 : HAUTE FREQUENCES

Le son d'une fréquence supérieure à 2 KHz.

C. La perception du son :

« Le fait qu'un son soit audible ou non dépend principalement de notre système auditif. Il a ses limites et il faut en tenir compte puisque le confort ou la correction acoustique sont liés à notre Perception auditive » (Champilou 2012)

Les limites de notre ouïe sont les suivantes :

- En dessous de 20 Hz : inaudibles infrasons.
- De 20 Hz à 400 Hz : audible : graves.
- De 400 Hz à 1600 Hz : audible : médiums.
- De 1600 Hz à 20 KHz : audible aigus.
- Au-dessus de 20 KHz : inaudible : ultrasons.

D. Caractéristiques d'un Son :

- L'intensité d'un son correspond à l'amplitude de la vibration acoustique. En d'autres Termes, elle caractérise le volume sonore qui nous permet de définir la force d'un son.

- La fréquence d'un son est liée à la vitesse de vibration de l'air, Les variations de la Fréquence fondamentale permettent de situer un son sur l'échelle des graves et des aigus.

- Le timbre est donné par les harmoniques et les transitoires qui accompagnent la Fréquence fondamentale. Il permet de différencier deux sons de même hauteur et de Même amplitude. (Champilou 2012)

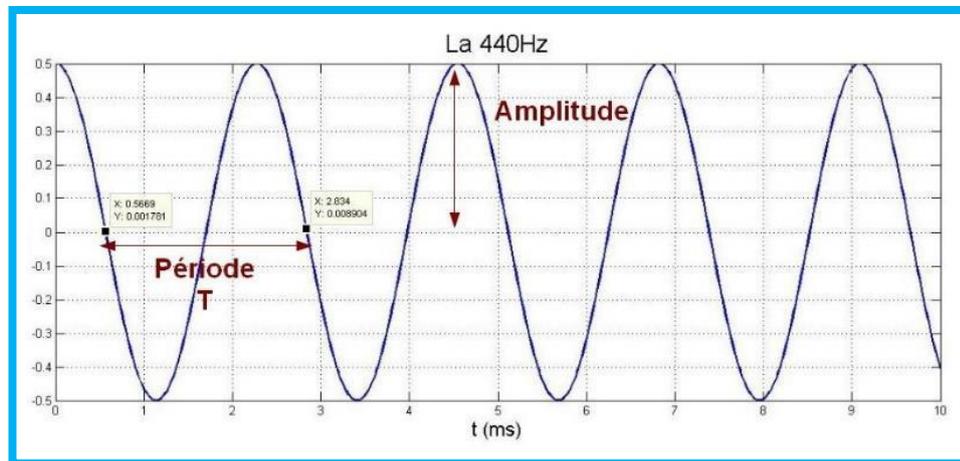


Figure 3: schéma graphique des caractéristiques de son

(Source : verre.weebly.com 2019)

E. Types de son :

Dans l'acoustique il existe différentes modalités de distinguer les sons les, mais celle qui suit Est la plus simple et la plus logique (Bui Van Tran, 2009).

• Son pur :

C'est le son émis sur une seule fréquence et une amplitude par un diapason.

Dans l'acoustique du bâtiment, on rencontre rarement un son pur, d'une seule fréquence et Avec une puissance propre, on observe plutôt des mélanges de son de fréquence et niveaux de Puissances différents.

• Son complexe :

C'est le son émis sur beaucoup de fréquence et d'amplitudes à la fois.

La variation de ce son se fait par la superposition de multitudes de son pur avec des ondes Sinusoïdales.

• Son confus :

C'est mélange de sons sans périodicité précise, tel le bruissement des feuilles dans les Arbres.

II.2.2. Le Bruit :

Le bruit est une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante. Il est

Caractérisé par sa fréquence (en hertz), son niveau (en décibels, dB ou dB(A), son spectre et sa durée Une combinaison d'ondes sonores de fréquence et d'amplitude différente sera nommée bruit (BOUKADOUM 2012)

A. Sources du bruit :

On appelle source sonore tout sujet émettant des ondes sonores : l'homme parlant, Hautparleur, machine en marche, feuillage devant le vent. Deux types de sources sonores :

- **Sources ponctuelles :**

C'est toute source dont les dimensions sont négligeables-ment petites par rapport aux Distances de propagation des ondes (BOUKADOUM 2012)

Exemple : instrument musical, hautparleur, machine ou voiture en marche.

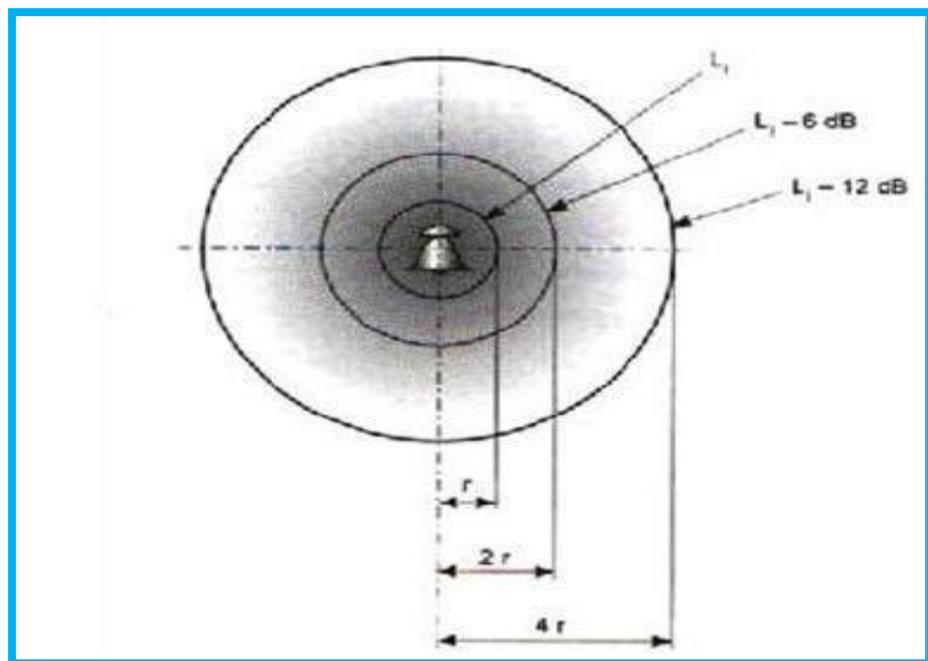


Figure 4: source sonore ponctuelle

(Source : (BOUKADOUM 2012)

- **Source linéaire :**

C'est l'atmosphère isotrope et homogène les sources linéaires produisent des ondes

Cylindrique (BOUKADOUM 2012)

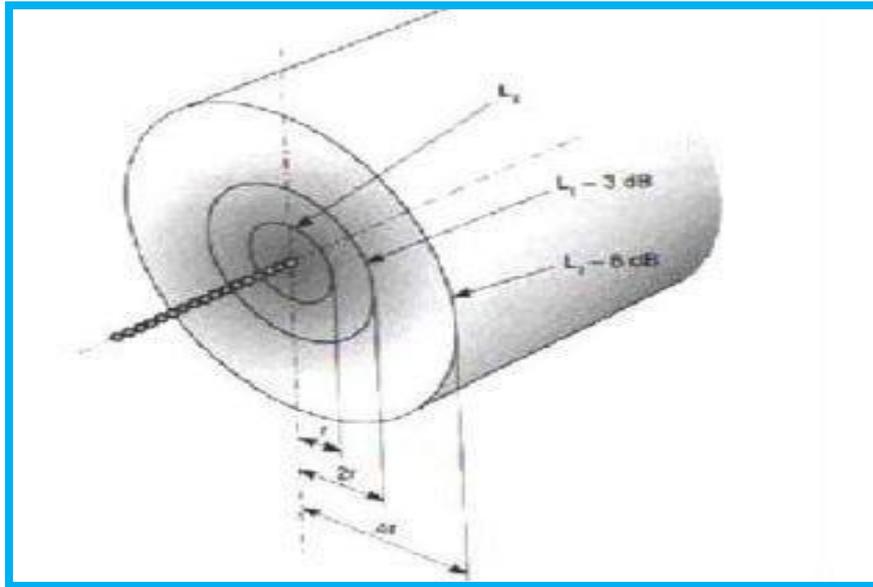


Figure 5: source sonore linéaire

(Source : (BOUKADOUM 2012))

II.2.3. La propagation du son dans l'espace architectural :

« Les sons émis à l'intérieur d'un espace fermé subissent différents phénomènes acoustiques, Qui dépendent de la nature des surfaces et obstacles dans cet espace, de son volume et aussi des lois de la physique (nature des ondes sonores, fréquences...) » (BOUKADOUM 2012)

Une onde sonore lors de sa propagation (figure 5) est soumise à des phénomènes de Réflexion, diffraction, diffusion ou absorption par les obstacles rencontrés (sol, murs et plafond, mobilier ...).

Pour mieux schématiser ces différents phénomènes, nous avons choisi l'illustration suivante Qui représente les chemins de propagation du son émis depuis la scène d'un auditorium.

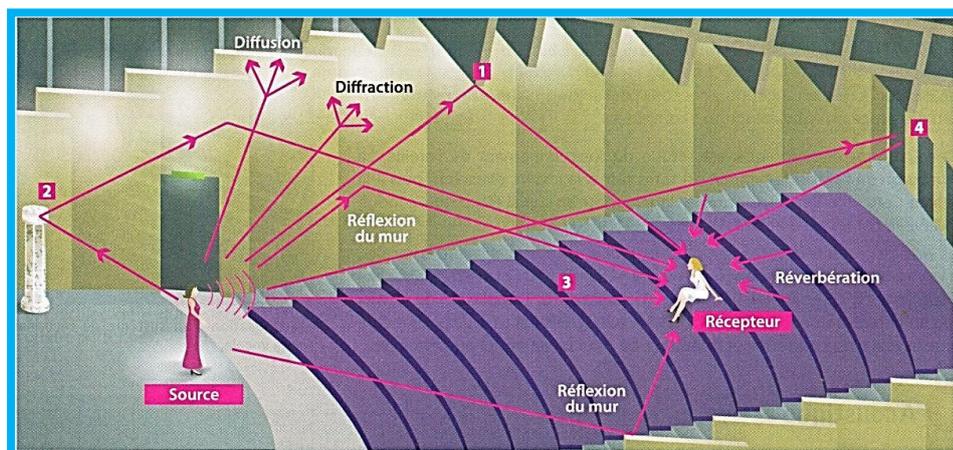


Figure 6: chemin de la propagation du son dans une salle

(Source : (Caroline 2017))

Les principaux facteurs qui interviennent dans la structure du champ rayonné sont :

- La source sonore.
- Le milieu de propagation.
- La nature des parois.
- La nature des obstacles.

L'acoustique, dans le cas qui nous concerne, peut donc se définir comme l'ensemble des techniques visant à assurer la qualité de la diffusion du son dans un volume.

Le son produit par une source émissive dans un espace peut se subdiviser temporellement et selon le trajet emprunté par le son pour atteindre l'auditeur. On distingue principalement : le son direct, les premières réflexions, et le son réverbéré.

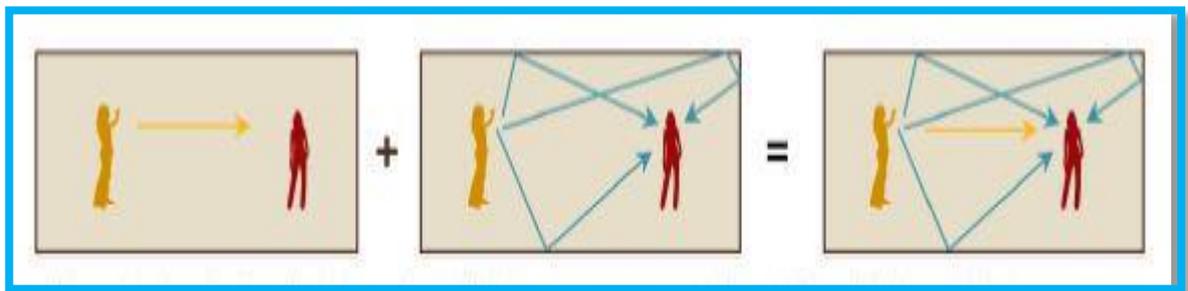


Figure 7: le trajet du son pour atteindre l'auditeur

(Source : (Caroline 2017))

II.2.4. Le son direct :

Le son direct est, comme son nom l'indique, le son arrivant à nos oreilles en parcourant le Chemin le plus direct : il provient donc directement de la source émissive. Le son direct nous permet de localiser où se situe dans l'espace la source sonore. Il est essentiel que le son direct arrive sans obstruction à l'auditeur pour des raisons de clarté et d'intelligibilité (Cherpillod 2011)

A. Les premières réflexions :

«Une onde acoustique est déviée de son trajet lorsqu'elle rencontre un obstacle rigide et de grande dimension par rapport à sa longueur d'onde : le phénomène est appelé « réflexion ». L'onde incidente frappe l'obstacle selon un angle ϕ_i , l'onde réfléchie repart selon un angle ϕ_r égal à ϕ_i » (BOUKADOUM 2012)

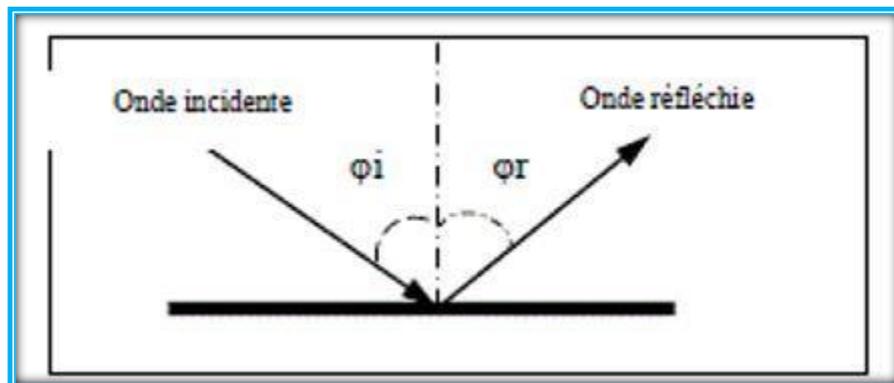


Figure 8: réflexion d'une onde acoustique

(Source : BOUKADOUM. 2012)

Si une onde acoustique se déplace en ligne droite jusqu'à une paroi, l'onde sera réfléchie, alors qu'une partie de l'énergie sera absorbée par la paroi. La réflexion de l'onde sonore se fait selon un angle qui est théoriquement le même que celui d'incidence. C'est donc la forme de la salle qui détermine les premières réflexions. Il est essentiel que le temps écoulé entre le son direct et les premières réflexions soit inférieur à 50 ms (pour la parole) ou 80 ms (pour la Propagation du son dans une salle).

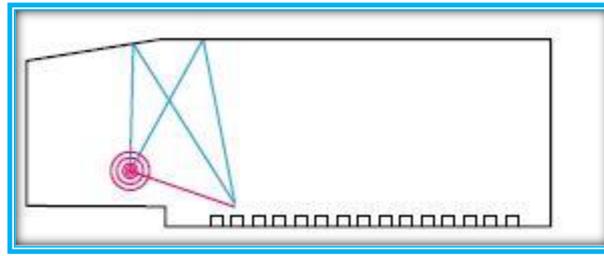


Figure 9: Coupe schématique de la propagation du son direct et des premières réflexions
(Source : (Cherpillod 2011))

B. L'intelligibilité d'un son :

Le temps de réverbération du son résulte de la réflexion des ondes sonores sur les parois à l'intérieur d'un volume généralement fermé (salle, hall d'entrée, locaux communs, restaurant, cantines scolaires, salle de cours, salle polyvalente, etc....) (Champilou 2012) Il a été prouvé que l'intelligibilité de la parole s'améliore avec la diminution du temps de Réverbération pour conserver un son audible et intelligible. Ce dernier influe sur la qualité Acoustique d'une salle, quand il est trop long. La réverbération d'une paroi est sa capacité à Absorber ou réfléchir les ondes sonores.

C. La performance acoustique :

«Les indices traduisant les performances acoustique des matériaux de construction ou des Dispositifs architecturaux sont : le coefficient d'absorption α , l'aire d'absorption équivalente A , la durée de réverbération Tr , l'affaiblissement acoustique R pour les bruits aériens, isolement acoustique D , efficacité au bruit de choc ΔL et le niveau de pression acoustique du bruit de choc» (BOUKADOUM 2012)

• Coefficient d'absorption A :

L'absorption d'une paroi, et notamment de son matériau de surface, est caractérisée par le Coefficient d'absorption α . Il indique l'efficacité de ce matériau à absorber le son (BOUKADOUM 2012)

• Aire d'absorption équivalente A :

L'aire d'absorption équivalente A est la valeur de la surface fictive d'une paroi (ou d'un Matériau) totalement absorbante ayant la même absorption acoustique que la paroi (ou le Matériau) considérée (BOUKADOUM 2012)

D. Durée de Réverbération :

« La réverbération est la persistance d'un son dans un espace clos après interruption Brusque de la source sonore » (Loïc 2008).

La durée de réverbération TR d'un local est le temps que met le son pour que son niveau D'intensité diminue de 60 dB après interruption de la source sonore, ce qui correspond à une Intensité de 1/106 de l'intensité initiale de la source sonore. Elle est exprimée en secondes. Elle dépend du volume de la salle et des qualités absorbantes des surfaces (BOUKADOUM 2012)

Le tableau suivant montre la fréquence critique de quelques matériaux usuels :

Matériaux	Masse volumique (kg /m ³)	f _c pour 1 cm d'épaisseur (HZ)
Acier	7800	1000
Aluminium	2700	1300
Béton	2300	1800
Bois (sapin)	600	6000à 18000
Plâtre	1000	4000
Polystyrène	14	14000

Tableau 1: Valeurs des fréquences critiques des matériaux du bâtiment
(Source : BOUKADOUM. 2012)

Le temps de réverbération dépend fortement de la fonction à laquelle est destinée la salle. L'expérience a permis de définir un temps de réverbération optimal en fonction de leur utilisation.

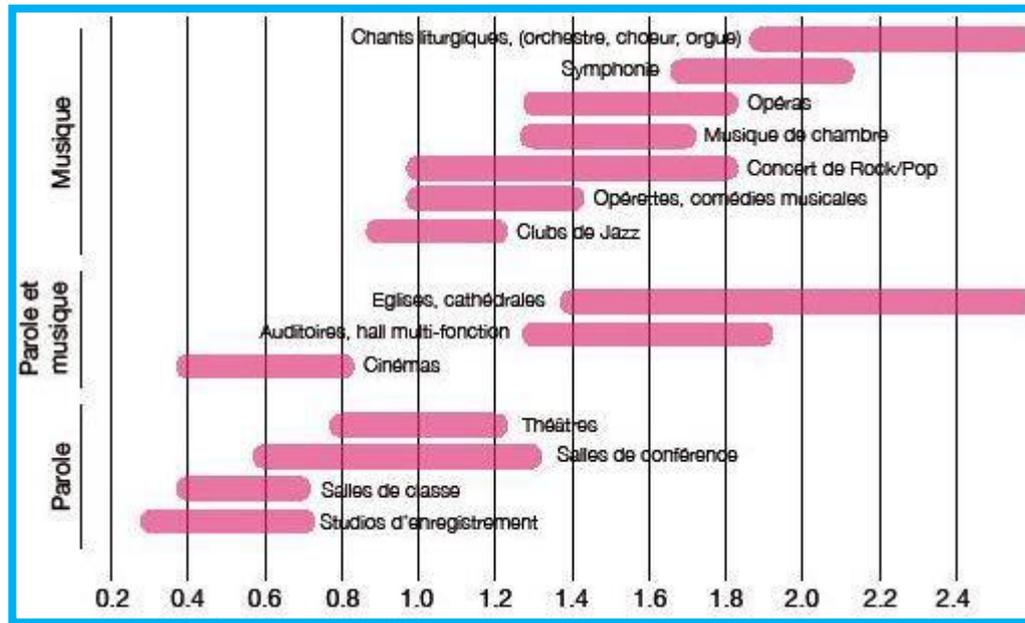


Figure 10: Temps de réverbération selon la fonction de l'espace
(Source : (Cherpillod 2011))

II.3. Étude de l'acoustique dans un espace architectural :

Dans cette partie de notre recherche on va étudier la relation entre l'architecture et le son et Solutions apportées pour une bonne qualité acoustique. Ensuite on a besoin de déterminé tous les dispositifs architecturaux et techniques qui assurent un confort acoustique à l'intérieur de l'espace.

II.3.1. Volume :

Les premières réflexions sont suivies par le son réverbéré. Ce son est d'une intensité plus Faible car ayant subi de plus en plus d'absorption. Le volume de la salle joue donc un rôle Déterminant dans la réverbération du son.

En Calcule un temps de réverbération en fonction du volume V de la pièce et de la surface Équivalente d'absorption A par :

$$T = \frac{k \cdot V}{A}$$

où $k \approx 0,163$

Équation 1: temps de réverbération
(Champilou 2012)

A. Le volume de la salle :

Résulte de la base des exigences acoustiques (résonance) comme suit : spectacle de 4 à 5 m³ par spectateur ; opéra de 6 à 8 m³ par spectateur (Neufeurt 10)

B. La forme :

L'architecture et la forme de l'espace jouent un rôle pour obtenir une bonne acoustique, il faut que la forme de l'espaces soit optimal, comment l'obtenir ?

On parle des caractéristiques géométriques :

On va se baser sur la recherche de Steve Cherpillod qui a divisé les faits de l'influence Géométrique en deux principes.

C. Principe de plan :

Les formes des salles généralement utilisées ont chacune un comportement sonore propre à elle, ses problèmes acoustique et leurs propres solutions.

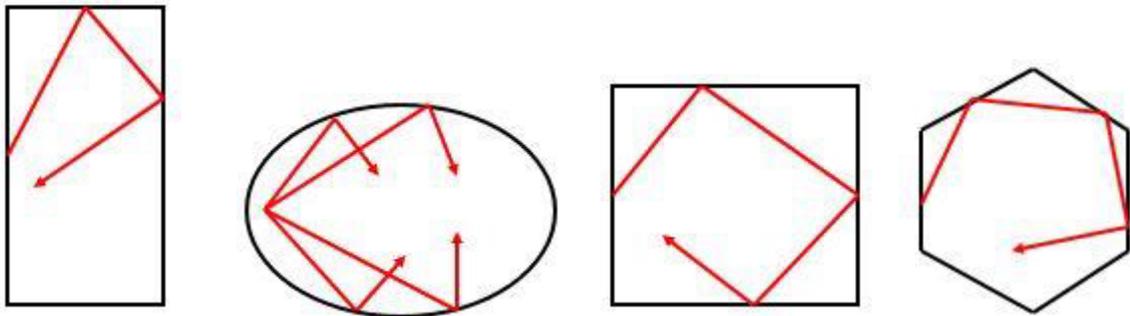
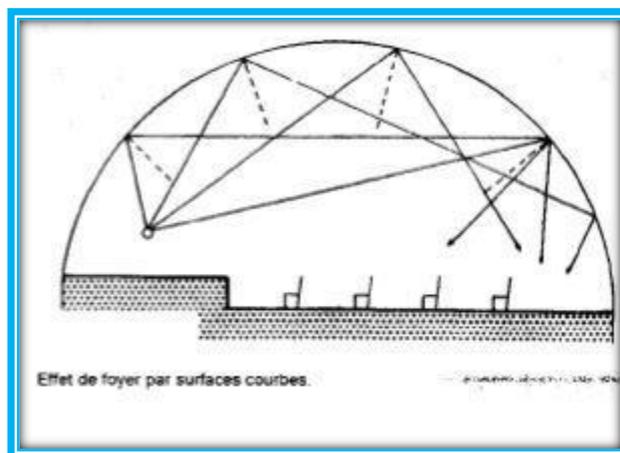
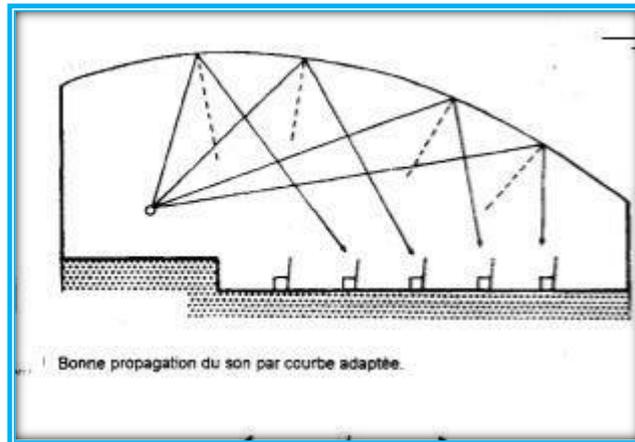


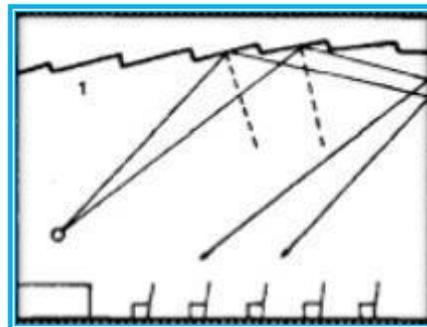
Figure 11: La Propagation du son selon les différentes formes en plan
(Source : auteur 2022)

D. Principe de coupe :

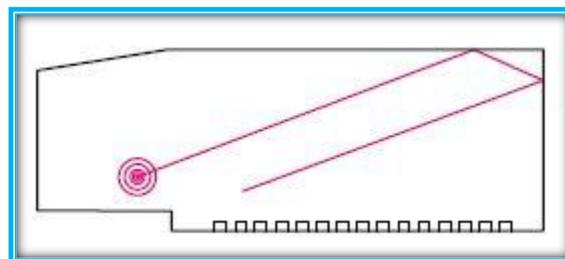
Toiture circulaire



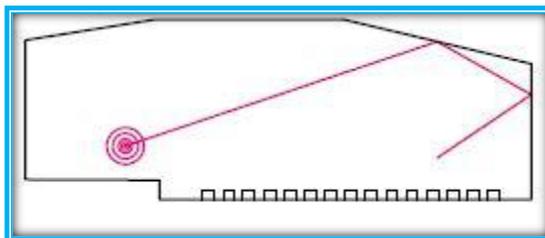
Toiture courbée



Toiture complexe



Toiture plate



Toiture inclinée

Figure 12: La Propagation du son selon les différentes formes de toitures
(Source : Neufeuert 10)

II.3.2. Matériaux :

Il n'y a pas que la géométrie d'une salle qui influence la propagation du son mais aussi les Matériaux le composant. En effet, lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi, une partie de L'énergie peut être absorbée, c'est le phénomène d'absorption acoustique.

Fréquence (HZ)	125	250	500	1000	2000	4000
Panneau acoustique rigide	0.2	0.4	0.7	0.8	0.6	0.4
Panneau acoustique monté sur cadre	0.5	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5
Enduit acoustique rugueux	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7	0.7
Enduit normal sur lattis	0.2	0.15	0.1	0.06	0.04	0.06
Placoplatre 16 mm sur tasseaux	0.3	0.1	0.05	0.04	0.07	0.1
Contre-plaqué 8 mm sur tasseaux	0.6	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
Parpaing sans traitement de surface	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3
Béton peint	0.1	0.05	0.06	0.07	0.1	0.1
Béton net de décoffrage	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
Terre cuite (tuile)	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.07
Tapis lourd sur béton	0.02	0.06	0.15	0.4	0.6	0.6
Tapis lourd sur feutrine	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Revêtement du podium, bois	0.4	0.3	0.2	0.2	0.15	0.1
Vitrage	0.3	0.2	0.2	0.1	0.07	0.04
Tenture murale, velours moyen	0.07	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6
Sièges capitonnés, occupés	0.4	0.6	0.8	0.9	0.9	0.9
Sièges capitonnés, libres	0.2	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6
Siège en bois ou métal, libre	0.02	0.03	0.03	0.06	0.06	0.05

Tableau 2: Coefficient d'absorption du son pour différents états de surface.

(Source : BOUKADOUM 2012)

II.4. La correction acoustique : (technique)

Pour les acousticiens, les musiciens et les professionnels du son, la correction acoustique repose principalement sur la diffusion acoustique qui reste pour eux un concept abstrait.

Un champ diffus est considéré comme parfait lorsqu'il répond à plusieurs critères : (à travers les articles)

- Possèdent peu d'irrégularités spatiales et fréquentielles
- Le déclin du son ne doit pas provoquer d'échos
- La courbe du TR doit être la plus exponentielle possible
- Le TR doit être sensiblement le même quel que soit l'endroit dans l'espace traité
- Un déclin de son similaire pour chaque fréquence.

La correction acoustique permet de maîtriser la propagation sonore et le temps de réverbération à l'intérieur d'une pièce, notamment par :

- La pose de matériaux réfléchissants pour mieux diriger l'onde sonore.
- L'installation des réflecteurs au plafond pour accentuer la clarté du son (distribuer

Les ondes sonores au milieu et au fond).

- L'intégration des obstacles à caractère diffuseurs, réflecteurs ou diffracteurs à

L'intérieur de la salle.

II.4.1. LE Continuum: correcteur d'ambiance acoustique :

Continuum est dispositif qui permet la réalisation des corrections d'ambiances acoustiques

Dans les espaces clos où le confort et la qualité d'écoute sont recherchés. Avec une épaisseur

qui ne dépasse pas les 45mm (Neufeuert 10)

A. Pour les basses fréquences :

La pression exercée sur le dispositif sera traitée en harmonie sur toute la surface absorbante

qui déclenche l'optimisation de la conversion en énergie de déplacement (Neufeuert 10)

B. Pour les moyennes et hautes fréquences :

Dans le cas des moyennes et hautes fréquences les panneaux continuum de comportent

comme une couche de matériau poreux qui actionnent une perte de chaleur progressive.

Pour renforcer les performances de l'absorption dans le cas des moyennes fréquences, une

lampe d'air a été intégrée dans la conception (Neufeuert 10).

II.4.2. Les réflecteurs :

A. Réflecteurs horizontaux au plafond :

De taille variée, plats ou courbes, en une ou deux dimensions, ces réflecteurs sont très

« Visible » par le son, par contre, leur problème est de ne pas créer de réflexion latérale ni

De mélange équilibré du son (Neufeuert 10).

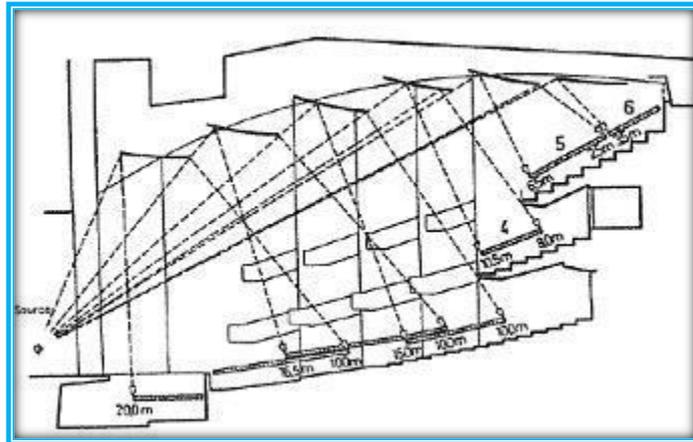


Figure 13: Les réflecteurs acoustiques sur le plafond
(Neufeuert 10)

a. Réflecteurs verticaux :

Des murs, mais aussi des fronts des balcons (lorsqu'ils sont orientés judicieusement), ainsi que des pans de mur partiels peuvent créer des réflexions acoustique efficaces : ils permettent surtout de créer des réflexions latérales.

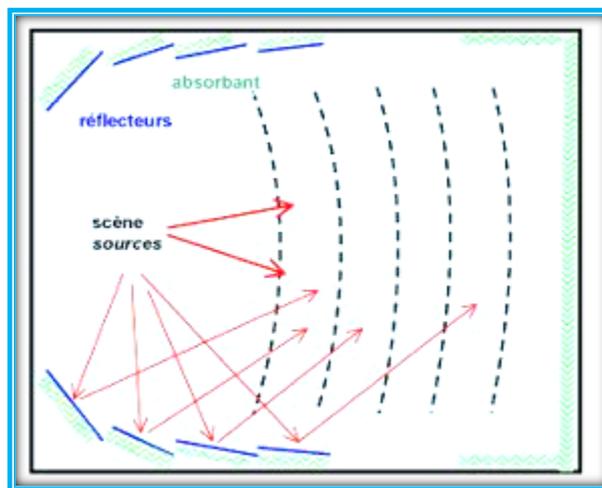


Figure 14: Les réflecteurs acoustiques sur les murs
(Source : Caroline.2017.)

II.5. L'isolation Acoustique :

L'isolement acoustique de la salle vis-à-vis de l'extérieur est jouer un rôle important pour Une bonne qualité acoustique.

Isolation acoustique des bruits d'équipement Les bruits d'équipement individuel et collectif (Bruits de plomberie, d'équipement sanitaires, de chauffage, de ventilation, d'équipement

Électrique, D'ascenseurs, de vide-ordures, de portes de garage) engendrent des bruits aériens et solides. D'une manière générale, il faut désolidariser ces équipements de la structure par l'utilisation de joints souples et de plots anti vibratiles (Caroline, 2017).

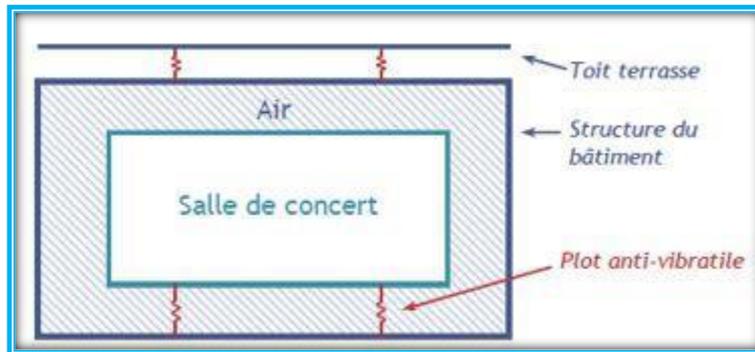


Figure 15: Plots anti vibratiles.
(Source : (Caroline 2017))

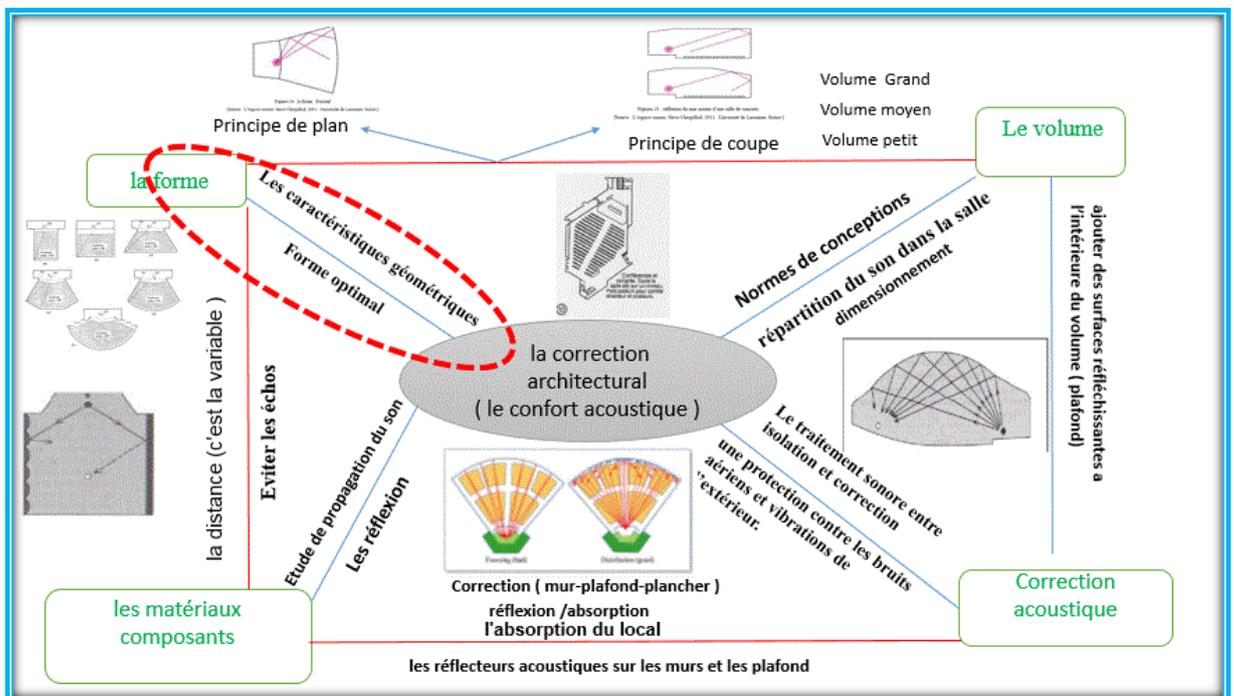


Figure 16: Présentation du dispositif architectural
(Source : caroline 2017)

Conclusion :

Dans ce chapitre il a été clair, de leurs natures, de leurs origines, de leurs propagations et de leur évaluation.

L'architecture en vrai relie la conception visuelle de l'espace aux phénomènes physique tel Que les sons et leur perception, étant influencés directement par les caractéristiques de l'espace dans lequel ils sont produits.

Une bonne acoustique dépend de la façon dont se propagent les ondes sonores.

La salle dont la meilleure conception acoustique est celle qui assure aux oreilles une réception non déformée des sons de la parole. Cela nécessite de garder T à sa limite inférieure acceptée.

La problématique du bruit est un phénomène complexe qu'il n'est pas facile de circonscrire.

Toutefois, il est nécessaire, aujourd'hui plus qu'hier, d'assurer aux habitants et usagers un environnement sonore sain qui favorise la qualité de vie et la quiétude.

Il est certain que la forme et l'espace architectural ne peuvent seuls assurer la sensation du confort acoustique sans l'introduction des dispositifs technique, donc il faut faire appel aux dispositifs techniques pour arriver à ce confort.

Donc le confort acoustique va se partager entre la forme et ces dispositifs, c'est pour cette raison qu'il faut étudier et déterminer les spécificités de chaque dispositif technique et sa mise en œuvre dans l'espace pour assurer un bon confort.

La négligence de l'un ou de plusieurs éléments de cet ensemble qui s'avère complémentaire peut conduire à des problèmes de l'inconfort.

Chapitre n° 02 :
L'acoustique dans les
auditoriums

INTRODUCTION :

La liberté, la prospérité et le développement de la société et des individus sont des valeurs humaines fondamentales. Elles ne peuvent s'acquérir que dans la mesure où les citoyens sont en possession des informations qui leur permettent d'exercer leurs droits démocratiques et de jouer leurs rôles.

L'auditorium est l'un des plus importants équipements culturels qui a émergé dans l'ère grecque au nom de 'théâtre' et se développait. Pour un cours continu à ce jour.

Après avoir fourni sur les principaux fondements d'acoustique architecturale d'une manière Générale ; on va étudier Dans cette partie l'acoustique dans les salles des auditoriums. L'objectif est de choisir parmi les formes existantes laquelle est la mieux adaptées pour notre projet. La connaissance des normes est indispensable. Les architectes se basent essentiellement sur les orientations de Neufeurt ; on va tenter de comparer ces normes aux différentes ressources bibliographiques dans le domaine d'acoustique architecturale. Il est question d'étudier en priorité l'impact de la forme architecturale sur la propagation du son.

I. Définition de la culture :

Selon le dictionnaire Larousse la culture est définie comme étant :

« Un ensemble de phénomènes matériels et idéologiques qui caractérisent un groupe ethnique ou une nation, une civilisation, par opposition à un autre groupe ou à une autre nation. »¹

Quant à l'UNESCO, la culture pour elle, se rapporte aux caractéristiques de la collectivité où s'interfèrent les croyances, les comportements, et la manière dont les gens les développent et les expriment.

Selon UNISCO : « La culture est considérée comme l'ensemble des traits distinctifs spirituels et matériels, intellectuels et affectifs qui caractérisent une société ou un groupe social, et qu'elle englobe outre les arts et les lettres, les modes de vie, les façons de vivre ensemble, les systèmes de valeurs, les traditions et les croyances »

Selon Malek Ben Nabi : la culture est une doctrine de comportement générale d'un peuple de toute diversité et de toute sa gamme sociale

I.1 L'équipement culturel : « Outil Du Développement Culturel »

L'équipement culturel est également un outil pertinent pour la lecture d'indicateurs de Développement culturel ; -Comment se définit-il, comment est-il structuré ?

Il se définit comme étant « un équipement collectif public ou privé destiné à l'animation culturelle, dans lequel se mêlent les dimensions d'éducation et de loisirs : salles de spectacles, d'expositions, bibliothèques, médiathèques, musées, centres culturels... ». (LUCCHINI Françoise, 2016)

I.2 Les équipements culturels et leurs classifications :

. Par catégories :

Nous distinguant 4 catégories des équipements culturels :

. Les équipements de l'animation culturelle :

- Théâtre.
- Cinéma.
- Maison de culture.



Figure 17: Italie (Valence)



Figure 18 :Turquie (Éphèse)

(Source : Guillaume Pellerin, 2006)

. Les équipements de la culture publique :

- Centre culturel.
- Bibliothèque.



Figure 18: Égypte (bibliothèque d'Alexandrie)

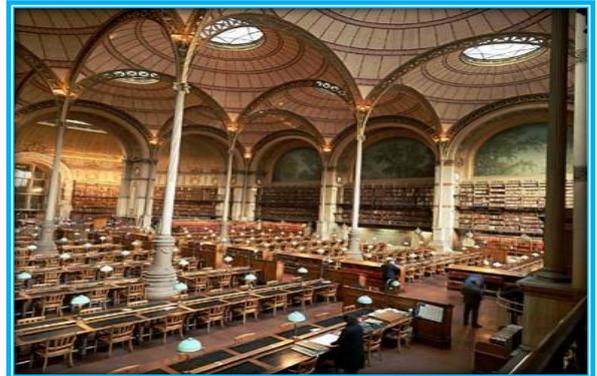


Figure 19 : France (bibliothèque Richelieu Paris)

(Source : Guillaume Pellerin, 2006)

. Les équipements de publication et d'information :

- Salle d'exposition.
- Salle de documentation

. Les équipements des beaux-arts et monuments historique :

- Musée.
- Artisanat



Figure 20 : France (musée du Louvre à Paris)

Figure 21 : Etats-Unis (musée Guggenheim à New York)

(Source : Guillaume Pellerin. 2006)

I.2.1 Les fonctions : On reprend ici les fonctions de conservation, de diffusion, de Création de formation, et on opère ce classement en mettant l'accent sur le rôle Prioritaire des différents types d'équipements

I.3.1 Les quatre pôles du système culturel

- Créateurs : artistes, écrivain poètes,
- Médiateurs: journalistes, intellectuels, critiques
- Public : public professionnel, public amateur, usagers, abonnés
- Décideurs : pouvoirs publics, Entreprises culturel, producteurs établissement Financiers.

II. Définition de l'auditorium :

ARCHIT. Salle spécialement aménagée pour les auditions d'œuvres (musicales ou théâtrales), les émissions (radiophoniques ou télévisées), les enregistrements (cf. audition B) : (J. Mercier 1937)

B.– HIST. ROMAINE

1. Lieu de réunion; lieu de réunion où l'on s'assemblait pour écouter des orateurs, des auteurs ou des poètes.

Salle destinée à l'écoute, l'enregistrement ou la reproduction d'œuvres musicales ou théâtrales
Un auditorium est un lieu construit selon des normes acoustiques et aménagé pour écouter un orateur ou des œuvres musicales ou théâtrales On peut aussi y enregistrer des émissions radiophoniques ou télévisées, des orchestres Ce type de lieu existait déjà à l'époque romaine

Une salle de conférence est un lieu de conversation et de discuter des divers sujets (Scientifique, politique, cultural...) ou le confort acoustique est une condition fondamentale pour ce type d'espace. Il faut assurer une bonne compréhension du message verbal c'est-à-dire une bonne intelligibilité de la parole.

II.2 Aperçu historique :

Evolution dans le temps : (théâtre)

Toute tentative pour appréhender les phénomènes acoustiques repose sur la maîtrise des Connaissances de base rendues possibles grâce aux efforts et recherches de nombreux théoriciens à travers des siècles.

Construire un théâtre est une mission que les différentes sociétés se sont continuellement attribuées depuis plus de 2 500 ans.

De nos jours, chaque construction de théâtre est ancrée dans une grande tradition historique, mais En même temps marquée par la volonté d'échapper à la tradition.

II.2.1 Antiquité

Théâtre de Dionysos, début de la construction européenne de théâtres (figure 8). Théâtre

Marcellus : premier théâtre construit entièrement en pierres à Rome (figure 7) (Neufert 10).

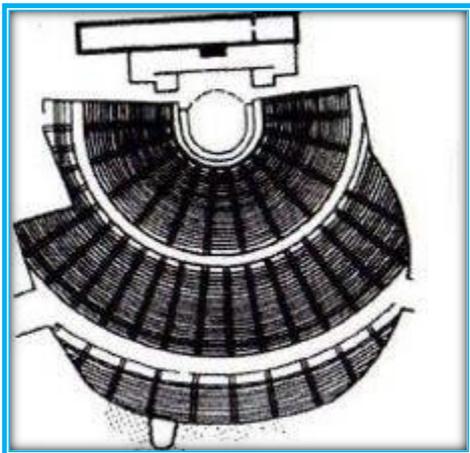


Figure 22 : Théâtre de Dionysos
(Source : Neufert 10)

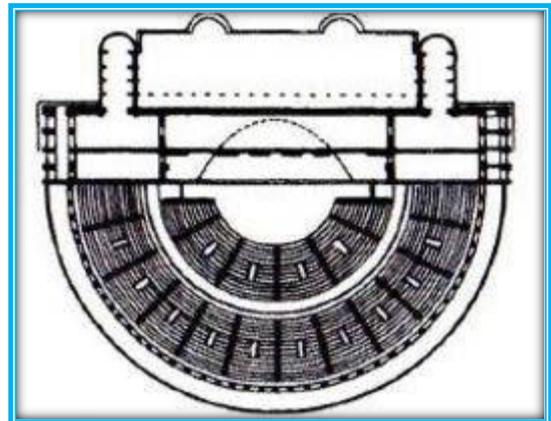


Figure 23 : Théâtre Marcellus
(Source : Neufert 10)

A. Théâtres grecs :

Les premières salles de spectacle tenant compte de l'acoustique ont été construites par les Grecques et datent de l'IIIe siècle av. JC. Grâce à cet aménagement, les Grecs s'étaient rendu Compte que le son se propageait mieux. Par exemple, une pièce de monnaie qui tombait sur la Scène était entendue de tous, même des plus éloignés (Neufert 10).



Figure 24 : Théâtre d'Epidaure.

(Source : Guillaume Pellerin. 2006)

B. Théâtres romains :

Suite au succès des Grecs, la civilisation romaine entama elle aussi la construction de théâtres de même style architectural. Ces constructions possédaient, cependant, une moins bonne acoustique que celles de leurs prédécesseurs. En effet, les théâtres romains se situaient en milieu urbain alors que ceux des Grecs se situaient dans la nature et possédaient donc une moins bonne qualité sonore, puisque le milieu influence sur la réverbération et la durée des échos (Neufeurst 10).



Figure 25 : Le Théâtre de Pompéi

(Source : Guillaume Pellerin. 2006)

II.2.2 Moyen Âge et la Renaissance :

Durant le Moyen-âge et la Renaissance, de nombreuses salles de spectacles avec une excellente acoustique virent le jour, bien qu'aucunes découvertes majeures ne fussent faites à ces époques. Les architectes se fiaient à leur intuition pour la construction, obligeant les hommes à s'adapter aux salles, comme les prêtres qui devaient articuler et parler lentement afin d'être compris de tous (Neufeurt 10).

II.2.3 Entre le Moyen-âge et aujourd'hui :

Entre le Moyen-âge et aujourd'hui beaucoup de progrès ont été effectués, notamment au XIXème siècle, où l'on retrouve une modification de la forme des salles de spectacles passant d'une salle de forme elliptique à une salle de forme rectangulaire et bien d'autres. Grâce à ces nouvelles morphologies, le son est mieux mis en valeur et le temps de réverbération est plus long. C'est également à cette époque que l'utilisation des matériaux réfléchissants, absorbants ...a commencé. (Neufeurt 10).

II.3 Les exigences techniques :

- **Utilisateurs :**

Les catégories d'utilisateurs des bâtiments par fonction de domaine peuvent être réparties comme suit:

La personne qui regarde la personification d'une fête publique, activité culturelle, athlétisme...

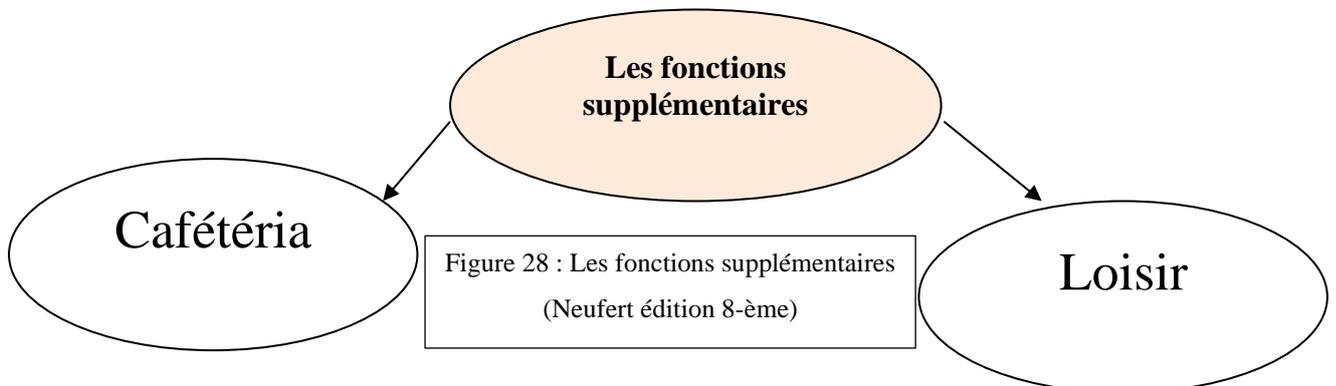
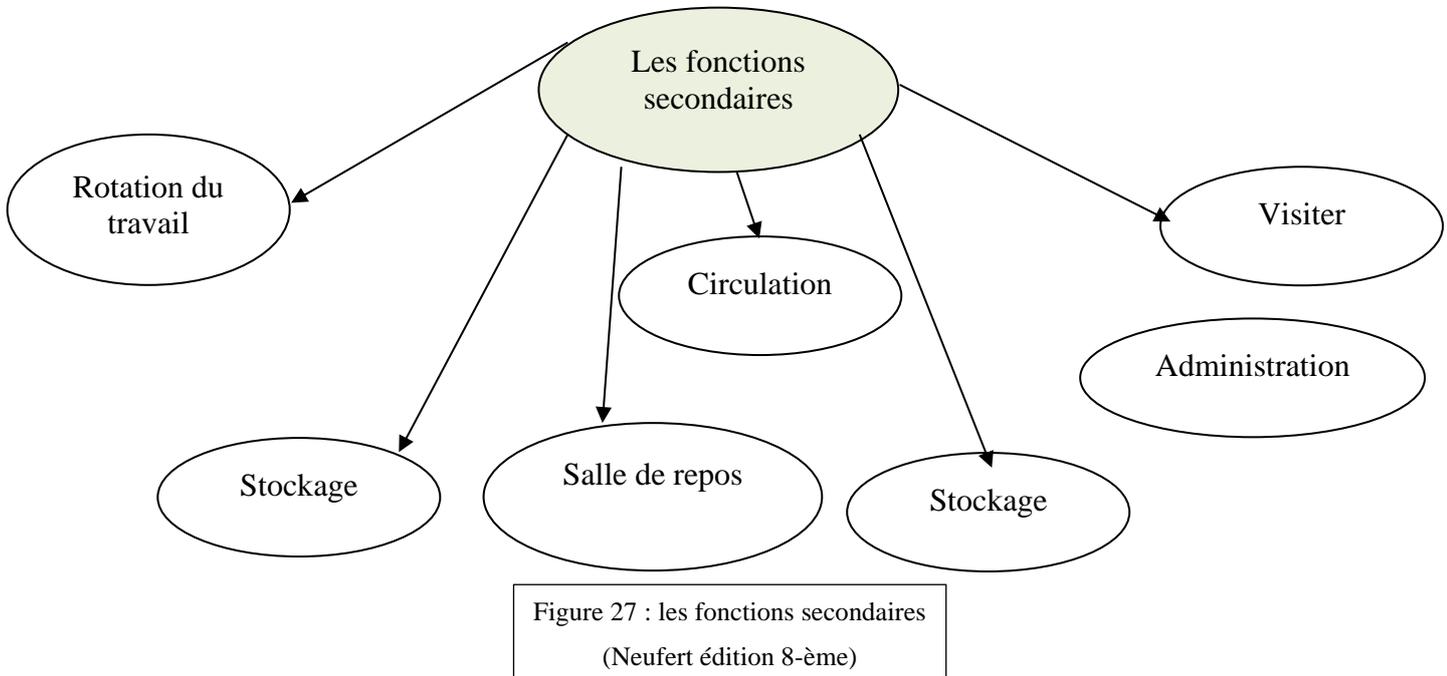
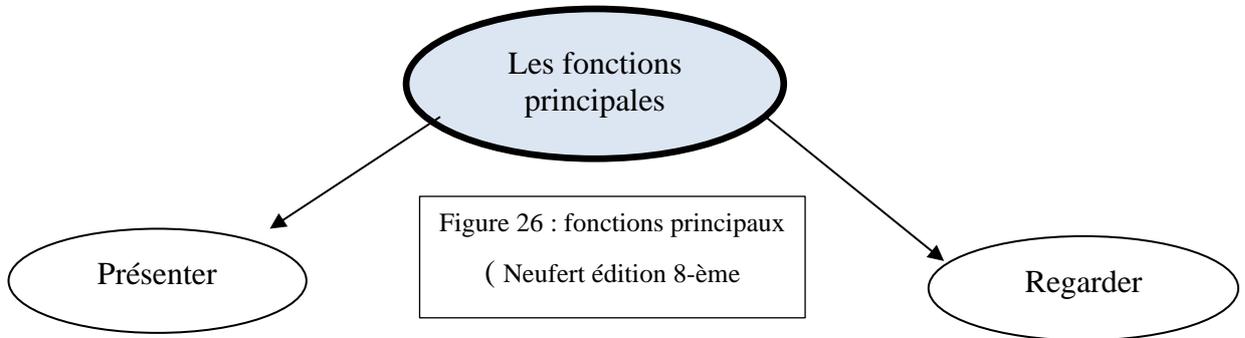
Le Représentant; Peint des peintures et des peintures dramatiques ainsi que des représentations lyriques et musicales

Travailleurs : personnel d'entretien et d'atelier ainsi que personnel de l'orientation

Fonctionnaires : Les responsables de ce bâtiment.

• Fonctions :

Il y a une gamme de postes divisés en, postes principaux, postes secondaires, postes supplémentaires :



• Les espaces

Grâce aux travaux, nous extrayons les principales revues suivantes :

• Salle d'exposition

C'est la partie où les spectateurs s'assoient pendant le spectacle. En général, le salon a des installations D'autres, comme la billetterie, les portes, les sorties, les salons, les salles d'exposition et les rafraîchissements.

Le salon bien conçu permet au public de regarder et d'écouter facilement, ainsi que d'entrer. Et sortir de leurs lieux facilement. Et il est décoré avec de belles images, mais pas au point où les téléspectateurs sont concernés.

Se concentrer sur le spectacle sur scène et être fortifié aux sorties de secours en cas de problème Dans l'immeuble. La taille des salons varie de petite à grande; Ils diffèrent également dans leurs installations de base. Et il va être. Les sièges du salon se trouvent tous à un étage, à l'étage principal ou sur un ou plusieurs balcons intérieurs.

Les anciens salons avaient des compartiments privés très proches de la scène. C'est dans le théâtre.

Les intervenants et les spectateurs partagent le même espace dans le salon. (Note figure) 49 Exemples de salons Spectacle à l'auditorium (Dr. Thomas. 2018).



Figure 29 : Salle d'exposition (Dr. Thomas. 2018)

• La scène :

Il existe quatre types de scènes :

. Scène de face :

C'est le plus commun et conçu pour être vu seulement de l'avant, parfois appelé un cadre d'image, parce que La zone à travers laquelle les spectateurs voient les événements est similaire à un cadre de décoration et de mouvements de représentants ; Il a également un troisième nom, l'arc frontal. Ce type de scène a un espace à l'avant qui sépare les sièges du public de ceux derrière le cadre



Figure 30 : Scène de face

(Dr. Thomas. 2018)

• La scène ouverte :

Les théâtres ouverts sont principalement assis autour de trois côtés de la plate-forme qui s'étendent jusqu'au salon. La taille et la forme de la plateforme varient considérablement d'un salon à l'autre.



Figure 31 : La scène ouverte est un exemple de théâtre.

Palestine Ramallah (Dr. Thomas. 2018)

• Scène orbitale :

Le public est assis sur les quatre côtés de la plateforme. Tous les auditoriums de ce type contiennent un nombre spécifique de sièges.

La plate-forme utilisée sur la scène est basse, permettant au spectateur de voir ce qui se passe dans le cercle de l'événement sur la scène.



Figure 32 : Théâtre historique de Carthage (Dr. Thomas. 2018)

• **La scène flexible :**

Ce théâtre a le potentiel de changer les espaces pour le spectacle et les téléspectateurs pour correspondre à chaque spectacle. Une telle adaptation permet au réalisateur de choisir librement le type de relation appropriée entre le spectacle et les téléspectateurs. La plupart des cinémas flexibles accueillent un petit nombre de spectateurs et il n'est pas surprenant que le terrain de jeu soit plus grand que le salon des spectateurs

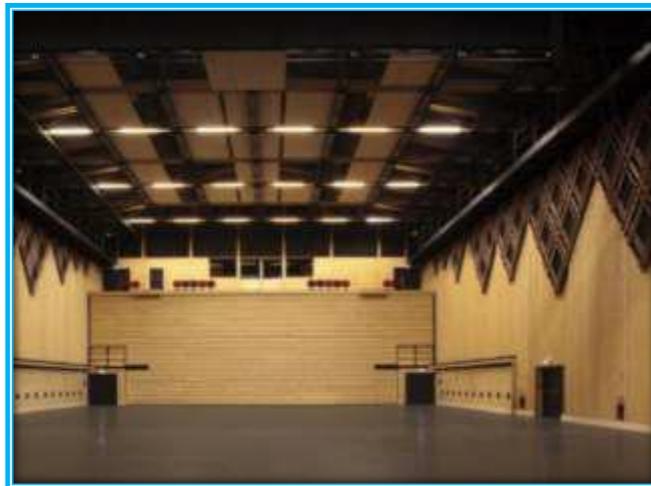


Figure 33 : Jean Claude
(Dr. Thomas. 2018)

• **Espaces des coulisses :**

Un auditorium bien équipé peut avoir un atelier pour s'habiller, décoration, vestiaires, répétitions, éclairage et cabines de son, entrepôts de vêtements, décor et une salle verte pour les membres d'auditorium. La plupart des auditoriums amateurs fonctionnent dans des endroits limités. Les grands groupes ont un espace de travail dans le même bâtiment. Les petites équipes travailleront dans d'autres bâtiments.



Figure 34 : Espaces en coulisses (Dr. Thomas. 2018)

II.4 Normes de conception de l'auditorium :

II.4.1 Méthodes d'éclairage :

Selon Carron. 2003 (Le concepteur d'éclairage a analysé sa valeur de l'auditorium et ses besoins en lumière. Le concepteur se réfère à chaque endroit du texte qui se rapporte à la lumière, y compris les changements dans la puissance de la lumière, comme le passage du lever du soleil à l'éclairage d'une ampoule. Une variété d'éclairage peut être nécessaire dans différentes scènes. Le texte peut également limiter l'angle d'où la lumière entre, comme le clair de lune entrant dans une fenêtre.

Le concepteur de l'éclairage devrait porter une attention particulière à l'atmosphère de la pièce, car l'éclairage joue un rôle important dans la création de cette atmosphère. Il doit donc comprendre le style du texte, car la réalité doit déterminer si la source lumineuse est une lampe Ou la lumière du soleil à travers la fenêtre

Le concepteur d'éclairage consulte le décorateur et le directeur. Le concepteur d'éclairage professionnel du théâtre présente des dessins montrant la forme du théâtre lorsqu'il s'allume. Dans les salles ordinaires, le concepteur d'éclairage et le réalisateur s'entendent sur la façon d'éclairer le théâtre. Ce n'est qu'après l'installation des unités de décoration requises que des machines sont installées sur les sources lumineuses.

L'éclairage de l'auditorium est divisé en :

Éclairage spécifique

Éclairage public.

Effets spéciaux

II.4.2 Conception de décoration :

Selon (Carron. 2003) Il y a deux objectifs pour la décoration :

Mon théâtre. D'abord, aider les spectateurs à comprendre le travail de théâtre.

Deuxièmement, l'expression des caractéristiques distinctives de la pièce, afin d'aider les spectateurs à comprendre le travail de théâtre, le décorateur définit le lieu et l'heure de la pièce, ensuite, la décoration peut créer la bonne atmosphère et refléter l'esprit des éléments remarquables dans le texte à travers l'image et la couleur.

. Sièges + sorties de secours :

Selon HARDON.1999, il prend la superficie de chaque spectateur de 0,5 mètres carrés à 2,25 mètres carrés, en fonction de l'utilisation de chaque salle (figures), qui représentent les issues de secours nécessaires ainsi que l'espace qui vous est alloué en tant que spectateur.

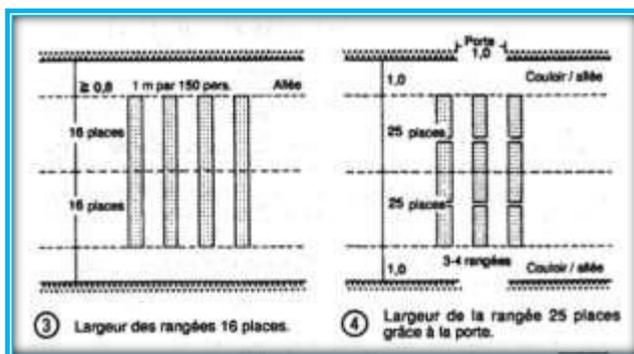


Figure 35 : Espace par siège

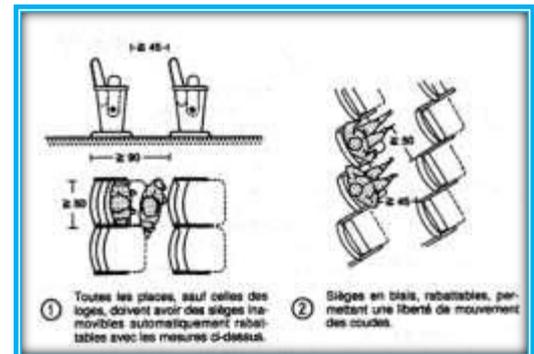


Figure 36 : Sorties de secours par 1 mètre par 150 Person

Neufert 8 Fr

A. Surface de la scène principale :

Espace de plateforme arrière + autres accessoires, pour la salle d'exposition

(Figure) Représentant l'espace de la plateforme arrière + autres accessoires, pour le showroom

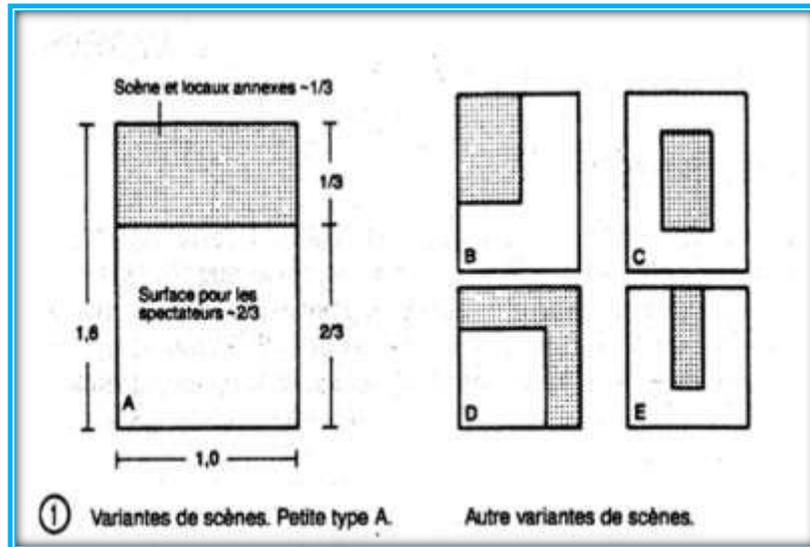


Figure 37 : La surface de la scène arrière par rapport à la salle d'exposition
 (Neufert 8 Fr page 489- 490)

B. L'inclinaison de la salle :

(Figure) qui représente l'intensité d'inclinaison des rangées plus la hauteur de chaque Siège qui ne dépasse pas 10 degré

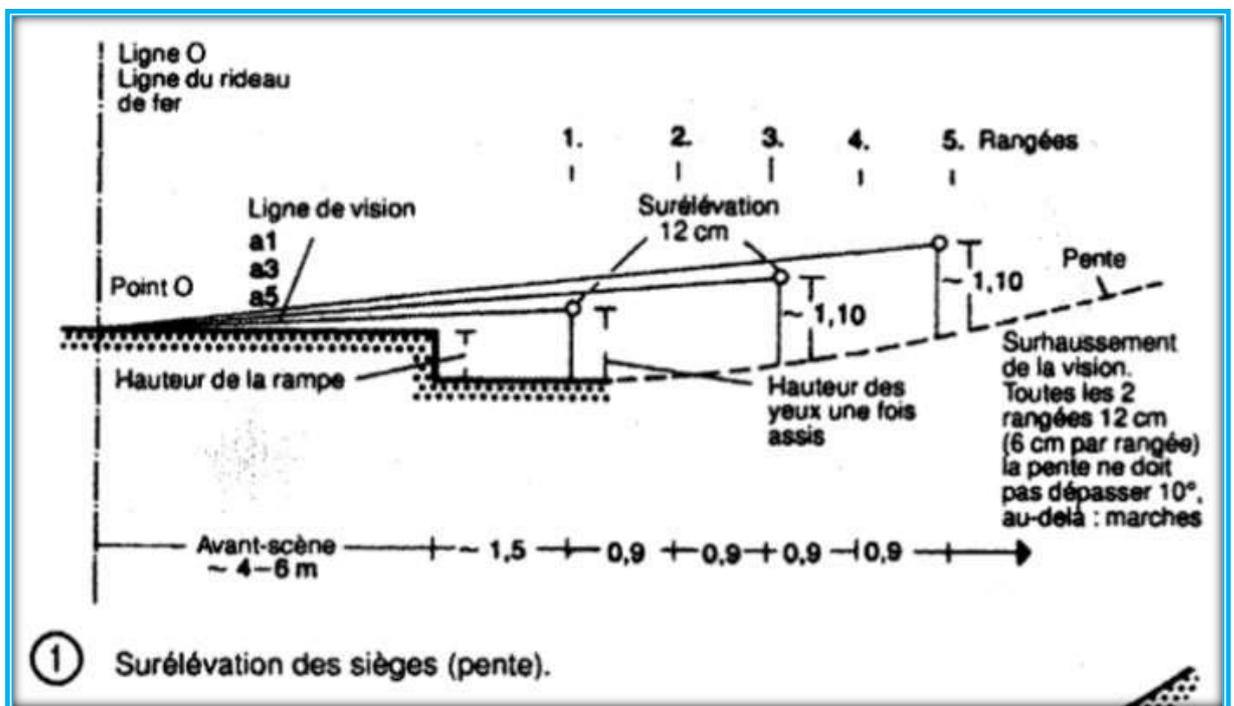


Figure 38 : Intensité d'inclinaison des rangées plus hauteur de chaque siège
 (Neufert 8 Fr page 489- 490)

C. Atelier :

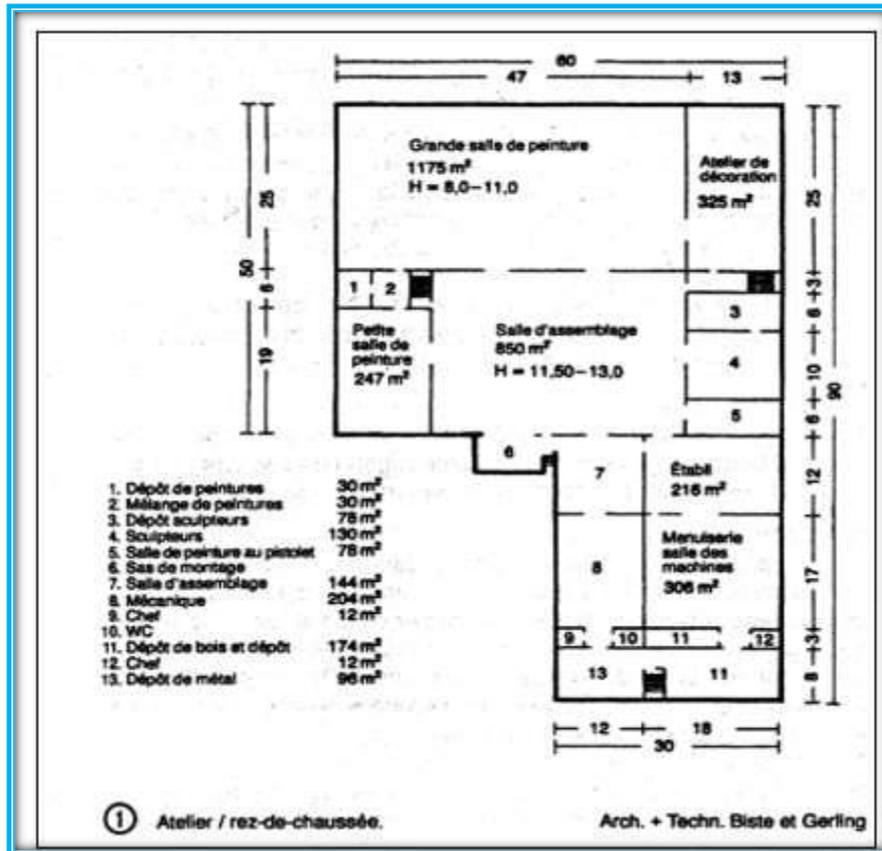


Figure 39 : Sont les espaces d'atelier avec leurs surfaces :

Neufert 8 Fr

D. Balcons :

Utilisés pour profiter de la hauteur du grand vide, les balcons profonds peuvent se produire dans ce qu'on appelle le désalignement acoustique, qui est de bloquer le son des sièges derrière ce balcon, de sorte que le fond de ce balcon doit être formé pour renforcer les ondes sonores directes, et le bas du balcon doit être seulement 2 ou 3 fois plus profond que l'avant du balcon. La hauteur nette d'un balcon mesurée depuis le bas du balcon jusqu'au têtes des auditeurs (figure) représente la position des balcons pour les espaces auditifs, tandis que (figure) représente le statut des balcons idéaux pour les espaces musicaux (FIKAN 2010)

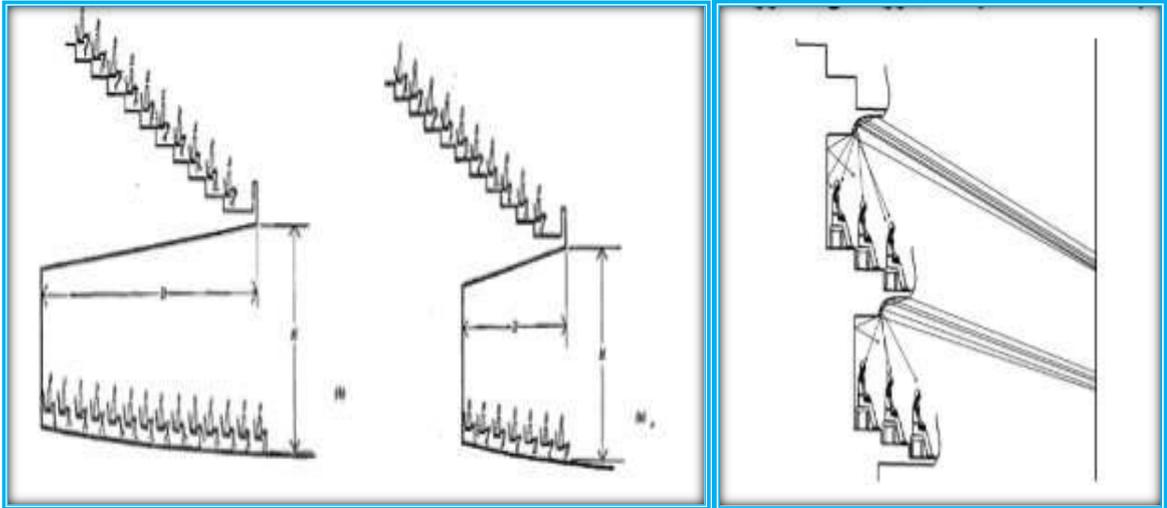


Figure 40 : La profondeur de la salle de musique est égale et le profondeur de la salle de l'opéra est égale la hauteur fois 2

(FIKAN ISRA 2010)

E. Format de siège :

Il est donc important de faire un mile de classes de places pour tous sauf les petits halls, moins de 200 personnes, comme nous l'avons mentionné plus tôt, autant que possible. En règle générale, le fait d'avoir de la place pour les sièges permet un passage adéquat du son, ce qui signifie que la ligne de vue doit être augmentée de 110 mm à 125 mm par rangée de sièges, et déterminer l'importance de l'inclinaison du sol et y parvenir en soulevant le plancher de la salle que nous nous déplaçons en arrière. 10-7,5 cm (figure) Forte inclinaison des rangs et hauteur de chaque site. (Judith Stron. 2010)

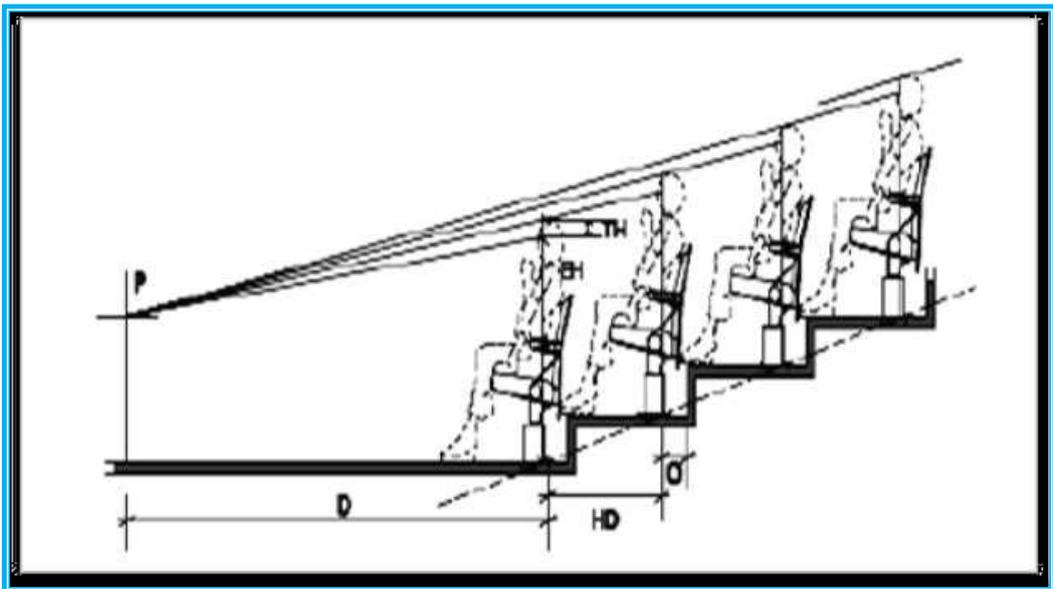


Figure 41 : Intensité d'inclinaison des rangées et hauteur de chaque siège

(Judith Stron 2010)

II.4.3 Conditions de visualisation :

(Figure) qui sont les conditions d'angle de vue à suivre dans le processus de conception

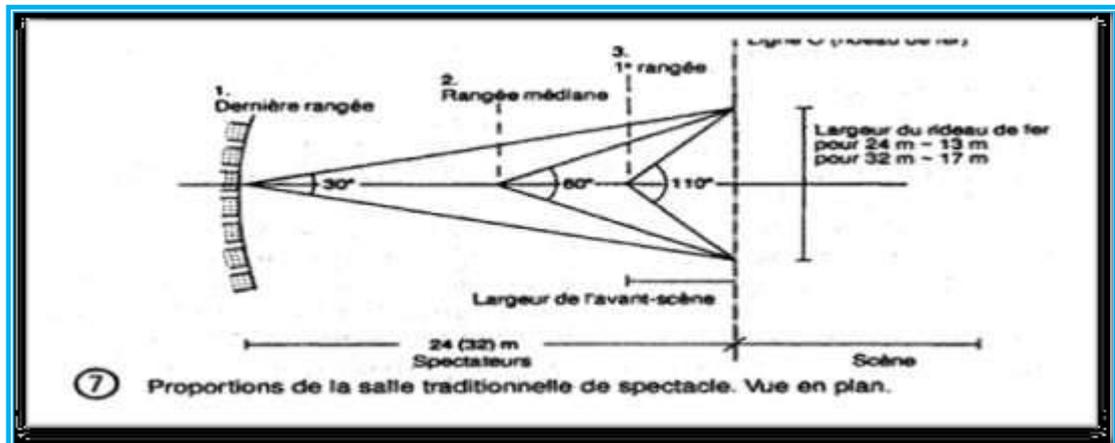


Figure 42: Conditions d'angle de vision à suivre dans le processus de conception

(Neufert 8 Fr page 489- 490)

II.5. La qualité acoustique d'un auditorium :

La qualité acoustique d'un espace architectural est fonction de l'isolement acoustique de la Salle vis-à-vis de l'extérieur, et de la perception des sources sonores présentes dans la salle ; ce second point, associé au mode de propagation du son dans la salle.

II.5.1 La perception des sources sonores présentes dans la salle :

Le phénomène de réflexion, diffraction, diffusion ou absorption par les obstacles rencontrés (sol, murs et plafond, mobilier ...).

L'absorption acoustique permet de maîtriser la propagation sonore et le temps de réverbération à l'intérieur d'une pièce due à la multiplicité des échos renvoyés par les parois.

II.5.2 L'isolement acoustique de la salle vis-à-vis de l'extérieur :

L'ensemble des dispositions et les solutions prises afin de réduire la transmission de l'énergie Acoustique depuis les sources qui produisent jusqu'aux lieux qui doivent être protégés.

II.5.3 Le problème de la qualité acoustique des auditoriums :

Le problème de la qualité acoustique des auditoriums est multidimensionnel :

A. Géométrique (physique) - objectif (lié au champ acoustique) - **Subjectif** (lié à la perception) (Steve Cherpillod. 2011)

Le volume et la forme de la salle, ainsi que l'étude des premières réflexions du son, se révèlent prépondérants.

II.5.4 Etude de l'acoustique dans les auditoriums :

La qualité acoustique d'une salle de conférence est déterminée par deux études :

- **Étude architectural :**

Dans cette étape on parle de la propagation du son dans un auditorium au niveau de la forme, le volume, les matériaux composants.

En peut être formulée la problématique suivante :

- **Quel est la forme géométrique optimale (performante) qui peut assurer un confort Acoustique maximal dans l'auditorium (solution architecturale) ?**

On parle de la correction acoustique.

En peut être formulée la problématique suivante :

- **Quel sont les solutions techniques adéquates et compatibles avec la solution architecturale et qui doivent être prises en considération dès la phase d'esquisse pour atteindre le confort optimal dans l'auditorium ?**

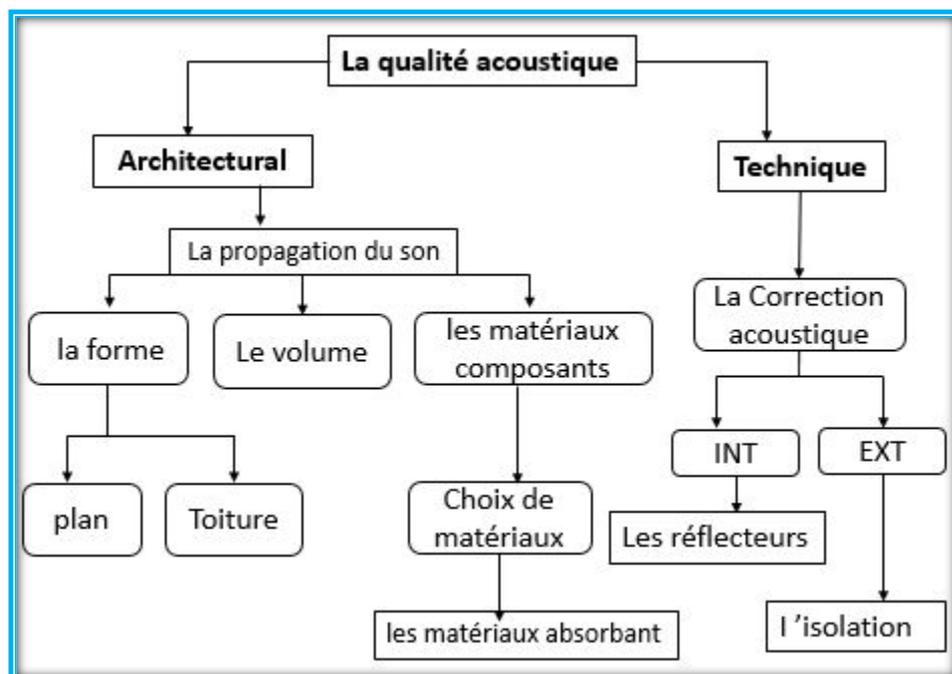


Figure 43 : Schéma exprime l'étude de l'acoustique dans les salles de conférence

(Source : auteur)

• Les Critères de la qualité acoustique :

- Une durée de réverbération adaptée à l'usage de la salle.
- Une bonne répartition du son dans la salle.
- Favoriser les sons directs et les premières réflexions.
- Eviter les échos, les échos flottants et les focalisations du son.
- Assurer une protection contre les bruits aériens et vibrations de l'extérieur.

II.6 Exemples de traitement acoustique :**A. Pour les petites salles :**

Les parties de la salle à traiter sont la partie du plafond située vers le fond de la salle, le mur de fond et un mur latéral. (BOUKADOUM. 2012)

B. Pour les grandes salles :

La disposition des auditeurs en gradins favorise l'absorption, ce qui permet de limiter les zones traitées au mur de fond. Le plafond situé au-dessus du conférencier doit réfléchir les ondes sonores et les distribuer au milieu et au fond de la salle. (BOUKADOUM. 2012)

Les murs latéraux ne doivent pas être parallèles s'ils sont réfléchissants (risque de focalisations), Ils doivent être traités pour les rendre diffusants. La solution consiste à les habiller de reliefs pour briser leur parallélisme et homogénéiser le champ sonore. (BOUKADOUM. 2012)

Quant aux formes, les plus adéquates acoustiquement parlant, elles sont fort variées et il n'est pas possible d'en préconiser certaines. Cependant il y a des erreurs de forme à éviter telles que :

- Les formes concaves, que ce soit en fond de salle ou en plafond pour éviter la focalisation des sons. Si par contre, une forme concave est imposée en fond de salle par exemple, elle doit être traitée avec des matériaux absorbants et diffusants (BOUKADOUM. 2012)
- Les grandes surfaces réfléchissantes parallèles, les parois parallèles doivent être absorbantes ou diffusantes. (BOUKADOUM. 2012)
- Les grandes surfaces plates réfléchissantes. (BOUKADOUM. 2012)
- Les zones d'ombre acoustique sous les balcons, en veillant à ce que la longueur du balcon soit inférieure ou égale à $1/2$ la distance séparant le sol de la sous-face du balcon. (BOUKADOUM. 2012)

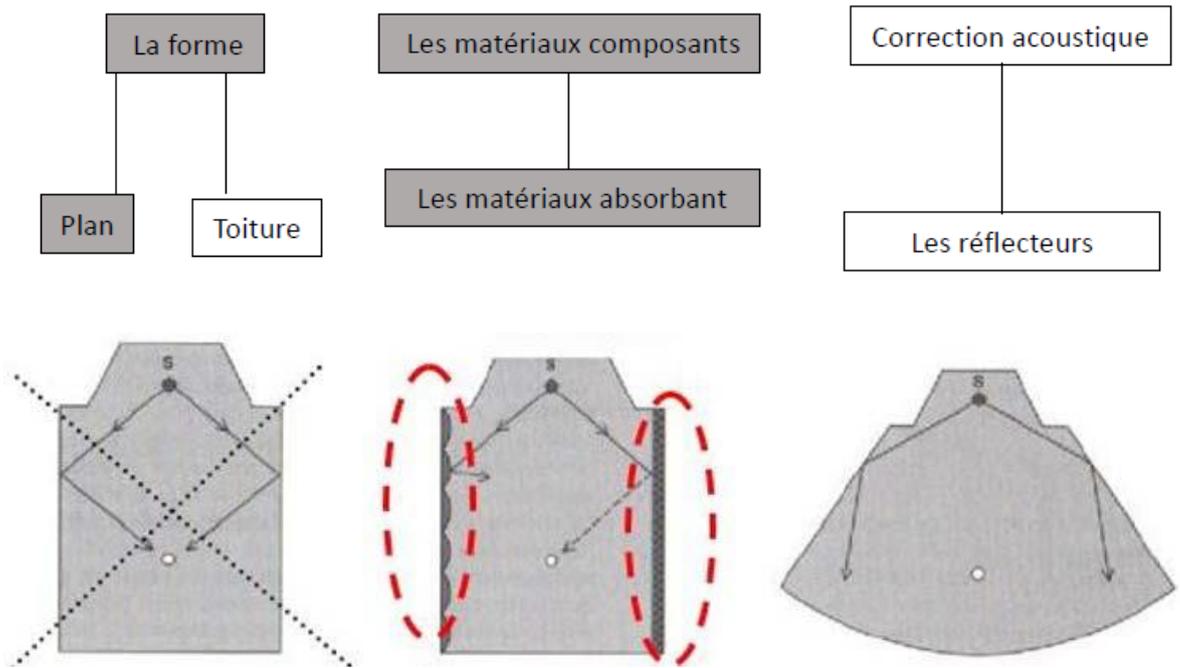


Figure 43 : des parois latérales (Source : BOUKADOUM. 2012)

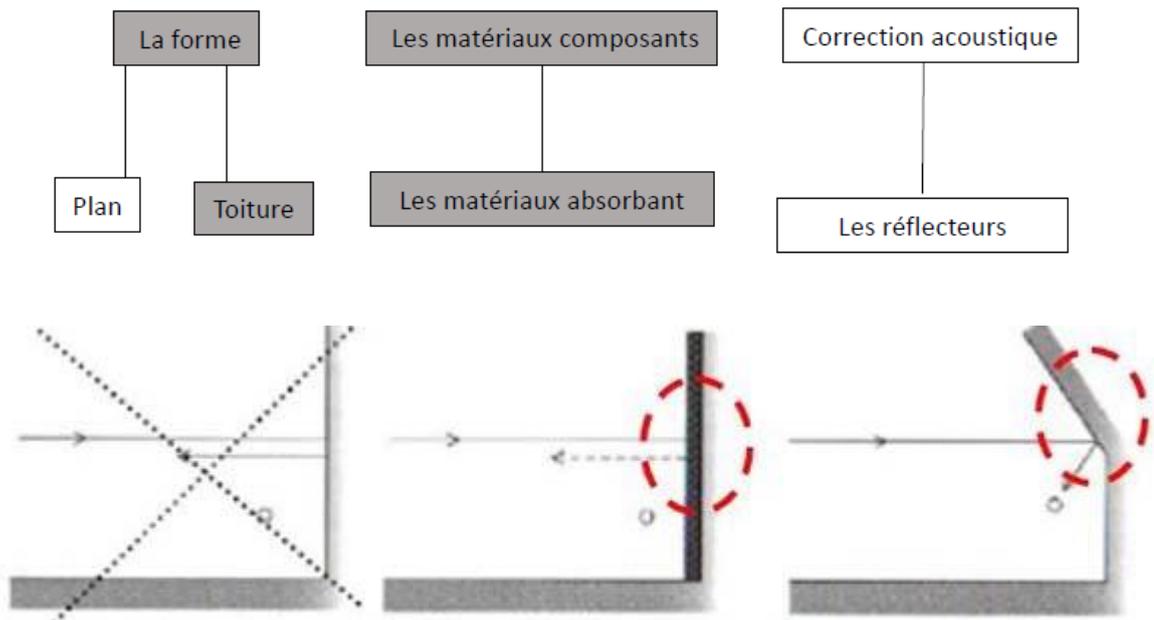


Figure 44 : Traitement des fonds de salle (Source : BOUKADOUM. 2012)

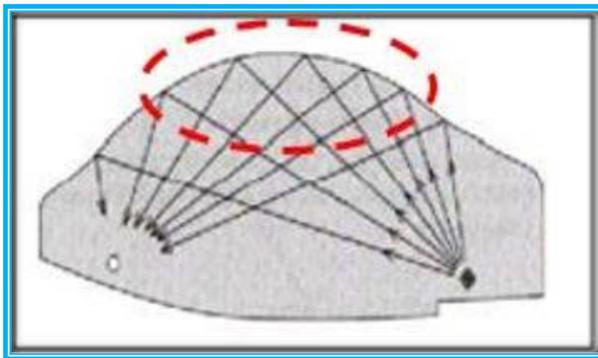
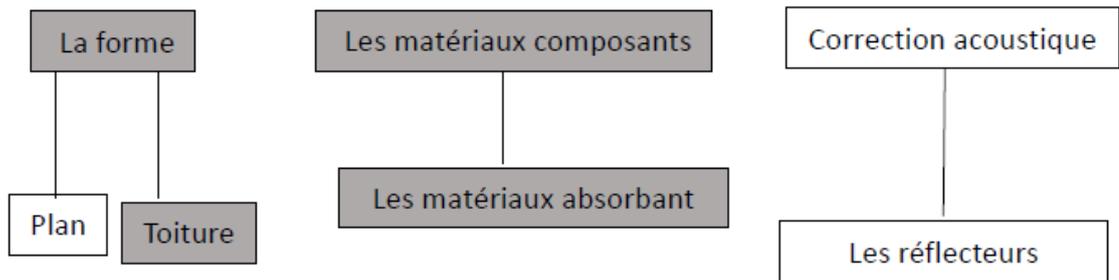


Figure 45 : risque de focalisation

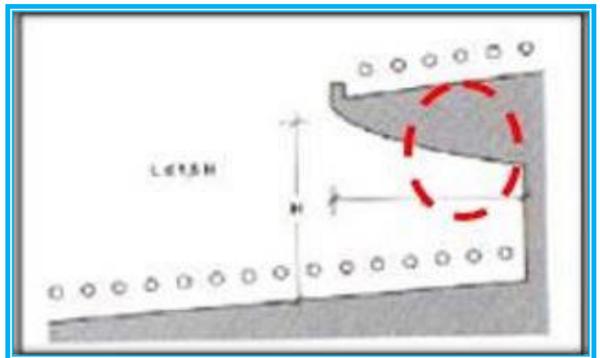


Figure 46 : Les zones d'ombre acoustique

(Source : BOUKADOUM. 2012)

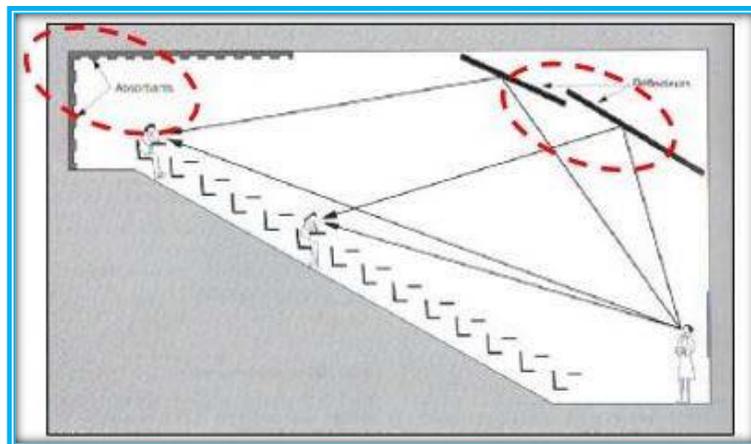
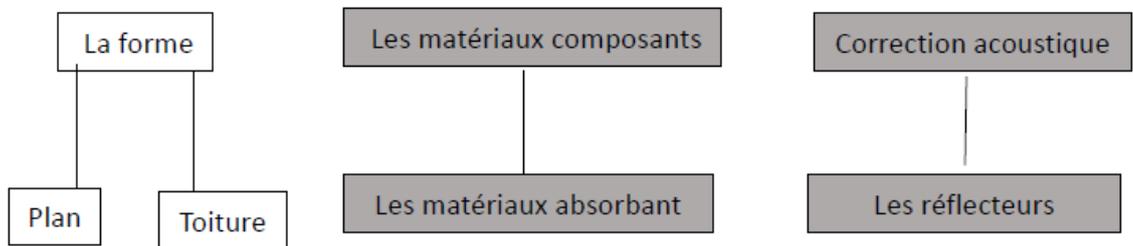


Figure 47 : Disposition de réflecteurs et matériaux absorbants dans un amphithéâtre

(Source : BOUKADOUM. 2012)

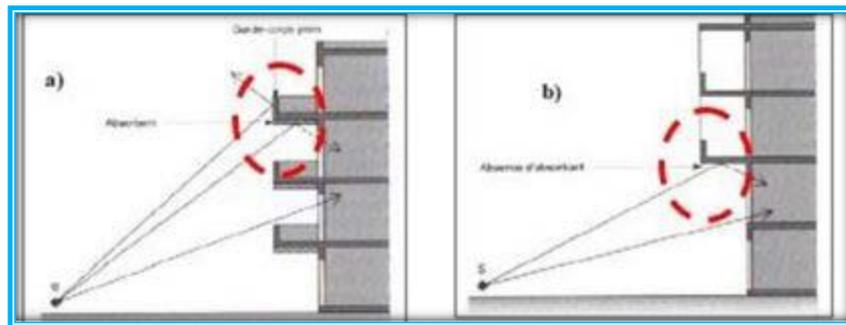
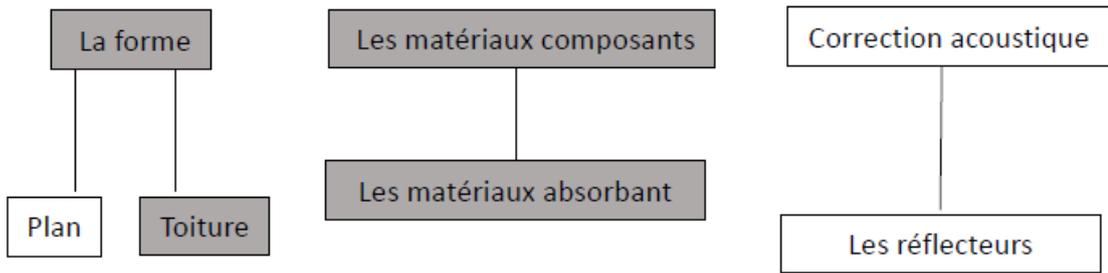


Figure 48 : Influence de la conception des balcons dans la propagation des bruits
(Source : BOUKADOUM. 2012)

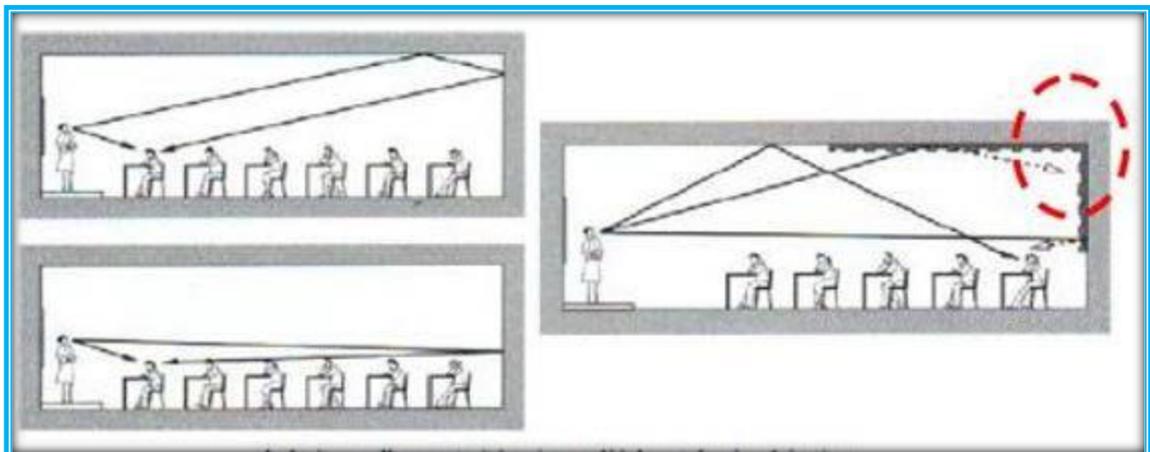
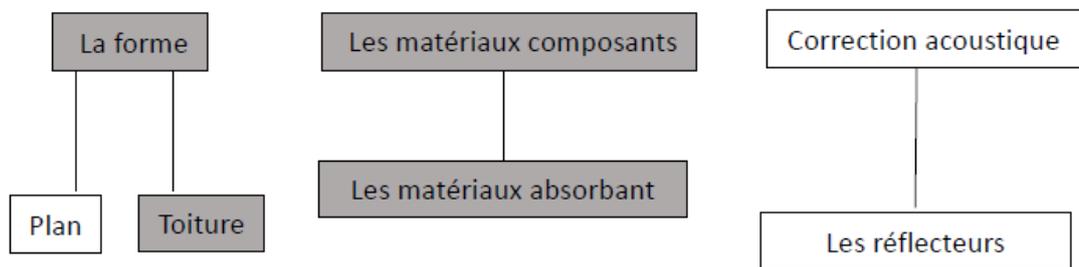


Figure 49 : traitement acoustique du plafond et fond de la salle
(Source : BOUKADOUM. 2012)

-A droit : Salle non traitée, risque d'écho et de réverbération

-A gauche : salle traitée, premières réflexion favorisées et réverbération maîtrisée

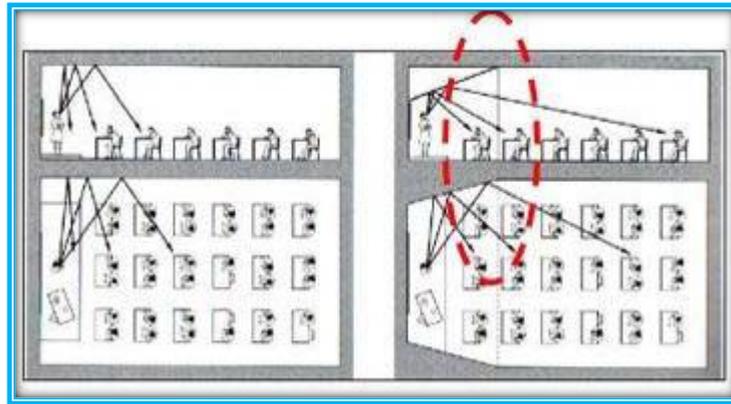


Figure 50 : Favoriser les premières réflexions

(Source : BOUKADOUM. 2012)

II.6.1 Typologies des salles de conférence et leurs comportements sonores :

La qualité acoustique d'une salle de conférence est déterminée par son volume, sa forme et L'étude des premières réflexions

La géométrie de la salle influence directement la propagation sonore intérieure et chaque forme à ses propres effets sur le son. La forme en plan, tout en respectant la demande du programme pour une salle enveloppante et la relation public/scène.

C'est vrai qu'il existe autant de formes différentes de salles mais dans cette partie on va se baser sur la recherche de Steve Cherpillod.

A. Principe de plan :

A travers cette partie, on a pu suivre les différents types des formes salles de conférences les Plus adapté et leur comportement sonore.

1. Salle en boîte à chaussure (boîte dans la boîte) :

La salle en forme de « boîte à chaussure » est la plus répandue, et plus standard Cette forme était utilisée pour les salles de réception et de bal ainsi que dans les églises Protestantes, où l'intelligibilité de la parole était considérée comme essentielle.

Ce type de salle est caractérisé par :

- Une forme rectangulaire avec une faible largeur
- Une grande hauteur de plafond, un plancher plat

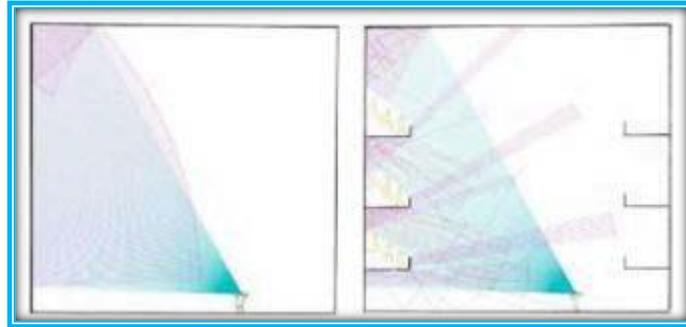


Figure 51 : schéma de propagation sonore dans une salle d'une forme de : Boit a chaussure

(Source : Steve Cherpillod, 2011)

Comportement et propagation sonore :

Avantage :

- L'importance de l'effet de salle (La proximité des murs latéraux) et le sentiment d'être

Entouré par le son

- Le grand nombre d'ornementations permet de casser les effets néfastes des murs lisses et

Parallèles, qui répartissent mal le son dans l'ensemble de la pièce. Inconvénient :

- Cette forme engendre généralement un problème d'écho qu'on peut éviter en inclinant les

Murs de scènes

- Simulation du trajet des rayons sonores en deux dimensions. Les traits bleus représentent les rayons incidents, les traits violets et rouges les rayons réfléchis



Figure 52 : CongoKintele Congress Centre

(Source: ArchDaily.com)

2. Salle en arène :

Les salles en arène (ou en amphithéâtre) sont la modernisation des arènes et théâtres antiques, et donc de bons exemples acoustiques pour ce qui est de la parole et du théâtre

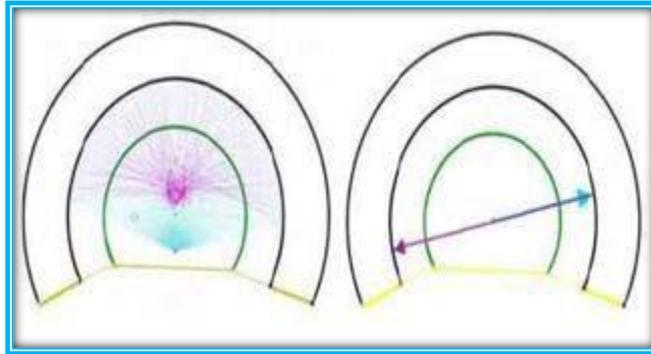


Figure 53 : schéma de propagation sonore dans une salle d'une forme : en arène

(Source : Steve Cherpillod, 2011)

Comportement et propagation sonore :

Avantage :

- la forme minimise la distance entre les sources sonores et les spectateurs, ce qui permet la Garantie d'énergie pour le son direct. Inconvénient :

- le cercle favorise la transmission d'énergie entre une source et un récepteur situé à égale Distance du centre du cercle, mais cette même transmission est mauvaise entre une source et Un récepteur situé à des distances différentes par rapport au centre du cercle.

- Le cercle (et par extension une sphère) est une figure géométrique qui ne favorise pas la Création d'un champ acoustique uniforme.

- Pour une source au centre de la salle, les seules réflexions réalisables sont le long du Diamètre du cercle

- Aucune réflexion latérale n'est possible

La difficulté de ce type de salle : est d'une part d'éviter les focalisations et d'autre part d'assurer une acoustique homogène en tous points de la salle, car la qualité acoustique reste souvent différente entre les places proches de la scène et les places plus lointaines.

Pour faire fonctionner un amphithéâtre en forme d'arène, il est nécessaire :

- Introduire des éléments acoustiques (forte diffusion acoustique ou absorption partielle) sur les murs courbes de la salle pour « casser » la forme concave qui entraîne des focalisations.

- Ajouter des surfaces réfléchissantes a l'intérieure du volume pour obtenir une bonne distribution de l'énergie sonore.
- Par ailleurs, des réflecteurs acoustiques couvrant une partie de la scène et une partie du public peuvent permettre d'assurer une meilleure distribution de l'énergie sonore.

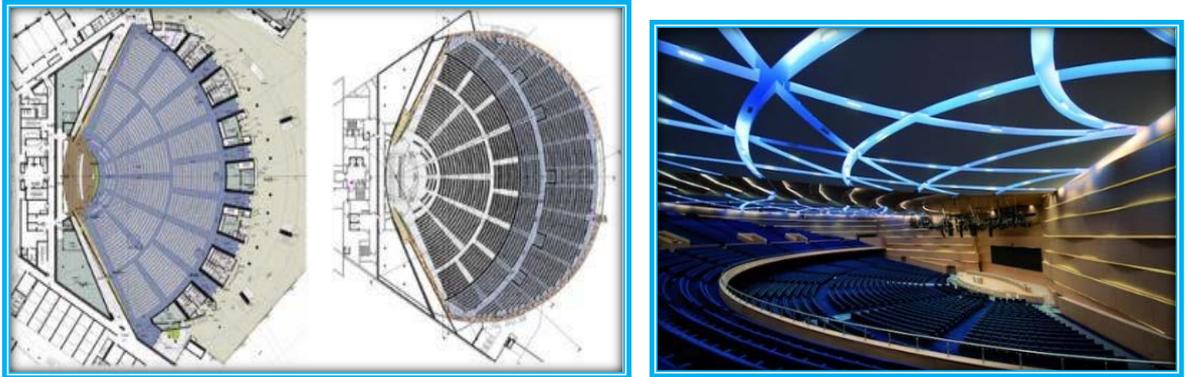


Figure 54 : CIC Alger : Centre International de Conférences

(Source www.cic-alger.com 2019)

3. Salle en éventail :

La plupart de ces salles ont été construites aux Etats-Unis, juste après la seconde guerre mondiale. Malheureusement, la notion de variabilité acoustique était peu développée à cette période. La salle en éventail est une forme à éviter, malgré son avantage à maximiser le nombre de spectateurs pour une distance minimale en fond de salle, tout en conservant un point de vue acceptable.

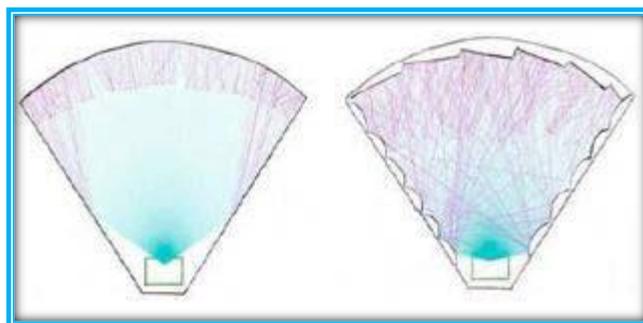


Figure 55 : Schéma de propagation sonore dans une salle d'une forme : en éventail

(Source : Steve Cherpillod, 2011)

Comportement et propagation sonore :

Avantage :

- L'avantage de cette forme de salle est qu'elle permet de maximiser le nombre de spectateurs pour une distance maximale donnée, tout en gardant un angle de vue acceptable vers la scène.
- Donner de bons résultats que si des réflecteurs appropriés sont judicieusement placés à

L'intérieur même du volume de pour (casser) la forme en éventail

Le manque de réflexions précoces lié à cette forme de salle peut être partiellement compensé par la présence de réflecteurs acoustiques sur les murs, mais également au plafond

- Permettra aux auditeurs quel que soit leur place, grâce à la trajectoire des ondes sonores de

Bien entendre de conférence tout en le voyant bien.

. Inconvénient :

- L'inconvénient de ce type de forme est que, du point de vue acoustique, toutes les premières réflexions (des murs latéraux) sont dirigées vers le fond de la salle, d'où un manque d'énergie précoce (surtout de réflexions latérales) sur toute la partie centrale de la salle (un enveloppement sonore subjectif faible)

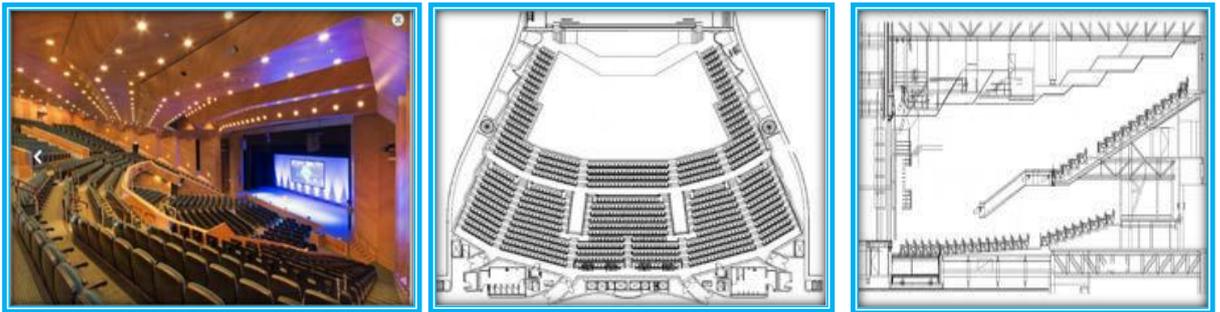


Figure 56 : Centre de congrès de Dublin

(Source: ArchDaily.com 2017)

4. Salle en Asymétrique :

C'est la plus récente qu'adoptent les salles contemporaines.

Elle offre aux spectateurs une visibilité différente de la scène selon leur position mais elle pose pas mal de problèmes d'homogénéité acoustique.

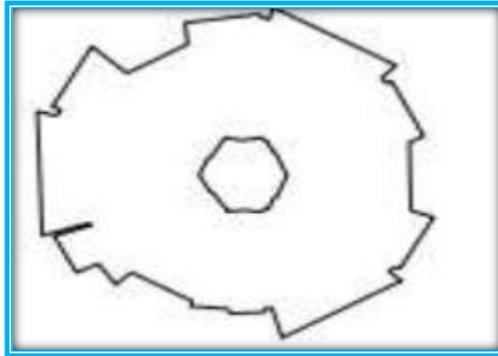


Figure 57 : forme asymétrique
(Source: Steve Cherpillod, 2011)

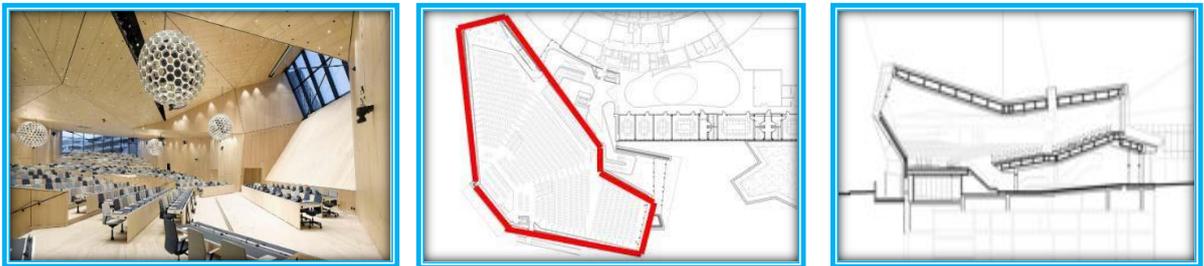


Figure 58 : New Conference Hall for the World Intellectual Property Organization
(Source : ArchDaily.com)

B. Principe de coupe :

Les réflexions du mur arrière posent généralement des problèmes d'écho, car le son est renvoyé à son origine parallèlement à cause des angles droits. Ces réflexions peuvent être éliminées de différentes façons :

- La création d'angles dans le plafond pour éviter la réflexion parallèle avec le mur arrière.
- L'insertion d'un matériau absorbant sur le mur arrière pour diminuer la réflexion et Absorber une partie des sons.
- L'insertion des surfaces diffusantes pour renvoyer les sons d'une manière à éviter l'écho.
- L'inclinaison du plafond permet d'éviter ce problème.

1. Optimisation par : matériaux composants :

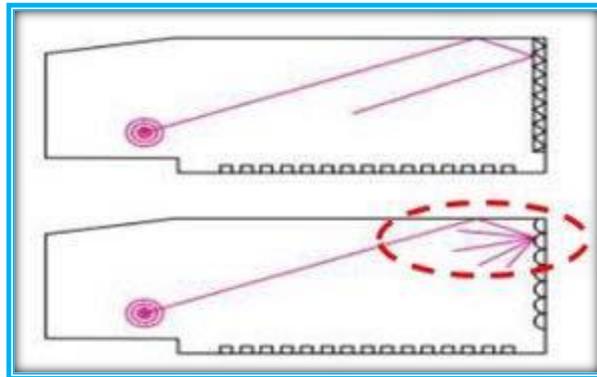


Figure 59 : surface de réflexion sur le mur arrière d'une salle

(Source: Steve Cherpillod, 2011)

2. Optimisation par : l'inclinaison de la toiture :

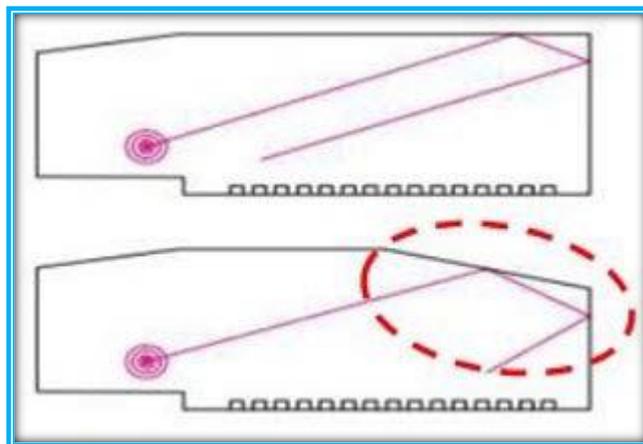


Figure 60 : Réflexion de mur arrière d'une salle

(Source : Steve Cherpillod, 2011)

D'autres types de plafonds ont apparus récemment qui sont les plafonds à géométrie complexe ou variable

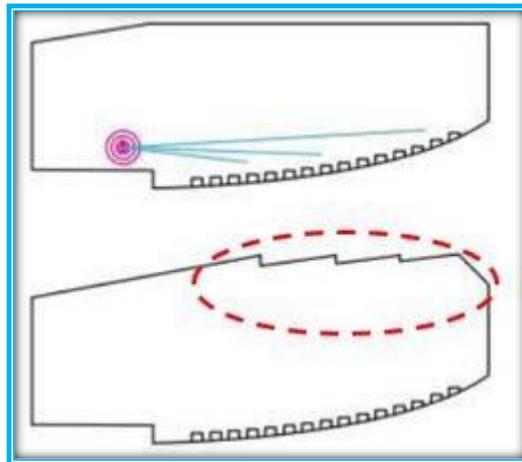


Figure 61 : plafonds à géométrie complexe
(Source : Steve Cherpillod, 2011)

:

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé les différentes notions de la culture en générale telle que : L'historique de la culture dans le monde et la classification des équipements culturels et leur rôle.

L'auditorium est parmi les espaces ou le son doit être géré et traité d'une manière qui permet aux auditeurs de profiter de haute qualité du son. La forme d'une salle joue un rôle important car les propriétés géométriques ont une influence directe sur la propagation des ondes sonores. De plus, le rapport scène-salle se trouve changé en fonction de la géométrie. Il est évident que la qualité acoustique doit être soignée dans toute la surface de l'auditorium et pour cela on va définir la meilleure forme, qui influe sur la propagation du son et l'optimisation des conditions d'émission et de réception des ondes sonores dans l'espace. Pour la conception d'une salle de conférence qui a une grande performance acoustique au niveau de la propagation du son directe et la réverbération sonore il faut combiner entre la forme en éventail en plan avec la toiture inclinée en coupe.

Chapitre n° 03 :
Analyse de l'auditorium
universitaire (université de
Tébessa) et autres exemples

Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter la ville de Tébessa et analyser le cas d'étude l'auditorium Malek Ben Nabi de l'université Larbi Tébessi de Tébessa, en suite on va présenter l'analyse de trois exemples livresques « Nouvelle salle de conférence de l'OMPI, le centre international du Congo et le centre international d'Alger » des côtes, programme surfacique, spatial, technique, système constructif, architectural (façade, forme), étude urbaine.

I. Situation et caractéristiques de la zone d'étude :

I.1. Situation géographique : Tébessa est une commune de la wilaya de Tébessa située dans la partie Nord par rapport au territoire de la wilaya sur une surface de 184 km².

Elle est limitée à l'Est par les communes de Bakaria et d'El kouif, à l'Ouest par la commune de Bir mokadem, au Nord par les communes de boulhaf dyr et de Hammamet, au Sud par la commune d'El Malabiod.

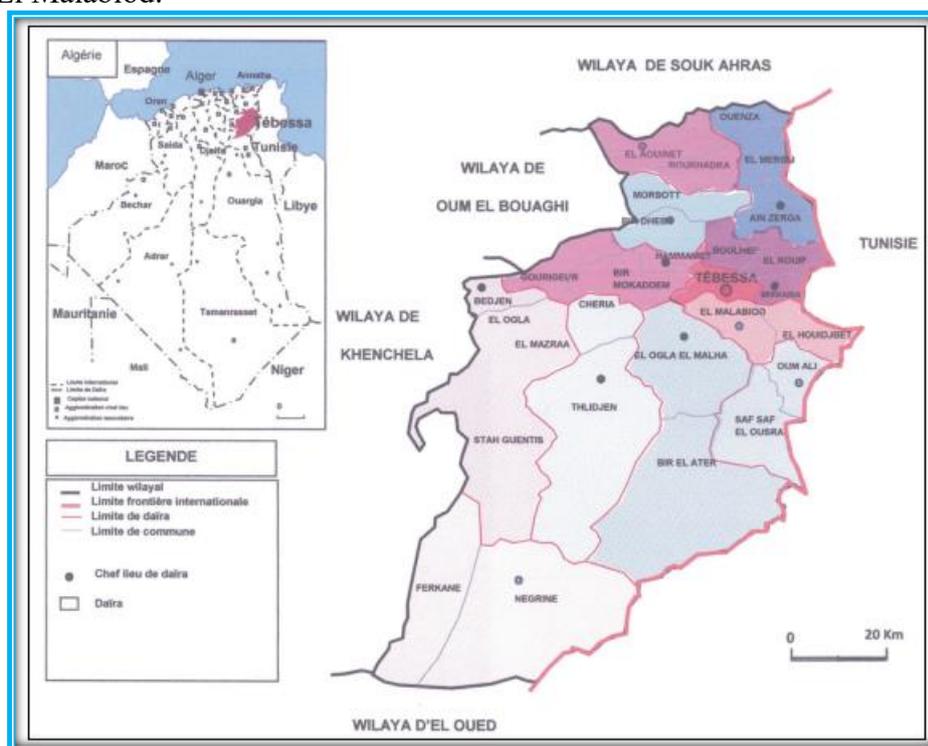


Figure 62 : Quantité de précipitations
(Source : meteoblu,2022)

I.2. Le climat de la ville de Tébessa :

La wilaya de Tébessa est une zone de transition météorologique, elle est caractériser par Quatre niveaux bioclimatiques :

- Le Subhumide (400 à 500 mm/an), très peu étendu, il est limité aux sommets De quelques reliefs (Djebel Serdies et Djebel Bouroumane).
- Le Semi-aride (300 à 400 mm/an), couvre toute la partie Nord de la wilaya.
- Le Subaride (200 à 300 mm/an), couvre les plateaux steppiques.
- L'aride ou saharien doux (inférieur à 200 mm/an), s'étend au-delà de l'Atlas

Saharien. (Zakaria 2017)

I.2.1 Températures moyennes :

La "maximale moyenne quotidienne" (ligne rouge continue) montre la température

Maximale moyenne d'un jour pour chaque mois pour Tébessa. De même, «minimale moyenne Quotidienne" (ligne bleu continue) montre la moyenne de la température minimale. Les jours Chauds et les nuits froides (lignes bleues et rouges en pointillé) montrent la moyenne de la plus chaude journée et la plus froide nuit de chaque mois des 30 dernières années (Climat Tébessa,2021.).

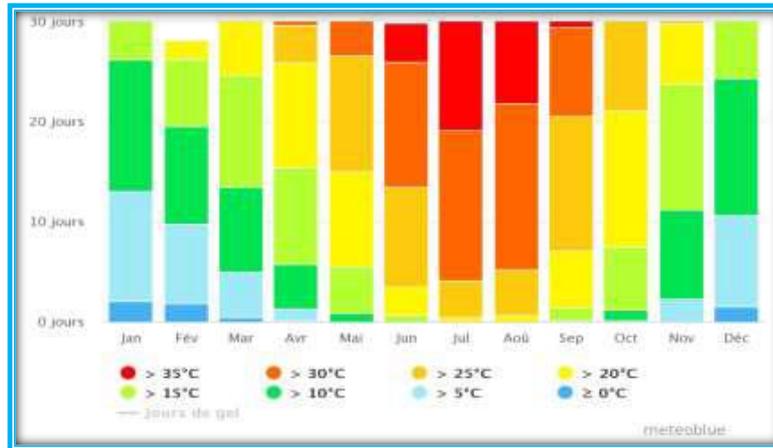


Figure 63 : situation géographique de la willaya de Tébessa (Source: (Ben arfa 2005)

I.2.2. Les précipitations :

Le diagramme de la précipitation pour Tébessa indique depuis combien de jours par mois (voir fig3-4) tandis que la partie beige représente les jours secs qui gagne le plus élevé taux des jours ; quant à la forte pluie ; elles n'occupent qu'une très faible quantité sur l'ensemble des mois ; ainsi que la partie bleu une précipitation moyenne de 5 à 6 jour durant un mois.

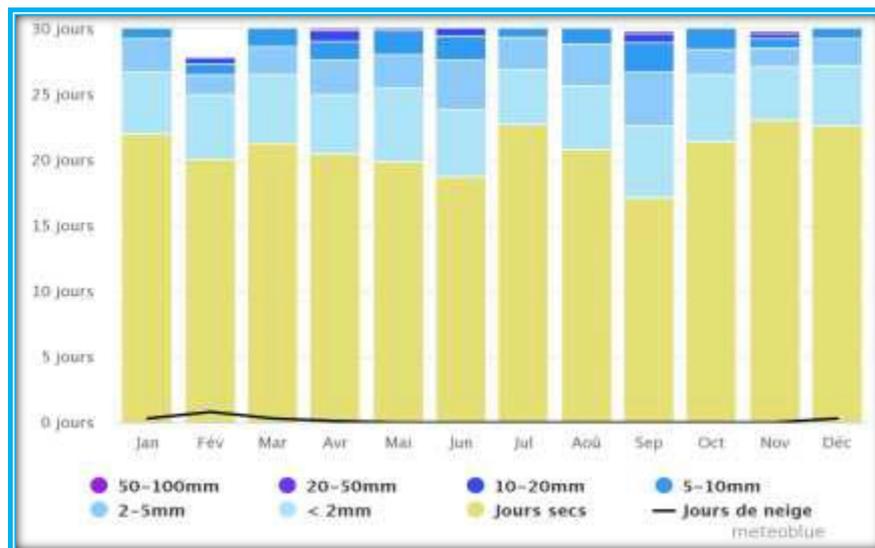


Figure 64 : Température de la wilaya de Tébessa, Source : (meteobleu,2021)

I.2.3. Les Vents : Le diagramme de Tébessa montre les jours par mois, pendant lesquels le vent atteint une certaine vitesse. Il a créé des vents forts et réguliers de Décembre à Avril et des vents calmes de Juin à Octobre ; généralement le vent est calme durant les 12 mois comme il est mentionner dans la figure suivante

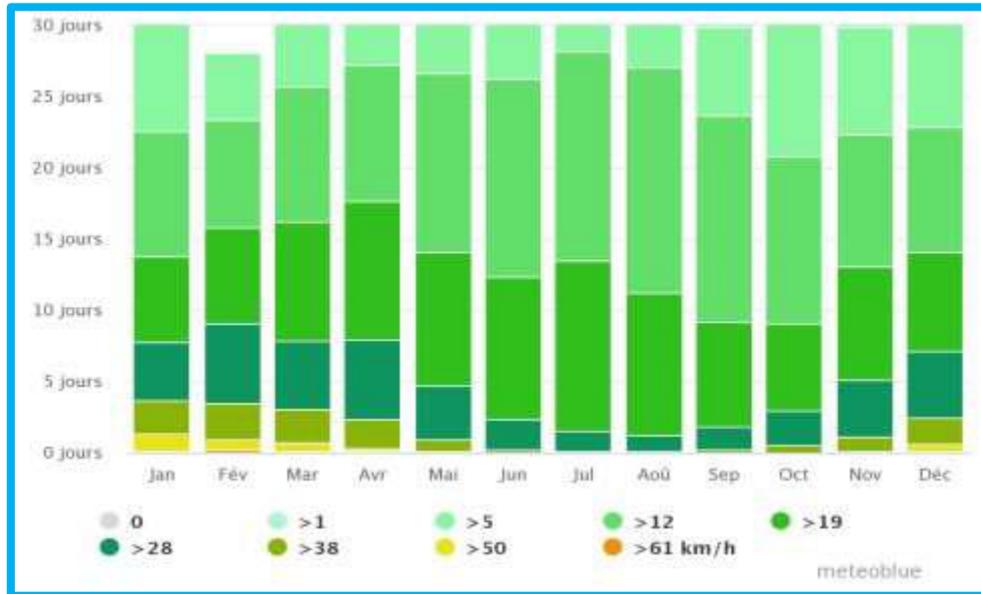


Figure 65 : vitesses du vent source : (meteoblu, 2022)

II. présentation du cas d'étude « l'auditorium Malek Ben Nabi de l'université de Tébessa »

Type de projet : auditorium
 Situation : Tébessa (l'université de Tébessa)
 Maître d'œuvre : bureau d'études Chorfi
 Surface brute : 4275 m²
 Surface bâti : 1945 m²
 Capacité d'accueil : 600 place
 Réalisé : en 2004



Figure 66 : l'auditorium Malek Ben Nabi

(Source : auteur 2022)

II.1. Implantation du projet

L'université de TEBESSA se trouve dans l'ouest de la ville de TEBESSA

A côté de la Route nationale numéro 10, dans le quartier de ALI MHANI 'POS 06'

L'auditorium se trouve à côté de l'entrée principale ouest de l'université

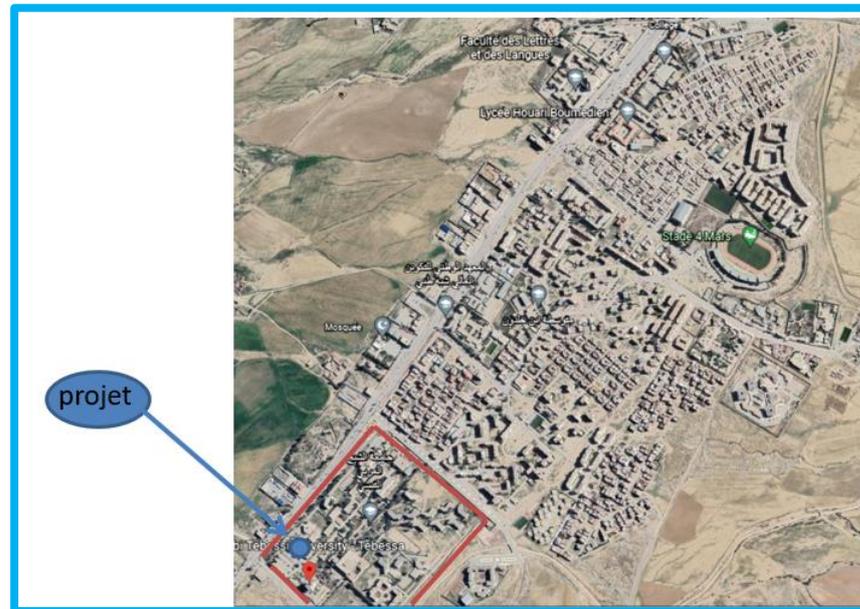


Figure 67 : la situation du projet

(Source : auteur 2022)

II.2. Etude plan de masse

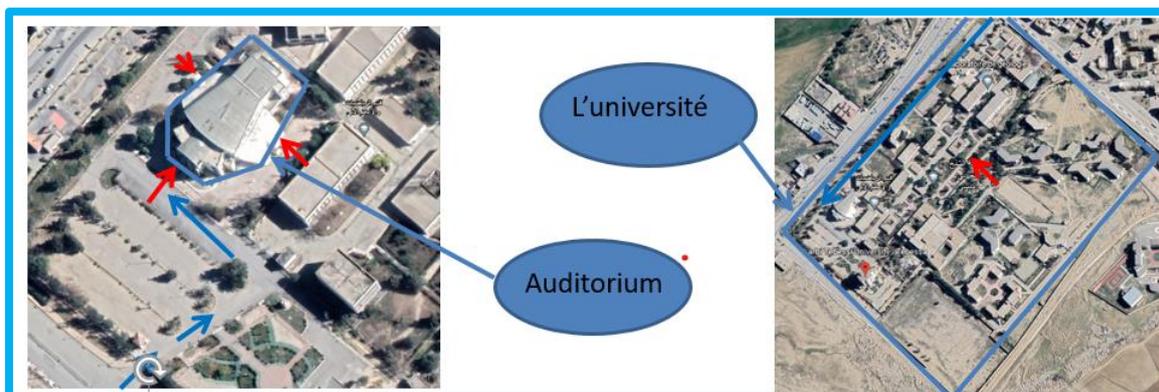


Figure 68 : accessibilité du cas d'étude

(Source : auteur 2022)

-  L'accès mécanique
-  L'accès Piéton

Le projet est accessible par deux voies secondaires à partir de la route nationale n10

L'une du côté Est et l'autre du côté Ouest.

II.3 l'environnement immédiat :

L'auditorium est entouré par :

Au nord : block des bureaux

Au sud : un parking

A l'ouest : département du math et informatique

A l'est : limité par la route nationale n°10

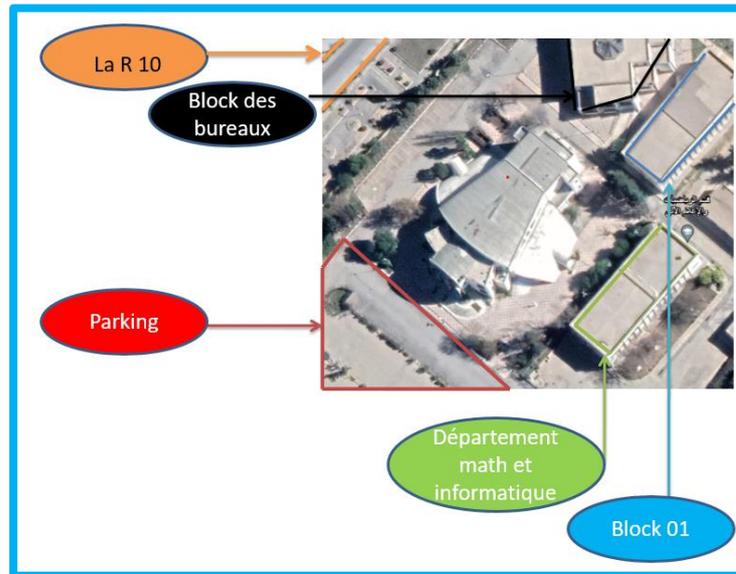


Figure 69 :l'environnement immédiat du cas d'étude

(Source : auteur 2022)

II.4. La volumétrie : La forme de ce projet et une forme complexe qui produise un volume homogène de grand hauteur



Figure 70 : la volumétrie du cas d'étude

(Source : auteur 2020)

II.5. Etude des plans :

Plan RDC :

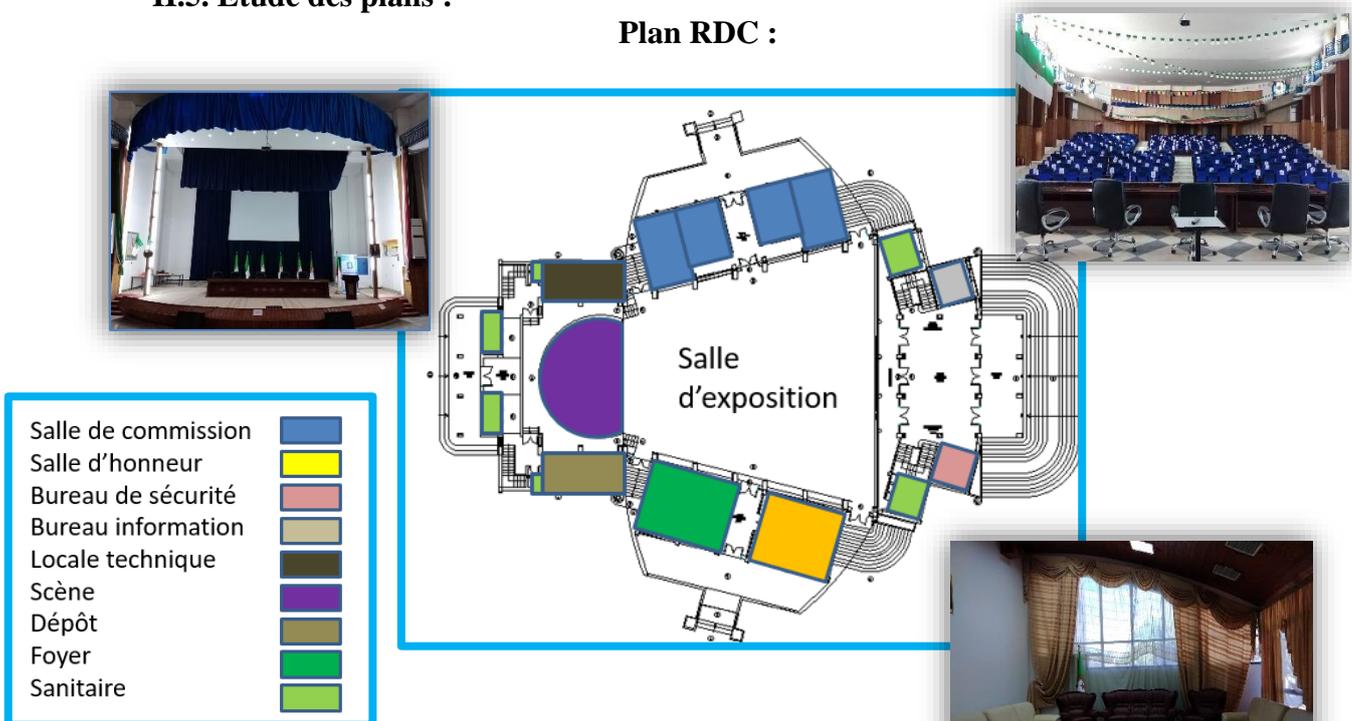


Figure 71 : plan RDC du cas d'étude

(Source : auteur 2022)

Plan étage :

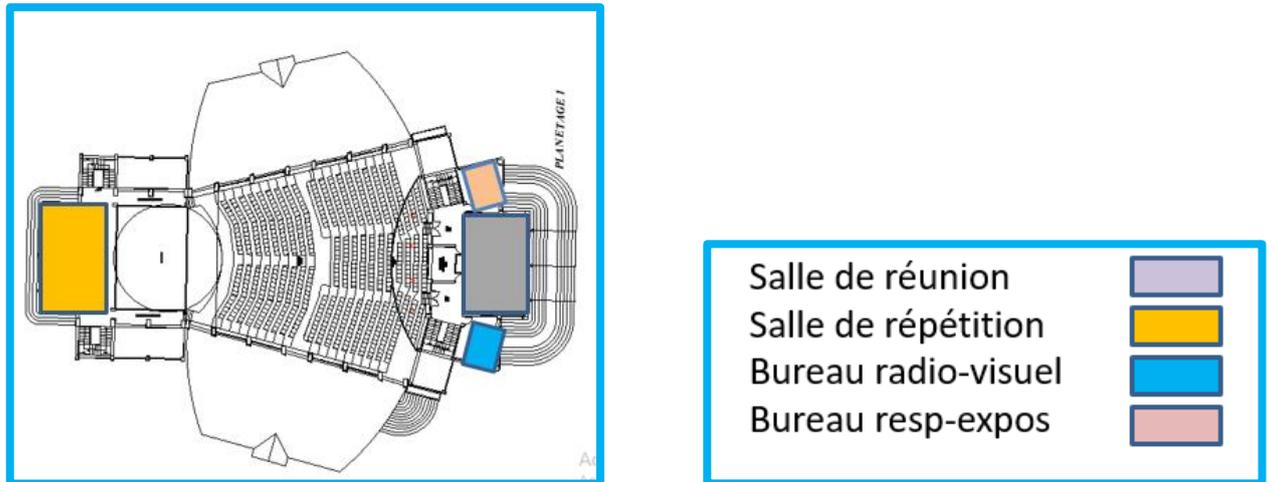


Figure 73 : plan d'étage du cas d'étude

(Source : auteur 2022)

II.6. Les façades :

- Le rapport plein vide et équilibré
- Les grandes surfaces des ouvertures dans la façade principale
- La symétrie parfaite
- La texture lisse
- La grande entrée principale symbolique

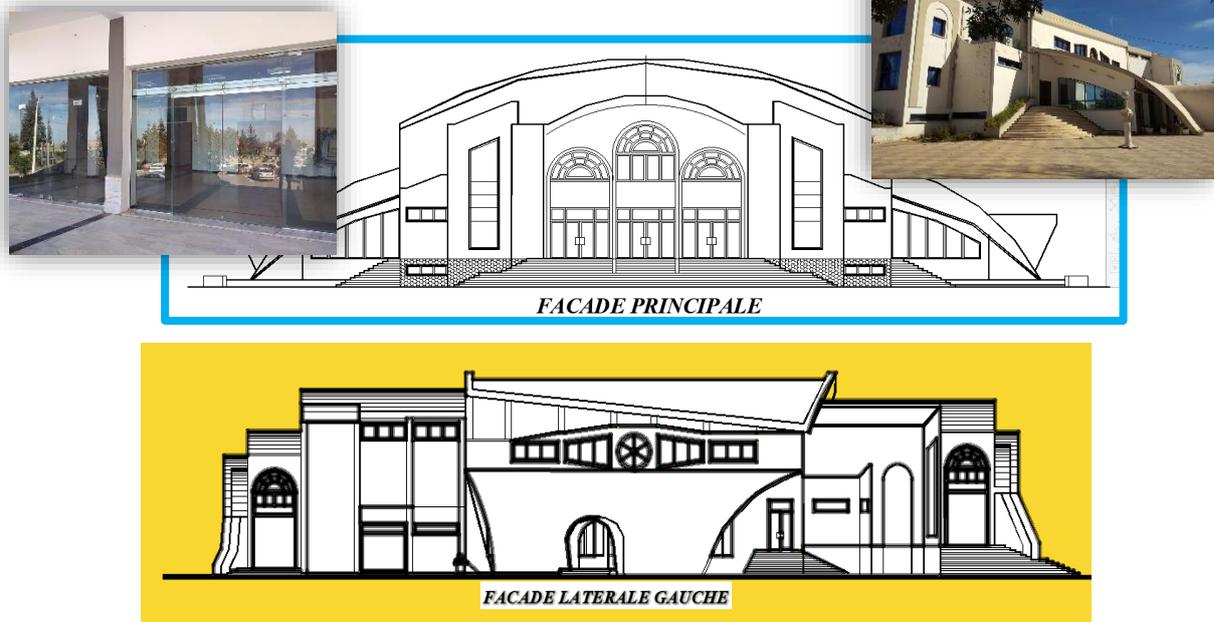


Figure 74 : les façades du cas d'étude

(Source : auteur 2022)

II.7. Etude intérieure :

Utilisation du bois pour les surfaces des murs intérieurs.



Figure 75 :les matériaux utilisés dans le traitement des murs intérieurs

(Source : auteur 2022)

II.8. Etude climatique:

En hiver, le mois de janvier la trajectoire du soleil est du Sud Est au Sud-Ouest

En été, le mois de juillet : la trajectoire du soleil est du Nord-Est au Nord-Ouest.

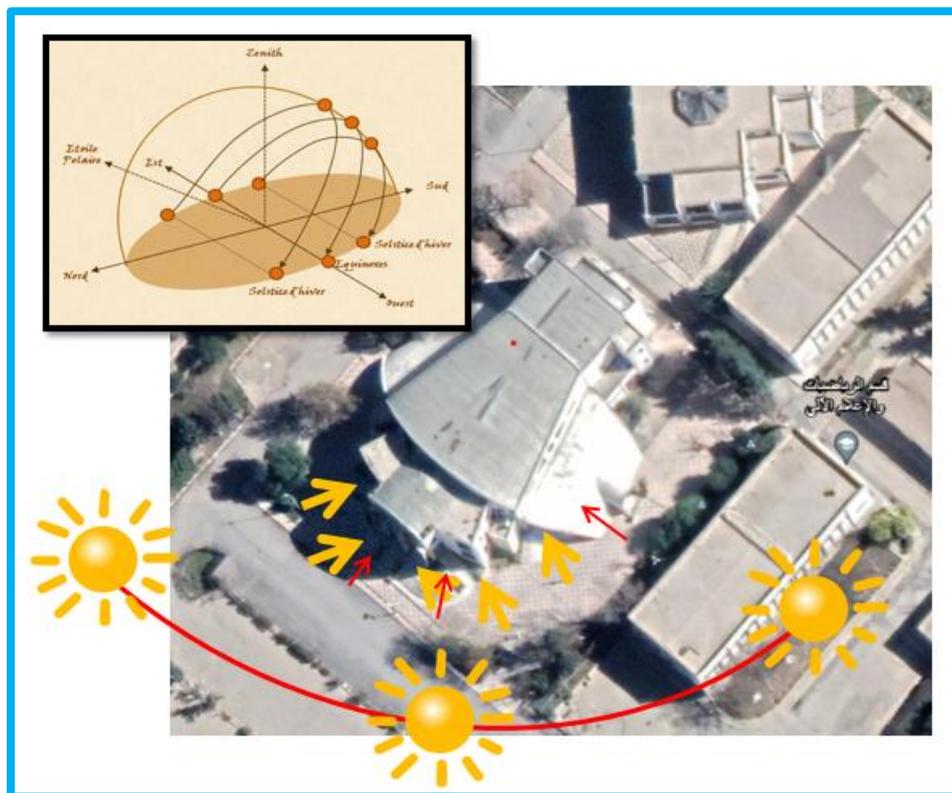


Figure 76 : étude d'ensoleillement du cas d'étude

(Source : auteur 2022)

II.9 Analyse des exemples :

Le choix des exemples a été fait selon plusieurs critères ayant une relation directe avec notre thème de recherche et notre projet, en allant du programme architectural, les typologies des salles utilisées et les différents contextes urbains aux techniques acoustiques et architecturales mise en œuvre.

II.9.1 Présentation des exemples livresques :

Nouvelle salle de conférence de l'OMPI	Le Centre international de conférence de Congo	Le Centre international de conférence d'Alger
		
<p>-Architecte : Architectes Behnisch</p> <p>-Situation : Genève, Suisse</p> <p>-Réalisation : 2014</p> <p>-Surface : 7700.0 m²</p>	<p>-Architect: Architecte AVCI</p> <p>-Situation: Kinshasa, Congo</p> <p>-Réalisation : 2017</p> <p>-Surface une superficie d'environ 8 hectares</p>	<p>-l'Architect : l'agence italienne Fabris&Partners</p> <p>-situation : Alger, Algérie</p> <p>-Réalisation : la fin de 2016</p> <p>-surface : 119.320 m²</p>

Tableau 3: fiche technique des exemple d'analyse

(Source :auteur 2022)

A. Programme :

Nouvelle salle de conférence de l'OMPI	Le Centre international de conférence de Congo	Le Centre international de conférence d'Alger
<ul style="list-style-type: none"> -Salle de conférence -Salles de réunion -Salon -Salle Bilger - Cabines d'interprètes - Cabine de régie -Salle de repos - Pièces annexes - Foyer - Secteur administratifs 	<ul style="list-style-type: none"> -salle de conférences de 59657m² -une salle des Présidents de 375 sièges, 3721m -une salle de presse de 148 places. -trois salons VIP de 152m² -une salle des banquets de 2285m² pouvant accueillir 1000 personnes -un musée d'art de 691m² -un bâtiment technique de 1052m² -un restaurant public de 885m² -un Piazza de 1150m² -quatre boutiques 	<ul style="list-style-type: none"> -l'auditorium principal de 6.000 places. -Salle de Conférence : 705 places -6 salles polyvalentes pour séminaires -1 salle banquets, 3.000 places -7 restaurants de 1.700 couverts. -1 salon d'honneur -1 espace EXPO de 12.000 m² -Salle de presse 110 place -61 bureaux délégations -4 studios radio-4 studios TV -bibliothèque

Tableau 4: Présentation des programmes

(Source : auteur 2022)

<p>Repérage</p>	 <p>-le projet est visible sur toute la continuité des routes principales - Le projet est une icône dans le paysage</p>	 <p>-le projet est visible sur toute la continuité de la route principale - Le projet est un joyau architectural pour le paysage urbain</p>	 <p>-L'intégration du projet dans son site à travers une continuité urbaine assurée par la toiture continue,</p>	<p>- Dans l'exemple 1 le repérage de projet est assuré grâce à son emplacement dans le site et aussi de sa forme et leur revêtement en bois -Dans l'exemple 2-3 le repérage est assuré grâce de la continuité urbaine de projet</p>
<p>Intégration urbain</p>	<p>-forme irrégulière par rapport les axes urbains intégration par contraste</p>	<p>- Forme régulière par rapport les axes urbains - Le projet situé dans un milieu naturel</p>	<p>-L'objectif principal de la modélisation de la forme extérieure a été d'intégrer le bâtiment dans le contexte du paysage dans lequel il se lève et d'ici</p>	<p><u>Ex 1-2</u> - Le projet est intégré dans son</p>

	<p>- Le projet est bien intégré dans son environnement Pour Valoriser le site urbain / naturel (bâtiment complémentaire à ses bâtiments voisins pour Continuité de l'espace urbain)</p>	<p>- urbaine -Le site offre une vue panoramique sur le fleuve Congo.</p>	<p>l'inspiration aux dunes qui marquent le site.</p>	<p>environnement tPour Valoriser le site <u>Ex 3</u> -L'objectif d'intégrer le bâtiment dans le contexte du paysage (l'inspiration aux dunes qui marquent le site.)</p>
<p>Identité</p>	<p>-l'intégration de bâtiment avec les bâtiments administratifs existante pour donner au bâtiment une identité politique -l'identité d'un contexte administratif</p>	<p>-la grande surface de projet exprime l'importance de ce joyau architectural -l'identité d'un contexte politique</p>	<p>-le CIC est une étape importante dans la ville. -l'identité d'un contexte politique</p>	<p><u>Ex 1</u> -Donné ou bâtiment une identité politique -l'intégration de bâtiment avec les bâtiments</p>

	<p>-La situation du terrain indique qu'il est bien accessible par 2 voix principalavec flux piéton entourée Le projet</p>	<p>-Le projet est accessible à cause d'un fluxmécannique -la faible densité de bâti facilite l'accessibilité au projet</p>	<p>L'accessibilité au projet par des flux mécanique et des accès piéton entourée leprojet</p>	<p>aussi grâce de l'importance de contexte urbain (contexte politique)</p>
--	---	--	---	--

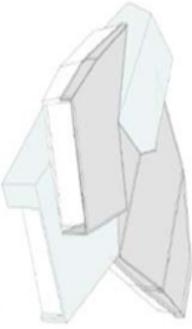
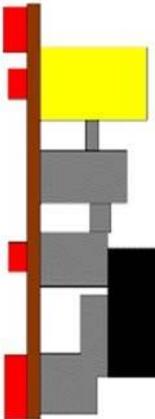
Tableau 3: d'étude urbaine des exemples

(Source : auteur 2022)

Synthèse :

- L'importance de Repérage de projet dans le site
- L'Attraction de projet par la silhouette urbaine
- Le choix de la zone d'étude élargie selon la nature de projet pour être Complémentaire des autres projets de la zone
- La participation de la forme du projet et de son traitement extérieur au paysage urbain.
- Conception d'un projet et respecté l'environnement naturelle
- L'intégration du projet dans son site à travers une continuité urbaine
- Identité le projet par rapport sa nature et son environnement
- Le site doit être connecté aux réseaux routiers principaux

B. Étude Architectural :

Projet	Nouvelle salle de conférence de l'OMPI	Le Centre international de conférence de Congo	Le Centre international de conférence d'Alger	Synthèse
Type d'architecture	Architecture postmoderne «déconstructivisme»	Architecture moderne	Le style traditionnel local rencontre avec le style moderne et technologique.	L'architecture moderne donne au projet un bon niveau sonore
Volume	 <p>La forme est caractérisée par l'agencement de 4 volumes en forme de boîtes</p>	 <p>La forme est caractérisée par l'agencement de plusieurs volumes et une colonnade de liaison</p>	 <p>Une forme libre couverte par une toiture fluide continue</p>	<p>Ex : 1</p> <p>Organisation linéaire</p> <p>Ex : 2-3</p> <p>Organisation centrée</p>
Enveloppe	Les revêtements en bois	revêtement plus léger par les lambris d'aluminium.	Le forme a été confectionnée à travers la pose d'un toit aux formes fluides pour se conformer aux les dunes	L'utilisation des revêtements en bois et en aluminium

Couleur et matériaux	L'architecte utilise les matériaux moderne telle que : Le bois, le métal, le verre	Utiliser des matériaux naturels en tout temps comme le bois, et la pierre -des éléments d'ombrage verticaux sont une finition bronze/laiton de couleur plus claire,	-l'atmosphères sub-sahariens à travers les couleurs et les formes - La façade principale réalisée en plâtre sculptée dans le contexte moderne.	-utiliser des matériaux naturels le bois, et la pierre -Le contraste de texture entre le bois et le verre
Structure	-Système mixte en boîtes continues -une structure en bois contemporaine d'une approche durable	Système mixte	-Système mixte d'installations techniques modernes.	l'utilisation des Système mixte Le Béton -le bois -le métal
L'éclairage artificiel	-le projet est orienté vers le nord pour bénéficier de lumière Naturel Par : les baies vitrées -Des lanternes en toiture (éclairage	-le vitrage est toujours profondément fixé à la façade au nord et la faible lumière du soleil de l'est et de l'ouest est minimisée par des éléments d'ombrage verticaux et des écrans métalliques perforés.	- la bénédictité de la lumière naturelle à travers la grande transparence des façades -l'éclairage zénithal au niveau de hall d'accueil	La recherche de la lumière Naturel dans la zone publique (latérale et zénithale)

	zénithaux). -Les installations d'éclairage artificiel par rapport la norme SIA 380/4		L'installation d'éclairage artificiel selon lesnormes
--	---	--	---

Tableau 4 : étude architecturale des exemples

(Source : auteur 2022)

Synthèse :

- L'inspiration des idées de conception à travers le contexte et l'environnement immédiat.
- L'utilisation d'un seul volume pour la réussite de projet ' la maîtrise de leur fonctionnement'.
- L'utilisation des textures inspirées à travers le site
- L'utilisation des couleurs claires pour le confort visuel et réduire l'effet de soleil
- Utilisation les matériaux locaux dans l'environnement pour l'aspect écologie
- L'utilisation de l' transparence pour le rapport : intérieure - extérieure
- L'utilisation de la lumière naturelle latérale et zénithale (réduire la consommation énergétique d'éclairage artificiel)
- Le contraste entre le vide et le plein
- L'utilisation d'un système structural facilite la flexibilité de circulation et le fonctionnement de projet.
- L'utilisation d'une architecture moderne permet d'intégrer le projet dans le site et bénéficier de lumière et d'aérations naturelles

C. Analyse spatiale et fonctionnelle :

A travers les divers exemples qu'on a eus à analyser on a constaté que les relations spatiales et fonctionnelles dépendent de la disposition plane de la salle de conférence et on a pu tirer deux différents cas de disposition :

<p>Projet</p>	<p>Nouvelle salle de conférence de l'OMPI</p>	<p>Centre international de conférence de Congo</p>	<p>Centre international de conférence d'Alger</p>
<p>Organigramme spatial</p>			

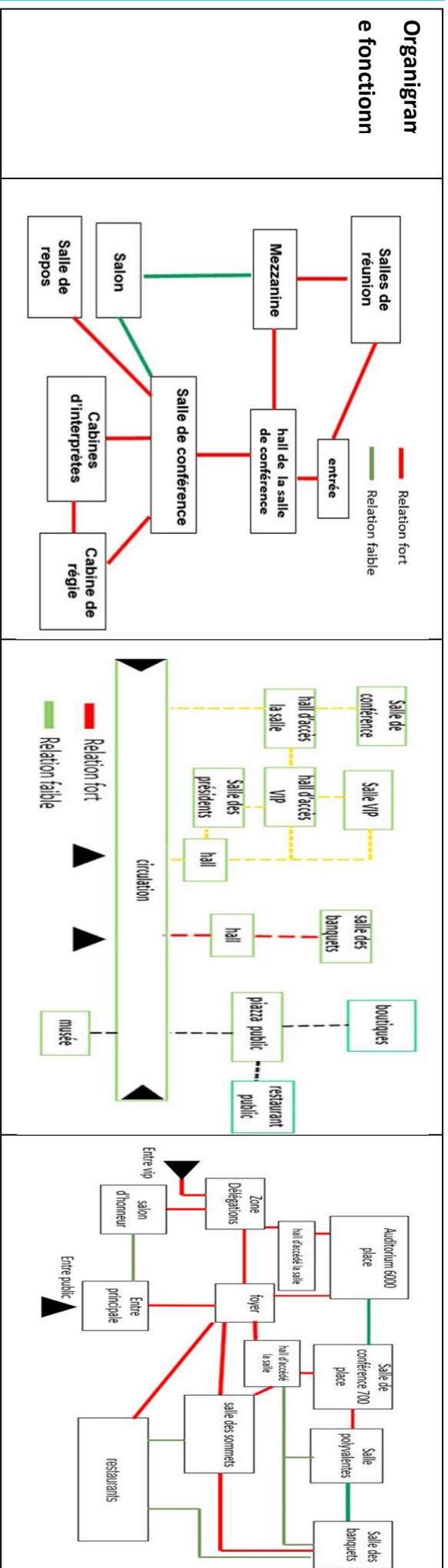


Tableau 5 : étude spatio-fonctionnel des exemple

(Source : auteur 2022)

Synthèse :

- La flexibilité des espaces pour répondre aux exigences les plus différentes aussi pardivisions en zones soit en horizontal qu'en vertical.
- La séparation des espaces par rapport la fonction : espace public - espace vip - espace de salle de conférence
- La relation visuelle entre les différent niveaux à travers les mezzanines.
- Les espaces dédiés au grand public sont en relation directe avec la salle de conférence, en assurant une certaine fluidité de circulation à travers des espaces ouverts sur l'extérieur oude simples halls.
- Les espaces dédiés aux VIP donnent directement sur la salle de conférence en s'appuyantsur une circulation directe et rectiligne.

D. Analyse acoustique :

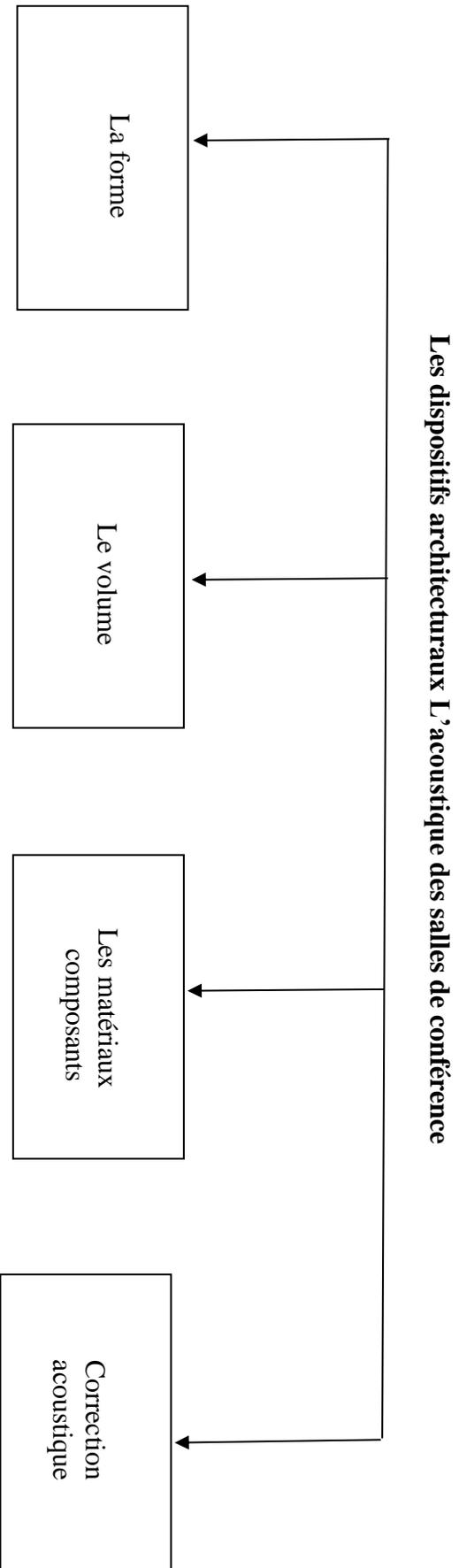


Figure 21 : schéma d'analyse acoustique
(Source : auteur 2022)

E. Caractéristiques de la salle :

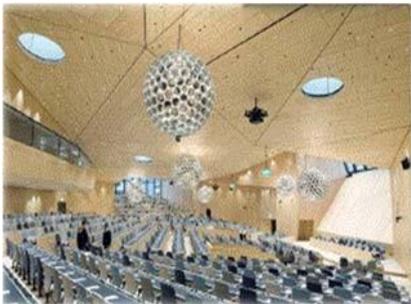
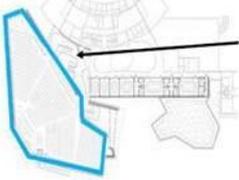
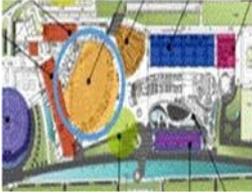
Les dispositifs architecturaux	La forme		Le volume	
	Type	Disposition	Capacité	Volume
 <p style="text-align: center;">EX 1</p>	Asymétrique	 <p style="text-align: center;">Disposition nlatérale</p>	871 sièges orientés en léger arc de cercle en direction dela tribune.	3484 m3
 <p style="text-align: center;">EX 2</p>	Boîte à chaussure	 <p style="text-align: center;">Disposition n latérale</p>	Une capacitéde 1500 sièges	6000 m3
 <p style="text-align: center;">EX 3</p>	En arène	 <p style="text-align: center;">Disposition : élément central</p>	Une capacité de 6.000 places	24000 m3

Tableau 8 : Caractéristiques de la salle

(Source : auteur)

F. Les matériaux composants :

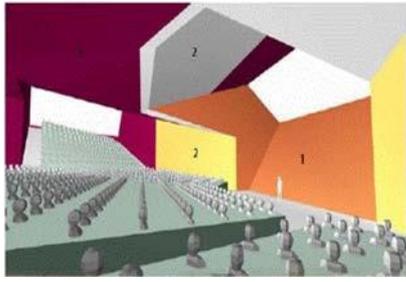
Nouvelle salle de conférence de l'OMPI	Centre international de conférence de Congo	Centre international de conférence d'Alger
		
<p>-Surfaces des parois et du plafond à réaliser, absorbantes (le bois)</p> <p>-les réflecteurs acoustiques sur les murs et les plafonds</p> <p>-Revêtement intérieur en bois Intelligent</p>	<p>-Revêtement en panneaux de laine de roche absorbant placé sur les murs lateral</p> <p>-Au plafond, lambris acoustiques réduisant la réverbération des Sons</p>	<p>-l'objet d'un double traitement acoustique</p> <p>panneaux agglomérés perforés sur mesure pour d'absorption sonore</p> <p>-surfaces en verre réfléchissantes.</p>

Tableau 9: Les matériaux composants

(Source : auteur 2022)

G. Correction acoustique (isolement acoustique) :

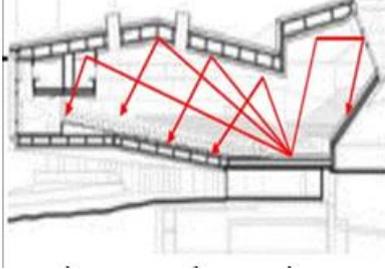
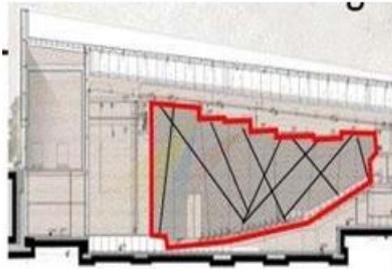
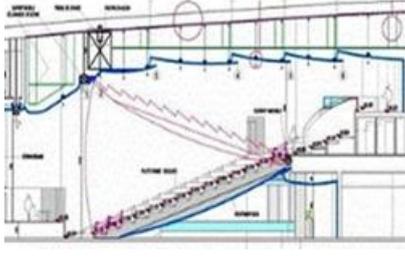
Nouvelle salle de conférence de l'OMPI	Centre international de conférence de Congo	Centre international de conférence d'Alger
		
<ul style="list-style-type: none"> -Toiture sur plots anti vibratiles. -La Soustraction de la salle permet d'éviter les vibrations de sol -Les couches épaisses de bois rigides permettent de satisfaire aux critères de l'isolation acoustique de la salle 	<ul style="list-style-type: none"> L'installation des réflecteurs au plafond pour accentuer la clarté du son -une structure indépendante de la salle pour le but d'isolation acoustique 	<ul style="list-style-type: none"> -L'installation des réflecteurs au plafond pour faciliter la propagation -une structure indépendante de la salle pour le but d'isolation acoustique

Tableau 10: correction acoustique

(Source : auteur 2022)

. Synthèse :

. Au niveau de La forme :

- Chaque forme à ses propres effets sur le son.
- La forme d'une salle joue un rôle important car les propriétés géométriques (la forme et les dimensions et le volume) ont une influence directe sur la propagation des ondes sonores.
- Dans chaque forme on a des avantages et des inconvénients et dans chaque forme on a besoin des traitements de correction pour un confort optimal

. Au niveau de la salle principale :

- Une structure indépendante (entre le bâtiment et la salle de concerts) aide à assurer une bonne isolation vis-à-vis l'extérieur.
- La salle nécessite une isolation vis-à-vis l'extérieur et une correction sonore intérieure.
- La création d'angles dans le plafond pour éviter la réflexion parallèle avec le mur arrière (Solution architecturale)
- L'utilisation des matériaux absorbants comme solutions (des matériaux adaptés aux basses, moyennes et hautes fréquences.).
- L'installation des réflecteurs au plafond pour faciliter la propagation (solution technique)

Conclusion :

A travers ce chapitre on a analysé premièrement le cas d'étude l'auditorium Malek Ben Nabi puis on a analysé les exemples des centres de conférences, donc on distingue les objectifs et les intentions pour réaliser notre projet tel que :

- L'importance de Repérage de projet dans le site
- L'Attraction de projet par la silhouette urbaine
- L'inspiration des idées de conception à travers le contexte et l'environnement immédiat.
- L'utilisation d'un seul volume pour la réussite de projet la maîtrise de leur fonctionnement
- La flexibilité des espaces pour réussir à répondre aux exigences les plus différentes aussi pardivisions en zones soit en horizontal qu'en vertical.
- La séparation des espaces par rapport la fonction : espace public - espace vip - espace de salle de conférence
- Une structure indépendante (entre le bâtiment et la salle de concerts) aide à assurer une bonne isolation vis-à-vis l'extérieur.
- La salle nécessite une isolation vis-à-vis l'extérieur et une correction sonore intérieure.
- Chaque forme à ses propres effets sur le son.
- La forme d'une salle joue un rôle important car les propriétés géométriques (la forme et les dimensions et le volume) ont une influence directe sur la propagation des ondes sonores.

Chapitre 04 :
État de l'art et
positionnement
épistémologique

Introduction :

Au cours de ces dernières années, les outils de simulation de l'acoustique ont effectué des progrès considérables. Ils jouent un rôle très important dans l'analyse de l'acoustique pour en déduire un dimensionnement et une stratégie de contrôle optimisée des systèmes d'acoustique. Ce chapitre consistera une validation au moyen de technique, une comparaison des valeurs d'acoustique obtenue grâce au logiciel ECOTECT.

I Les études antérieures :

I.1. La première étude : c'est l'étude de Aissani Sarra , elle a fait l'étude acoustique de la salle de spectacle du Théâtre Ahmed Bey à Constantine, elle a utilisé l'ECOTECT pour définir les matériaux les plus efficaces comme des isolants acoustiques, elle a partagé son travail en trois étapes :

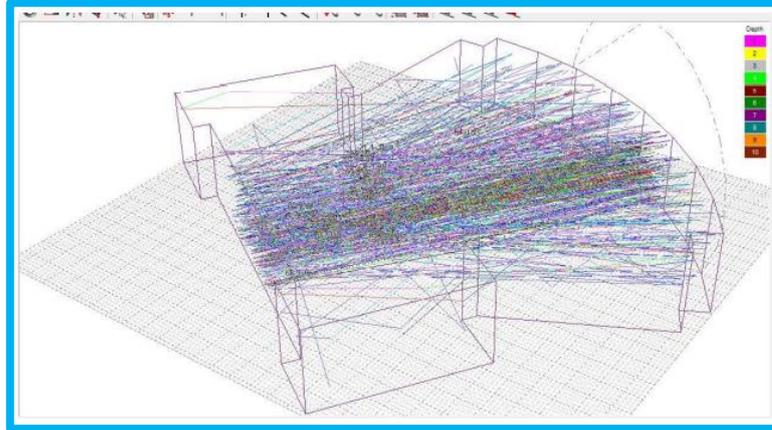


Figure 77 : la propagation du son dans la salle de spectacle

(Source : Assaini Sara)

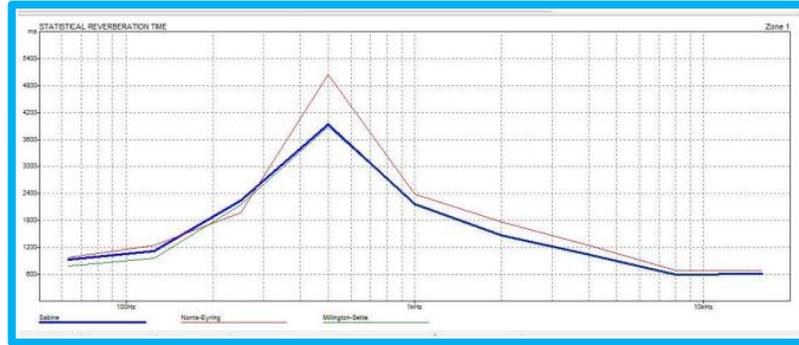
I.1.1. La première étape : sans isolant

Définir le temps de réverbération dans le cas normale (sans isolant)

	TOTAL	EMPTY	50%	FULL
FREQ.	ABSPT.	RT(60)	RT(60)	RT(60)
63Hz:	79.809	0.92	0.91	0.90
125Hz:	66.112	1.09	1.08	1.07
250Hz:	30.677	2.12	2.02	1.92
500Hz:	12.900	3.61	3.40	3.19
1kHz:	10.977	2.30	2.32	2.32
2kHz:	20.593	1.50	1.50	1.49
4kHz:	33.493	1.04	1.04	1.04
8kHz:	34.056	0.62	0.63	0.63
16kHz:	37.340	0.63	0.63	0.63

Tableau 11: résultat sans isolant.

(Source : Assaini Sarra,2020)



graphe 1: le temps de réverbération de la salle dans le cas normale (sans isolant)

(Source : Assaini Sarra,2020)

Dans ce cas le temps de réverbération est très élevé.

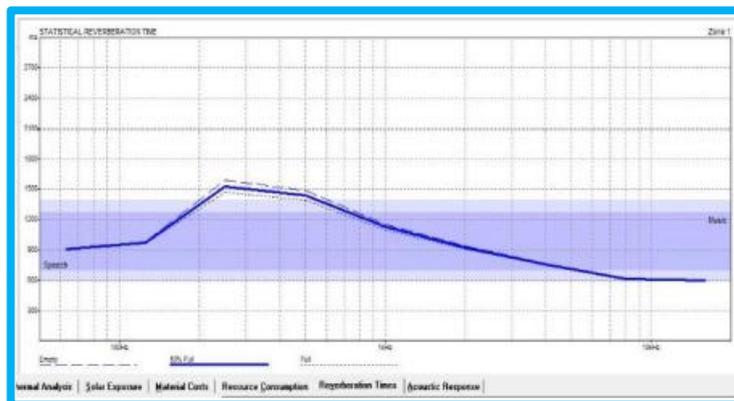
I.1.2. La deuxième étape : avec isolant : la laine de roche

Définir le temps de réverbération dans le cas d'utiliser la laine de roche de 15 cm

	TOTAL	EMPTY	50%	FULL
FREQ.	ABSPT.	RT(60)	RT(60)	RT(60)
63Hz:	79.809	0.93	0.93	0.93
125Hz:	74.273	0.99	0.99	0.99
250Hz:	42.918	1.66	1.66	1.66
500Hz:	45.542	1.57	1.57	1.57
1kHz:	57.220	1.21	1.21	1.21
2kHz:	66.836	0.98	0.98	0.98
4kHz:	78.376	0.79	0.79	0.79
8kHz:	80.299	0.63	0.63	0.63
16kHz:	82.222	0.61	0.61	0.61

Tableau 12: Résultat de la laine de roche.

(Source : Assaini Sarra,2020)



graphe 78 : Le temps de réverbération avec la laine de roche

(Source : Assaini Sarra,2020)

I.1.3. La troisième étape : avec isolant : la cellulose

Définir le temps de réverbération dans le cas d'utiliser la cellulose

	TOTAL	SABINE	NOR-ER	MIL-SE
FREQ.	ABSPT.	RT(60)	RT(60)	RT(60)
63Hz:	90.690	0.82	0.68	0.69
125Hz:	87.874	0.84	0.59	0.72
250Hz:	113.642	0.65	0.22	0.42
500Hz:	170.670	0.43	0.09	6.07
1kHz:	157.866	0.47	0.11	6.54
2kHz:	174.283	0.42	0.09	3.19
4kHz:	184.463	0.39	0.09	1.91
8kHz:	186.386	0.37	0.09	1.47
16kHz:	188.309	0.36	0.09	1.38

Tableau 13:Résultat pour la cellulose.

(Source : Assaini Sarra,2020)



graphe 2:Le temps de réverbération (cellulose).

(Source : Assaini Sarra,2020)

On distingue que la cellulose c'est la meilleure pour l'absorption du son dans les salles des paroles et du music.

I.2. La deuxième étude :

C'est l'étude de Yahyiaoui Amina et Djelloul ibtissame, elle a utilisé la méthode de questionnaire avec le programme Sphinx pour définir les sources de bruit et de mieux comprendre et de localiser les gênes occasionnées par les nuisances sonores potentiellement présentes.

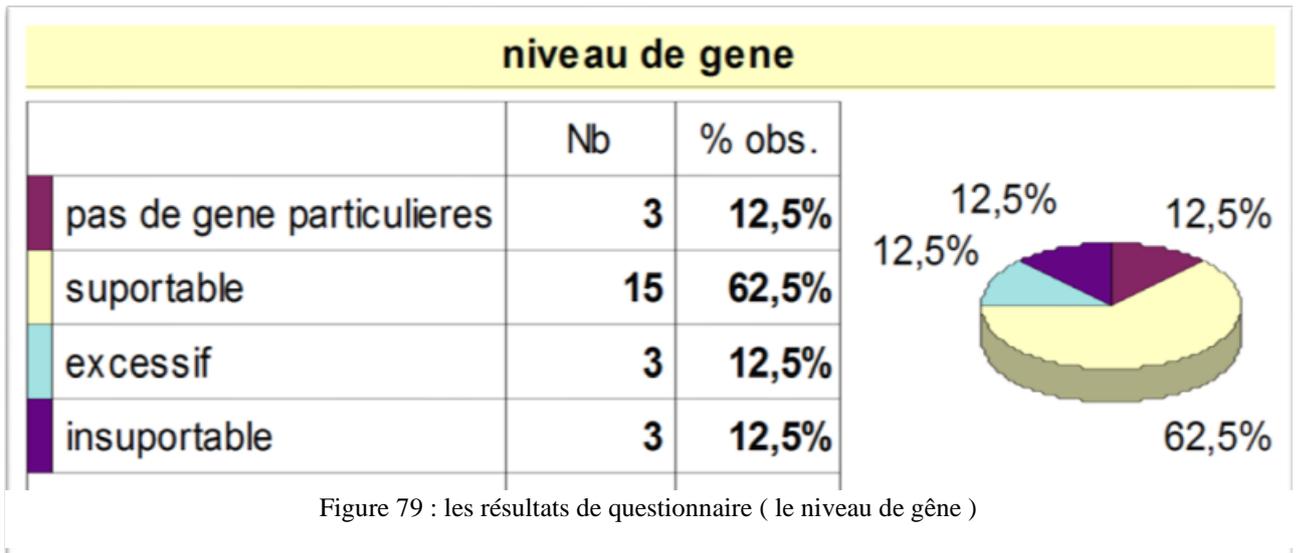
Il a été distribué à tous les étudiants ainsi qu'au personnel de l'institut (enseignants) ; ce questionnaire s'axe sur 3 thèmes principaux :

La perception de bruit au sein de lycée

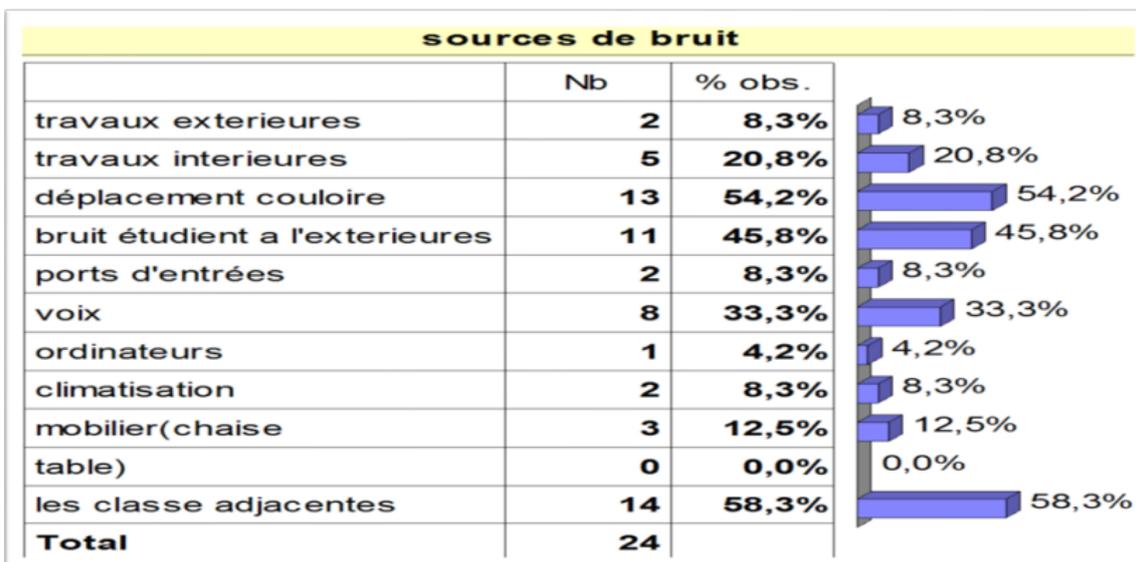
Le rapport au bruit des personnes questionnées

Connaissance sur le bruit

- La perception de bruit au sein de lycée :



(Source :Yahiaoui Amine et Djeloul Ibtissame 2015)



(Source :Yahiaoui Amina et Djeloul Ibtissame 2015)

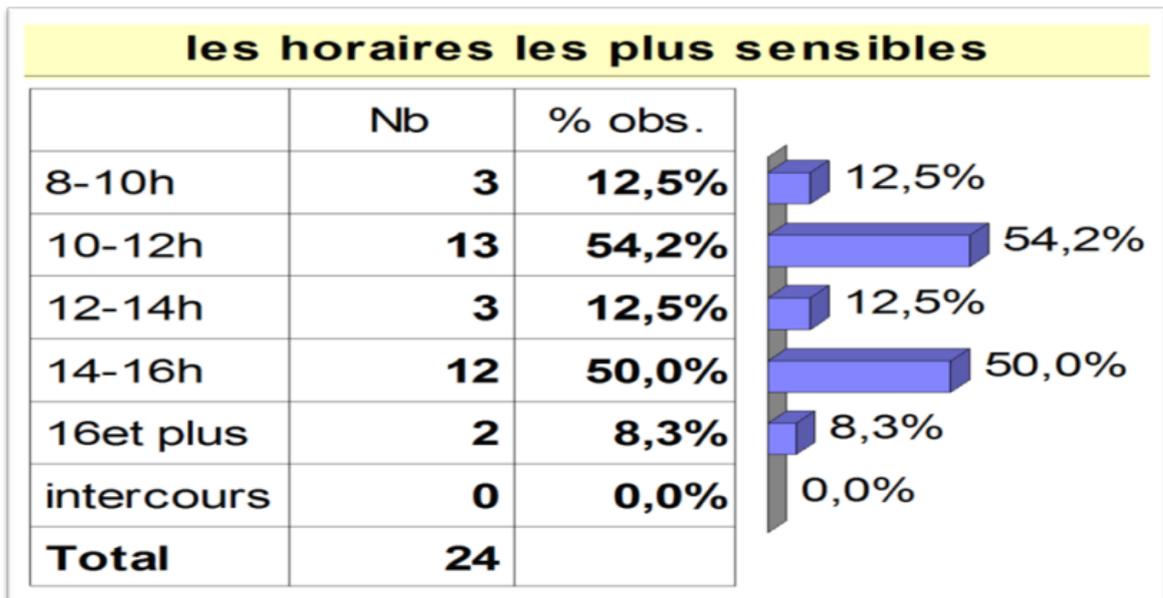


Figure 81 :les résultats de questionnaire (les horaires les plus sensibles)

(Source :Yahyiaou Amina et Djelloul Ibtissame 2015)

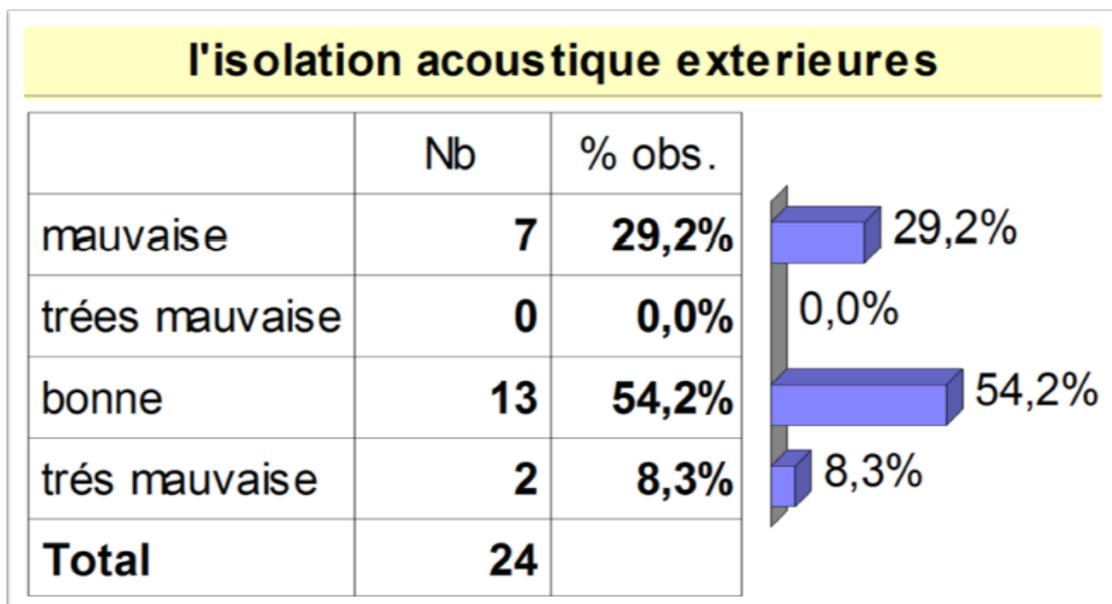


Figure 82 :les résultats de questionnaire (l'isolation acoustique extérieures)

(Source :Yahyiaou Amina et Djelloul Ibtissame 2015)

Après cette évaluation elle a définir les espaces ou il faut intervenir pour éliminer la nuisance sonore

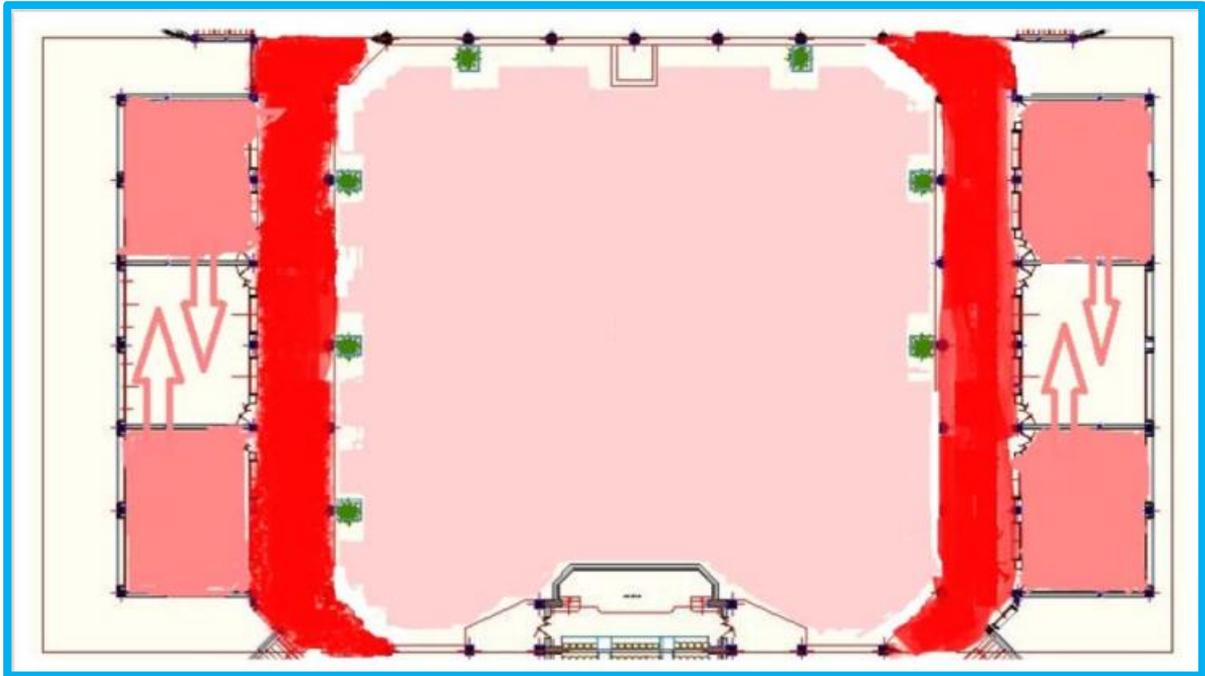


Figure 83 : schéma des espaces bruyants

(Source :Yahiaoui Amina et Djelloul Ibtissame)

I.3 La troisième étude : C'est l'étude de Khaled FARHI et Tariq BOUSBA et Oussama ABOUD dans leur mémoire de master, ils ont fait une recherche qui s'intitule (le confort acoustique de salles de spectacles), ils ont analysé la salle de spectacle (Philharmonie de Paris) comme un cas d'étude.

Ils ont parlé dans cette analyse de l'isolation acoustique et la correction acoustique, ensuite ils ont trouvé que l'architecte a adapté deux types des formes pour assurer la qualité acoustique la plus proche à l'optimale, de forme ovoïde, la Philharmonie de Paris reprend donc des caractéristiques des salles en vignoble et boîte à chaussure, possède de plus des grands balcons (suspendus et projetés vers la scène pour diminuer l'éloignement).

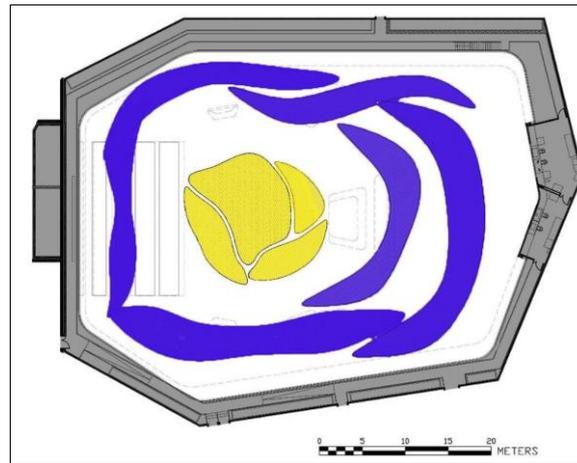


Figure 84 : Acoustique variable de la grande salle de la Philharmonie.

Source : FARHI (2015).

L'architecte a vu que dans la première forme les ondes sonores se propagent de manière injuste dans toutes les directions et ceci est dû au manque de positionnement de la scène au milieu de la salle, tandis que la forme en « vignoble » est plus démocratique grâce à la centralité de la scène. En revanche, elle a un problème de la hauteur de la surface de réflexion « très élevée », par contre dans « la boîte à chaussures » les balcons jouent le rôle primordial par leurs sous-faces dans le fonctionnement acoustique.

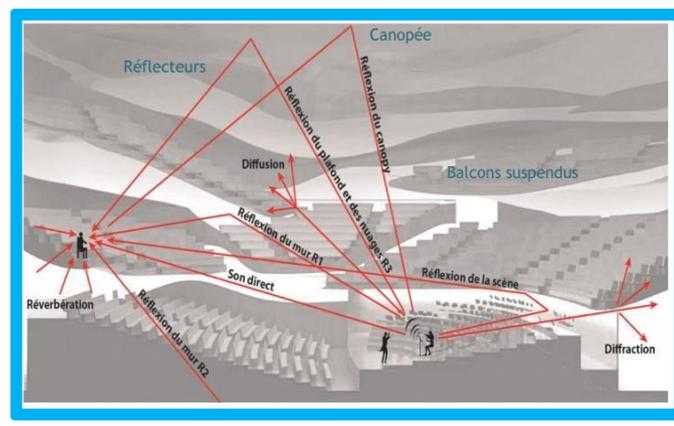


Figure 85 : Schématisation de la propagation du son dans la grande salle de la Philharmonie.

(Source : FARHI (2015)).

Ils sont extrait d'après l'analyse de la Philharmonie de Paris trois problèmes relatifs à la conception d'une salle de grande surface dans le tableau au-dessous ils ont indiqué de façon simple et précise la nature acoustique du problème puis en montrant les solutions que l'architecte a envisagé pour tenter de résoudre ces problèmes

Problèmes et nature du problème.	Solutions envisagées
Réverbération trop longue : les sons se mélangent alors trop les uns des autres.	Utilisation de matériaux absorbants et de géométrie particulière pour favoriser les réflexions précoces.
Eloignement des spectateurs : sons perçus moins puissants, manque de présence sonore.	Répartition des spectateurs à 360° autour de la scène.
Absence de retour du son vers la scène (pour les musiciens) : comment jouer ensemble si on ne s'entend pas ?	Mise en place des canopées pour assurer les réflexions du son par le plafond.

Tableau 14 : présentation des problèmes et leurs solutions

(Source : FARHI (2015)).

II Les méthode d'évaluation

II.1 La méthode expérimentale :

C'est une méthode appliquée au domaine de la psychologie par exemple : cherche à étudier l'homme en général, en prendre en considération l'accent sur les interactions entre son comportement et les situations qu'il vit concrètement. Une démarche expérimentale exige la prise en compte de trois étapes : l'observation, l'hypothèse et l'expérimentation proprement dite.

II.2 La technique du questionnaire :

Le questionnaire d'enquête est le principal véhicule de communication entre les chercheurs et les enquêtés, il nous permet la collecte méthodique d'informations dans le cadre d'une enquête. Dans notre cas, cette technique nous aide à recueillir les opinions, les comportements, les réactions et les interactions des usagers vis-à-vis de leur environnement hygrothermique. Le questionnaire a été administré à un groupe d'étudiants qui occupent les différentes salles de classes représentant les typologies obtenues à partir de l'analyse typologique abordée précédemment.

II.2.1 Méthode de calcul :

C'est une méthode appliquée qui résout les équations après avoir discrétisé les variables et la méthode de calcul statistique. C. La technique de la simulation : La simulation définie comme un outil permet d'étudier les résultats d'une action sur un élément sans réaliser l'expérience sur l'élément réel. Alors, on peut conclure que la simulation numérique peut permettre de comprendre, prédire ou concevoir, dans de nombreux cas l'expérience est irréalisable, trop chère ou contraire à l'éthique.

II.2.2 La technique de la simulation :

La simulation définie comme un outil permet d'étudier les résultats d'une action sur un élément sans réaliser l'expérience sur l'élément réel. Alors, on peut conclure que la simulation numérique peut permettre de comprendre, prédire ou concevoir, dans de nombreux cas l'expérience est irréalisable, trop chère ou contraire à l'éthique.

La méthode de travail sélectionnée pour nous aider de travailler dans notre cas est la simulation pour prévoir les résultats de niveau de confort acoustique d'un auditorium et pour une évaluation de l'efficacité acoustique

II.2.3 Quelques logiciels de simulation acoustique :

- **Odéon acoustic software simulation** : est un logiciel permettant d'effectuer des calculs de temps de réverbération grâce à la formule de Sabine dans des salles de concerts par exemple, le but de cette activité est de réinvestir les notions de fréquences, de coefficient d'absorption, de niveau sonore, et voir une application concrète de la formule de Sabine, ce logiciel est une référence pour les acousticiens professionnels

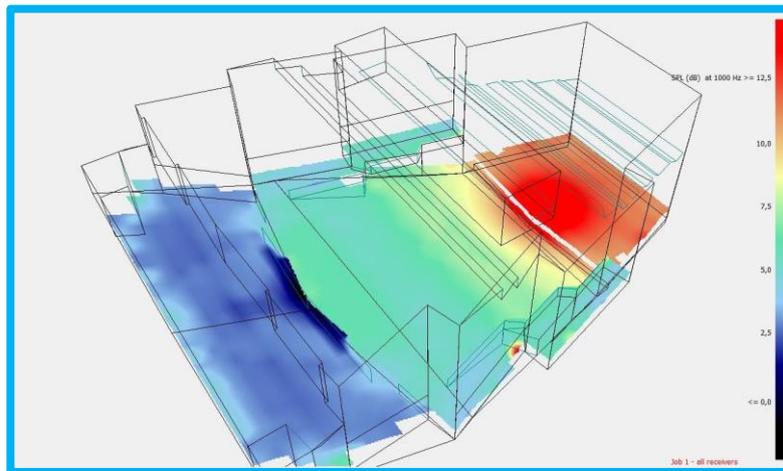


Figure 86 :logiciel de l'odéon acoustics sofwar simulation

(Source : www.odeon.com 2019)

- **Pachyderme acoustics simulation** : est un logiciel de conception assistée par ordinateur utilisé par exemple dans le milieu du design industriel ou de l'architecture, développé par Robert McNeil et Associates, il sert essentiellement à concevoir des formes complexes, le pachyderme est un plugin De rhino et Grass Hopper se fonctionne avec des logarithmes pour estimer la nuisance sonore et donner une image de la propagation du son dans l'espace et définir le temps de réverbération

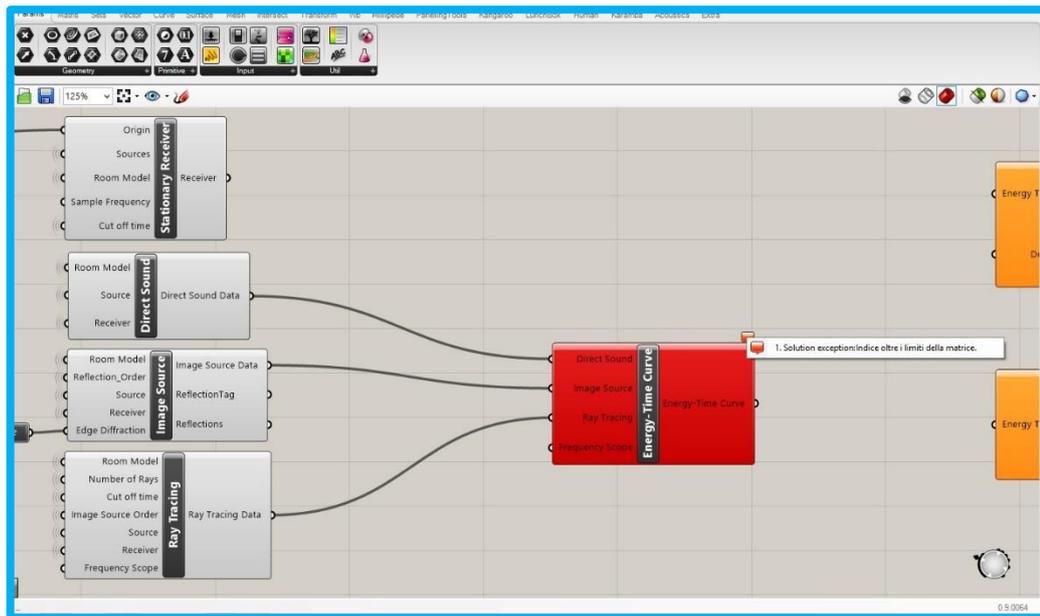


Figure 87 : pachyderme acoustiques simulation

(Source : [http:// pachyderme acoustics simulation 2021](http://pachyderme-acoustics-simulation.com/))

III. La technique de simulation "Ecotectanalysis" :

Grâce aux avancements informatiques et à la conscience environnementale croissante, le recours aux logiciels de simulations est aujourd'hui un devoir plus qu'une nécessité. L'état physique d'un bâtiment est le résultat de l'interaction complexe d'un ensemble très large d'éléments physiques. La capacité des logiciels à faire face à la complexité de ces interactions a déterminé la reconnaissance de leur rôle unique dans la prédiction, l'évaluation et vérification de la performance des bâtiments. Ce type de recherche par simulations est aussi envisagé en raison de son coût moins dispendieux par rapport à la recherche à échelle réelle. Les logiciels de simulation ont été aussi reconnus comme des outils très utiles dans les premières phases du design, en raison de leur flexibilité et possibilité de modifier et raffiner les modèles.

III.1 Le choix d'outil de simulation "Ecotectanalysis" :

ECOTECT est un outil dont l'analyse est simple donnant des résultats relativement précis et visuellement efficaces. Entièrement conçu par des architectes et grâce à son interface très visuelle, il se présente comme un outil parfait pour communiquer avec les architectes et les concepteurs. Il a été conçu sur les performances du projet final. Le logiciel répond à ce but en fournissant la rétroaction (feedback) visuelle et analytique, guidant progressivement le processus de conception. « Le but est de permettre aux concepteurs d'adopter une approche holistique au processus de conception du bâtiment facilitant ainsi de créer des bâtiments énergétiquement efficaces ». ECOTECT se caractérise, aussi, par une prise en main assez rapide. Son interface 3D intuitive permet la conception des modèles allant de simples croquis jusqu'aux modèles plus complexes. Ses résultats d'analyse peuvent être montrés directement sur les surfaces du bâtiment ou dans les espaces concernées par l'analyse, donnant au concepteur la meilleure possibilité de comprendre les performances du bâtiment et, donc, apporter les vraies améliorations conceptuelles

III.2.2 Les étapes du travail avec "ECOTECT analysis 2011" :

III.2.1 Les étapes du travail de simulation via le logiciel ECOTECT sont :

La préparation, le dessin et l'analyse. 3D Editor : On peut tracer, grâce à ses outils, nos différents espaces tels qu'ils sont réellement dans le bâtiment de façon créatrice ou bien on importe des fichiers depuis d'autres logiciels. Dès leur ajout, on peut modifier ce qu'on veut dans le fichier à travers les différentes fonctionnalités qu'offre Ecotect

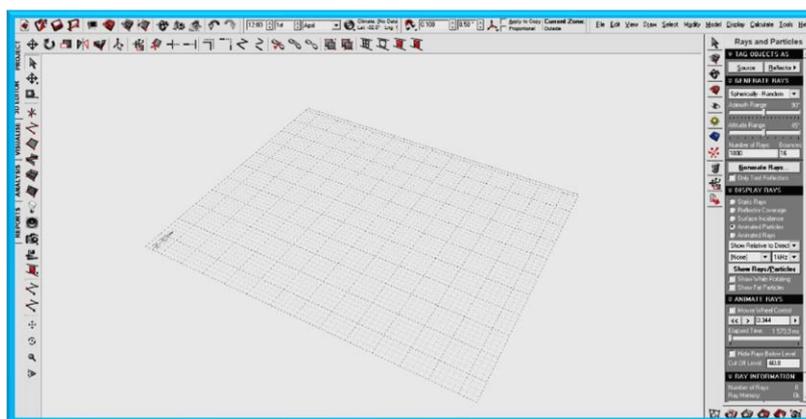


Figure 88 : Vue 3D du logiciel

(Source : ECOTECT)

A. Première étape : importer le dessin 2D de logiciel Autocad

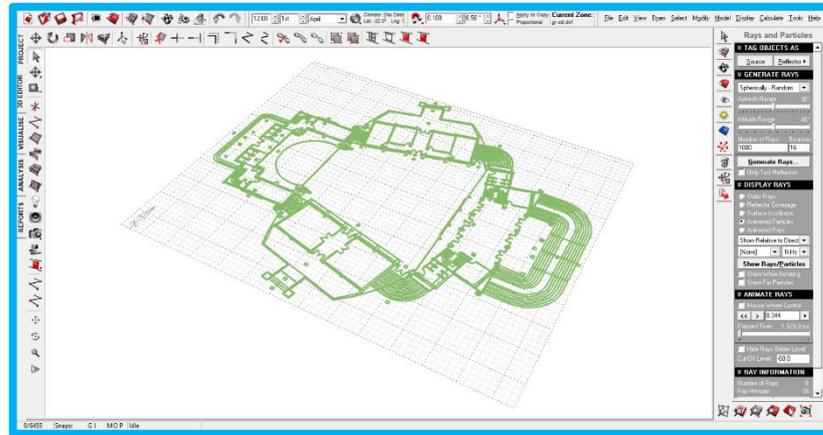


Figure 89 : plan de l'auditorium de l'université de Tébessa sur ECOTECT
(Source : auteur 2022)

B. La deuxième étape : créer le volume 3D de la salle principale

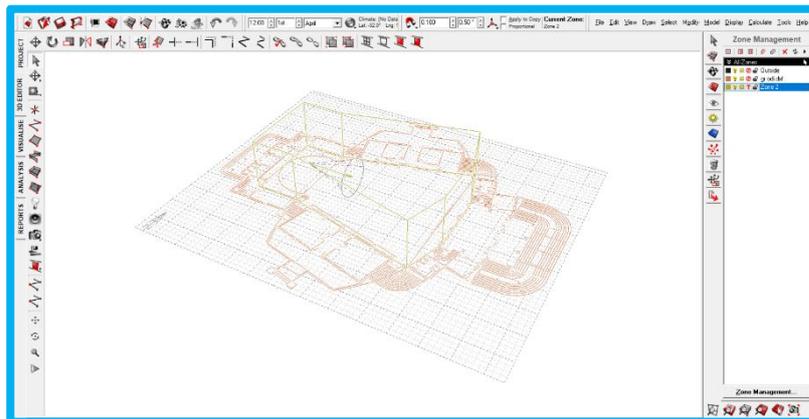


Figure 90 : volume de la salle principale
(Source : auteur 2022)

C. La troisième étape : définir la source sonore (l'emplacement et la hauteur et la direction)

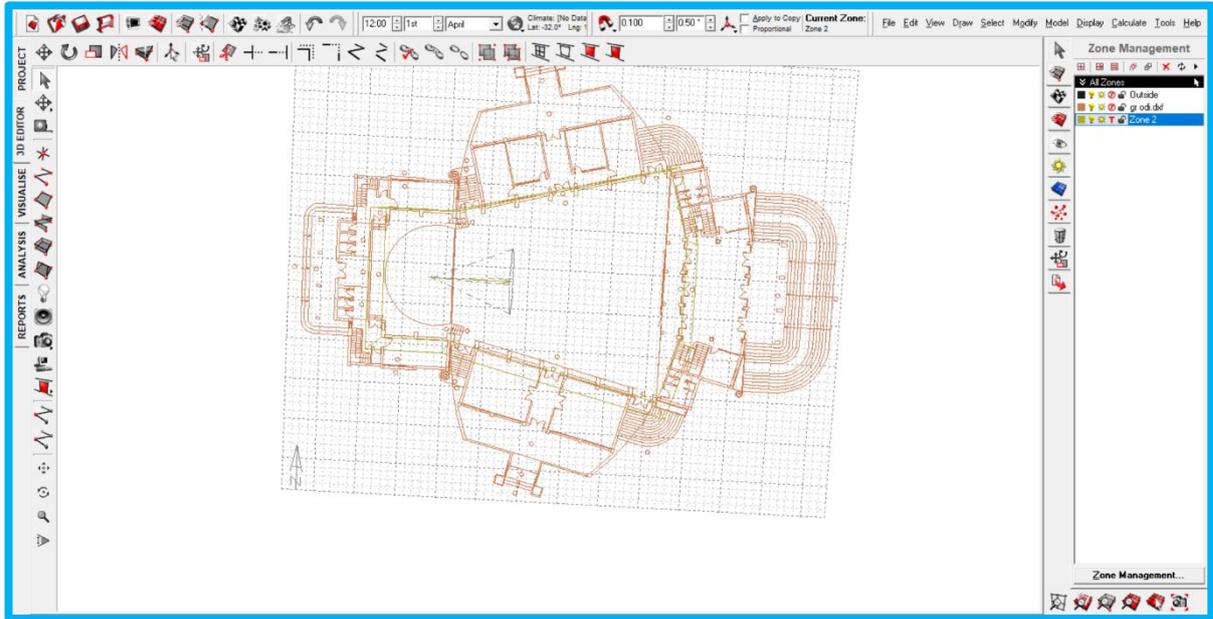
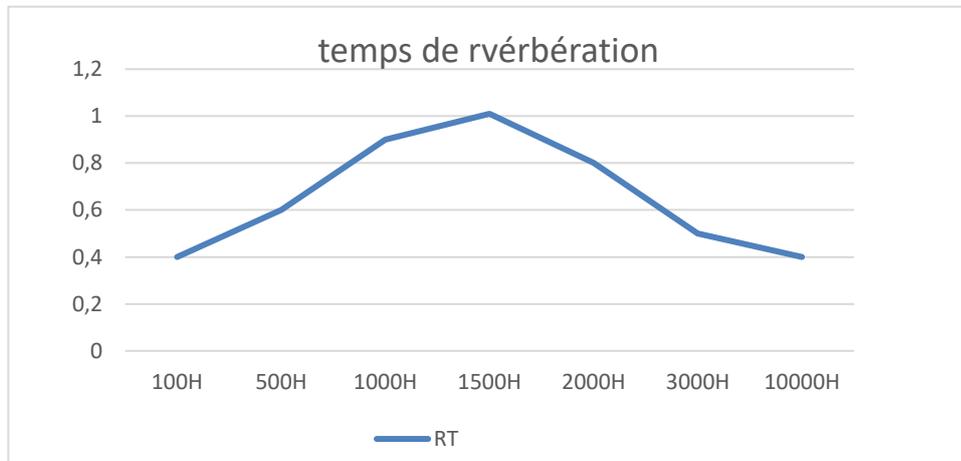


Figure 91 : la source sonore de l'auditorium

(Source : auteur 2022)

D. La quatrième étape : définir les paramètres et lancer l'analyse



graphe 3: le temps de réverbération dans le cas existant

(Source : auteur 2022)

III. Création des modèles de simulation (les scénarios)

I.3. Les paramètres des modèles d'analyses :

• Etape 01 :

Paramètres fixes	Paramètres variable
Forme de la salle principale : en éventail Angle d'inclinaison de toiture : 0° Matériau : bois La distance entre la source sonore et le dernier auditeur : 26 m	Mur (en face de la scène)

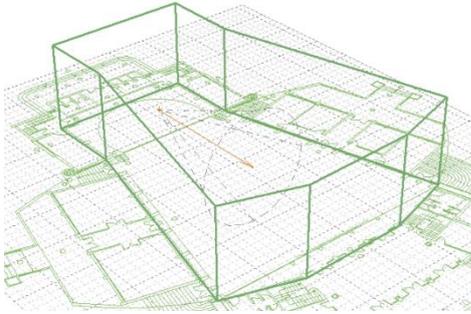
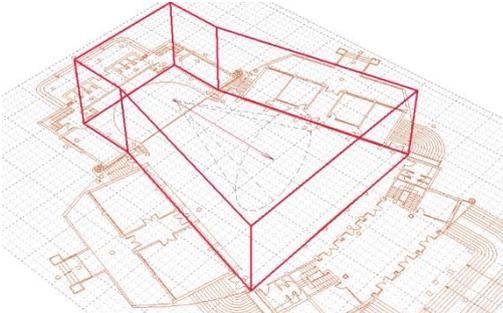
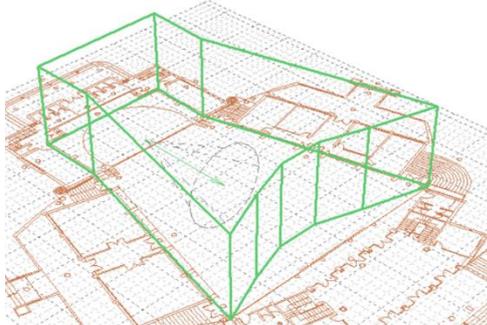
scénario	figure	Description
A1		Forme de la salle principale : en éventail Mur (en face de la scène) : en forme convexe Angle d'inclinaison de toiture : 0° Matériau (mur) : bois
A2		Forme de la salle principale : en éventail Mur (en face de la scène) : en forme régulière Les murs latéraux : ordinaires Angle d'inclinaison de toiture : 0° Matériau (mur) : bois
A3		Forme de la salle principale : en éventail Mur (en face de la scène) : en forme concave Les murs latéraux : ordinaires Angle d'inclinaison de toiture : 0° Matériau (mur) : bois

Tableau 15 : présentation des scénarios de l'étape 1

(source : auteur 2022)

- Etape 02 :

Paramètres fixes	Paramètres variable
Forme de la salle principale : en éventail Mur (en face de la scène) : en forme convexe Matériau : bois La distance entre la source sonore et le dernier auditeur : 26 m	Angle d'inclinaison de toiture : 0°

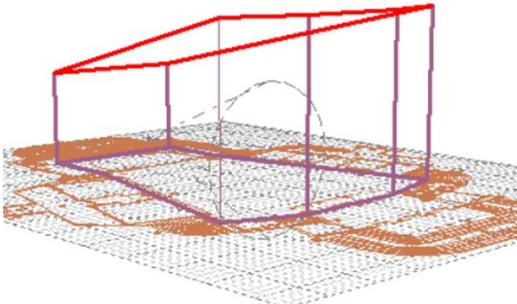
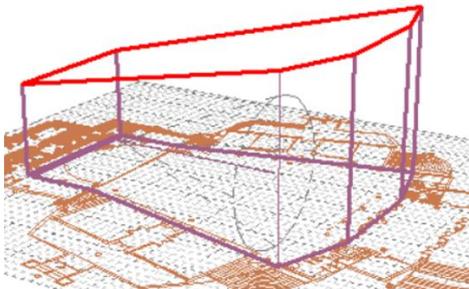
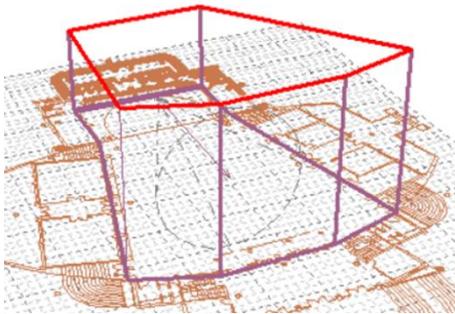
scénario	Figure	Description
B1		Forme de la salle principale : en éventail Mur (en face de la scène) : en forme convexe Les murs latéraux : ordinaires Angle d'inclinaison de toiture : 6° Matériau (mur) : bois
B2		Forme de la salle principale : en éventail Mur (en face de la scène) : en forme convexe Les murs latéraux : ordinaires Angle d'inclinaison de toiture : 8° Matériau (mur) : bois
B3		Forme de la salle principale : en éventail Mur (en face de la scène) : en forme convexe Les murs latéraux : ordinaires Angle d'inclinaison de toiture : 12° Matériau (mur) : bois

Tableau 16 : présentation des scénarios de l'étape 2
(Source : auteur 2022)

• Etape 03 :

Paramètres fixes	Paramètres variable
<p>Forme de la salle principale : en éventail</p> <p>Mur (en face de la scène) : en forme convexe</p> <p>Matériau : bois</p> <p>Angle d'inclinaison de toiture : 0°</p> <p>La distance entre la source sonore et le dernier auditeur : 26 m</p>	<p>Forme des murs (décrochement)</p>

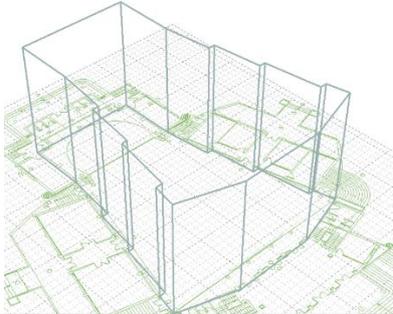
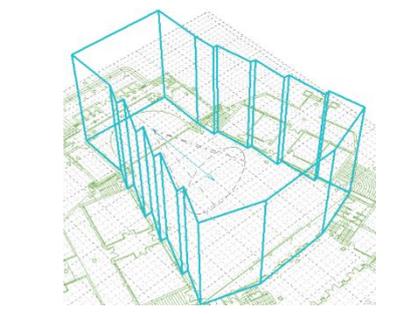
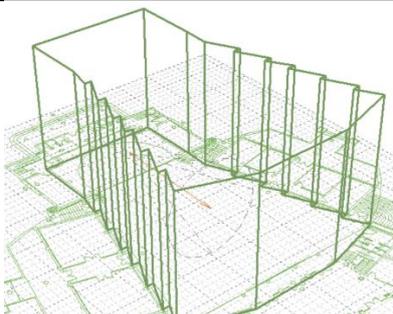
Scénario	Figure	Description
C1		<p>Forme de la salle principale : en éventail</p> <p>Mur (en face de la scène) : en forme convexe</p> <p>Les murs latéraux : avec 3 décrochements</p> <p>Angle d'inclinaison de toiture : 12°</p> <p>Matériau (mur) : bois</p>
C2		<p>Forme de la salle principale : en éventail</p> <p>Mur (en face de la scène) : en forme convexe</p> <p>Les murs latéraux : avec 4 décrochements</p> <p>Angle d'inclinaison de toiture : 12°</p> <p>Matériau (mur) : bois</p>
C2		<p>Forme de la salle principale : en éventail</p> <p>Mur (en face de la scène) : en forme convexe</p> <p>Les murs latéraux : avec 6 décrochements</p> <p>Angle d'inclinaison de toiture : 12°</p> <p>Matériau (mur) : bois</p>

Tableau 17 : présentation des scénarios de l'étape 3
(Source : auteur 2022)

Conclusion

Le confort acoustique est un sujet très attirant pour les chercheurs, dans ce chapitre on a étudié trois études antérieures pour avoir une idée sur les méthodes d'évaluation du confort acoustique.

On a utilisé les techniques de la propagation du son dans l'espace pour contrôler le temps de réverbération à partir de faire des modifications au niveau de volume, mur, et toiture.

L'ECOTECT nous permet de faire une simulation basée sur des paramètres fixes et des paramètres variables pour obtenir 9 scénarios .

Chapitre n° 05 :
Démonstration et
résultats

Introduction :

Dans le quatrième chapitre on a rappelé les études antérieures dans le domaine de la propagation du son pour choisir la méthode la plus efficace de notre évaluation.

On a choisi la technique de simulation numérique pour nous aider à contrôler le temps de réverbération au but d'améliorer la propagation du son dans l'espace, et pour atteindre l'objectif du confort acoustique.

Les changements de la forme des murs, le degré d'inclinaison de toiture, nous permet à obtenir des différents scénarios, on va calculer le temps de réverbération de chaque scénario pour définir le meilleur cas.

I Analyse des scénarios :

I.1. Etape 01 : On va analyser 3 scénarios basée sur la forme de mur (en face de la scène) convexe, rectangulaire, concave, par calculer le temps de réverbération à chaque scénario et finir par choisir le cas où le temps de réverbération est optimal

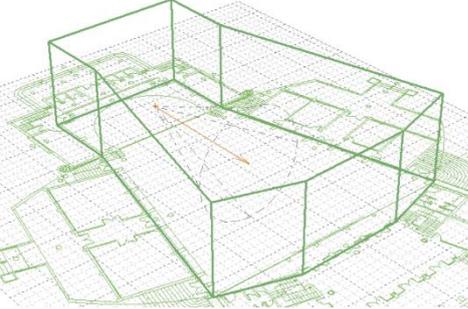
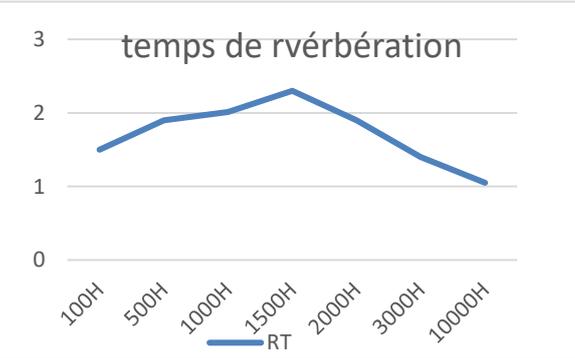
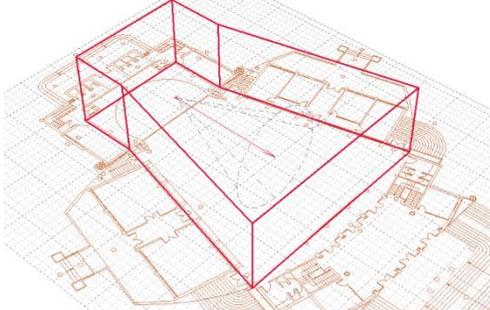
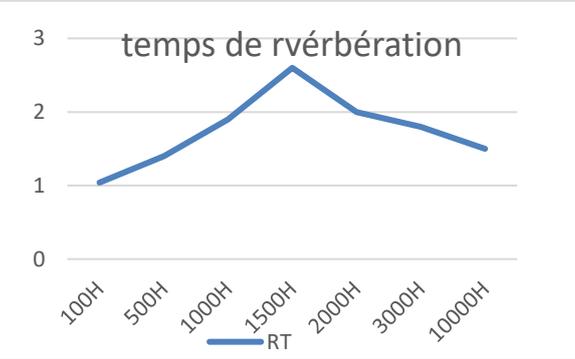
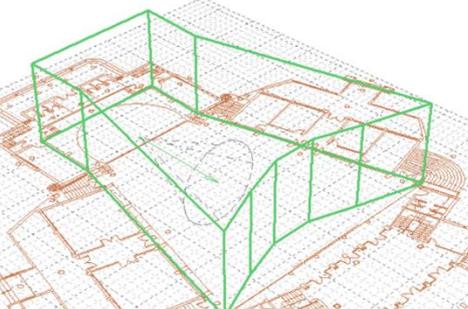
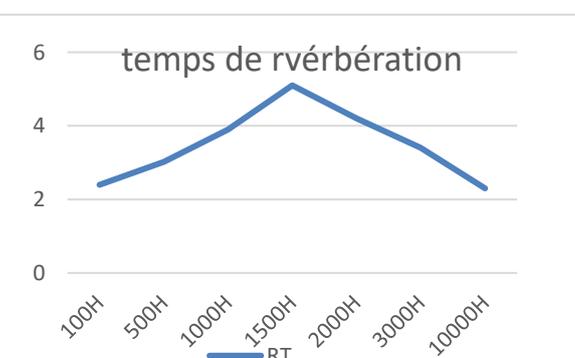
Scénari o	Figure	Résultat																
A1		<p>X : les fréquences en H\ Y : le temps en s</p>  <table border="1"> <caption>Data for Scenario A1: temps de rvérbération</caption> <thead> <tr> <th>Fréquence (H)</th> <th>Temps (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100H</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>500H</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>1000H</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>1500H</td><td>2.3</td></tr> <tr><td>2000H</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>3000H</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>10000H</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	Fréquence (H)	Temps (s)	100H	1.5	500H	1.9	1000H	2.0	1500H	2.3	2000H	1.8	3000H	1.4	10000H	1.0
Fréquence (H)	Temps (s)																	
100H	1.5																	
500H	1.9																	
1000H	2.0																	
1500H	2.3																	
2000H	1.8																	
3000H	1.4																	
10000H	1.0																	
A2		 <table border="1"> <caption>Data for Scenario A2: temps de rvérbération</caption> <thead> <tr> <th>Fréquence (H)</th> <th>Temps (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100H</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>500H</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>1000H</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>1500H</td><td>2.6</td></tr> <tr><td>2000H</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>3000H</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>10000H</td><td>1.5</td></tr> </tbody> </table>	Fréquence (H)	Temps (s)	100H	1.0	500H	1.4	1000H	1.9	1500H	2.6	2000H	2.0	3000H	1.8	10000H	1.5
Fréquence (H)	Temps (s)																	
100H	1.0																	
500H	1.4																	
1000H	1.9																	
1500H	2.6																	
2000H	2.0																	
3000H	1.8																	
10000H	1.5																	
A3		 <table border="1"> <caption>Data for Scenario A3: temps de rvérbération</caption> <thead> <tr> <th>Fréquence (H)</th> <th>Temps (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100H</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>500H</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>1000H</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>1500H</td><td>5.1</td></tr> <tr><td>2000H</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>3000H</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>10000H</td><td>2.3</td></tr> </tbody> </table>	Fréquence (H)	Temps (s)	100H	2.5	500H	3.0	1000H	3.8	1500H	5.1	2000H	4.5	3000H	3.5	10000H	2.3
Fréquence (H)	Temps (s)																	
100H	2.5																	
500H	3.0																	
1000H	3.8																	
1500H	5.1																	
2000H	4.5																	
3000H	3.5																	
10000H	2.3																	

Tableau 18 : présentation les résultats des scénarios de l'étape 1 (Tr)
(Source : auteur 2022)

I.1.1. Interprétation de résultat 01 :

Le temps de réverbération du scénario A1 est : entre 1.5 s et 2.4 s dans les basses le moyennes et les hautes fréquences

Le temps de réverbération du scénario A2 est : entre 1.04 s et 2.6 s dans les basses le moyennes et les hautes fréquences

Le temps de réverbération du scénario A3 est : entre 2.4 s et 5.1 s dans les basses le moyennes et les hautes fréquences

• **Rappel** : le temps de réverbération optimal pour notre projet est entre 1.2 s et 2 s (Steven Szokolay, 2004)

Le meilleur scénario selon le temps de réverbération spécifié par Szokolay c'est le scénario A1, Alors on va garder le scénario A1 pour la deuxième étape et on va éliminer les deux scénarios A2 et A3.

I.2. Etape 02 : on va garder le scénario A1 et créer 3 scénarios basée sur le degré d'inclinaison de la toiture (6°, 8°,12°) et on va recalculer le temps de réverbération à chaque scénario pour définir le meilleur scénario

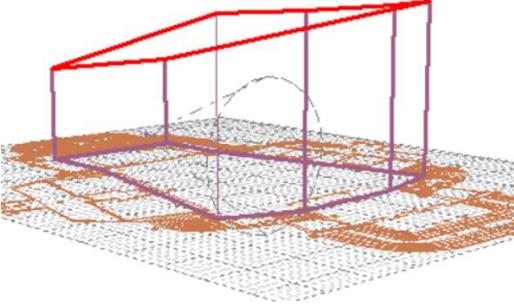
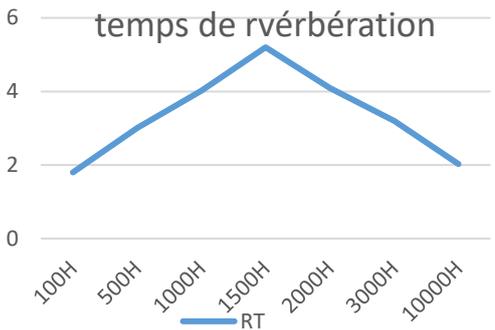
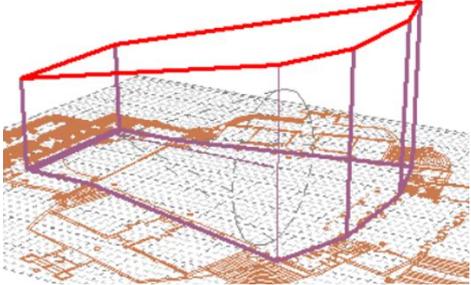
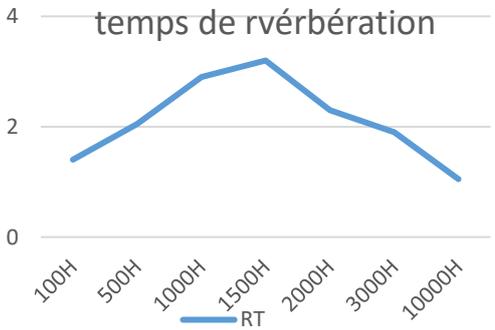
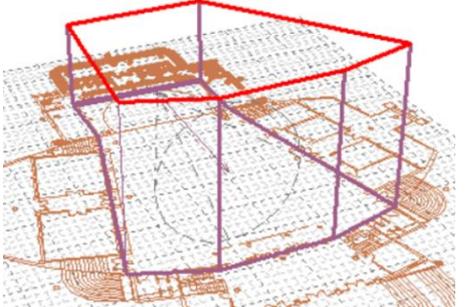
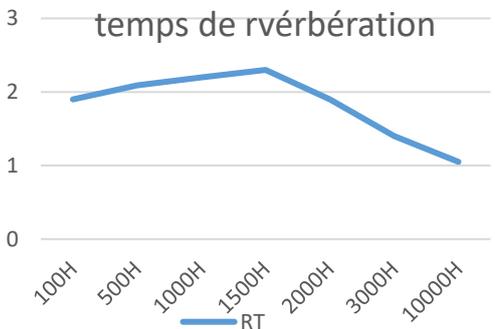
Scénari o	Figure	Résultat X : les fréquences en H\ Y : le temps en s																
B1		 <table border="1"> <caption>Data for Scenario B1: Temps de réverbération (s)</caption> <thead> <tr> <th>Fréquence (H)</th> <th>Temps (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100H</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>500H</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>1000H</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>1500H</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>2000H</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>3000H</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>10000H</td><td>2.0</td></tr> </tbody> </table>	Fréquence (H)	Temps (s)	100H	1.8	500H	3.0	1000H	4.0	1500H	5.2	2000H	4.0	3000H	3.0	10000H	2.0
Fréquence (H)	Temps (s)																	
100H	1.8																	
500H	3.0																	
1000H	4.0																	
1500H	5.2																	
2000H	4.0																	
3000H	3.0																	
10000H	2.0																	
B2		 <table border="1"> <caption>Data for Scenario B2: Temps de réverbération (s)</caption> <thead> <tr> <th>Fréquence (H)</th> <th>Temps (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100H</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>500H</td><td>2.2</td></tr> <tr><td>1000H</td><td>2.8</td></tr> <tr><td>1500H</td><td>3.2</td></tr> <tr><td>2000H</td><td>2.2</td></tr> <tr><td>3000H</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>10000H</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	Fréquence (H)	Temps (s)	100H	1.5	500H	2.2	1000H	2.8	1500H	3.2	2000H	2.2	3000H	1.8	10000H	1.0
Fréquence (H)	Temps (s)																	
100H	1.5																	
500H	2.2																	
1000H	2.8																	
1500H	3.2																	
2000H	2.2																	
3000H	1.8																	
10000H	1.0																	
B3		 <table border="1"> <caption>Data for Scenario B3: Temps de réverbération (s)</caption> <thead> <tr> <th>Fréquence (H)</th> <th>Temps (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100H</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>500H</td><td>2.1</td></tr> <tr><td>1000H</td><td>2.2</td></tr> <tr><td>1500H</td><td>2.3</td></tr> <tr><td>2000H</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>3000H</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>10000H</td><td>1.0</td></tr> </tbody> </table>	Fréquence (H)	Temps (s)	100H	1.9	500H	2.1	1000H	2.2	1500H	2.3	2000H	2.0	3000H	1.5	10000H	1.0
Fréquence (H)	Temps (s)																	
100H	1.9																	
500H	2.1																	
1000H	2.2																	
1500H	2.3																	
2000H	2.0																	
3000H	1.5																	
10000H	1.0																	

Tableau 19 : présentation les résultats des scénarios de l'étape 2 (Tr)

(Source : auteur 2022)

I.2.1. Interprétation de résultat 02 :

Le temps de réverbération du scénario B1 : ente 1.8 s et 4.09 s dans les basses et les moyennes et les hautes fréquences

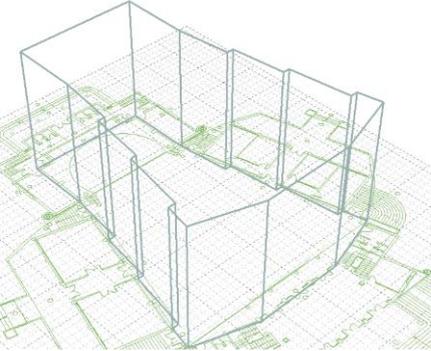
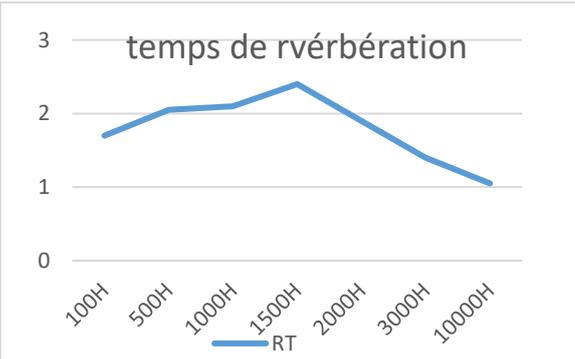
Le temps de réverbération du scénario B2 : ente 1.4 s et 3.2 s dans les basses et les moyennes et les hautes fréquences

Le temps de réverbération du scénario B3 : ente 1.9 s et 2.3 s dans les basses et les moyennes et les hautes fréquences

Le meilleur scénario selon le temps réverbération spécifié par Szokolay c'est le scénario B3, alors

On va garder le scénario B3 pour la troisième étape et on va éliminer les deux autres scénarios B2 et B1.

I.3. Etape 03 : On va garder le scénario B3 et créer 3 scénarios basés sur la forme des murs latéraux (3 décrochements, 4 décrochements, 6 décrochements) et on va recalculer le temps de réverbération de chaque scénario pour choisir le meilleur scénario (le scénario final).

Scénario	Figure	Description X : les fréquences en H\ Y : le temps en s																
C1		 <table border="1"> <caption>Data points for the reverberation time graph</caption> <thead> <tr> <th>Fréquence (H)</th> <th>Temps de réverbération (s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100H</td> <td>~1.8</td> </tr> <tr> <td>500H</td> <td>~2.1</td> </tr> <tr> <td>1000H</td> <td>~2.1</td> </tr> <tr> <td>1500H</td> <td>~2.4</td> </tr> <tr> <td>2000H</td> <td>~2.1</td> </tr> <tr> <td>3000H</td> <td>~1.5</td> </tr> <tr> <td>10000H</td> <td>~1.1</td> </tr> </tbody> </table>	Fréquence (H)	Temps de réverbération (s)	100H	~1.8	500H	~2.1	1000H	~2.1	1500H	~2.4	2000H	~2.1	3000H	~1.5	10000H	~1.1
Fréquence (H)	Temps de réverbération (s)																	
100H	~1.8																	
500H	~2.1																	
1000H	~2.1																	
1500H	~2.4																	
2000H	~2.1																	
3000H	~1.5																	
10000H	~1.1																	

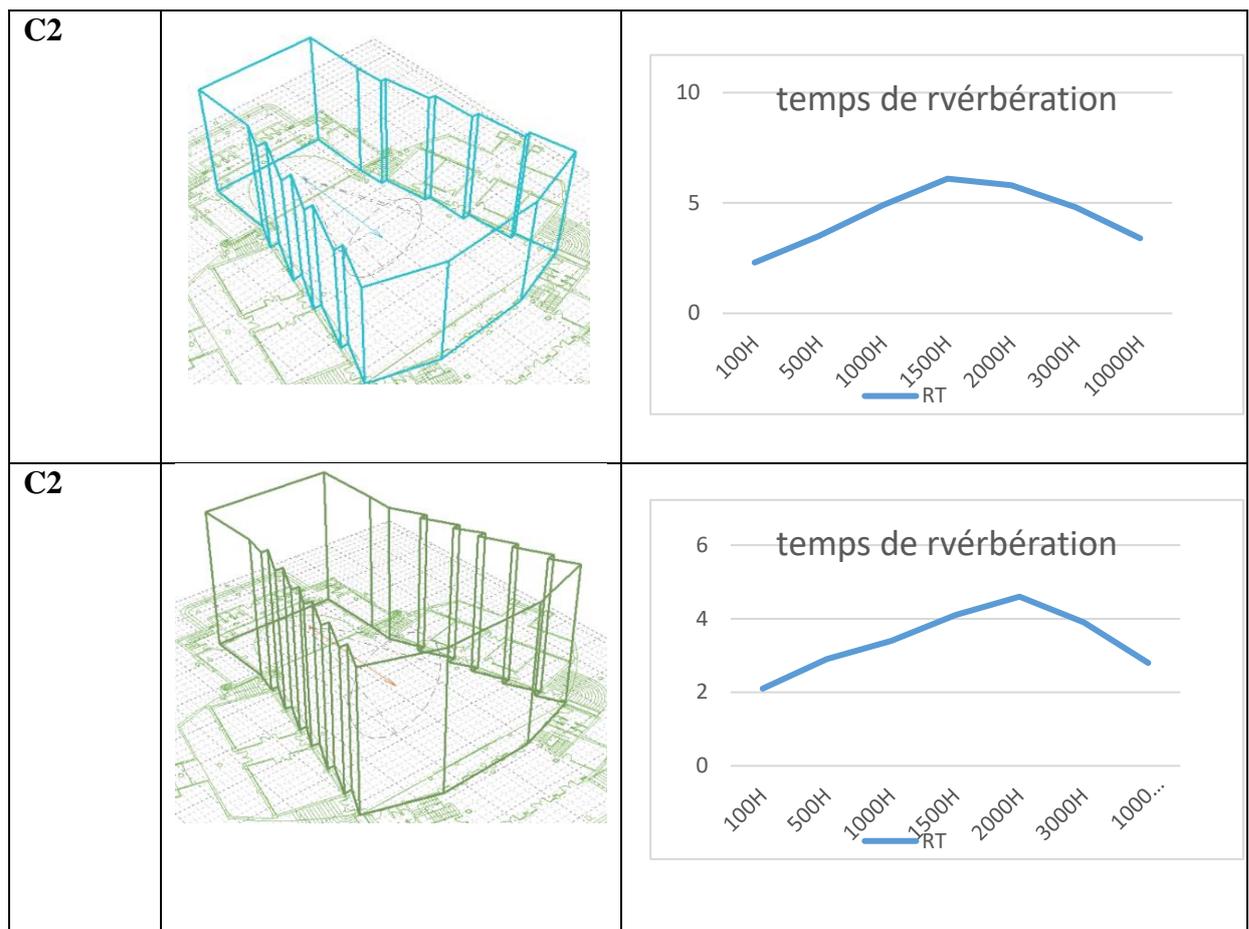


Tableau 20 : présentation des résultats des scénarios de l'étape 3 (Tr)

(Source : auteur 2022)

I.3.1. Interprétation de résultat 03 :

Le temps de réverbération du scénario C1 : ente 1.7 s et 2.4 s dans les basses et les moyennes et les hautes fréquences

Le temps de réverbération du scénario C2 : ente 2.3 s et 6.1 s dans les basses et les moyennes et les hautes fréquences

Le temps de réverbération du scénario C3 : ente 2.1 s et 4.6 s dans les basses et les moyennes et les hautes fréquences

Le meilleur scénario selon le temps réverbération spécifié par Szokolay est le scénario C1.

Conclusion

Après toutes les étapes qu'on a faites, les étapes d'analyse de simulations, et les étapes de calcul de temps de réverbération et les étapes d'interprétation des résultats des scénarios, on a trouvé que la meilleure forme du mur (en face de la scène) c'est la forme convexe, on a trouvé aussi que le meilleur degré d'inclinaison de toiture c'est 12° , le dernier résultat qu'on a trouvé c'est les 3 décrochements au niveau de la forme des murs latéraux.

Du coup, on a fini par trouvé que la meilleure forme de notre projet c'est la forme de scénario C1, avec un temps de réverbération entre 1.7 s et 2.4 s, au but d'assurer une meilleure propagation du son.

Chapitre 06 :
Projet d'un
auditorium
universitaire

Introduction :

Dans ce chapitre on va analyser le terrain choisi pour comprendre comment implanter notre nouveau projet, d'après les études spatiales et fonctionnelles et urbaines et architecturales des exemples.

Pour proposer une conception basée sur les données du terrain et les résultats de l'étape de la simulation.

On va prendre en considération les études théoriques du côté acoustique et les exigences techniques à propos de ce type de projet.

On va finir par expliquer les différentes étapes de notre nouveau projet.

I. Les enseignements :

plusieurs objectifs serrant prise en considération durant la conception du projet :

I.1 Le volet urbain :

- L'importance de Repérage de projet dans le site
- Identité le projet par rapport sa nature et son environnement.
- Le choix de la zone d'étude élargie selon la nature de projet pour être Complémentaire des autres projets de la zone

La participation de la forme du projet et de son traitement extérieur au paysage urbain.

I.2 Le volet architectural :

- L'utilisation des couleurs claires pour le confort visuel et réduire l'effet de soleil
- Utilisation les matériaux locaux dans l'environnement pour l'aspect écologie
- L'utilisation de l'opacité pour le rapport : intérieure - extérieure
- L'utilisation de la lumière naturelle latérale et zénithale (réduire la consommation énergétique d'éclairage artificiel)
- Le contraste entre le vide et le plein
- L'utilisation d'un système structural facilite la flexibilité de circulation et le fonctionnement de projet.
- L'utilisation d'une architecture moderne permet d'intégrer le projet dans le site et bénéficier de lumière et d'aérations naturelles

I.3 Le volet acoustique :

. Au niveau de La forme :

- La forme d'une salle joue un rôle important car les propriétés géométriques (la forme et les dimensions et le volume) ont une influence directe sur la propagation des ondes sonores.
- Dans chaque forme on a des avantages et des inconvénients et dans chaque forme on a besoin des traitements de correction pour un confort optimal

. Au niveau de la salle principale :

- Une structure indépendante (entre le bâtiment et la salle de concerts) aide à assurer une bonne isolation vis-à-vis l'extérieur.

- La salle nécessite une isolation vis-à-vis l'extérieur et une correction sonore intérieure.
- La création d'angles dans le plafond pour éviter la réflexion parallèle avec le mur arrière (Solution architecturale)
- L'utilisation des matériaux absorbants comme solutions (des matériaux adaptés aux basses, moyennes et hautes fréquences.).
- L'installation des réflecteurs au plafond pour faciliter la propagation (solution technique)

II. Analyse du terrain :

II.1. Les critères du choix :

- Proximité au pôle universitaire
- Terrain presque plat
- Il y'a une bonne accessibilité
- Une bonne morphologie permis d'une réalisation facile

II.2. La situation géographique :

Le terrain se situé à la commune de Boulhef dyr dans le POS 03 à côté du RN 16 et à côté du pôle universitaire (Actuellement le terrain est un terrain vierge).

L'agglomération de Boulhef Dyr est situé au Nord de la Wilaya sur l'axe de Tébessa – Annaba (route nationale N 16)

Le site est limité :

Au Nord par la commune de Morset

Au Sud par la commune de Tébessa

A l'Est par la commune de Elkouif _ Ainzarga

A l'Ouest par la commune de Hammamet _ Bir Dhehab



Figure 92 : la situation géographique du terrain:

(Source : auteur 2022)

II.3. La morphologie du terrain :

Notre site est d'une forme presque rectangulaire et d'une surface de 10205 m² avec les dimensions *



Figure 93 : la morphologie du terrain

(Source : auteur 2022)

II.4. L'accessibilité du terrain:

Le terrain est accessible par 03 accès du côté de RN16 qui facilite le flux de circulation de tous les côtés (repérage facile).



Figure 94 : l'accessibilité du terrain

(Source : auteur 2022)

Synthèse:

La facilité de circulation mécanique et piétonne à travers le terrain.

I.5. L'environnement immédiat:

Notre terrain est situé au sud - est de la ville de Boulhaf Dyr

Il est limité par :

Nord : terrain réserve pour le pôle universitaire

Est: terrain réservé pour équipement

Ouest: RN16

Sud: terrain vierge

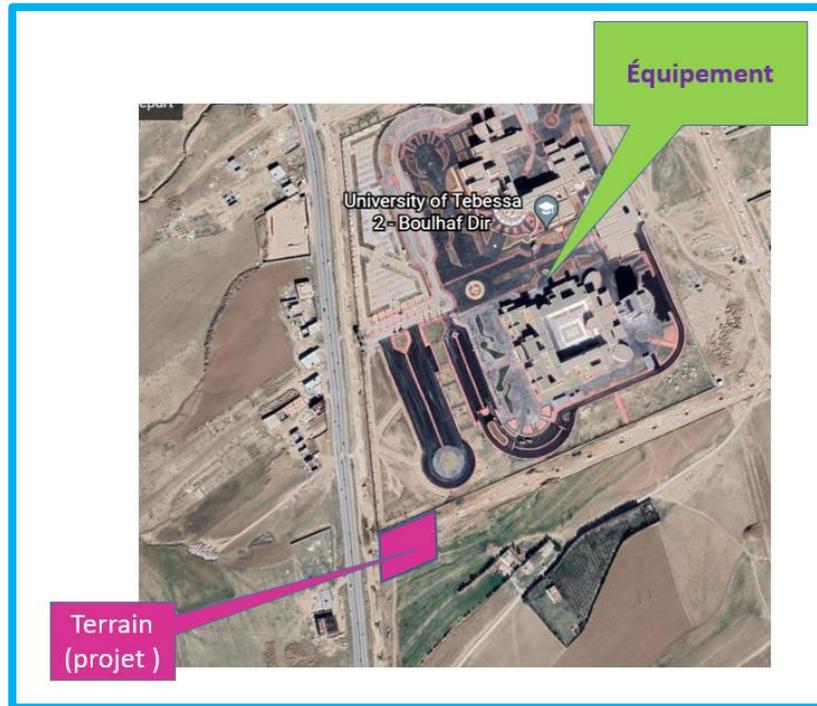


Figure 95 : l'environnement immédiat du terrain

(Source : auteur 2022)

II.6. La topographie du terrain:

Le terrain est placé sur un plateau en fonction des courbes de réglage et la projection orthogonale on constate que le terrain a une pente longitudinale de 0.2% et une pente transversale de 0.3%

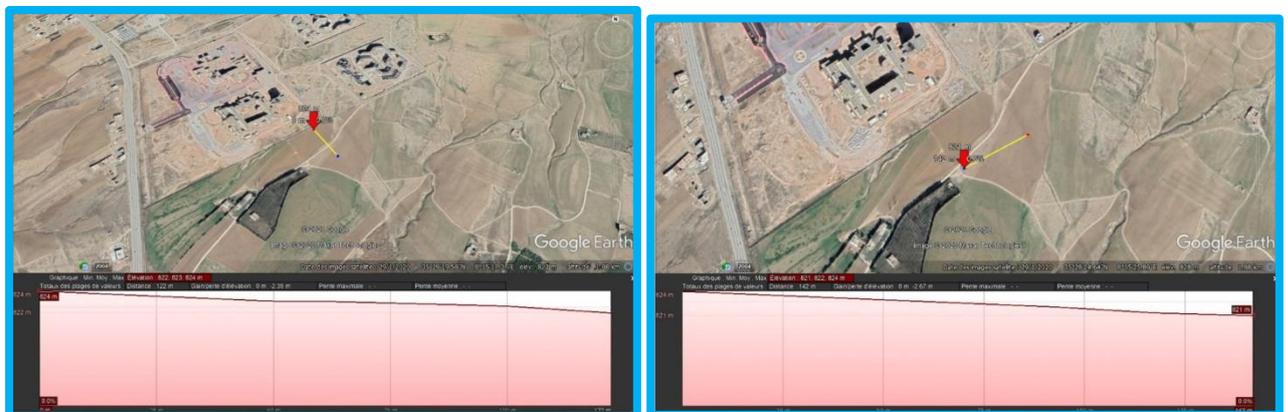


Figure 96 : coupe topographique transversale et longitudinale du terrain

(Source : auteur 2022)

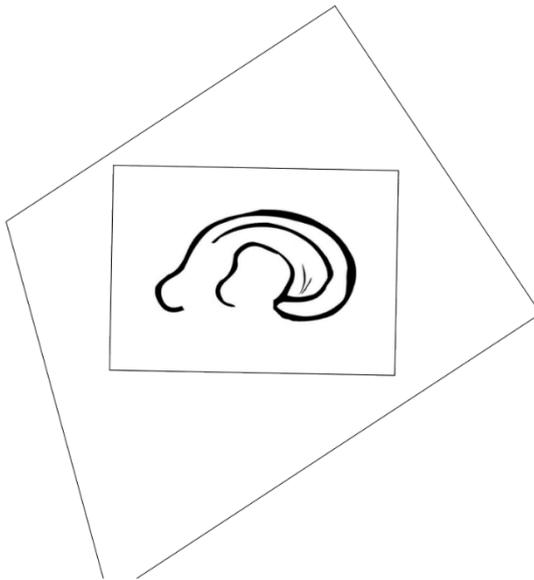
III. Le programme:

Espace	Surface m ²
Hall d'entrée	270
Salle principale	590
Bureau d'information	38
Bureau d'orientation	38
W.C F	15
W.C H	20
Salle d'exposition	140
Cafétéria	120
Bureau de directeur	30
Bureau d'adjoint	10
Bureau secrétaire	15
Bureau d'archive	15
Bureau de gestion de matériel	10
Bureau technique	10
Bureau de service	15
Salle de réunion	50
W.C H	8
W.C F	8
Hall	40
Salle de réception	15
Salle de commission	30
Salle d'honneur	22
W.C H	12
W.C F	10
Hall	45
Scène	60
Salle de répétitions	18
Salle de répétitions	18
Vestiaire	16
Vestiaire	16
Salle de récupération	25

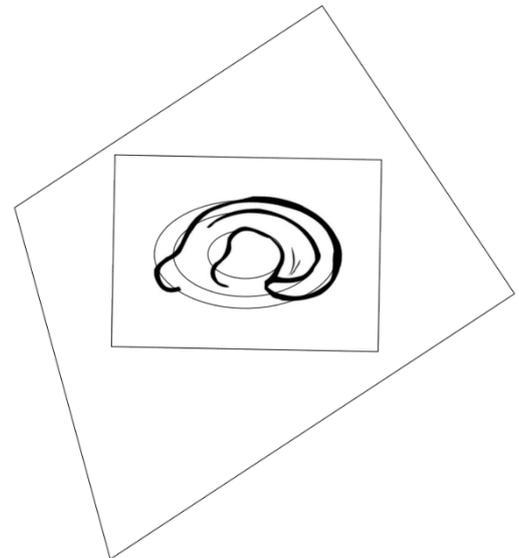
Bureau audiovisuel	25
Dépôt	40
Salle principale	150
Hall	100
Salle de commission	30
Salle d'honneur	25
Dalle de conférence	25
Atelier	25
Bureau de service	25

Tableau 21 : le programme surfacique du projet
(Source : auteur 2022)

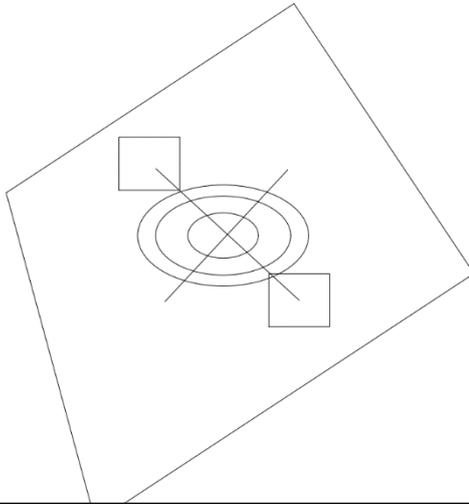
III.1. L'idée conceptuelle du projet :



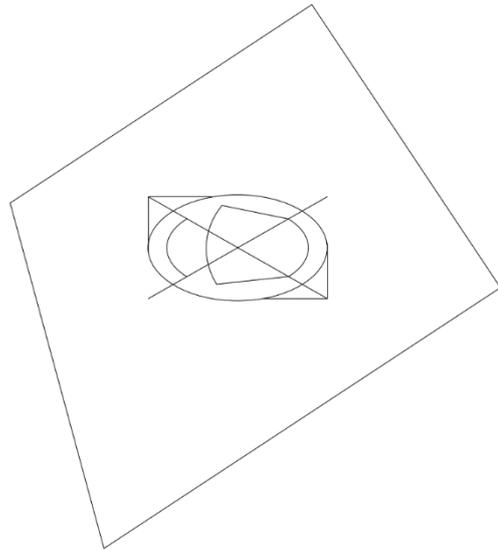
1. L'idée était inspirée de l'oreille comme l'organe de l'audition dans le corps humain



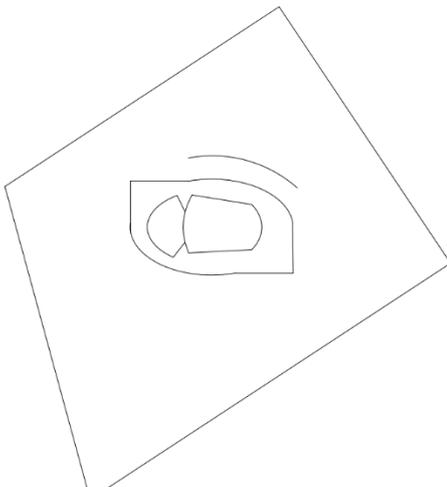
2. On a créé des cercles ovales suivant les traits de l'oreille



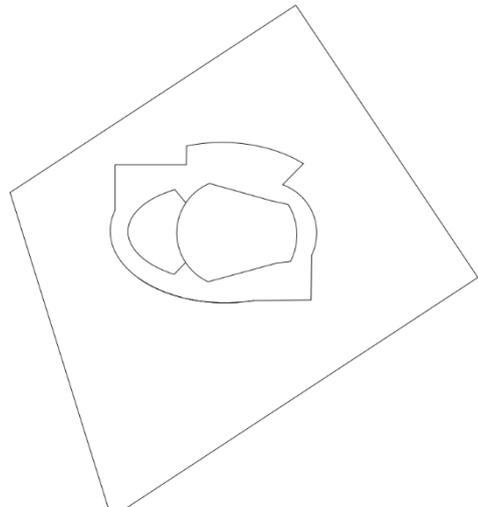
3. On a ajouté deux formes géométriques (carrés) suivant l'un des deux axes de l'intersection



4. On a combiné la forme circulaire avec les deux formes carrées suivant l'axe choisi



5. On a décalé l'arc (côté nord) qui s'est produit de l'étape précédente



6. On a conclu notre idée conceptuelle par l'attachement de l'arc avec la forme globale

III.2.Les plans :

- **Plan de masse :**

- Le projet c'est un auditorium universitaire intégré au pôle universitaire Boulhef Dyr.
- On a créé une route secondaire afin d'assurer l'accessibilité mécanique autour du projet avec 3 accès.
- L'entrée principale du projet est orientée selon l'axe de visibilité pour attirer le plus grand flux des visiteurs.
- On a implanté des espaces verts pour la réduction de la pollution de l'atmosphère et l'amélioration de la qualité de l'air.

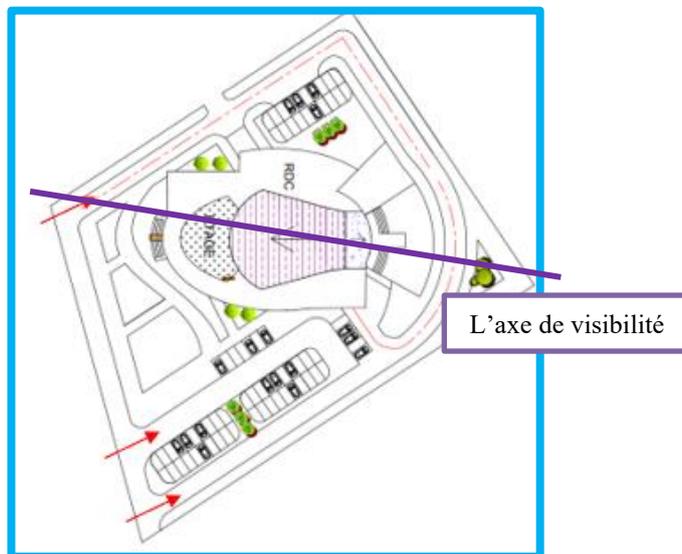


Figure 97 : Plan de masse, Source : (Auteur, 2022.)

- **Plan RDC :**

Le plan Rdc : contient 3 grands fonctions, la fonction principale est : la zone publique qui consiste la salle principale.

Les fonctions secondaires qui contient une zone privée (la scène) et une zone d'honneur.

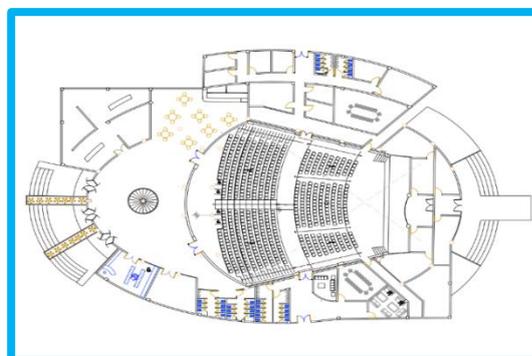


Figure 98 : Plan de rez de chaussé, Source : Auteur, 2022.

- **Plan étage :**

Le plan étage contient 2 grandes fonctions dispatchées selon deux zones : une zone d'honneur et une zone publique.

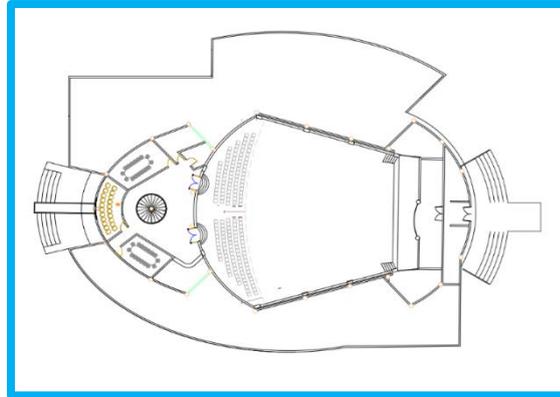


Figure 99 : Plan d'étage, Source : Auteur, 2022

- **Les façades :**

- Sur sa façade principale, le projet est traité par un mur rideau très large pour marquer la tendance moderne de l'architecture ;
- On a marqué l'entrée par des escaliers larges et des rampes pour les handicapés.
- Sur sa façade latérale sud, la salle principale est marquée par la grande hauteur et une coque.

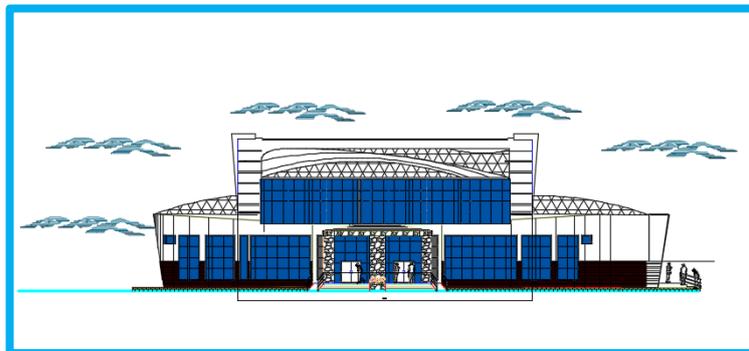
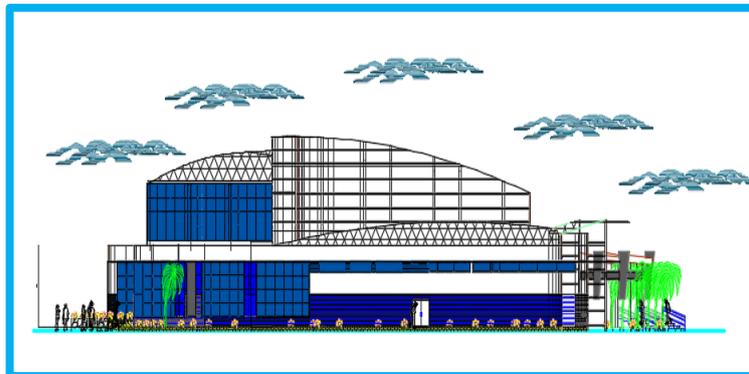


Figure 100 : les façades du projet, Source : Auteur, 2022

- La volumétrie :

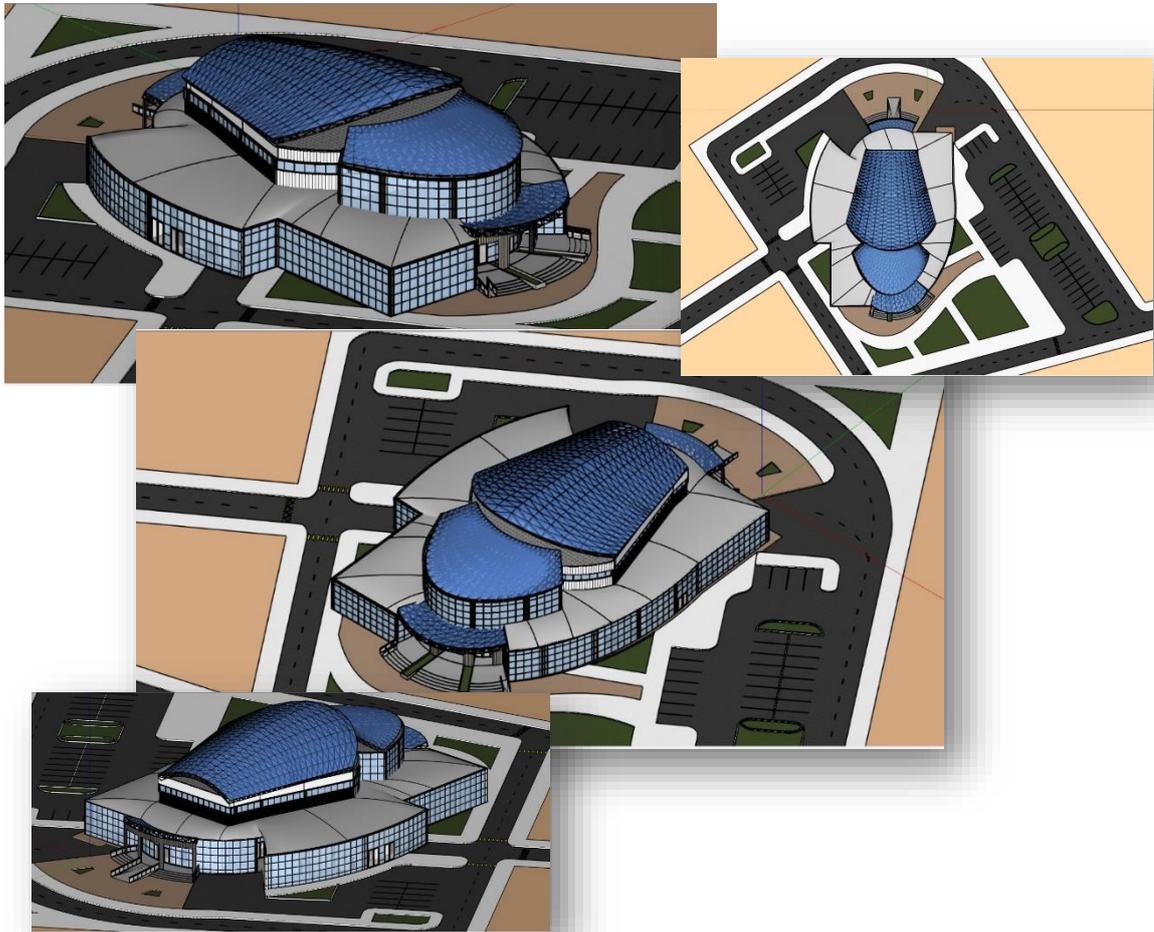


Figure 101 : les vues 3D du projet, Source : Auteur, 2022

Notre projet se caractérise par :

- La forme fluide, coque « ovale dégradée »
- L'élément central « la salle principale » est caractérisé par son hauteur
- L'entrée principale est marquée par trois grandes portes et un escalier large
- La visibilité sous forme de vitrage tout autour du projet
- La dégradation des niveaux entre la hauteur des formes
- La présence des parkings dans deux cotés ce qui facilite l'accès au projet
- La présence d'espaces verts autour du projet

Conclusion :

Selon les principes conceptuels du thème, l'analyse des exemples et l'analyse de notre terrain (l'accessibilité du terrain, sa forme, sa nature ainsi les contraintes et les servitudes de notre terrain), nous a permis d'élaborer la phase conceptuelle et concevoir un projet d'un auditorium de 800 places qui se situe à la commune de Boulhef dyr dans la wilaya de Tébessa, cet analyse favorise une bonne propagation du son, elle est assurée par les matériaux de construction utilisés à l'intérieur (le bois, le plâtre au niveau de la dalle) , les isolants (liège) et les meubles et par les techniques conceptuelles (l'inclinaison de la toiture ; les décrochements au niveaux des murs latéraux, la forme convexe du mur qui est en face de la scène).

Conclusion

Générale

Conclusion générale :

Conclusion générale :

Tout au long de cette recherche, et en passant par des études théoriques on conclut que l'acoustique occupait au cours de l'histoire de l'architecture une place importante et était une source d'inspiration pour les différentes civilisations et tendances architecturales.

Grace à cet aspect physique, nous sommes capable de percevoir le monde qui nous entoure et particulièrement l'objet architectural, il transforme le bâtiment de l'extérieur et influence à son tour à l'espace intérieure ce qui lui donne plusieurs lectures.

Le son est indissociable de l'architecture , il définit chaque espace dans son rapport avec la propagation du son , il révèle les formes, les volume et les matériaux, il touche même la notion de développement durable, le son doit répondre à un sentiment de confort et a des usagers multiples , il a un impact sur la productivité et la psycho-physiologique de l'occupant; c'est pour cette raison que les acousticiens devrait étudier et déterminer les conditions favorables du son dans l'espace intérieure. La combinaison du son, la propagation, la trajectoire du son, et la forme de l'espace sont les éléments qui déterminent le confort acoustique, la négligence de l'un ou plusieurs éléments de cet ensemble peut conduire à l'inconfort acoustique.

L'architecture a la capacité de modeler et moduler les qualités de son dans l'espace intérieure, donc le son va partager son rôle avec l'espace pour créer des ambiances sonores du point de vue de la durabilité, le son est devenu un élément principal dans la conception architecturale surtout dans la phase d'esquisse que l'architecte doit utiliser de manière intelligente et appropriée afin d'assurer le confort acoustique.

On a divisé notre recherche en deux parties :

Partie théorique : En mettant en évidence les antécédents théoriques de la distribution du son dans le domaine architectural de l'étude du confort sonore interne et externe, comportement sonore dans le vide, sa distribution, ses formes, ses dimensions et les matériaux qui l'aident à organiser une transition en vue de vérifier la problématique et de l'appliquer dans la phase de conception.

Ensuite, on a analysé le cas d'étude (l'auditorium Malek Benabi de l'université de Tébessa) avec une analyse des exemples livresques, et on a fini par trouver des synthèses pour l'appliquer dans la phase de conception.

Partie expérimentale : En premier lieu , on a fait l'étude de trois études antérieures pour avoir une idée sur les méthodes d'évaluation du confort acoustique.

On a utilisé les techniques de la propagation du son dans l'espace pour contrôler le temps de réverbération à partir de faire des modifications au niveau de volume, mur, et toiture.

Conclusion générale :

L'ECOTECT nous a permis de faire une simulation basée sur des paramètres fixes et des paramètres variables pour obtenir 9 scénarios.

En deuxième lieu, on a trouvé que la meilleure forme du mur (en face de la scène) c'est la forme convexe, on a trouvé aussi que le meilleur degré d'inclinaison de toiture c'est 12° , le dernier résultat qu'on a trouvé c'est les 3 décrochements au niveau de la forme des murs latéraux.

Du coup, on a fini par trouvé que la meilleure forme de notre projet c'est la forme de scénario C1, avec un temps de réverbération entre 1.7 s et 2.4 s, au but d'assurer une meilleure propagation du son.

On a fini par élaborer la phase conceptuelle et concevoir un projet d'un auditorium de 800 places qui se situe à la commune de Boulhef dyr dans la wilaya de Tébessa, cette analyse favorise une bonne propagation du son, elle est assurée par les matériaux de construction utilisés à l'intérieur (le bois, le plâtre au niveau de la dalle), les isolants (liège) et les meubles et parles techniques conceptuelles (l'inclinaison de la toiture ; les décrochements au niveaux des murs latéraux, la forme convexe du mur qui est en face de la scène).

Alors l'hypothèse principal avancé au départ (La conception architecturale des auditoriums joue un rôle important dans le confort acoustique), est bel et bien confirmé.

Parmis les difficultés de cette recherche, la difficulté de trouver des données autour du cas d'étude de l'auditorium Malek Ben Nabi de l'université de Tébessa, on a trouvé notamment qu'il y a un manque des études sur le domaine de l'acoustique, ainsi le manque du temps qui a affecté notre recherche, et l'indisponibilité des logiciels agrès pour la simulation numérique.

Du point de vue personnel, je trouve que le confort acoustique est un sujet très intéressant et divers, je conseil fortement les chercheurs de le donner plus d'importance.

Bibliographie :

Les références en langue français :

Livres et ouvrages :

- Ahmed Elkhateeb – et al, Candas V. 1989.op cit.p113
- Dans Joseph Sauveur, « Éléments de géométrie », Rollin, Paris 1753.
- Jean Claude Carron : De la satire à la consolation, la diffusion de la Réforme par le théâtre au XVIe siècle 2017
- John E. Crowley18 a proposé en 2001
- HAMAYON, Loïc : Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, Éditions Le Moniteur, Paris, 2008
- STEVEN SZOKOLAY. Introduction to architectural science (2004).
- SZALOLAY STEVEN V: introduction to architectural sciences. Architectural press.an imprint of Elsevier science. 2004
- Vincent, Champilou- Bastien, Coutant Correction acoustique des salles de TD 3N21 et 3N22 : vers une solution tout bois.2012.
- Wallace Sabine. Collected papers on acoustics.1993

Mémoire de master:

- Abdelghani Gramez. Étude du comportement acoustique des salles.2010
- Aissani Sarra. Optimisation du confort acoustique dans les salles de spectacl.2020
- Schnabel Conception acoustique pour un projet d'auditorium.2017
- BENABDALLAH RIDHA: acoustique Architecturale Projet : Centre des conférences à Biskra.2019.
- BOUKADOUM, Amina. Evaluation du confort acoustique dans les Salles de cours des établissements scolaires, Cas des lycées de Constantine, Université Mentouri de Constantine.2012
- Khaled FARHI, et al. Le confort acoustique dans les salles de Spectacles. Université Mohamed Seddik BENYAHIA – Jijel.2018
- YAHIAOUI Amina Le confort acoustique dans les Etablissements éducatif cas d'étude Lycée a Ain kercha

Bibliographie

Articles et rapports:

- Bui Van Tran (2009) Acoustique architectura
- Caroline, DE SA (2017) la Conception acoustique d'une salle.
- Guillaume, Pellerin (2006). Cours d'acoustique architecturale des salles.
- Loïc, Hayaman (2008) comprendre simplement l'acoustique des bâtiments.

Divers:

- Neufeurt (08ème édition française)
- Neufeurt (10ème édition française) LES ÉLÉMENTS DES PROJETS DE CONSTRUCTION.

Sites internet :

- <https://www.cic-alger.com/>
- <https://www.googleearth.com/>
- <http://www.madeinacoustic.com/fr/correction-acoustique>
- <https://www.researchgate.net/publication/321443680>
- [lorraine.fr/public/BUE_MING_2012_CHAMPILOU_VINCENT_COUTANT_BASTIE N.pdf](http://lorraine.fr/public/BUE_MING_2012_CHAMPILOU_VINCENT_COUTANT_BASTIE_N.pdf)
- <https://www.google.com/>

Les références en langue arabe :

Mémoire de master :

منسل ياسمين تحسين توزيع الصوت من خلال تصميم الفراغ المعماري دراسة حالة: مسرح اقل يمي متعدد الوظائف 3000
مشاهد – تبسة (2021)

Annexes

Les lois de Szokolay :

En acoustique, on appelle **temps de réverbération** T , le **temps nécessaire pour que le niveau d'intensité acoustique de la réverbération soit atténué de 60 dB**, donc un écart de -60dB par rapport au signal initial. Il est souvent noté TR60.

Un écart en décibel entre une intensité acoustique I et une intensité acoustique I_0 s'écrit

$$G = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

- L'écart (en dB) est noté G , comme **Gain**.
- Le logarithme log est le logarithme décimal.
- I et I_0 représentant les intensités acoustiques (s'expriment en W/m^2).

Une atténuation de 60 dB revient à diviser l'intensité acoustique par 1 million.

2. Détermination théorique et expérimentale du temps de réverbération

Wallace Clement Sabine (1868-1919), physicien américain, proposa en 1898 une **formule estimant le temps de réverbération** T (en seconde) dans une salle.

La formule de Sabine s'écrit : $T = 0,161 \cdot \frac{V}{A}$ avec V : **volume de la salle** (en m^3)

A : **l'aire équivalente d'absorption** des parois et obstacles de la pièce (m^2) et s'obtient par la

relation : $A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i$ où S_i désigne l'aire de la paroi/obstacle indicé i ;

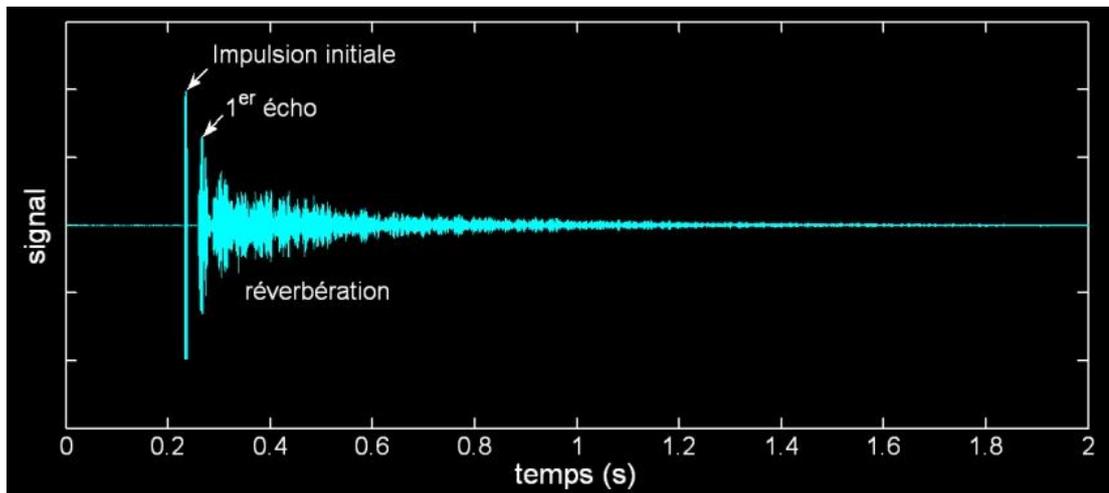
α_i représente le coefficient d'absorption Alpha Sabine de la paroi/obstacle i (relié à la nature du matériau et dépendant de **la fréquence** de l'onde sonore, ce nombre sans dimension est compris entre 0 et 1)

Valeurs de α_i	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Marbre	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Béton	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Plâtre	0,02	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03
Verre	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Rideau épais	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
Moquette	0,04	0,10	0,31	0,70	0,93	0,74
Laine de verre	0,29	0,52	0,69	0,89	0,96	0,97
Mousse isolante	0,32	0,89	0,82	1,00	1,00	1,00

Pour estimer le temps de réverbération, on inventorie les parois/obstacles de la pièce, pour

ensuite **sommer toutes les contributions**. Dans la pratique, le calcul de T est effectué à 500 Hz et à 1000 Hz, pour en faire ensuite la **moyenne**.

Le temps de réverbération acoustique est également mesurable de manière expérimentale. Pour cela, une onde acoustique très brève est émise, une **impulsion**. On enregistre alors la réverbération correspondante. Celle-ci est nommée **réponse impulsionnelle**.



Le graphique fait apparaître un temps de décalage entre l'impulsion initiale et le premier écho, correspondant au temps requis pour que l'onde fasse un premier rebond sur un obstacle. Ensuite, les rebonds multiples se superposent afin de former le continuum qui constitue la **réverbération**. Ce genre de mesure est effectué dans des salles dont on souhaite **contrôler les qualités acoustiques**. En effet, selon les utilisations de la salle, on peut rechercher une réverbération suffisante, ou au contraire vouloir la diminuer.

3. Application de la réverbération : l'auditorium

Wallace Clement Sabine posa les bases de l'architecture acoustique. Autrement dit, l'objectif est d'étudier l'acoustique d'un bâtiment, afin de l'**optimiser**.

Habituellement, une onde acoustique se propage de proche en proche sous la forme **de sphères concentriques**. Pour une onde se propageant **sans obstacle**, l'intensité acoustique de la source

est définie par : $I = \frac{W}{4\pi r^2}$

avec r : la distance de la source (m) ;

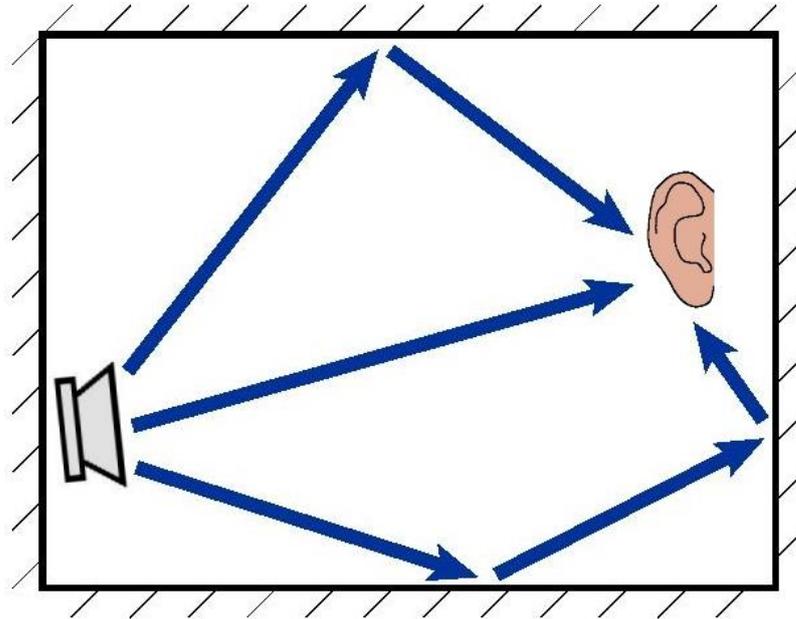
I : l'intensité acoustique (en W/m^2) ;

W : la **puissance acoustique de la source sonore** (en Watt).

On parle de **champ direct**.

Si une salle est assez réverbérante, les rebonds multiples des ondes sonores entraînent

une **intensité acoustique quasi-constante dans toute la pièce**, sauf quand on est tout près de la source sonore. On parle alors de **champ diffus** et plus de champ direct.



Le **niveau d'intensité acoustique réverbérée** L_{Ir} (en dB) associée du champ diffus, est donné par la relation : $L_{Ir} = L_W - 10 \log(A)$

où A est l'aire équivalente d'absorption des parois et obstacles de la pièce (m^2 Sabine).

et avec $L_W = 10 \cdot \log\left(\frac{W}{W_0}\right)$

où L_w est le niveau de puissance acoustique de la source sonore ;

W est la puissance acoustique de la source, en Watt) ;

et $W_0 = 10^{-12}$ Watt.

Pour les auditoriums, le but est que le son émis soit agréable à l'oreille, et **le plus uniforme** possible pour tous les auditeurs. Cela conduit à avoir un temps de réverbération suffisant pour provoquer le champ diffus. Par contre, le temps de réverbération ne doit pas être trop fort, car dans ce cas l'acoustique de la salle est fatigante, car gêne la compréhension de la parole.

D'après la loi de Sabine, les deux paramètres à prendre en compte sont le **volume de la pièce** et les **matériaux employés pour les parois et obstacles**. D'ailleurs, de bons résultats sont obtenus dans le cas de **matériaux qui diffusent les ondes sonores** (d'où le terme de champ diffus), c'est-à-dire qui les **réémettent dans toutes les directions**, au lieu de simples réflexions géométriques. Les temps de réverbération optimaux sont :

- *Théâtre, cinéma* : environ 1s.
- *Opéra, salle de concert* : 1,5 à 2 s.
- *Église* : 2,5 à 3 s.

4. Diminuer la réverbération : salle audio et salle sourde

- Si on souhaite installer chez soi une salle dédiée à la projection de films ou à l'écoute de musique, on aura tout intérêt à veiller à ce que **l'acoustique de la pièce** soit propice à cette activité. La **réverbération idéale est dans ce cas d'une demie seconde**. Au-delà, elle deviendra **incommodante**.

La loi de Sabine suggère de bien **dimensionner la pièce**, car le temps de réverbération est proportionnel au volume de la pièce. Ensuite, **les matériaux durs** (béton) absorbent peu et réfléchissent beaucoup les sons, donc **augmentent la réverbération**. Ainsi, une **correction phonique** efficace consiste à disposer des matériaux fortement absorbants sur les murs, plafond et plancher : moquette au sol, panneaux acoustiques sur les murs ...

- Dans la continuité de cette volonté de diminuer la réverbération, il existe même un cas extrême : **la salle sourde qui permet de supprimer totalement le phénomène de réverbération**. Une telle chambre est nommée **chambre anéchoïque acoustique**. Les murs, le plafond, et même parfois le sol sont recouverts de structures anéchoïques (= ensemble de structures géométriques formées par des **matériaux très absorbants du son** tels que la mousse).

N'importe quel son, quelle que soit sa fréquence, **ne présente pas d'écho sur ce type de parois**. Naturellement, ce type de salle est également **isolé des bruits extérieurs**.

L'essentiel la **réverbération acoustique** dans un local fermé résulte des réflexions multiples des sons sur les parois/obstacles de la pièce. Elle se manifeste par une **persistance du son**, alors que **sa source n'émet plus**.

Le **temps de réverbération acoustique** T est le temps requis depuis l'arrêt de la source afin que le niveau d'intensité acoustique du son soit atténué de 60 dB.

La **formule de Sabine** donne une estimation de T :

$$T = 0,161 \cdot \frac{V}{A} \quad \text{avec} \quad A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i$$

- T , temps (en s)
- V , volume de la pièce (en m³)
- A , l'aire équivalente d'absorption des parois/obstacles (en m² Sabine)
- S_i , l'aire de la paroi/obstacle i
- α_i , coefficient d'absorption Alpha Sabine, dépendant de la nature du matériau et de la fréquence du son.

La réverbération est utilisée dans les auditoriums et autres salles où le but est d'avoir une réverbération suffisante pour que l'intensité du son émis soit **uniforme** à l'ensemble de la salle (**champ diffus**).

A l'inverse, la réverbération est réduite dans les salles audio de type "home cinema", ou même totalement dans les **chambres anéchoïques (salles sourdes)**.

Liste des figures :

Numéro	Titre	Source	N° de page
Figure 1	les rapports de longueurs	PDF brève histoire de l'acoustique	04
Figure 2	Représentation graphique d'une onde sonore	Steve Cherpillod.2011	07
Figure 3	schéma graphique des caractéristiques de son	verre.weebly.com	08
Figure 4	source sonore ponctuelle	BOUKADOUM Amina.2012	09
Figure 5	Source sonore linéaire	BOUKADOUM Amina.2012	10
Figure 6	Chemin de la propagation du son dans une salle.	Caroline, la Conception acoustique d'une salle.2017.)	10
Figure 7	Le trajet du son pour atteindre l'auditeur	Caroline, la Conception acoustique d'une salle.2017.)	11
Figure 8	Réflexion d'une onde acoustique	BOUKADOUM Amina.2012	12
Figure 9	Coupe schématique de la propagation du son direct et des premières réflexions	Steve Cherpillod, 2011	13
Figure 10	Temps de réverbération selon la fonction de l'espace	Steve Cherpillod, 2011	15
Figure 11	La Propagation du son selon les différentes formes en plan	Auteur	16
Figure 12	La Propagation du son selon les différentes formes de toitures	Neufeurt 10	18
Figure 13	Les réflecteurs acoustiques sur le plafond	Neufeurt 10	20
Figure14	Les réflecteurs acoustiques sur les murs	Caroline, la Conception acoustique d'une salle.2017.)	20
Figure 15	Plots anti vibratiles.	Caroline, la Conception acoustique d'une salle.2017.)	21
Figure 16	Présentation du dispositif architectural	Auteur	21
Figure 17	Italie (Valence)	Guillaume Pellerin. 2006	26
Figure 18	Turquie (Éphèse)	Guillaume Pellerin. 2006	26
Figure 19	Égypte (bibliothèque d'Alexandrie)	Guillaume Pellerin. 2006	26

Figure 20	France (bibliothèque Richelieu Paris)	Guillaume Pellerin. 2006	27
Figure 21	France (musée du Louvre à Paris)	Guillaume Pellerin. 2006	27
Figure 22	Etats-Unis (musée Guggenheim à New York)	Guillaume Pellerin. 2006	28
Figure 23	Théâtre de Dionysos	Neufert 10	38
Figure 24	Théâtre Marcellus	Neufert 10	29
Figure 25	Théâtre d'Epidaure.	Guillaume Pellerin. 2006	29
Figure 26	Le Théâtre de Pompéi	Guillaume Pellerin. 2006	31
Figure 27	fonctions principaux	Neufert édition 8-ème	31
Figure 28	les fonctions secondaires	Neufert édition 8-ème	31
Figure 29	Les fonctions supplémentaires	Neufert édition 8-ème	32
Figure 30	Salle d'exposition	Dr. Thomas. 2018	33
Figure 31	Scène de face	Dr. Thomas. 2018	33
Figure 32	La scène ouverte est un exemple de théâtre. Palestine Ramallah	Dr. Thomas. 2018	34
Figure 33	Théâtre historique de Carthage	Dr. Thomas. 2018	34
Figure 34	Jean Claude	Dr. Thomas. 2018	35
Figure 35	Espaces en coulisses	Dr. Thomas. 2018	36
Figure 36	Espace par siège	Neufert 8 Fr	36
Figure 37	Sorties de secours par 1 m par 150 Person	Neufert 8 Fr page 489- 490	37
Figure 38	La surface de la scène arrière par rapport à la salle d'exposition	Neufert 8 Fr page 489- 490	37
Figure 39	Intensité d'inclinaison des rangées plus hauteur de chaque siège	Neufert 8 Fr page 489- 490	38
Figure 40	Sont les espaces d'atelier avec leurs surfaces	Neufert 8 Fr	39
Figure 41	Position du balcon	FIKAN ISRA 2010	39

Figure 42	Intensité d'inclinaison des rangées et hauteur de chaque siège	Judith Stron 2010	40
Figure 43	Conditions d'angle de vision à suivre dans le processus de conception	Neufert 8 Fr	41
Figure 44	Schéma exprime l'étude de l'acoustique dans les salles de conférence	Auteur	43
Figure 45	des parois latérales	BOUKADOUM. 2012	45
Figure 46	Traitement des fonds de salle	BOUKADOUM. 2012	45
Figure 47	risque de focalisation	BOUKADOUM. 2012	46
Figure 48	Les zones d'ombre acoustique	BOUKADOUM. 2012	46
Figure 49	Disposition de réflecteurs et matériaux absorbants dans un amphithéâtre	BOUKADOUM. 2012	46
Figure 50	Influence de la conception des balcons dans la propagation des bruits	BOUKADOUM. 2012	47
Figure 51	traitement acoustique du plafond et fond de la salle	BOUKADOUM. 2012	47
Figure 52	Favoriser les premières réflexions	BOUKADOUM. 2012	48
Figure 53	schéma de propagation sonore dans une salle d'une forme de : Boit a chaussure	Steve Cherpillod, 2011	49
Figure 54	CongoKintele Congress Centre	ArchDaily.com	49
Figure 56	schéma de propagation sonore dans une salle d'une forme : en arène	Steve Cherpillod, 2011	50
Figure 57	CIC Alger : Centre International de Conférences	www.cic-alger.com	51
Figure 58	Schéma de propagation sonore dans une salle d'une forme : en éventail	Steve Cherpillod, 2011	51
Figure 59	Centre de congrès de Dublin	ArchDaily.com	52
Figure 60	forme asymétrique	Steve Cherpillod, 2011	52
Figure 61	New Conference Hall for the World Intellectual Property Organization	ArchDaily.com	53
Figure 62	surface de réflexion sur le mur arrière d'une salle	Steve Cherpillod, 2011	54
Figure 63	Réflexion de mur arrière d'une salle	Steve Cherpillod, 2011	54
Figure 64	plafonds à géométrie complexe	Steve Cherpillod, 2011	55
Figure 66	Quantité de précipitations	meteobleu,2022	57
Figure 67	situation géographique de la willaya de Tébessa	(Ben arfa 2005)	58

Figure 69	Température de la wilaya de Tébessa	meteobleu,2021	58
Figure 70	vitesse du vent source	meteobleu, 2022	59
Figure 71	l'auditorium Malek Ben Nabi	Auteur	59
Figure 72	la situation du projet	Auteur	60
Figure 73	accessibilité du cas d'étude	Auteur	60
Figure 74	la volumétrie du cas d'étude	Auteur	61
Figure 75	l'environnement immédiat du cas d'étude	Auteur	62
Figure 76	plan RDC du cas d'étude	Auteur	62
Figure 77	plan d'étage du cas d'étude	Auteur	63
Figure 78	les façades du cas d'étude	Auteur	63
Figure 79	les matériaux utilisés dans le traitement des murs intérieurs	Auteur	64
Figure 80	étude d'ensoleillement du cas d'étude	Auteur	64
Figure 81	la propagation du son dans la salle de spectacle	Assaini Sara 2020	84
Figure 82	les résultats de questionnaire (le niveau de gêne)	Yahiaoui Amine 2015	87
Figure 83	les résultats de questionnaire (sources de bruit)	Yahiaoui Amine 2015	87
Figure 84	les résultats de questionnaire (les horaires les plus sensibles)	Yahiaoui Amine 2015	88
Figure 85	les résultats de questionnaire (l'isolation acoustique extérieures)	Yahiaoui Amine 2015	88
Figure 86	schéma des espaces bruyants	Yahiaoui Amine 2015	89
Figure 87	Acoustique variable de la grande salle de la Philharmonie	FARHI (2015).	90
Figure 88	Schématisme de la propagation du son dans la grande salle de la Philharmonie.	FARHI (2015).	90
Figure 89	logiciel de l'odéon acoustics software simulation	Auteur 2022	93
Figure 90	pachyderme acoustiques simulation	Auteur 2022	94

Figure 91	Vue 3D du logiciel	Auteur 2022	95
Figure 92	plan de l'auditorium de l'université de Tébessa sur ECOTECT	Auteur 2022	96
Figure93	volume de la salle principale	Auteur 2022	96
Figure 94	la source sonore de l'auditorium	Auteur 2022	97
Figure 95	la situation géographique du terrain	Auteur 2022	112
Figure 96	la morphologie du terrain	Auteur 2022	113
Figure 97	accessibilité du terrain	Auteur 2022	113
Figure 98	environnement immédiat du terrain	Auteur 2022	114
Figure 99	coupe topographique transversale et longitudinale du terrain	Auteur 2022	114
Figure 100	Plan de masse,	Auteur 2022	118
Figure 101	lan de rez de chaussé	Auteur 2022	118
Figure 102	Plan d'étage	Auteur 2022	119
Figure 103	es façades du projet	Auteur 2022	119
Figure 104	les vues 3D du projet	Auteur 2022	120

Liste des graphes

Numéro	Titre	Source	N° de page
Graphe 1	le temps de réverbération de la salle dans le cas normale (sans isolant)	Assaini Sara 2020	85
Graphe 2	Le temps de réverbération avec la laine de roche	Assaini Sara 2020	85
Graphe 3	Le temps de réverbération (cellulose).	Assaini Sara 2020	86
Graphe 4	le temps de réverbération dans le cas existant	Auteur 2022	97
Graphe 5	Résultat de scénario A1 (Tr)	Auteur 2022	104
Graphe 6	Résultat de scénario A2 (Tr)	Auteur 2022	104
Graphe 7	Résultat de scénario A3 (Tr)	Auteur 2022	104
Graphe 8	Résultat de scénario B1 (Tr)	Auteur 2022	106
Graphe 9	Résultat de scénario B2 (Tr)	Auteur 2022	106
Graphe 10	Résultat de scénario B3 (Tr)	Auteur 2022	106
Graphe 11	Résultat de scénario C1 (Tr)	Auteur 2022	107
Graphe 12	Résultat de scénario C2 (Tr)	Auteur 2022	107
Graphe 13	Résultat de scénario C3 (Tr)	Auteur 2022	107

Liste des tableaux :

Numéro	Titre	Source	N° de page
Tableau 1	Valeur des fréquences critiques des matériaux du bâtiment	BOUKADOUM. 2012	14
Tableau 2	Coefficient d'absorption du son pur pour différents états de surface	Assaini Sara 2015	18
Tableau 3	Fiche technique des exemples d'analyse	Auteur 2022	65
Tableau 4	Présentation des programmes	Auteur 2022	66
Tableau 5	Etude urbaine des exemples	Auteur 2022	67
Tableau 6	Etude architecturale des exemple	Auteur 2022	71
Tableau 7	Etude spatio-fonctionnelle des exemples	Auteur 2022	74
Tableau 8	Caractéristiques de la salle	Auteur 2022	77
Tableau 9	Les matériaux composants	Auteur 2022	78
Tableau 10	Correction acoustique	Auteur 2022	79
Tableau 11	Résultat sans isolant	Assaini Sara,2020	84
Tableau 12	Résultat pour la laine de roche	Assaini Sara,2020	85
Tableau 13	Résultat pour la cellulose	Assaini Sara,2020	86
Tableau 14	Présentation des problèmes et leurs solutions	FARHI (2015)	91
Tableau 15	La codification des paramètres et les scénarios étape 01	Auteur 2022	98
Tableau 16	La codification des paramètres et les scénarios étape 02	Auteur 2022	99
Tableau 17	La codification des paramètres et les scénarios étape 03	Auteur 2022	100
Tableau 18	Les résultats des scénarios étape 01	Auteur 2022	104

Tableau 19	Les résultats des scénarios étape 02	Auteur 2022	106
Tableau 20	Les résultats des scénarios étape 03	Auteur 2022	107
Tableau 21	Le programme surfacique du projet	Auteur 2022	115

Résumé :

Le concept de confort ne se limite pas seulement au confort thermique ou visuel, comme certains le pensent, au contraire, il s'agit d'un concept large qui comprend plusieurs aspects qui doivent être pris en considération lors de la conception.

Le confort acoustique est considéré comme l'un des aspects plus importants, en particulier dans les bâtiments spacieux, car la conception acoustique est une conception essentielle dont l'intégration avec d'autres besoins de conception apporte le confort dans son plus large concept.

Le confort dans d'autres types de bâtiments comme les auditoriums était la raison du ciblage sur ces types des salles qui nécessitent à la fois une clarté audio et visuelle afin d'atteindre son objectifs ludiques et éducatifs.

Les problèmes de performance des bâtiments, en particulier les problèmes de confort et de confort acoustique, ne peuvent être découverts qu'une fois les bâtiments occupés. Ainsi, la technologie de l'information signifie de quels programmes de simulation informatique sont les plus importants parce qu'ils fonctionnent Simultanément avec le processus de conception, ils sont utilisés pour aider à résoudre ces problèmes, comme ils offrent la possibilité de trouver des solutions aux problèmes attendus et de modifier la conception en conséquence.

Pour mettre la théorie mentionnée ci-dessus en action, la méthodologie utilisée dans cette recherche est celui de fixer des paramètres de performances acoustiques et de tester les élus par le programme de simulation 'ECOTECT', des tableaux et des figures montrant les résultats sont inclus.

Les mots clés : confort, auditorium, réverbération, acoustique, son, bruit, propagation, isolation, correction,

ملخص:

مفهوم الراحة لا يقتصر على الراحة الحرارية والبصرية، كما يعتقد البعض، بالعكس، هو مفهوم واسع يحتوي العديد من المجالات التي يجب ان تؤخذ على محمل الجد اثناء التصميم. وتعد الراحة الصوتية من اهم هذه الجوانب خاصة في المباني الشاسعة، لان التصميم الصوتي هو تصميم رئيسي يتكامل مع التصميمات الاخرى لتحقيق الراحة بمفهومها الاشمل وقد تناولت العديد من الدراسات عملية التصميم الصوتي وتحقيق المتطلبات الصوتية في القاعات السمعية المتخصصة، مع ذلك تعد هذه الدراسات نادرة حول المجال الصوتي في انواع المباني الاخرى ومنها قاعات المؤتمرات والمسارح، مما دفعنا الى استهداف هذا النوع من القاعات التي لها خصوصية الوضوح الصوتي والمرئي لتحقيق هدفها التثقيفي والترفيهي.

المشاكل الادائية للمباني بصفة عامة ومشاكل الراحة والراحة الصوتية خاصة لا يتم الكشف عنها عادة الا بعد استعمال المبنى، لذلك يتم الاستعانة بالتكنولوجيا التي توفر وسائل لحل هذه المشاكل، والتي تعد برامج المحاكاة من اهمها خلال مرحلة التصميم لأنها تعمل بصورة متزامنة مع عملية التصميم مما يتيح الفرصة لإيجاد المشاكل المتوقعة قبل حدوثها واجراء التعديلات الازمة على التصميم.

ولا جل تحقيق ذلك فقد اعتمد البحث على منهجية تقوم على استخلاص مؤشرات الاداء الصوتي واختيار أحسن سيناريو بعد اختبارات تطبيقه وذلك باستعانة ببرامج المحاكاة الحاسوبية. وقد تم ادراج النتائج بهيئة مخططات وجداول تبين ما تم التوصيل اليه في هذا المجال.

الكلمات المفتاحية: الراحة، قاعة، الارتداد الصوتي، الصوت، الضجيج، التوزيع، العزل، المعالجة.