

Département d'Architecture



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :
MASTER ACADEMIQUE

Filière :
ARCHITECTURE

Spécialité :
ARCHITECTURE ET TECHNOLOGIE

Présenté par :
**SALHI ABD EL DJALIL
MAAMERI WALID**

THEME :
**LA MAITRISE DU CONFORT ACOUSTIQUE DANS LES
EQUIPEMENTS CULTURELS
(BIBLIOTHEQUE)**

SOUTENU LE : 20/06/2018

Composition du Jury :

Mme BOUKETTA. S. MAA, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Président du jury.

Mr NADJAR.F MAA, université de Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Directeur de mémoire.

Mme BOUKNI.B.MC, université de Mohamed Seddik BENYAHIA – Jijel, Membre du Jury.

Remerciement :

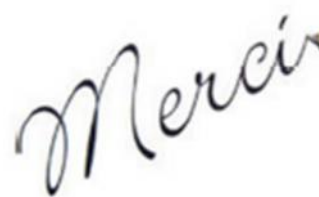
Je remercie en premier lieu le bon dieu « ALLAH » qui me donnée de la santé, la patience et la volonté pour réussir ce modeste travail.

Un profond respect et remerciement à mon encadreur Mr NEDJAR FATEH qu'il était toujours à notre disposition, son aide et son assistance permanente ainsi que ses fructueux conseils.

Je souhaite aussi remercier tous les membres de la spécialité Architecture et Technologie, pour l'intérêt qu'ils ont participé dans ce travail et les discussions que nous avons pu avoir et qui m'ont permis de progresser.

Je ne pourrai oublier tous mes collègues pour leur aide généreuse par la documentation ou même par des simples conseils et avis.

Mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Merci

Dédicace :

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la force et le courage de finir ce
modestetravail, que je dédie :

À ma très chère mère : Affable, honorable, aimable. Tu représentes pour moi le
symbole de labonté par excellence, et l'exemple du dévouement qui n'a pas
cessé de m'encourager et de prier pour moi.

À mon très cher Père : Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon
amour éternelet ma considération pour les sacrifices que tu as consenti pourmon
instruction et mon bien-être, puisse Dieu, le Très Haut, t'accorder santé, bonheur,
une longue vie et faire en sorteque jamais je ne te déçoive.

À mes très chères frères et sœurs.

À toute ma famille, mes cousines et cousins, mes oncles, tantes et proches.

À tous les étudiants de l'architecture et particulièrement mes collègues de
l'université de Jijel.

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin. A toute personne dont j'ai une
place dans soncœur, que je connais, que j'estime et que j'aime.

Et, à pour vous tous, Merci.

SALHI ABD EL DJALIL

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers :

A ma tendre mère qui m'a toujours inondé de sa tendresse, qui m'a encouragé dans tout ce que j'ai entrepris et a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

A mon cher père qui m'a enseigné le sens du devoir et de la responsabilité, je ne pourrais jamais lui compenser les sacrifices qu'il a consentis pour moi.

A mon frère et mes sœurs.

A toute ma famille.

A mes meilleurs amis.

A tous mes collègues de la faculté d'architecture de l'université de Jijel.

Et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, que je connais, que j'estime et que j'aime.

MAAMERI WALID

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	I
LISTE DES FIGURES.....	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
Introduction générale.....	1
Problématique.....	3
Les hypothèses de travail	5
Méthodologie.....	6
Structure du mémoire.....	7

PARTIE I : PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I : Notions élémentaires en acoustique du bâtiment

Introduction	8
1.Composition des sons et du bruit	8
2. Propagation du son dans un espace libre.....	10
3. Propagation du son dans un espace clos.....	11
3.1. Réflexion et absorption du son	12
3.2. Réverbération.....	13
3.3. Diffraction et réfraction	13
3.4. Focalisation du son	14
3.5. Echos	14
3.6. Ondes stationnaires	14
3.7. Ondes en opposition de phase.....	14
4. Indices de performance acoustique.....	15
4.1. Coefficient d'absorption	15
4.2. Aire d'absorption équivalente A.....	16
4.3. Durée de Réverbération.....	17
4.4. Indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens.....	18
4.5. Isolements acoustiques relatifs aux bruits aériens.....	21

4.6. Indice de réduction du niveau de bruit de choc L.....	.23
4.7. Niveau de pression acoustique du bruit de choc.....	.23
5. Perception auditive, bruit et gêne sonore.....	25
5.1. Champ auditif.....	26
5.2. Courbes d'isophonie	26
6. Réglementation algérienne pour la lutte contre le bruit.....	27
6.1. Les lois.....	27
6.2. Les arrêtés.....	.27
6.3. Les décrets exécutifs.....	.28
6.4. Le document technique réglementaire DTR C 3.1.1.....	.29
Conclusion.....	29

CHAPITRE II : Confort acoustique: Isolation et correction

Introduction.....	30
1. L'onde sonore et la paroi.....	30
2. Conditions du confort acoustique.....	31
3. Principes de l'isolation acoustique des bruits aériens.....	31
3.1. Modes de transmission des bruits aériens.....	31
3.2. Principe de masse.....	32
3.3. Principe de double paroi.....	33
3.4. Principe d'étanchéité.....	35
3.5. Implantation et conception des bâtiments.....	36
3.6. Qualité de l'enveloppe du bâtiment.....	38
3.6.1. Parois lourdes.....	38
3.6.2. Parois légères.....	39
3.6.3. Bardage métallique.....	39
3.6.4. Vitrages et menuiserie.....	40
3.6.5. Toitures.....	42
3.7. Ecrans antibruit.....	43
4. Principes de l'isolation acoustique des bruits solidiens.....	44
4.1. Isolation acoustique des bruits de choc.....	44

4.1.1. Revêtement de sol.....	44
4.1.2. Sol flottant.....	45
4.2. Isolation acoustique des bruits d'équipement.....	46
5. Principes de la correction acoustique	47
5.1. Influence des matériaux absorbants	47
5.2. Matériaux poreux et fibreux	48
5.3. Résonateurs.....	48
5.4. Membranes.....	49
5.5. Critères de la qualité acoustique d'une salle.....	50
5.5.1. Répartition de l'énergie sonore dans la salle	50
5.5.2. Temps de réverbération préconisé.....	51
Conclusion.....	53

CHAPITRE III : Impact de bruit sur le Confort acoustique dans les établissements culturels

Introduction	54
1. Le bruit dans les établissements culturels.....	54
1.1. Les sources du bruit.....	55
1.1.1. Sources de bruit extérieures aux bâtiments.....	55
1.1.2. Sources de bruit intérieures aux bâtiments.....	55
1.2. Acoustique des bâtiments.....	56
1.3. Acoustique des salles.....	56
2. Spécificités acoustiques des différents espaces du bâtiment culturel.....	57
2.1. Le confort acoustique des bibliothèques.....	57
2.2. Le confort acoustique des salles de lecture.....	58
2.2.1. Intelligibilité de la parole et bruit de fond.....	59
2.2.2. Intelligibilité et temps de réverbération.....	61
2.3 Les cafétérias et les cantines culturels.....	64
2.4. Les espaces de circulation.....	65
2.5. Les amphithéâtres.....	67
2.6. Les salles de musique.....	68
3. Le rapport Signal/Bruit.....	68

4. Réglementation du confort acoustique dans les bibliothèques.....	69
5. Etat de l'art sur l'évaluation du confort acoustique dans les salles de lecture.....	69
Conclusion.....	73

PARTIE II: ETUDE OPÉRATIONNELLE

CHAPITRE IV: REPRÉSENTATION DE CAS D'ÉTUDE

Introduction.....	74
IV.1. Situation de la ville de Jijel.....	74
IV.2. Classification climatique	74
IV.2.1. Zones climatiques d'hiver	74
IV.2.2. Zones climatiques d'été :.....	74
IV.3. Microclimat de Jijel.....	75
IV.3.1. Les vents.....	75
IV.3.2. Précipitation	76
IV.3.3. Les températures.....	76
IV.3.4. L'humidité:.....	76
IV.3.5. Le climat lumineux:	77
IV.4. Représenté l'objet d'étude :.....	78
IV.4.1. Situation :	78
IV.4.2. Présentation de la bibliothèque municipale de Jijel	78
IV.4.3. Limites et accessibilité:	79
IV.4.4. . Environnement immédiat :.....	79
IV.4.5. Caractéristiques du terrain.....	79

IV.5. Critère de choix de l'objet d'étude.....	79
IV.6. Description de la bibliothèque.....	79
IV.6.1. Le programme surfacique.....	80
IV.6.2 Répartition des salles de lecture.....	83
IV.6. 3. Description de la salle de lecture.....	84
IV.6.4. la répartition des ouvertures dans la salle de lecture de 2eme étage. ...	85
Conclusion.....	86
 CHAPITRE V : LA SIMULATION NUMERIQUE DE LA SALLE DE LECTURE	
INTRODUCTION.....	87
V.1. L'outil de travail (simulation numérique)	87
V.2. Objectif de l'étude	87
V.3. Argumentation du choix des logiciels de Simulation.....	87
V.3.1. Présentation de logiciel de simulation Ecotect 2011 :.....	88
V.4. la méthode de simulation	89
V.4.1. Préparation des plans :.....	89
V.4.2. Paramétrage de l'EcotectAnalysis :.....	89
V.4.2.1. La description du projet.....	89
V.4.2.2. Les données climatiques	90
V.4.2.3.L'orientation	90
V.4.3. Importation des plans	91
V.4.4. Modelage en 3D	91
V.4.5. Insertion des ouvertures et des portes	92

V.4.6. Protocole de simulation	93
V.4.7. Le choix de l'isolant.....	95
V.4.7.1 : Le liège expansé.....	96
V.4.7.2 : La paille.....	96
V.5. La simulation.....	97
V.5.1. Le projet objet de simulation dans son environnement immédiat	97
CONCLUSION.....	97
 CHAPITRE VI :L'ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS 	
INTRODUCTION.....	98
VI.1.Analyse et interprétation des résultats et Comparaison avec les normes ...	98
VI.1.1. Scénario 1 : la salle de lecture sans traitements acoustique	98
VI.1.2. . Scénario 2 : la salle de lecture avec des traitements acoustique.....	100
VI.3. Recommandations	101
VI.3.1. Recommandations concernant l'objet d'étude	101
VI.3.2. Recommandations à généraliser	102
VI.4. comparaison livresque des recommandation.....	102
VI. 4.1. Temps de réverbération.....	104
VI. 4.2. Isolement acoustique vis-à-vis de l'environnement extérieur et entre les espaces	105
Conclusion.....	108
Conclusion générale.....	109
Bibliographie.....	113
 Annexes	
Annexe 1. Caractéristiques de l'onde sonore	
1. Longueur d'onde	

2.Célérité

3.Fréquence

4. Niveaux d'intensité, de pression, de puissance

Annexe 2. Calcul de l'Indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi
discontinue

Annexe 3. Méthodes de mesure des paramètres de performances acoustique du
bâtiment

1. Mesure du temps de réverbération

2.Méthode de mesure de l'isolement aux bruit aériens

2.1.Mesure de l'isolement aux bruits aériens intérieurs

2.2.Mesure de l'isolement aux bruits aériens extérieurs

3.Mesure des bruits d'impact

Annexe 4. Système et processus auditifs

Annexe 5. Effets du bruit sur la santé

1-Effets traumatiques sur l'audition

2- Les effets non traumatiques ou extra-auditifs

Annexe 6. Les différents types de bruit

1- Bruits normalisés ou bruits de référence

2- Autres types de bruit

Résumés

Abstract

LISTE DES FIGURES

Figure I- 1. Spectre d'un son pur et d'un son complexe.....	9
Figure I- 2. Spectres d'un bruit	9
Figure I- 3. Analyse spectrale d'un bruit par bandes d'octave	9
Figure I- 4. Source sonore ponctuelle	10
Figure I- 5. Source sonore linéaire.....	10
Figure I- 6. Chemins de propagation du son dans une salle.....	11
Figure I- 7. Réflexion d'une onde acoustique	12
Figure I- 8. Trajet de réflexion du son dans un espace clos	12
Figure I- 9. Réflexion des sons de différentes longueurs d'onde.	13
Figure I- 10. Focalisation du son	14
Figure I- 11. Lois expérimentales de masse et de fréquence.....	18
Figure I- 12. Courbes expérimentales de variation de l'indice d'affaiblissement acoustique R.....	20
Figure I- 13. Différence entre isolement D et affaiblissement R	22
Figure I- 14. Différence entre $L'_{nT,w}$ et $L_{n,w}$	24
Figure I- 15. Echelle de fréquences audibles.....	25
Figure I- 16. Champ auditif.....	26
Figure II- 1. Absorption, transmission et réflexion de l'onde acoustique.	30
Figure II- 2. Isolation et correction acoustique.....	31
Figure II- 3. Modes de transmission des bruits aériens intérieurs et extérieurs.....	32
Figure II- 4. Principe de masse.....	32
Figure II- 5. Représentation schématique d'une double paroi.	33
Figure II- 6. Principe de la double paroi.	34
Figure II- 7. Comparaison des indices d'affaiblissement acoustique de parois simple, double et multiple.....	35
Figure II- 8. Influence des profils de rues	36
Figure II- 9. Exemples de situations de bâtiments vis-à-vis des nuisances sonores	37
Figure II- 10. Influence de la conception des balcons dans la propagation des bruits.....	37

Figure II- 11. Fonctionnement d'un écran antibruit	
Figure II- 12. Détail d'une dalle flottante..	46
Figure II- 13. Influence de l'absorption.....	47
Figure II- 14. Matériaux poreux	48
Figure II- 15. Résonateur de Helmholtz	49
Figure II- 16. Composition d'une membrane	49
Figure II- 17. Courbes iso acoustiques	51
Figure II- 18. Durée de réverbération préconisée aux fréquences médiums.....	52
Figure III- 1. Sources de bruit dans les établissements culturels.....	54
Figure III- 2. Propagation d'une onde sonore dans un auditorium.....	56
Figure III- 3 .Exemple d'un aménagement pour une salle de lecture.....	58
Figure III-4. Contours d'intelligibilité en fonction du bruit de fond.....	60
Figure III- 5. Favoriser les premières réflexions.....	61
Figure III- 6. Répartition des surfaces absorbantes.....	62
Figure III- 7. Traitement acoustique du plafond et fond de la salle.....	62
Figure III- 8. Exemple d'un traitement acoustique de la salle.....	63
Figure III- 9. Traitement acoustique du plafond d'une cantine culturel.....	64
Figure III- 10. Traitement acoustique du plafond en baffles acoustiques.....	65
Figure III- 11. Exemples de matériaux absorbants posés en plafond.....	66
Figure III- 12. Exemple de matériaux absorbants posés sur les murs.....	66
Figure III- 13. Disposition de réflecteurs et matériaux absorbants dans un amphithéâtre.....	67
Figure III- 14. Vue en plan de la salle testée.....	71
Figure III- 15. Plans de distribution des salles de lecture testées.....	72
Figure IV.1 : De gauche à droite Les zones climatiques d'hiver Les zones climatiques d'été en Algérie.....	75
Figure IV.2 : fréquence des vents.....	76
Figure IV.3: le diagramme stéréographique de la ville de Jijel.....	77
Figure IV.4.: Situation géographique bibliothèque municipale Jijel.....	78

Figure IV.5 : Le volume de la bibliothèque municipale.....	79
Figure IV.6 : la façade principale de bibliothèque municipale.....	80
Figure IV.7. Le programme surfacique d' entre sol.....	80
Figure IV.8. Le programme surfacique de rez-de-chaussée.....	81
Figure IV.9. Le programme surfacique de 1er étage	81
Figure IV.10. Le programme surfacique de 2ème étage.....	82
Figure IV.11. Le programme surfacique de 3ème étage.....	82
Figure IV.12: le plan de l'entre- sol.....	83
Figure IV.13 : De gauche à droite le plan de RDC et le plan de premier étage.....	83
Figure IV.14: De gauche à droite le plan de deuxième étage et le plan de troisième étage.....	84
Figure IV.15: la salle de lecture de 2 ème étage sans des traitements acoustiques.....	84
Figure IV.16: la salle de lecture de 2 ème étage après des traitements acoustiques	85
Figure IV.17: la répartition des ouvertures dans La Salle de lecture.....	86
Figure V.1:Ecotect analysis 2011.....	88
Figure V.2: redessiné les plans.....	89
Figure V.3. modifié la dimension du modèle.....	90
Figure V.4. quelque résultat de météonorm7.....	90
Figure V.5. le paramétrage du logiciel.....	91
Figure V.6: modifié la dimension du modèle.....	91
Figure V.7: modélisation de la 3D en Ecotect.....	92
Figure V.8: insertion des ouvertures et des portes.....	92
Figure V.9: modélisation de la 3D de 2eme étage en Ecotect.....	93
Figure V.10: les composantes de mur extérieur 1er cas.....	93
Figure V.11: les composantes des cloisons intérieures 1er cas.....	93
Figure V.12: les composantes de plancher 1er cas.....	94
Figure V.13: les composantes de mur extérieur 2eme cas.....	94
Figure V.14: les composantes des cloisons intérieures 2eme cas.....	95
Figure V.15: les composantes de plancher 2eme cas.....	95

Figure V.16: L'enseillement annuel de la bibliothèque.....	97
Figure VI.1 : Les niveaux relatifs à la réponse impulsionnelle des rayons de 1er cas.....	98
Figure VI.2 : Estimations de la décroissance du point de 1er cas.....	98
Figure VI.3 : Temps de réverbération mesuré en fréquence du son de 1er cas.....	99
Figure VI.4 : Temps de réverbération mesuré (les normes).....	99
Figure VI.5 : Les niveaux relatifs à la réponse impulsionnelle des rayons de 2eme cas.....	100
Figure VI.6 : Estimations de la décroissance du point de 2eme cas	100
Figure VI.7 : Temps de réverbération mesuré en fréquence du son de 2eme cas.....	100
Figure VI.8 : Temps de réverbération mesuré (les normes)	101

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I- 1. Valeurs des fréquences critiques des matériaux du bâtiment.....	19
Tableau I- 2. Evaluation de l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré.....	20
Tableau I- 3. Tableau récapitulatif des différents indices.....	24
Tableau II- 1. Exemples d'indices d'affaiblissement acoustique pondérés de murs extérieurs ...	38
Tableau II- 2. Indices d'affaiblissement acoustiques pondérés de différents types de vitrages.....	41
Tableau II- 3. Indice d'affaiblissement acoustique pondéré $R_{A,tr}$ (dB) des couvertures en petits éléments	42
Tableau II- 4. Indice L_w de divers revêtements de sol.....	45
Tableau IV.1 : la morphologie des ouvertures dans la salle de lecture.....	86
Tableau V.1.LES COMPORTEMENTS PHONIQUES DU LIEGE.....	96
Tableau VI- 1. Recommandations en termes de bruit ambiant intérieur pour divers pays..	103
Tableau VI - 2. Niveaux du bruit ambiant dans les salles de lecture.....	103
Tableau VI - 3. Durée de réverbération réglementaire dans les locaux culturels.....	104
Tableau VI - 4. Niveaux d'isolation de la façade requis pour les locaux culturels.....	105
Tableau VI - 5. Valeurs requises d'affaiblissement acoustique entre locaux dans différents pays européens.....	106
Tableau VI - 6. $D_{nT,A}$ minimal (dB) des bibliotheques.....	106
Tableau VI. 7. $D_{nT,A}$ minimal (dB) des établissements culturels autres que les bibliotheques...	107

Introduction générale

"Le bruit assassine les pensées..."

NIETZCHE. F.W (1844-1900)

Parmi tous nos organes sensitifs, l'Oreille est emblématique de bien des aspects du développement durable. Laissons de côté l'oreille du mauvais élève, tirée par l'instituteur sévère mais juste, encore que la sanction et l'évaluation soient des instruments bien identifiés du développement durable. L'oreille, c'est surtout l'écoute, la considération pour autrui, un des piliers de la « bonne gouvernance »¹.

Dans un vieil adage on dit « *Les murs ont des oreilles* », ce n'est pas la qualité première qu'on leur demande. Ce serait plutôt de nous protéger du bruit, cette intrusion du monde extérieur dans notre univers intime.

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. Pour cela et dans une perspective de développement durable, l'Europe s'est donnée comme mission première de modifier le paysage sonore des collectivités. En France par exemple, 40% de la population juge le bruit comme la nuisance la plus gênante².

Il est vrai que, lors de la conception architecturale ou urbaine, les préoccupations acoustiques sont toujours reléguées au second plan par rapport aux visuelles pourtant on sait qu'un sourd s'ennuie vite devant le spectacle de la mer, alors qu'un aveugle ne se lasse jamais du bruit des vagues et du vent. Les sons s'imposent à nous, comme les odeurs, et nous ne pouvons y échapper comme on le fait pour la vue, en fermant les yeux. L'ouïe est toujours en éveil, un paysage permanent, agréable ou déplaisant, avec des codes culturels et une dose de subjectivité.

Ces dernières décennies, ont vu un développement sans précédent des moyens de transport ferroviaires, aériens ou routiers, on ne compte plus le nombre de voitures dans les rues ; mais aussi l'émergence de différents appareils ménagers ou autres tels que les amplificateurs de musique. Donc il faut veiller à limiter la transmission des bruits aériens et des vibrations produites par les équipements du bâtiment afin de maintenir les niveaux de bruit de fond dans les salles du bâtiment dans des limites qui permettent de ne pas perturber la concentration des utilisateurs.

¹ BIDOU. D, L'oreille et le développement durable. (Consulté le 08/10/09), [En ligne], <http://www.bruit.fr/boite-a-outils-des-acteurs-du-bruit>.

² INSEE,. In. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), *Qualité environnementale des Bâtiments*, (page consultée le 08/03/08), [En ligne], <http://www2.ademe.fr>.

Dans le domaine du bâtiment, les nuisances sonores telles que les bruits de circulation, de pas, de conversation, d'équipements sont la source de désagréments qui peuvent aller d'une dégradation de la qualité de vie, à des répercussions directes sur la santé des occupants.

De ce fait, la réduction et le contrôle du bruit deviennent des enjeux primordiaux qui se traduisent par des réglementations, des normes acoustiques qui fixent des performances acoustiques minimales à atteindre à l'intérieur des bâtiments pour garantir un confort acoustique aux occupants et usagers. Les performances acoustiques s'expriment au moyen d'un grand nombre d'indices qui caractérisent les produits, les locaux, les phénomènes d'isolation, de correction, tant sur le plan quantitatif que qualitatif. La gestion de l'environnement sonore urbain a fait l'objet de nombreux travaux de recherche malgré la complexité du sujet, lié au caractère subjectif et contextuel du ressenti de la nuisance sonore³.

Parmi les quatorze cibles de la démarche HQE, deux concernent plus particulièrement la problématique du bruit. Il s'agit selon l'angle d'approche :

- Du bâtiment en tant que source de bruit pour son environnement.
- Du bâtiment en tant qu'espace à protéger des nuisances sonores générées par son environnement ; La cible n°3 « chantier à faibles nuisances » et la cible n°9 « confort acoustique » soulignent une exigence nouvelle.

En Algérie, le problème concernant les nuisances sonores a été pris en charge par les pouvoirs publics dès 1983 en promulguant la loi N°83-03 du 05 Février 1983, relative à la protection des constructions.

La réglementation algérienne, concernant l'acoustique, vise à sensibiliser les personnes à la lutte contre le bruit, d'interdire toute utilisation et emploi de dispositifs émettant du bruit, et qui sont susceptibles de troubler le repos et la tranquillité des usagers, ainsi que l'interdiction des bruits produits à l'intérieur et à l'extérieur de l'équipement qui peuvent empêcher et gêner la tranquillité du voisinage. Elle vise aussi à fixer les mesures et les dispositifs à respecter pour le bruit causés par les véhicules automobiles et les moyens de transport, qui sont considérés comme la première source de bruit dans l'environnement⁴ ainsi qu'à réglementer l'émission des bruits⁹ et définir les méthodes d'isolation phonique des constructions⁵.

³ Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie(ADEME), Réussir un projet d'urbanisme durable, Edition Moniteur.

⁴ Arrêté du 4 avril 1972 relatif à la mesure du bruit produit par les véhicules automobiles et aux conditions imposées aux dispositifs dits "silencieux"

⁵ CNERIB, Document technique réglementaire DTR C3.1.1, *Isolation acoustique des parois aux bruits aériens, Règles de calcul*, Alger 2004

De façon générale, La réussite acoustique d'un bâtiment dépend de sa conception architecturale, de sa conception technique et de la qualité de son exécution pour objectif d'offrir une ambiance acoustique des espaces intérieurs ou extérieurs participe à leur qualité (en termes de confort) et à leur fonctionnalité.

Problématique

L'acoustique des lieux culturels est une discipline très spécifique qui a été largement ignorée au cours des dernières décennies. Les nouvelles constructions ou les rénovations ne prennent pas en compte les principes acoustiques courants qui privilégient une intelligibilité optimisée et un isolement par rapport aux bruits de l'environnement extérieur. Ceux qui ont le plus souffert de cette situation, sont les malentendants, les enfants et les enseignants.

En étudiant les effets de la nuisance sonore sur les usagers, de nombreux chercheurs attestent que les performances les plus affectées par le bruit, sont celles exigeant un traitement cognitif élevé, comme: l'attention, la résolution des problèmes, la lecture et la mémorisation⁶.

L'exposition aux nuisances sonores telles que les bruits de circulation, de pas, de conversation, d'équipements sont la source de désagréments qui peuvent aller d'une dégradation de la qualité de vie, à des répercussions directes sur la santé des occupants.

Dans une enquête⁷ sur la perception des différents paramètres de confort dans la salle de lecture auprès de plus de 1000 personnes, la qualité acoustique apparaît comme le facteur qui influence le plus les performances à la bibliothèque.

« Aujourd'hui, il est urgent que tous les acteurs impliqués dans la construction et la rénovation des bibliothèques prennent conscience qu'une acoustique optimisée dans les lieux dédiés à lecture permet d'accroître l'intelligibilité et d'améliorer la réussite culturels de tous les élèves »⁸

« Il semble évident à tous qu'une bibliothèque bien conçue et correctement construite obéît aux deux impératifs suivants: Développement harmonieux de l'être et facilitation de l'action éducative »⁹

⁶ Shield. B et al. *The effects of noise on the attainments and cognitive development of primary school children*

⁷ Mouchon Jean, *L'espace de la classe en question*, Technique et Architecture n° 344,.

⁸ Scooch San Souci, *Acoustique des salles de classe accueillant les élèves malentendants et normoentendants*, atelier CAPS, ORSAY-2, décembre 2003. (consulté le 19/04/11) [En ligne] :

⁹ Quilghini Janne, *Exigences pédagogiques et réponses architecturales*, Technique et Architecture n°344, novembre 1982

Le confort acoustique est un élément souvent négligé des espaces intérieurs. Or l'équilibre psychologique et la productivité au travail des occupants y sont intimement liés:

-Un bon confort acoustique a une influence positive sur la qualité de vie au quotidien et sur les relations entre usagers d'un bâtiment.

-Au contraire, un mauvais confort acoustique génère des effets négatifs sur l'état de santé (nervosité, sommeil contrariés).

La lutte contre les bruits est donc devenue un enjeu important qui se traduit par des réglementations, des normes acoustiques qui fixent des performances acoustiques minimales à atteindre à l'intérieur des bâtiments pour garantir un confort acoustique aux occupants et usagers.

Les performances acoustiques s'expriment au moyen d'un grand nombre d'indices qui caractérisent les produits, les locaux, les phénomènes d'isolation, de correction : R_A , D_{nTA} , w , DL ,... sont autant d'indices qu'il faut appréhender pour comprendre les obligations réglementaires.

Les problèmes de bruits dans les établissements culturels à Jijel n'ont jamais été aussi importants. Ils proviennent de la politique actuelle¹⁰ qui proclame la construction des bibliothèques pour répondre à un besoin urgent en infrastructures culturels sans tenir compte des exigences de confort. L'utilisation croissante de surfaces dures (le verre, l'acier et le plâtre) qui réfléchissent le son et rendent les salles très bruyantes et la tendance générale qui vise la conception d'espaces flexibles et ouverts sans tenir compte des contraintes sonores de l'environnement extérieur.

La salle de lecture, élément structurant dans la conception des bibliothèques, est un espace autour duquel s'articulent les autres unités fonctionnelles et où le confort sonore a des conséquences sur leurs qualités d'usage.

Les bruits perçus dans les salles sont généralement la somme de sources sonores extérieures et intérieures comme le montrent les résultats de plusieurs chercheurs¹¹. Les bruits extérieurs dominants sont le trafic routier. Les bruits intérieurs émanant des couloirs, des espaces adjacents (espaces mitoyennes) de la cour de récréation, sont des perturbateurs efficaces pendant la lecture. Un facteur perturbant qui diminue la concentration et la capacité de mémorisation des enfants et des adultes, ce qui réduit leurs performances d'audition et d'éducation.

¹⁰ Programme Sectoriel de Relance Economique (2000-2003) et le Programme Complémentaire (2004-2005).

¹¹Nelson, P.B; Soli, S.D; Seltz, A. *Acoustical Barriers to Learning*, Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America, 2002. (page consultée le 12.05.11) [En ligne], [http:// www.centerforgreenschools.org /docs/ acoustical-barriers-to-learning.pdf](http://www.centerforgreenschools.org/docs/acoustical-barriers-to-learning.pdf)

Ceci nous amène à nous poser les questions suivantes :

1. Est-ce que les locaux culturels offrent les conditions de confort acoustique nécessaires au bon déroulement des activités d'apprentissage ? Peut-on s'y exercer, communiquer, réfléchir, apprendre, se documenter, s'exprimer et créer dans des conditions favorables ?
2. Dans quelle mesure les sources nuisibles extérieures des établissements culturels peuvent-elles influencer le confort acoustique intérieur des salles de lecture?
3. Quelle sont les solutions architecturaux et techniques pour obtenir un confort acoustique favorable dans les bibliothèques ?

Ainsi, notre recherche a pour but d'assurer le confort sonore dans les salles de lecture et de comparer la qualité acoustique de différents modèles architecturaux situés dans différents environnements sonores, et présentant différentes conceptions et répartitions des salles de lectures.

Les hypothèses de recherche

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer quantitativement et qualitativement, les performances acoustiques dans les salles de lecture sur la base de différents indicateurs qui aident à créer un confort sonore adéquat, cette évaluation nous aidera à établir une liste de recommandations ou de propositions concrètes pour les futures infrastructures culturel dotées de salles de lecture.

Afin de répondre aux questionnements précédemment cités dans la problématique, la présente étude pose les hypothèses suivantes :

- La quantité et la qualité de bruit à l'intérieur de la salle est le résultat de la relation de plusieurs facteur qui sont : le type de l'isolant, son épaisseur, sa position, les dimensions ainsi que ses formes.

- Le confort sonore des salles est influencé, en premier lieu par les bruits extérieurs, qui sont les plus gênants pendant la recherche et la lecture.
- Les bruits émanant des espaces adjacents à la salle de lecture contribuent à l'augmentation des niveaux sonores intérieurs.
- Les résultats obtenus de la simulation par le logiciel ECOTECT dans une salle de lecture nous permettent de dresser les recommandations essentielles et les solutions pour des problèmes très posés.

Méthodologie

La méthodologie d'approche est basée tout d'abord sur l'observation in situ de plusieurs situations sonores (questionnaires et mesures in situ).

Le travail s'appuie sur deux approches complémentaires. la première approche théorique et la deuxième se base sur des mesures acoustiques permettant d'expertiser la qualité acoustique des salles de lectures et concerne l'évaluation perceptive des ambiances sonores.

- Evaluation subjective, sous forme de questionnaires, destinés aux usagers, pour évaluer la gêne due au bruit et l'impact des nuisances sonores sur l'apprentissage et capacités des différents visiteurs de la bibliothèque.
- -Evaluation objective par les mesures in situ du bruit de fond à l'intérieur et l'extérieur des salles de lectures, en complément du calcul de la durée de réverbération.

Pour cela, les indicateurs et indices sonores utilisés sont le niveau de pression acoustique dépassé pendant 90% du temps de mesurage LA90, le niveau sonore maximal L_{Amax} le niveau minimal L_{Amin} et le temps de réverbération TR.

Structure du mémoire

Afin d'atteindre notre objectif de recherche et d'apporter les éléments de réponse à la problématique posée, nous avons structuré ce rapport de recherche comme suit :

Une première partie qui comporte trois chapitres, est basée sur une recherche bibliographique et un état de l'art sur les différents paramètres du confort sonore et son évaluation.

-Le premier chapitre porte sur les notions de bases de l'acoustique architecturale, le bruit et ses indicateurs ainsi que ses effets sur l'intelligibilité, les indices de performance acoustique du bâtiment et une synthèse détaillée de la réglementation algérienne de la lutte contre le bruit.

-Le deuxième chapitre aborde les stratégies du confort acoustique, l'isolation sonore du bâtiment et la correction acoustique.

-Le troisième chapitre, intitulé 'le confort sonore dans les établissements culturels traite des spécificités acoustiques des différents espaces du bâtiment et des aspects réglementaires du confort sonore dans les bibliothèques.

-Dans une seconde partie qui porte sur l'étude expérimentale, nous avons présenté les établissements culturels et salles de lecture étudiés, ainsi que la méthodologie d'évaluation du confort sonore, dans un premier chapitre 'présentation de cas d'étude.'

-le deuxième chapitre est destiné à la simulation numérique de la salle de lecture qui sera prise en charge par le logiciel ECOTECT ANALYSIS 2011.

-L'interprétation des mesures du bruit ambiant effectuées à l'intérieur de notre cas d'étude et aussi à l'intérieur et à l'extérieur des différentes salles de lectures livresques, ont permis l'évaluation objective du confort sonore. Avec des propositions et des recommandations de la recherche. Pour atteindre un confort acoustique favorable.

La conclusion générale de ce travail synthétise les résultats obtenus.

Introduction

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 (tels que Pythagore, Vitruve, Galilée, Lord Raleigh, Helmholtz ou Wallace Sabine). L'acoustique, étant un domaine de la physique qui étudie les sons, il est nécessaire de comprendre comment le son se propage et se transmet pour pouvoir appréhender cette discipline.

Ce chapitre rassemble les notions de base en acoustique du bâtiment telles que les phénomènes liés à la propagation des sons, les phénomènes physiologiques de la perception sonore et la notion de gêne due au bruit ainsi que les indices de performances acoustiques de la construction. En complément, un résumé des textes réglementaires algériens sur la protection contre les nuisances sonores.

1. Composition des sons et du bruit

Le bruit est une sensation auditive considérée comme source désagréable ou gênante. Il est caractérisé par sa fréquence (en hertz), son niveau (en décibels, dB ou dB (A)), son spectre et sa durée.

Le son est un mélange de plusieurs ondes sonores (voir caractéristiques de l'onde acoustique en annexe 1). Un son est dit pur quand il est composé d'ondes sinusoïdales périodiques ayant la même fréquence. Les sons purs naturels sont très rares, ils sont essentiellement d'origine électronique (par exemple, tonalité d'un téléphone).

Un son complexe, constitué de différents sons purs, est composé d'ondes périodiques non sinusoïdales. Il peut être décomposé en une somme d'ondes sinusoïdales par une analyse de Fourier¹.

La décomposition d'un son complexe permet ainsi d'extraire une succession de sons sinusoïdaux dont les fréquences sont des multiples d'une même fréquence f appelée fondamentale, les autres fréquences ($2f$, $3f$, $4f$, etc...) étant désignées par harmoniques.

On représente graphiquement le spectre du son en traçant en abscisses les fréquences et en ordonnées l'énergie des harmoniques.

¹ D'après le théorème de Fourier : « Toute fonction périodique non sinusoïdale et continue dans un intervalle de 0 à 2π , peut être décomposée en une somme de fonctions harmoniques de la variable temps dont les fréquences sont les multiples exacts de la fréquence fondamentale la plus basse. »

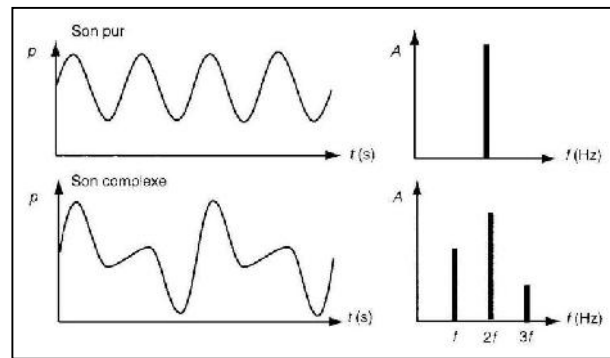


Figure I- 1. Spectre d'un son pur et d'un son complexe (variation de l'amplitude de la pression Acoustique en fonction du temps et en fonction des fréquences)

(Source: Mazzuoli-Schrive Louise, 2007)

Le nombre de fréquences dans un bruit étant très large (contrairement au spectre d'un son périodique qui se compose d'une série définie de fréquences), on mesure le niveau sonore dans des bandes de fréquences très étroites. L'analyse spectrale fréquentielle d'un bruit consiste à représenter les variations des niveaux d'intensité ou de pression acoustique en fonction des fréquences sous forme soit d'histogrammes, soit d'une courbe.

Pour caractériser les bruits, deux notions sont distinguées: la densité spectrale² et le niveau par bande d'octave³.

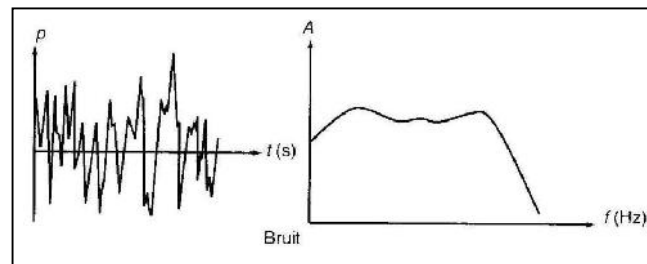


Figure I- 2. Spectres d'un bruit (variation de l'amplitude de la pression acoustique p en fonction du temps t et variation du niveau acoustique A en fonction des fréquences f)

(Source: Mazzuoli-Schrive Louise, 2007)

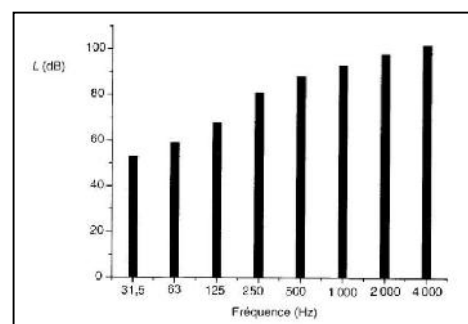


Figure I- 3. Analyse spectrale d'un bruit par bandes d'octave

(Source: Mazzuoli-Schrive Louise, 2007)

² La densité spectrale est la courbe représentant le niveau dans chaque bande de fréquence.

³ On peut aussi diviser le spectre en bandes larges de fréquences spécifiques. Les bandes utilisées généralement sont appelées *bandes d'octave*. Une bande d'octave est l'intervalle de spectre compris entre deux fréquences f_1 et f_2 telles que f_2 soit le double de f_1

2. Propagation du son dans un espace libre

On distingue deux types de sources sonores selon leur émissivité et propagation du son : Les sources sonores dites ponctuelles comme une éolienne, un avion ou un clocher, et les sources sonores linéaires comme le trafic routier.

Dans le cas d'une source sonore ponctuelle, le niveau sonore décroît de 6 dB chaque fois que la distance séparant le point de mesure de la source sonore est doublée. Par contre, pour une source sonore linéaire rectiligne, le niveau sonore décroît de 3 dB par doublement de la distance séparant le récepteur de la source.

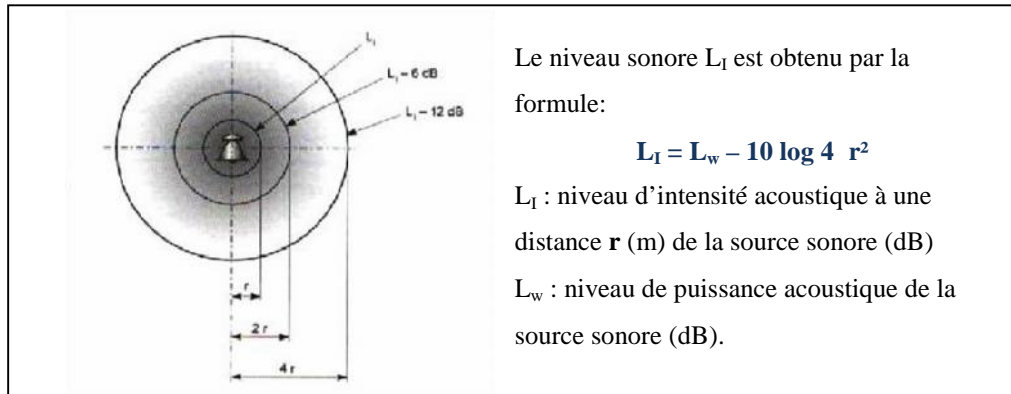


Figure I- 4. Source sonore ponctuelle
 (Source: Hamayon Loïc, 2008. réadaptée par l'auteur)

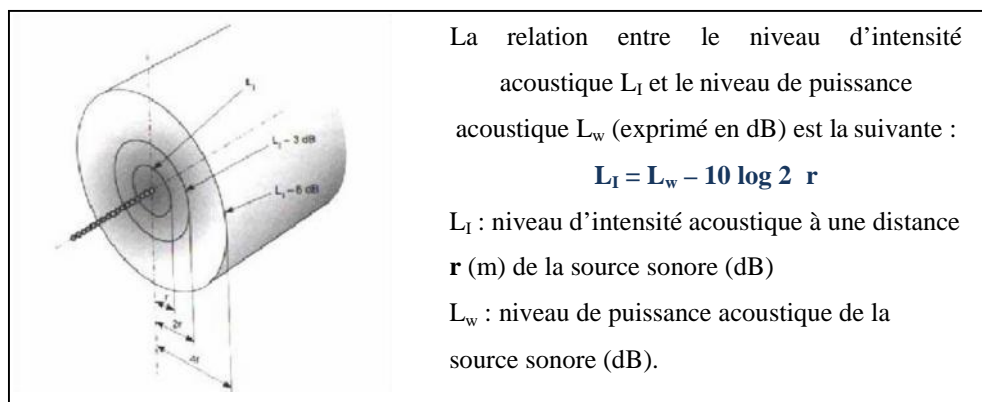


Figure I- 5. Source sonore linéaire
 (Source : Hamayon Loïc, 2008. réadaptée par l'auteur)

A l'atténuation du son, due à la distance, s'ajoute l'atténuation atmosphérique. Elle est d'autant plus décelable que la fréquence de la source est élevée. L'expérience montre que pour une fréquence donnée, l'atténuation est maximale pour un taux d'humidité faible (15 à 20%) et une température comprise entre 0 et 15°C⁴. Notamment, des différences allant jusqu'à 6 dB(A) à 400 m de la source sonore et jusqu'à 10 dB(A) à 1 000 m peuvent être relevées entre un jour sans vent et un jour de vent portant.

⁴ CHAGUE Michel, *L'acoustique de l'habitat*, Edition du Moniteur, Paris, 2001. p.64

La propagation des bruits en milieu urbain est tributaire des aménagements, des écrans et reliefs de façade. La nature et la composition des sols séparant la source émettrice et le récepteur jouent un rôle important dans l'atténuation des bruits. Cette atténuation est d'autant plus importante que l'onde sonore est rasante et que la fréquence est élevée. Par contre, l'effet des arbres n'est pas très significatif dans l'amortissement de la propagation des bruits. Sauf s'ils sont plantés derrière un écran anti- bruit (avec la partie feuillue au dessus de ce dernier), le phénomène de redirection de l'énergie acoustique dans les zones d'ombre est diminué.

Dans le cas d'une forêt située entre la source et le récepteur, l'effet principal est d'ordre climatique: la forêt tend à annuler sous sa canopée les effets de variation de température et de vitesse du vent, donc les variations de la vitesse du son. Pour une forêt de 100m de large par une nuit claire, le gain obtenu par rapport au cas d'un site sans arbres peut atteindre 5 dB pour les bruits routiers (Selon Defrance. J, Barrière. N et al, 2002)⁵.

En pratique, l'énergie rayonnée par la source sonore n'est généralement pas la même dans toutes les directions. Les caractéristiques physiques et la nature de la source font que l'énergie est canalisée dans des directions privilégiées, cette propriété est appelée directivité⁶.

3. Propagation du son dans un espace clos

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...).

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.

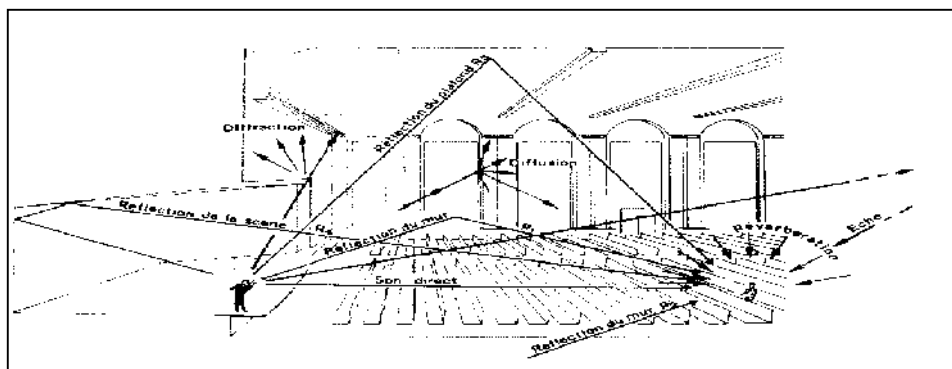


Figure I- 6. Chemins de propagation du son dans une salle

(Source : Fillippini Mikaël, 2003)

⁵ AFSSE, *Impacts sanitaires du bruit - Etat des lieux, indicateurs bruit-santé*, novembre 2004.

⁶ Le facteur de directivité Q d'une source sonore est le rapport de l'intensité acoustique, à l'intensité qui serait produite au même point de l'espace par une source ponctuelle de même puissance

3.1. Réflexion et absorption du son

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 i , l'onde réfléchie repart selon un angle r égal à i .

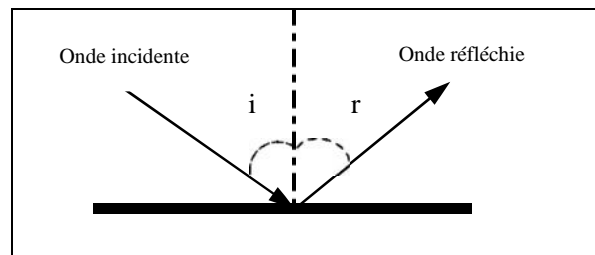
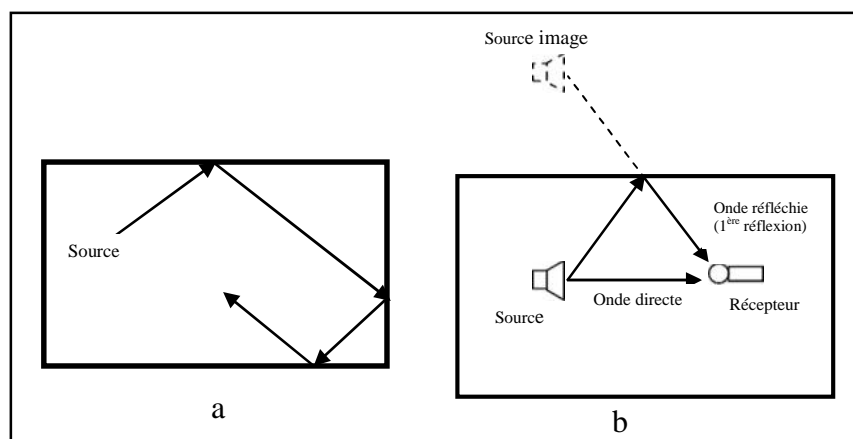


Figure I- 7. Réflexion d'une onde acoustique
(Source : Chagué Michel, 2001)

Le trajet d'une onde sonore est donc prévisible malgré la présence d'obstacle. La méthode utilise les lois de l'optique: l'acoustique est dite « géométrique ».

L'acoustique géométrique permet de déterminer le trajet des différentes réflexions. En fait, tout se passe comme si l'onde réfléchie était générée par une source virtuelle image, placée de façon symétrique par rapport à la paroi (Figure I- 8).

L'énergie de l'onde réfléchie dépend de la capacité d'absorption du matériau qui recouvre la surface de l'obstacle. L'absorption acoustique dépend en fait du coefficient d'absorption du matériau.



- a) Réflexions d'une onde sonore sur les parois d'un local
b) Trajet de réflexion de l'onde sonore, principe de la source image

Figure I- 8. Trajet de réflexion du son dans un espace clos
(Source: Chagué Michel, 2001. Réadaptée par l'auteur)

3.2. Réverbération

La source sonore étant placée à l'intérieur d'un espace clos, l'onde subit une succession de réflexions sur les parois. A chaque réflexion, l'énergie acoustique initiale décroît d'une quantité définie par la capacité d'absorption des différents matériaux qui tapissent les parois de l'espace fermé.

De ce fait, le son émis parvient au récepteur tout d'abord directement, puis après avoir été réfléchi une ou plusieurs fois sur les parois. Si le son, parvenant au récepteur après réflexion, est distinct du son lui parvenant directement, il y a écho. Si le son, parvenant au récepteur après réflexion, n'est pas distinct du son lui parvenant directement, le son semble prolongé, il y a réverbération. La réverbération est donc la persistance d'un son dans un espace clos (ou semi-clos) après interruption brusque de la source sonore.

3.3. Diffraction et refraction

L'onde sonore est diffractée, lorsque sa longueur d'onde est supérieure à la longueur de l'obstacle. Les sons graves qui ont une longueur d'onde supérieure à celle des sons aigus sont principalement diffractés⁷.

La réfraction est le changement de direction de l'onde quand la vitesse du son n'est pas constante pour tous les points du front d'onde. Le point d'onde se trouve incurvé et dévié du côté où la vitesse est la plus petite. Cela peut être observé si la température du milieu n'est pas uniforme⁸.

La diffusion du son est la répartition des ondes sonores provoquée par tous les changements de direction de celles-ci résultant simultanément des phénomènes de réflexion, de réfraction et de diffraction.

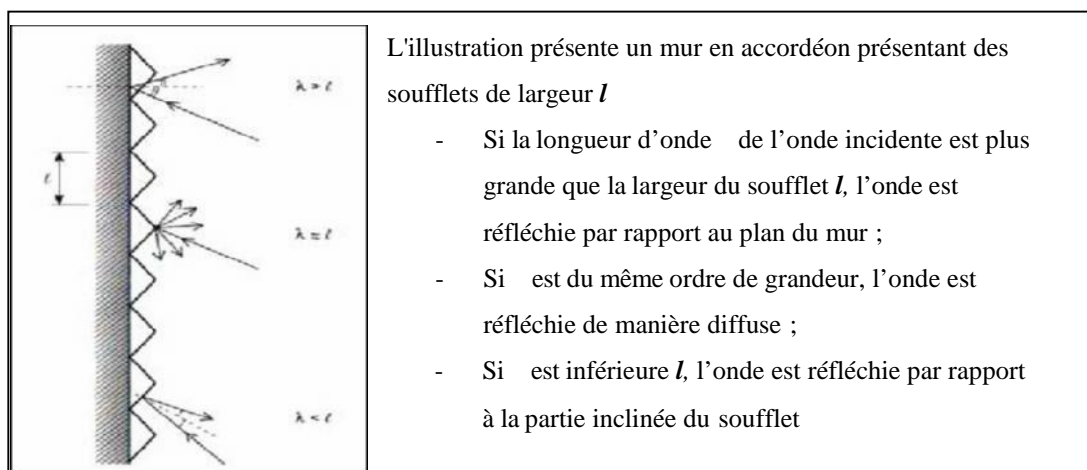


Figure I- 9. Réflexion des sons de différentes longueurs d'onde

(Source : Hamayon Loïc, 2008. réadaptée par l'auteur)

⁷ Le phénomène de diffraction peut également se produire lorsque l'onde sonore rencontre une ouverture de dimension très inférieure à la longueur d'onde de l'onde sonore. Tout se passe alors comme si chaque point de l'ouverture se comportait comme une source acoustique secondaire.

⁸ C'est le cas dans une salle de concert, l'air est plus chaud au niveau du public et le son monte vers le plafond.

3.4. Focalisation du son

La focalisation des sons se produit quand les parois courbes et réfléchissantes concentrent les ondes sonores en un point (appelé foyer) éloigné de la source et symétrique par rapport à celle-ci. En ce point, on observe une augmentation de l'intensité du son qui permet entre autres d'entendre des sons de faible amplitude inaudibles dans le reste de la salle (Figure I- 10).

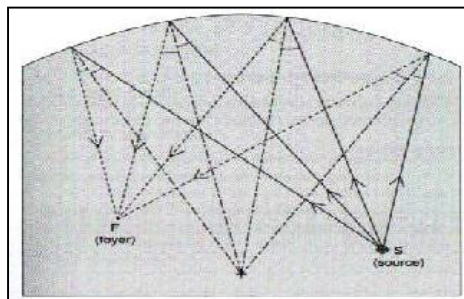


Figure I- 10. Focalisation du son
(Source: Hamayon Loïc, 2008)

3.5. Echos

La réflexion acoustique est à l'origine du phénomène d'écho. L'écho simple est caractérisé par un son pouvant être entendu deux fois. Le son émis revient après réflexion sur un obstacle, si le temps qui s'écoule entre l'émission et le retour est supérieur ou égal à 50 ms, l'écho est perceptible par l'oreille⁹. L'écho flottant (Flutter echo) est une succession très rapide et régulière de sons provenant de la même source placée entre deux surfaces parallèles et réfléchissantes, les autres surfaces étant absorbantes (tels que les couloirs).

3.6. Ondes stationnaires

Les ondes dites stationnaires se forment quand deux ondes de même fréquence et de même amplitude se déplacent sur le même axe de propagation mais en sens inverse¹⁰.

Les ondes sonores se réfléchissant sur deux parois parallèles donnent naissance à des ondes stationnaires quand la distance entre les deux parois est égale à la demi-longueur d'onde du son incident ou à un multiple de cette demi-longueur d'onde¹¹.

⁹ Dans une salle, on cherche à éliminer l'écho. On teste les parois en calculant le temps pour un aller et retour du son après réflexion. Par exemple, si un chanteur se produit dans une salle de 20 mètres de longueur, y aura-t-il risque d'écho créé par la paroi du fond de la salle ? Le temps entre l'émission et la réception est de: $t = 2d/c = 40/340 = 0.117$ s. L'écho est donc perceptible par l'auditeur et la surface doit être traitée.

¹⁰ Hamayon. L, *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*, le moniteur, Paris, 2008. p.74.

¹¹ $d = n(\lambda/2)$, avec d la distance entre les deux parois (m), la longueur d'onde du son incident (m) et n un nombre entier positif (1, 2, 3, 4, etc). On a: $f = c/\lambda$, avec f fréquence d'un son, c sa célérité et λ sa longueur d'onde. On obtient les fréquences de résonance f_r (en Hz), auxquelles les ondes stationnaires se reproduisent (pour une célérité du son dans l'air de 340 m/s): $f_r = 170n/d$

3.7. Ondes en opposition de phase:

Deux ondes sont en opposition de phase quand, au même instant, l'une atteint son amplitude maximum et l'autre son amplitude minimum. L'amplitude de l'onde résultante est théoriquement nulle.

Quand on veut réduire un bruit, une des techniques utilisées est le captage de ce bruit par un microphone, il est ensuite réémis, après traitement électronique, en opposition de phase.

4. Indices de performance acoustique

Les indices¹² 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 L et le niveau de pression acoustique du bruit de choc L^{13} .

4.1. Coefficient d'absorption

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.

Le coefficient α est obtenu par le rapport de l'énergie acoustique absorbée à l'énergie acoustique incidente:

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} \quad (I.1)$$

α est compris entre 0 (matériau totalement réfléchissant) et 1 (matériau parfaitement absorbant). Il varie avec la fréquence (il est faible pour les graves et plus élevé pour les aigus), la nature du matériau, l'état de surface et l'angle d'incidence de l'onde sonore.

Le coefficient d'absorption α des matériaux est mesuré en laboratoire. IL est donné par bande de fréquence (octave ou tiers d'octave) sous forme de tableau ou de graphique (voir annexe).

¹² L'*indice* s'applique à une mesure, une description du phénomène physique du bruit, qui prend en compte certains paramètres (fréquences, puissance...); l'indice est purement une expression de forme physique ;
- L'*indicateur* s'intéresse à la relation entre niveaux de bruit (exprimés par un indice) et impacts sanitaires par le biais d'une relation dose-réponse.

¹³ Les indices R , D , L , L , il sont exprimés en dB (A) dans la norme française, ils sont calculés par rapport à un bruit rose ou un bruit route. Cependant, depuis l'an 2000, la normalisation européenne a introduit des indices « uniques » pondérés exprimés en dB. Ils sont symbolisés par l'indice inférieur w (de weight en anglais). Plus les valeurs de ces indicateurs sont élevées plus grandes sont les performances acoustiques du bâtiment.

La norme européenne a introduit l'indice d'évaluation de l'absorption α_w (ou l'indice d'absorption acoustique pondéré). Il permet de caractériser, en une seule valeur (indépendante de la fréquence), l'aptitude d'un matériau à absorber les sons. Cet indice varie entre 0 et 1.

L'évaluation de l'indice α_w est effectuée à partir des valeurs du coefficient α obtenues en laboratoire pour chaque bande de tiers d'octave, comparées avec la courbe de référence définie dans la norme EN ISO 11-654¹⁴. La valeur de l'indice α_w correspond à la valeur à 500 Hz¹⁵.

4.2. 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) considérée¹⁶. Soit :

$$A = S \alpha \quad \text{ou} \quad A = S \alpha_w \quad (\text{I.2})$$

A: aire d'absorption équivalente en m²; S: surface de la paroi en m²; α : coefficient d'absorption;
 α_w : indice d'absorption acoustique pondéré

Si la paroi est composée de plusieurs éléments de surfaces $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$, ayant des matériaux différents, donc des coefficients d'absorption différents $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$

L'aire d'absorption équivalente totale est la somme des aires d'absorption des différentes surfaces constituant la paroi; on peut donc écrire:

$$A_{\text{totale}} = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots + \alpha_n S_n = \sum_{n=1}^n \alpha_n S_n \quad (\text{I.3})$$

¹⁴ Pour avoir la méthode détaillée du calcul des indices uniques selon la réglementation européenne, on peut se référer au livre de Chagué Michel « L'acoustique de l'habitat - principes fondamentaux, application de la réglementation française et européenne », Le Moniteur, 2001.

¹⁵ Selon la norme, l'indice α_w peut être accompagné d'un ou plusieurs indicateurs de forme notés **L**, **M** et **H**, lesquels donnent une indication sur la plage de fréquence où le matériau est particulièrement absorbant (où les valeurs d'absorption excèdent celles de la courbe de référence). **L** pour les fréquences basses (250 Hz), **M** pour les fréquences moyennes (500 et 1000 Hz) et **H** pour les aigues (2000 et 4000 Hz).

¹⁶ Par exemple, une paroi de 40 m² composée d'un matériau dont le coefficient d'absorption $\alpha = 0,25$, est équivalente à une paroi de 10 m² composée d'un matériau parfaitement absorbant (un matériau dont le coefficient $\alpha = 1$). Dans ce cas, 10 m² correspond à l'« aire d'absorption équivalente » de la paroi de 40 m² ayant un coefficient d'absorption α de 0,25.

4.3. Durée de Réverbération

La durée de réverbération T_R 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 $1/10^6$ 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.

On calcul généralement le temps de réverbération d'un local à l'aide de la formule de Sabine:

$$T_R = 0,16 \frac{V}{A} \quad (\text{I.4})$$

Où: T_R : Temps de réverbération en secondes (s), V : le volume du local en mètre cube (m³),
 A : l'aire d'absorption équivalente en mètre carré (m²).

La formule de Sabine est basée sur deux hypothèses selon lesquelles: l'énergie est uniformément répartie (champ diffus homogène) et l'absorption est continue et homogène.

D'autres formules (formules d'Eyring, Millington et Pujolle) ont été proposées mais dans la pratique, la formule de Sabine est unanimement appliquée.

Intensité et pression acoustique du champ réverbéré

En un point d'un local, il y a superposition de deux niveaux sonores, celui dû au champ direct et celui dû au champ réverbéré.

L'intensité acoustique du champ réverbéré I_{rev} étant indépendante de la position du récepteur et de la directivité de la source.

Champ direct et champ réverbéré

Lorsqu'une onde sonore est émise en continu, par une source à l'intérieur d'un local, elle se réfléchit sur les murs et les surfaces solides. Au-delà d'une distance de la source appelée distance critique, les sons réfléchis sont prépondérants. Un nombre infini de réflexions uniformément réparties dans toutes les directions est alors produit. L'ensemble de ces ondes constitue le champ réverbéré caractérisé par un même niveau de pression sonore en chaque point.

De ce fait, le champ direct occupe l'espace situé à une faible distance de la source, tandis que le champ réverbéré occupe la zone du local où le niveau sonore est quasiment constant.

4.4. Indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens

L'indice d'affaiblissement acoustique R caractérise l'aptitude des parois à atténuer la transmission des bruits. Il est mesuré en laboratoire en l'absence de toutes transmissions latérales. Il est exprimé en DB.

- Plus R est élevé, plus la paroi est isolante.

Pour une paroi simple constituée d'un seul matériau, l'indice d'affaiblissement acoustique R varie avec la masse surfacique de la paroi et la fréquence du son incident.

Selon la *loi expérimentale de masse*, plus la paroi est lourde, plus son indice R est élevé¹⁷.

L'indice R varie également avec la fréquence du son frappant la paroi. Selon la loi de fréquence, plus la fréquence de l'onde incidente est élevée, plus l'indice R est élevé¹⁸. C'est pourquoi les fréquences aiguës sont mieux 'stoppées' que les fréquences basses.

Les graphes suivants donnent l'indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi en fonction de sa masse surfacique à 500 Hz et l'indice R d'une paroi en fonction de la fréquence de l'onde incidente, la masse surfacique de la paroi est de 100 kg/m².

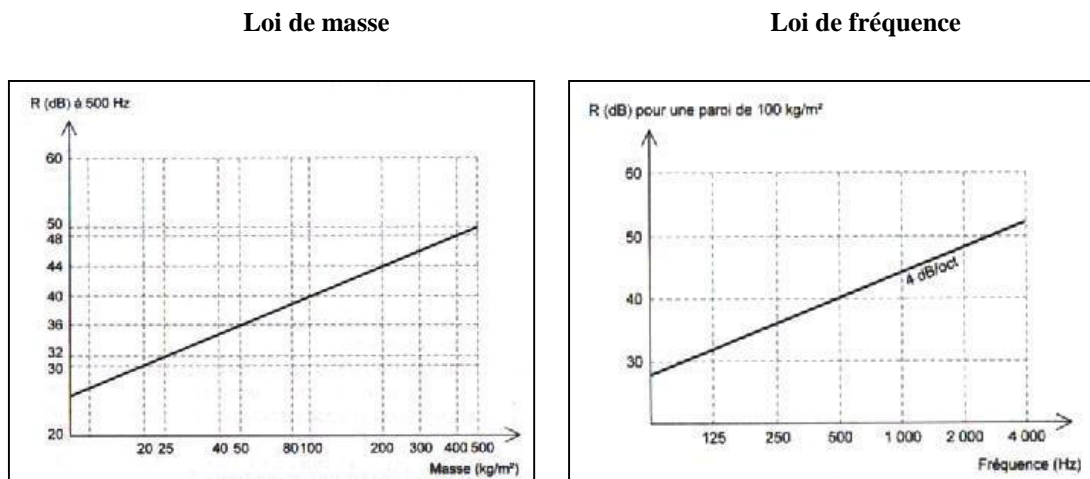


Figure I- 11. Lois expérimentales de masse et de fréquence.

(Source : Loïc Hamayon, 2008)

¹⁷ A une fréquence donnée, l'indice d'affaiblissement acoustique R augmente d'environ 4 dB lorsque la masse surfacique de la paroi est doublée. Ex: A 500 Hz, une paroi simple de 100 kg/m² à un indice R de 40 dB. Pour la même fréquence, R est de 36 dB pour une paroi de 50 kg/m² et de 44 dB pour une paroi de 200 kg/m².

¹⁸ Pour une paroi de masse donnée, l'indice d'affaiblissement acoustique R augmente de 4 dB lorsque la fréquence du son incident est doublée. Ex: Une paroi simple de 100 kg/m² ayant un indice R de 40 dB à 500 Hz, a un indice de 44 dB à 1000 Hz et 48 dB à 2000 Hz. (L'indice augmente de 4 dB par octave).

Quand l'onde sonore frappe la paroi sous une incidence oblique avec une fréquence correspondant à un mode propre de vibration de la paroi, appelée fréquence critique f_c , il se produit une chute de l'indice d'affaiblissement acoustique¹⁹ (due à la propagation d'une onde de flexion le long de la paroi).

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

Tableau I- 1. Valeurs des fréquences critiques des matériaux du bâtiment (Source : Hamayon, 2008)

<i>Matériaux</i>	<i>Masse volumique (kg/ m³)</i>	<i>f_c pour 1 cm d'épaisseur(Hz)</i>
Acier	7800	1000
Aluminium	2700	1300
Béton	2300	1800
Bois (sapin)	600	6000 à 18000
Plâtre	1000	4000
Polystyrène expansé	14	14000

Remarque: La fréquence critique est inversement proportionnelle à l'épaisseur de la paroi. Pour déterminer la fréquence critique d'une paroi homogène, il faut diviser la fréquence donnée dans le tableau par l'épaisseur de la paroi (en cm).

Calcul de l'indice affaiblissement acoustique d'une paroi simple

Les formules empiriques du tableau suivant nous permettent d'évaluer l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi de masse surfacique m_s , exposée soit à un bruit route, soit à un bruit rose. Les abaques (figure I.12) peuvent être aussi utilisés.

La méthode de calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi composée de plusieurs éléments (mur, porte, fenêtre) est en annexe 2.

¹⁹ L'amplitude de la décroissance de R dépend de la rigidité du matériau. Elle peut varier de 3 à 10dB :
 - Matériaux rigides comme l'acier, l'aluminium, le verre et la brique : la chute est d'environ 10 dB ;
 - Matériaux semi-rigides : Béton, plâtre, bois : 6 à 8 dB ;
 - Matériaux mous comme le liège, le caoutchouc, le plomb : 3 à 4 dB.

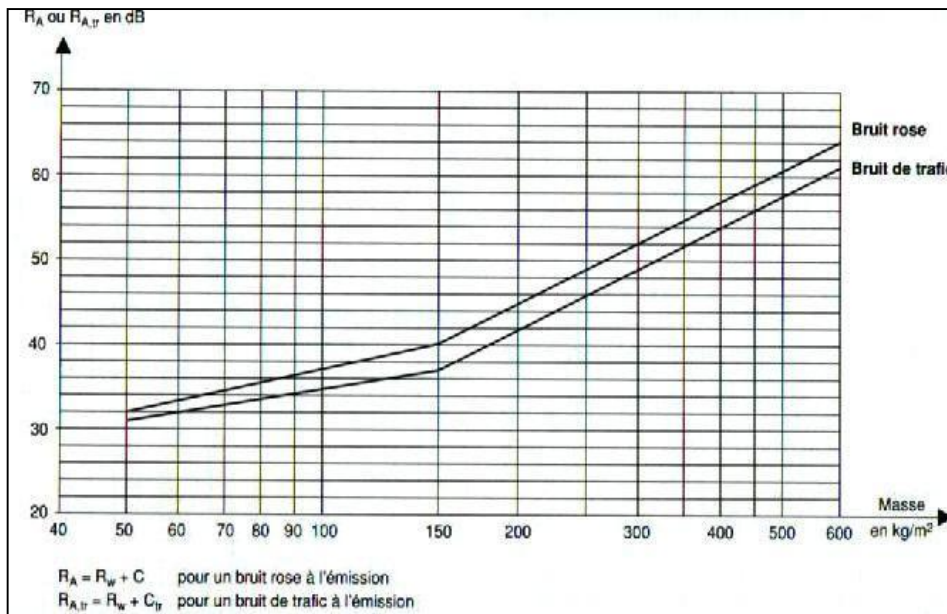


Figure I- 12. Courbes expérimentales de variation de l'indice d'affaiblissement acoustique R en fonction de la masse surfacique de la paroi (Source : Loïc Hamayon, 2006)

Tableau I- 2. Evaluation de l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré pour des parois de masse surfacique m_s exposées à un bruit route ou un bruit rose (Source : Loïc Hamayon, 2006)

<i>Bruit rose</i>	<i>Bruit route</i>
50 kg/m ² $m_s < 150$ kg/m ² (R_w+C) = (17 log m_s) + 3 dB	50 kg/m ² $m_s < 150$ kg/m ² (R_w+C_{tr}) = (13 log m_s) + 9 dB
150 kg/m ² m_s 700 kg/m ² (R_w+C) = (40 log m_s) - 47 dB	150 kg/m ² m_s 670 kg/m ² (R_w+C_{tr}) = (40 log m_s) - 50 dB
$m_s > 700$ kg/m ² , (R_w+C) = 67 dB	$m_s > 670$ kg/m ² , (R_w+C_{tr}) = 63 dB

Pour $m_s < 50$ kg/m², l'indice R_w est déterminée par des essais en laboratoire.

Indices d'affaiblissement acoustique pondérés R_w , R_A et $R_{A,tr}$

Dans la norme européenne, l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré d'une paroi est caractérisé par une valeur unique²⁰ R_w (dB). L'indice R_w est déterminé en comparant les valeurs mesurées par tiers d'octave (16 bandes de tiers d'octave entre 100 et 3150 Hz) à une courbe de référence donnée par la norme²¹.

L'indice R_w est accompagné de deux termes d'adaptation, C et C_{tr} , le premier par rapport à un bruit rose, le second par rapport à un bruit de trafic, soit respectivement $(R_w+C)=R_A$ et $(R_w+C_{tr})=R_{A,tr}$

Ces termes d'adaptation peuvent être déterminés dans plusieurs intervalles par tiers d'octave entre 50 et 4000 Hz. On note dans les rapports d'essais en laboratoire, entre parenthèses à côté de R_w les termes d'adaptation avec en indices la bande de fréquence considérée.

Exemple : $R_w(C_{100-4000}; C_{tr, 100-4000}) = 40 (-2; -5)$, signifie que $(R_w+C) = 40-2 = 38$ dB et que $(R_w+C_{tr}) = 40-5 = 35$ dB

4.5. Isolements acoustiques relatifs aux bruits aériens

L'isolement acoustique brut aux bruits aériens, D_b , exprimé en dB, mesure l'isolement entre deux locaux d'un bâtiment. C'est la différence entre le niveau de pression acoustique L_1 du local d'émission du bruit et le niveau de pression acoustique L_2 du local de réception :

$$D_b = L_1 - L_2 \quad (I.5)$$

$$\text{Ou} \quad D_b = R + 10 \log \frac{A}{S_p} \quad (I.6)$$

Avec R : indice d'affaiblissement acoustique de la paroi séparative (dB); A : aire d'absorption équivalente du local de réception (m^2) ; S_p : surface de la paroi séparatrice (m^2).

L'isolement acoustique est fonction de l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi séparative; de la surface de la paroi séparative²²; des transmissions latérales par les parois liées à la paroi séparative, surtout si les parois latérales sont légères et rigides (cloisons de carreaux de plâtre, de blocs de béton creux, ou de brique creuses) liées à une paroi séparative lourde ; du volume du local de réception²³; de l'aire d'absorption équivalente du local de réception (phénomènes de réverbération qui amplifient le niveau de pression acoustique du local de réception).

²⁰ **Valeur unique** ou **indice unique**: concept introduit depuis 2000 par la normalisation européenne dans un souci de simplifier l'élaboration des cahiers de charges, les procédures de contrôle et de calcul. L'indice unique qualifie la performance acoustique des matériaux et des bâtiments.

²¹ La norme EN ISO 717 pour les valeurs uniques, donne des courbes de références pour obtenir les indices uniques à la fréquence centrale (500 Hz) après translation des courbes de mesures sur les courbes de références.

²² l'isolement est amélioré de 2 à 3 dB si la surface commune à deux locaux est divisée en deux.

²³ l'isolement croît de 2 à 3 dB chaque fois que volume du local de réception est doublé.

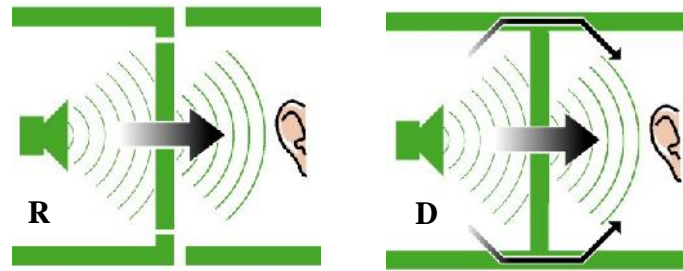


Figure I- 13. Différence entre isolement D et affaiblissement R
(Source: Lafarge, 2010)

Le local de réception pouvant être aménagé ou vide, une correction de la valeur du niveau de pression acoustique du local de réception est ajoutée afin de s'affranchir de la réverbération et de prendre en compte que l'effet de transmissions (directes, latérales ou parasites). On a ainsi défini pour les mesure *in situ* deux indices exprimé en dB, un indice d'isolement normalisé D_n et un indice d'isolement standardisé D_{nT} en comparant les caractéristiques du local de réception à celle d'un local de référence.

Isolement acoustique normalisé D_n :

Le terme correctif est défini par comparaison de l'aire d'absorption équivalente A du local de réception avec l'aire d'absorption acoustique A_0 de référence fixée à 10 m²:

$$D_n = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{A_0} = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{1} \quad (I.7)$$

Isolement acoustique standardisé D_{nT}

Le facteur correctif est défini par rapport au temps de réverbération T_0 de référence fixé à 0,5 s pour les établissements d'enseignement et les bâtiments d'habitation :

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0,5} \quad (I.8)$$

Isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT,w}$, $D_{nT,A}$, $D_{nT,A,tr}$

Dans la normalisation française, l'isolement d'un local est évalué par l'isolement acoustique D_{nT} exprimé en dB(A) soit par rapport à un bruit rose ou par rapport à un bruit route ; les indice pondérés sont symbolisées respectivement par $D_{nT,A}$ (Isolement entre deux locaux) et $D_{nT,A,tr}$ (isolement vis-à-vis de l'espace extérieur)

Le passage de ces indices à l'indice unique $D_{nT,w}$ exprimé en dB imposé par la normalisation européenne est obtenu par l'utilisation de deux terme correctifs (C et C_{tr}) :

$$D_{nT,A} = D_{nT,w} + C \quad (\text{pour un bruit rose}) \quad (I.9)$$

$$D_{nT,A,tr} = D_{nT,w} + C_{tr} \quad (\text{pour un bruit route}) \quad (I.10)$$

Les valeurs mesurées sont comparées aux valeurs d'une courbe de référence dans la gamme 100 à 3150 Hz, la valeur unique étant déterminée à 500 Hz

4.6. Indice de réduction du niveau de bruit de choc L

L'indice de réduction du niveau de bruit de choc L ²⁴ permet d'évaluer l'efficacité d'isolation d'un revêtement ou d'un système flottant. Il est mesuré en laboratoire²⁵. La réduction du niveau de bruit de choc L correspond à la différence arithmétique des niveaux de pression acoustique des bruits de choc normalisé²⁶ régnant dans le local avant et après pose d'un revêtement de sol ou d'un sol flottant. Plus L est élevé, meilleure est la performance du revêtement.

4.7. Niveau de pression acoustique du bruit de choc

Comme pour l'isolement acoustique D , on définit un niveau de pression du bruit de choc normalisé L_n et un niveau de pression du bruit de choc standardisé L_{nT} . Ils sont obtenus par comparaison avec un local de référence en considérant soit les aires d'absorption équivalente en m^2 soit les temps de réverbération du local où se font les mesures et du local de référence :

$$L_n = L_p - 10 \log \frac{A}{A_1} = L_p - 10 \log \frac{A}{1} \quad (I.11)$$

$$L_{nT} = L_p + 10 \log \frac{T}{T_0} = L_p + 10 \log \frac{T}{0,5} \quad (I.12)$$

La norme européenne définit l'indice unique $L'_{nT,w}$ qui est le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé²⁷ exprimé en dB. Plus $L'_{nT,w}$ est petit, meilleure est la performance vis-à-vis des bruits de choc.

$L'_{nT,w}$ dépend de l'efficacité du revêtement de sol ou de la dalle flottante (caractérisée par l'indice de réduction du niveau de bruit de choc pondéré L_w); la qualité du plancher support (qui dépend de l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré (R_w+C)). Plus ce dernier est élevé, meilleure est la performance acoustique vis-à-vis des bruits de choc); le volume du local recevant le bruit (plus il est grand meilleure est la performance vis-à-vis des bruits de choc); les transmissions latérales par les cloisons et les doublages limitant le local de réception; et la position du local de réception par rapport au local d'émission.

²⁴ L'indice unique correspondant est L_w exprimé en dB (norme européenne). Il est obtenu à 500 Hz par comparaison de la courbe des valeurs mesurées entre 100 et 3150 Hz avec la courbe de référence.

²⁵ le revêtement à tester est posé sur un plancher de référence (une dalle pleine en béton d'une épaisseur de 14 cm et de masse volumique de 350 kg/m³) et sa performance est testée par une machine à chocs normalisée.

²⁶ Les niveaux de pression sont relevés par bande d'octave ou de tiers d'octave à plusieurs emplacements afin d'obtenir la réduction moyenne du niveau de bruit de choc.

²⁷ Il est obtenu à 500 Hz par comparaison d'une courbe de référence avec la courbe des valeurs de L_{nT} mesurées dans les bandes d'octave entre 125 et 2000 Hz.

Le niveau de pression pondéré du bruit de choc normalisé $L_{n,w}$, il permet de caractériser par une seule valeur l'isolement des planchers contre les bruit de choc. Il est exprimé en dB et mesuré dans une chambre d'essai en éliminant toutes les transmissions latérales (figure I-14).

$L_{n,w}$ varie en fonction de la masse surfacique du plancher (épaisseur du plancher) dans le cas d'une dalle pleine en béton armé ; et l'indice d'affaiblissement acoustique (R_w+C) pour le plancher à corps creux.

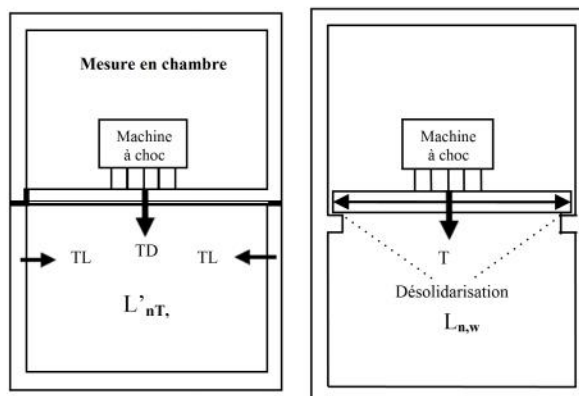


Figure I- 14. Différence entre $L'_{nT,w}$ et $L_{n,w}$ (Source : Hamayon, 2008)

Tableau I- 3. Tableau récapitulatif des différents indices

(Source: Louise Schriver-Mazzuoli, 2007)

Mesures en laboratoire - Performance des produits		
	Anciens indices	Nouveaux indices (valeur unique)
Indice d'affaiblissement acoustique	R_A en dB(A) _{rose} $R_{A, tr}$ en dB(A) _{route}	R_w (C, C _{tr}) en dB
Niveau de pression du bruit de choc	L_{nAT} en dB(A)	$L_{n,w}$ (normalisé) en dB
Réduction de niveau du bruit de choc	ΔL en dB(A)	ΔL_w en dB
Coefficient d'absorption acoustique		α_w
Mesure in situ - Performance du bâtiment		
Isolement acoustique standardisé	$D_{nT, A}$ en dB(A) (bruit rose) $D_{nT, A, tr}$ en dB(A) (bruit route)	$D_{n, w}$ (C) en dB $D_{n, w}$ (C _{tr}) en dB
Niveau de pression acoustique du bruit de choc	L_{nAT} en dB(A)	$L'_{AT, w}$ en dB normalisé $L'_{n, w}$ en dB standardisé
Aire d'absorption équivalente	A en m ²	A en m ² = $\alpha_w \cdot S$

Les méthodes de mesure in situ des différents indices de performance sont en annexe 3

5. Perception auditive, bruit et gêne sonore

L'oreille humaine perçoit l'onde sonore, qui est caractérisée par des grandeurs physiques: amplitude, fréquence et spectres, à travers des sensations physiologiques: intensité, hauteur tonale et timbre (voir annexe 4 système et processus d'audition).

Les sons audibles par l'homme sont générés par des fréquences comprises entre 20 et 20000 Hz ²⁸.

La hauteur d'un son dépend de la fréquence: on distingue les sons graves correspondant aux basses fréquences, les sons médiums et les sons aigus correspondant aux hautes fréquences.

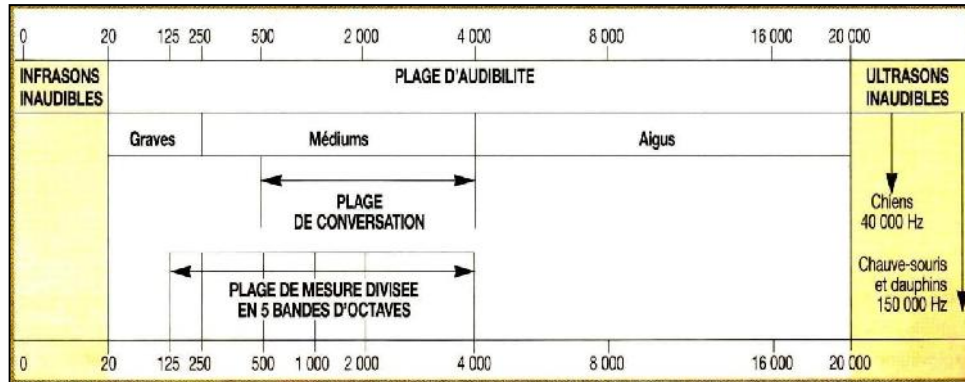


Figure I- 15. Echelle de fréquences audibles

(Source : Les cahiers techniques du bâtiment, n°168, jan fév. 1996)

Dans le domaine du bâtiment, seule est prise en compte une plage réduite de fréquences, décomposées en six bandes d'octave²⁹ centrées sur les valeurs suivantes : 125 – 250 – 500 – 1000 – 2000 – 4000 Hz³⁰.

La fréquence des sons émis intéresse le secteur du bâtiment pour deux raisons essentielles : la qualité isolante des parois et la sensibilité de l'oreille humaine qui ne sont pas les mêmes pour toutes les fréquences.

²⁸ La limite supérieure des fréquences audibles est différente chez les animaux : 150 000 Hz pour les dauphins, 80 000 Hz pour les chiens, 40 000 Hz pour les chats, 4 000 Hz pour les poissons rouges. Les ultrasons de fréquence supérieure à 20 000 Hz et les infrasons de fréquence inférieure à 20 Hz ne sont pas audibles par l'homme. Cependant, les infrasons peuvent affecter notre santé.

²⁹ L'octave est l'intervalle compris entre deux fréquences dont l'une est le double de l'autre.

³⁰ Cette plage est également décomposée en dix-huit bandes de tiers d'octave allant de 100 à 5000 Hz, et même en seize bandes de tiers d'octave allant de 100 à 3150 Hz pour les textes européens.

5.1. Champ auditif

Le champ auditif de l'oreille humaine est représenté par le graphe de Wegel (fig.I-16). Il est limité par deux courbes: La courbe inférieure correspond au seuil d'audibilité³¹ et la courbe supérieure au seuil de douleur³². La sensibilité de l'oreille humaine n'est pas la même à toutes les fréquences. On perçoit mieux les sons aigus que les sons graves³³.

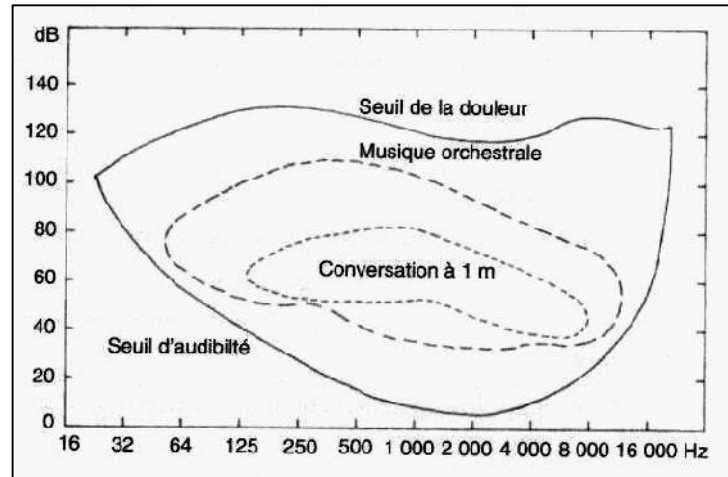


Figure I- 16. Champ auditif (graphique de Wegel)
(Source : Schriver-Mazzuoli Louise, 2007)

Cependant, la meilleure sensibilité est observée entre 500 et 5000 Hz. Les sons, émis par la voix humaine, se situent entre 125 et 8000 Hz lors d'une conversation. A 1 mètre, la voix est perçue à partir de 50 dB pour les sons graves et à partir de 40 dB pour les sons les plus aigus. Dans les mots, les voyelles ne contribuent que de 5% dans la constitution du mot bien qu'elles soient plus audibles que les consonnes de fréquences plus élevées.

5.2. Courbes d'isotonie

La sonie est l'intensité sonore perçue par l'oreille. A ne pas confondre avec l'intensité physique du son mesurée en décibels³⁴, la sonie est un paramètre psychoacoustique qui varie avec le niveau sonore, la fréquence, la nature et la durée des sons.

Les courbes d'isotonie c'est-à-dire des courbes d'égale sensation sonore à toutes les fréquences.

³¹ Le **seuil d'audibilité** : la limite inférieure de la perception sonore ; ce seuil le niveau minimal de pression efficace (pression efficace= pression de référence= $2 \cdot 10^{-5}$ Pa) produisant une sensation auditive à une fréquence donnée. 0 décibels est le seuil d'audibilité à 1000 Hz

³² Le **seuil de douleur** : représente le niveau de pression efficace au-delà duquel la sensation produite est celle de la douleur. Le seuil de douleur se situe aux alentours de 120 dB.

³³ Un son de fréquence 1000 Hz et de niveau d'intensité 40 dB paraît moins fort qu'un son de fréquence 300 Hz et de niveau d'intensité 49 dB.

³⁴ Afin de réaliser une mesure représentative du niveau physiologique à l'aide du sonomètre, il est nécessaire d'introduire une correction qui reproduit sensiblement les courbes d'égale sensation de l'oreille. Les courbes représentant les corrections apportées par les filtres, en fonction des fréquences, sont appelées courbes de pondération. La principale étant la courbe de pondération A, le niveau mesuré s'exprime alors en dB(A).

6. Réglementation algérienne pour la lutte contre le bruit

6.1. Les Lois

- Loi n° 83-03 du 05 février 1983 relative à la protection de l'environnement.

Dans son chapitre 5 relatif à la protection contre les nuisances du bruit, l'article 119 rend responsable toute personne physique ou morale lorsqu'il y a émission de bruit susceptible de causer une gêne à autrui en les obligeant dans son article 120 à mettre en œuvre toutes les dispositions utiles pour les supprimer. L'article 121 stipule que des décrets prendront en charge les prescriptions visées aux articles 119 et 120.

- Loi n° 01-20 du 12 décembre 2001, relative à l'aménagement et au développement durable du territoire.
- Loi n° 03-10 du 19 juillet 2003³⁵ portant sur la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, formule dans son titre 4- chapitre II des prescriptions de protection contre les nuisances sonores dans les articles 72 et 75.

6.2. Les arrêtés

- Arrêté du 25 février 1964, relatif à la lutte contre le bruit excessif, vise à sensibiliser les personnes à la lutte contre le bruit sur les lieux publics (voie publique) et sur les lieux de travail, d'interdire toute utilisation et emploi de dispositifs émettant du bruit, qui sont susceptibles de troubler le repos et la tranquillité des habitants, ainsi que l'interdiction des bruits produits à l'intérieur et à l'extérieur de l'habitation qui peuvent empêcher et gêner la tranquillité du voisinage.

- Arrêté du 13 avril 1972, relatif à la mesure du bruit produit par les véhicules automobiles et aux conditions imposées aux dispositifs dits silencieux, fixe les mesures et les dispositifs à respecter pour le bruit causés par les véhicules automobiles et les moyens de transport, qui sont considérés comme la première source de bruit dans l'environnement.

- Arrêté du 17 octobre 2004³⁶ portant approbation du cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente. La réglementation phonique exige que le niveau sonore ne doit pas dépasser 38 dB(A) pour les pièces habitables et 45 dB(A) pour les pièces de service pour des niveaux de bruit d'émission ne dépassant pas :

- 86 dB(A) pour les locaux d'habitation ;
- 76 dB(A) pour les circulations communes.

³⁵ Journal Officiel de République Algérienne JORA n°43 du 20/07/2003

³⁶ Id, n°13 du 16/02/2005. p.20. [En ligne], www.joradp.dz

- 91 dB (A) pour les locaux à usage autres que ceux cités précédemment.

Pour les bruits d'environnement extérieurs aux bâtiments à usage d'habitation et conformément au décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 on prendra 76 dB(A) pour la période diurne et 51 dB(A) pour la période nocturne.

- Arrêté du 12 janvier 2006 modifiant l'arrêté du 13 avril 1972, relatif au bruit des véhicules automobiles.

6.3. Les décrets exécutifs

- Décret exécutif n° 91-175 du 28 mai 1991³⁷ définissant les règles générales d'aménagement d'urbanisme et de construction. L'article 4 de ce décret stipule que lorsque les constructions sont susceptibles en raison de leur localisation d'être exposées à des nuisances graves dues notamment au bruit, le permis de construire peut être refusé ou n'être accordé, que sous réserve des prescriptions spéciales édictées par les lois et règlements en vigueur.

- Décret exécutif n° 93- 184 du 27 juillet 1993³⁸ réglementant l'émission des bruits en application de l'article 121 de la loi n°83-03 du 5 février 1983, susvisée.

- Art. 2: Les niveaux sonores maximums admis dans les zones d'habitation et dans les voies et lieux publics ou privés sont de 70 décibels (70 dB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 45 décibels (45 dB) en période nocturne (22 heures à 6 heures).

- Art. 3: Les niveaux sonores maximums admis au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignement et dans les aires de repos et de détente ainsi que dans leur enceinte sont de 45 décibels (dB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 40 décibels (dB) en période nocturne (22 h à 6 h).

- Art. 4: Sont considérés comme une atteinte à la quiétude du voisinage, une gêne excessive, une nuisance à la santé et une compromission de la tranquillité de la population, toutes les émissions sonores supérieures aux valeurs limites indiquées aux articles 2 et 3 ci-dessus.

- Art. 7: Les infrastructures sont construites, réalisées et exploitées en tenant compte des bruits aériens émis par leurs activités.

- Art. 8: Les constructions à usage d'habitation ou à usage professionnel sont conçues et réalisées en tenant compte de la qualité acoustique des murs et planchers.

³⁷Journal Officiel de la République Algérienne n°26 du 01/06/1991 p.289. [En ligne], www.joradp.dz

³⁸Id, n°50 du 28/07/1993 p.10. [En ligne], www.joradp.dz

6.4. Le document technique réglementaire DTR C 3.1.1

En plus des lois et décrets suscités, le document technique réglementaire, DTR C 3.1.1 intitulé

« Isolation acoustique des parois aux bruits aériens, règles de calcul »³⁹, définit les méthodes de détermination de l'indice d'affaiblissement acoustique des parois de construction et le calcul de l'isolement brut des parois vis-à-vis des bruits aériens.

La méthode de calcul définie dans ce document s'applique à l'ensemble des bâtiments et à tous les types de parois

Ce document technique réglementaire, approuvé par la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (CTP), s'insère dans le cadre d'une politique nationale qui vise à lutter contre toute forme de nuisance et plus particulièrement les nuisances sonores.

L'arrêté du 27 mars 2004, portant approbation du DTR C 3.1.1, a été publié dans le journal officiel de la République Algérienne Démocratique n° 23 du 14 Avril 2004.

Conclusion

Les bruits émis par différentes sources sonores sont très variés en fréquence, intensité, composition et durée. C'est pourquoi des indicateurs de bruit, décrits dans des normes, ont été définis pour évaluer les différentes situations.

La gêne sonore est un effet psychologique associé au bruit, dépendant de la perception subjective du bruit et sa tolérance qui varient d'un individu à l'autre.

Cependant, des phénomènes sonores variés s'imposent à nous au quotidien, et mis à part leurs gênes occasionnées, ces derniers sont omniprésents dans notre environnement, lieu de vie, de travail et de loisir. Leur impact sur la santé et sur la performance de l'individu est considérable. Il est donc important de se protéger de ces nuisances en adoptant des stratégies, pour le confort acoustique des espaces aménagés, objet du prochain chapitre.

³⁹ CNERIB, DTR C.3.1.1. *Isolation acoustique des parois aux bruits aériens - Règles de calcul*, Alger, 2004

Introduction

Les acousticiens distinguent deux types de bruit selon leurs modes de transmission dans le bâtiment: Les bruits aériens qui se transmettent par l'air ambiant, se subdivisent en bruits provenant de l'extérieur du bâtiment (bruit de transport) et ceux provenant des locaux voisins (bruits aériens intérieurs, les conversations, la télévision...). Les bruits solidiens se transmettent par la structure du bâtiment, tels que les bruits d'impacts (déplacement des personnes, des meubles, la chute d'objets...) et les bruits des équipements (ascenseurs, la robinetterie, la VMC, etc)

L'isolation acoustique des bâtiments contre les différents types de bruits est l'ensemble de dispositifs pour réduire ou stopper la transmission des bruits vers les locaux sensibles. Elle dépend des matériaux utilisés, des techniques de mise en œuvre, de l'architecture et de l'environnement du bâtiment. A ne pas confondre avec la correction acoustique qui consiste à traiter l'absorption et la réflexion des sons à l'intérieur des espaces afin d'atténuer le phénomène de réverbération.

1. L'onde sonore et la paroi

Quand une onde sonore rencontre un obstacle rigide comme le mur intérieur d'un local, paroi séparative entre deux locaux ou la façade d'un bâtiment, elle met en vibration la structure de celui-ci. L'obstacle devient alors à son tour source d'une vibration sonore qui sera à la fois partiellement transmise, partiellement absorbée et aussi partiellement réfléchi.

Le schéma suivant montre le comportement d'une paroi soumise à une énergie acoustique E_I .

$$E_I = E_A + E_T + E_R \quad (\text{II.1})$$

Avec: E_I : énergie acoustique incidente, E_A : énergie absorbée, E_T : énergie transmise, E_R : énergie réfléchi.

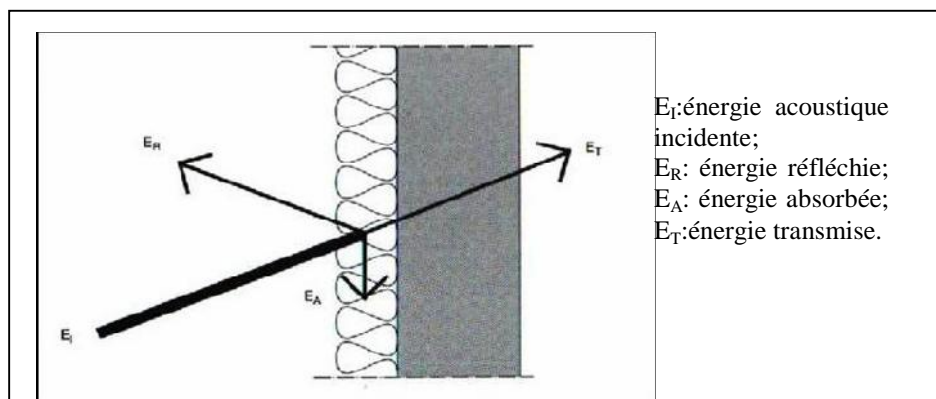


Figure II- 1. Absorption, transmission et réflexion de l'onde acoustique (Source : Hamayon Loïc, 2006)

On appelle: $\alpha = E_A/E_I$, coefficient d'absorption; $\tau = E_T/E_I$, coefficient de transmission; $\rho = E_R/E_I$, coefficient de réflexion. Avec $\alpha + \tau + \rho = 1$

2. Conditions du confort acoustique

Pour obtenir un confort sonore à l'intérieur d'un espace aménagé, il faut:

- Maîtriser la réverbération, de sorte que les sons utiles et désirés puissent se propager correctement, avec suffisamment d'intensité et sans déformation pour être facilement perçus. On parle alors, de correction acoustique.
- Limiter la transmission des bruits en provenance de l'extérieur (moyens de transport, activités industrielles et commerciales, jeux et cris d'enfants...), des espaces adjacents (bruits aériens, bruits d'impact ou de chauffage, ventilation, ascenseur, etc.). C'est-à-dire une bonne isolation acoustique. Cependant, il ne faut pas confondre isolation et correction acoustique. Ces deux stratégies sont généralement indissociables pour obtenir un confort sonore mais interviennent différemment pour ce qui est du mode opératoire (figure II-2).

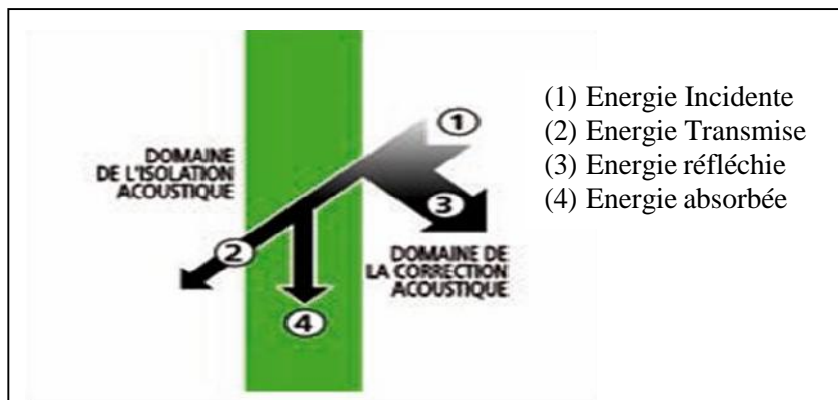


Figure II- 2. Isolation et correction acoustique
 (Source: Lafarge, 2010)

3. Principes de l'isolation acoustique des bruits aériens

3.1. Modes de transmission des bruits aériens

Les bruits aériens se transmettent de l'extérieur du bâtiment vers l'intérieur ou d'un local à l'autre par les trois voies de transmission suivantes:

- Transmissions directes (TD) à travers les parois opaques (façade, paroi séparative, toiture, plancher) et les baies;
- Transmissions latérales (TL) à travers les parois liées à la façade, à la paroi séparative, au plancher ;
- Transmissions parasites (TP) par les gaines techniques, VMC, entrée d'air, coffres de volets roulants, défauts d'exécution....etc.

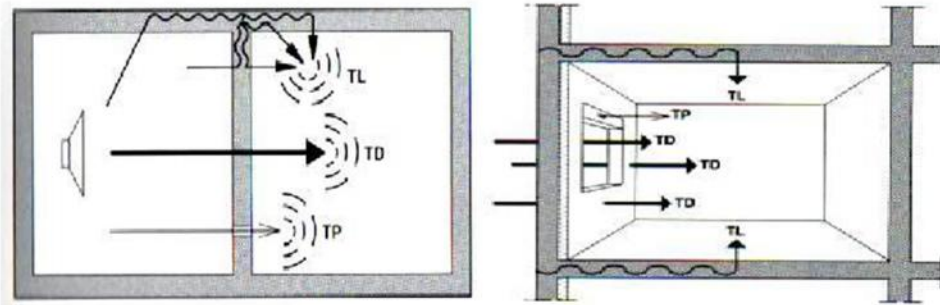


Figure II- 3. Modes de transmission des bruits aériens intérieurs et extérieurs.
(Source : Hamayon Loïc, 2006)

3.2. Principe de masse

Un premier principe en matière d'isolation est celui de la « loi de masse » : plus un mur est lourd, plus il isole. Nous avons expliqué dans le chapitre précédant, que doubler la masse surfacique d'une paroi simple apporte en pratique une amélioration de l'indice d'affaiblissement de l'ordre de 4 dB, or il n'est pas possible de doubler indéfiniment la masse surfacique pour améliorer l'isolation acoustique pour des soucis de structure, de surface utile et de coût. La solution consiste à utiliser une paroi double qui a, en générale, un indice d'affaiblissement acoustique supérieur à celui d'une paroi simple de même masse surfacique.

La figure II-4 présente les variations de l'indice d'affaiblissement de deux parois simples (épaisseur [e] courbe noire, épaisseur [2e] courbe bleu) en fonction de la fréquence du bruit.

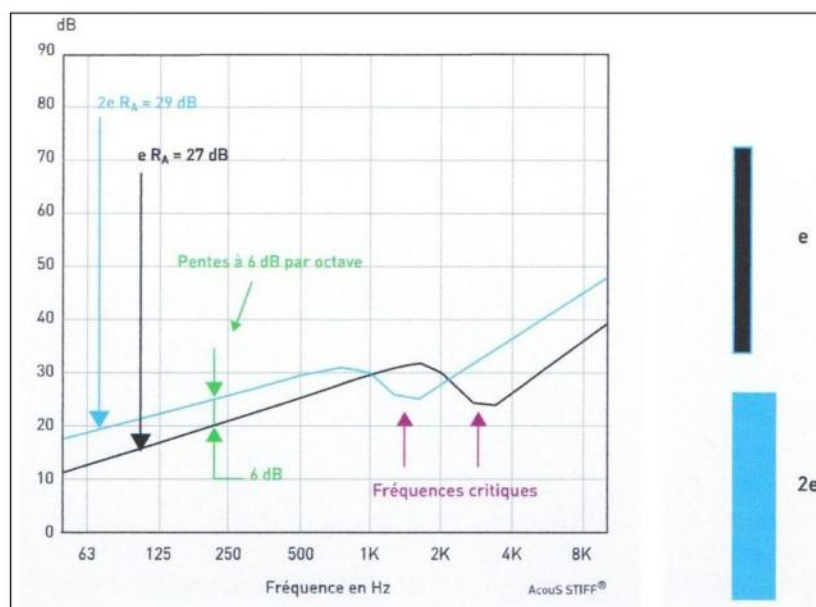


Figure II- 4. Principe de masse
(Source : <http://www.bpbplaco.com>)

3.3. Principe de double paroi

Le second principe est celui de la double paroi (système masse-ressort-masse), celle-ci est constituée de deux parois simples séparées par une lame d'air remplie ou non d'un matériau absorbant. Dans ce type de paroi, l'air joue le rôle d'un ressort et le matériau absorbant (laine minérale ou mousse élastique) absorbe l'énergie des molécules d'air en mouvement, jouant ainsi le rôle d'amortisseur. L'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi double est largement supérieur à celui d'une paroi simple de même masse surfacique (sauf pour certains vitrages doubles).

L'indice R de la paroi double dépend des paramètres suivants :

- La masse surfacique des parements,
- L'épaisseur de la lame d'air,
- L'épaisseur et la nature de l'absorbant acoustique entre les deux parements,
- La fréquence critique des parements,
- La nature des liaisons (ponctuelle, linéiques, surfaciques, rigides, souples, etc.)

Quand les deux parements sont identiques, leurs fréquences critiques ont les mêmes valeurs et la chute de l'indice R de la paroi est très accentuée. Il est donc préférable d'utiliser des parements d'épaisseurs différentes¹.

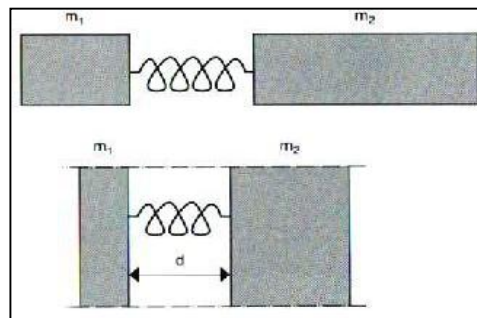


Figure II- 5. Représentation schématique d'une double paroi

(Source: Hamayon, 2006)

Cependant, une double paroi possède une fréquence de résonance pour laquelle les sons, ne subissent pas une atténuation efficace (indice R diminue). La fréquence de résonance f_r est obtenue par la formule suivante:

$$f_r = 84 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad (\text{II-1})$$

Où : d : distance séparant les deux parements (m) ; m_1 et m_2 : masses surfaciques des deux parements (kg/m^2).

¹ Le double vitrage 4(6)4 avec une fréquence de résonance située dans les fréquences médiums (les plus perceptibles par l'oreille humaine) est moins performante qu'une paroi simple à masse égale. Pour améliorer son indice R il faut déplacer la fréquence de résonance vers les fréquences basses en augmentant la distance entre les parements et/ou la masse surfacique des parois.

Afin que l'indice d'affaiblissement acoustique R de la paroi double soit efficace, la fréquence de résonance doit être la plus basse possible. On augmente alors la distance entre les parements et la masse surfacique des parois.

Les fréquences de résonance de la lame d'air sont obtenues par la formule suivante :

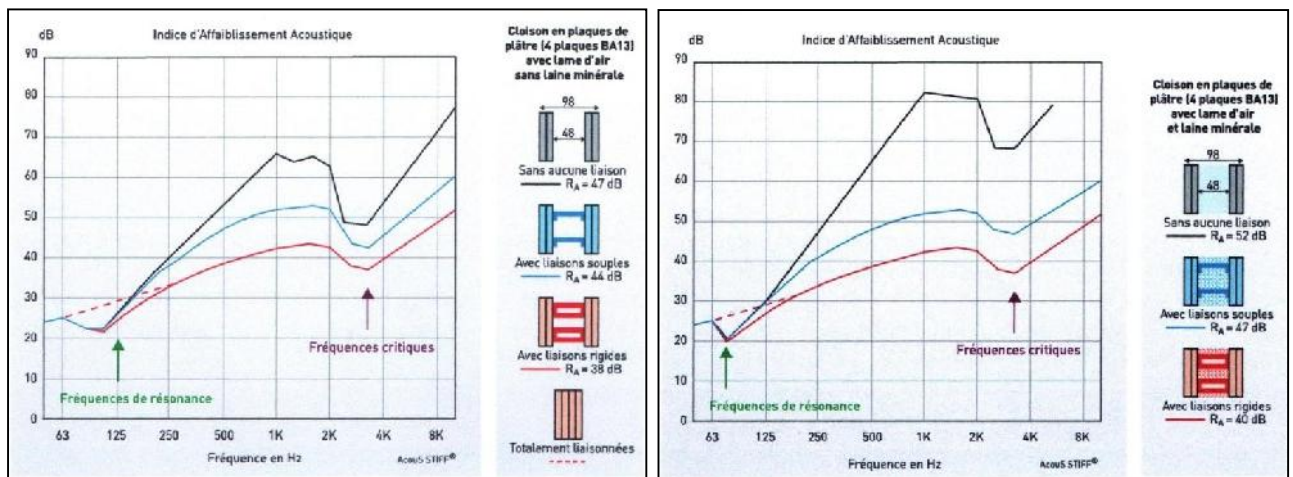
$$f_r = \frac{1}{d} \quad (II.2)$$

Où: d : distance entre les parements (m) ; n : nombre entier positif (1, 2, 3, 4....).

Pour éviter les réflexions multiple à l'intérieur de la lame d'air et la formation des ondes stationnaires qui diminuent la performance acoustique de la paroi double, il faut placer un absorbant acoustique de type laine minérale entre les deux parements.

Les graphes (figure II-6) montrent les variations de l'affaiblissement R en fonction de la fréquence pour une double paroi sans isolant et la même double paroi avec laine de verre.

Pour optimiser ce système, il faut maintenir la fréquence de résonance dans les fréquences les plus basses (en dehors de la gamme de fréquence usuelles) et limiter les liaisons entre parements.



A gauche: double paroi sans isolant
A droite: double paroi avec laine de verre

Figure II- 6. Principe de la double paroi
(Source: <http://www.bpbplaco.com>)

Le graphe suivant montre les différents indices d'affaiblissement acoustique de plusieurs type de parois (paroi simple, double et triple).

A épaisseur et masse égale, une paroi triple est moins performante qu'une paroi double optimisée. On remarque aussi, que lorsque le matériau remplissant la lame d'air d'une paroi multiple est trop rigide, la fréquence de résonance de la paroi coïncide avec les fréquences usuelles et de ce fait la paroi multiple est moins performante qu'une paroi simple de même masse.

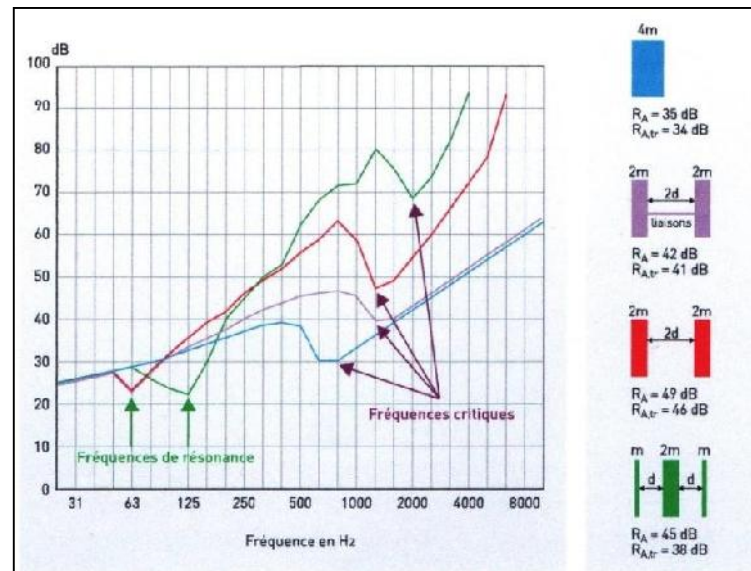


Figure II- 7. Comparaison des indices d'affaiblissement acoustique de parois simple, double et multiple (Source : <http://www.bpbplaco.com>)

L'utilisation d'une paroi double permet donc d'atteindre des isollements très largement supérieurs à ceux d'une paroi simple.

En rénovation, il s'agit en premier lieu d'améliorer l'étanchéité à l'air des parois existantes (par un enduit). Sinon, on a recourt à des panneaux de laine minérale ou de polystyrène expansé élastifié qu'il est possible soit de coller sur la paroi existante pour améliorer sa performance acoustique, soit de les fixer sur les murs ou plafonds grâce à une ossature métallique.

3.4. Principe d'étanchéité

Là où l'air passe, le bruit passe. Fenêtres, bas de portes, coffres de volets roulants, entrées d'air, mauvaise étanchéité en pied de cloison, sont autant de sources de mauvaise étanchéité qu'il convient de ne pas négliger pour obtenir une acoustique satisfaisante.

3.5. Implantation et conception des bâtiments

Préalablement à l'implantation des bâtiments, il est nécessaire de localiser les sources de bruit fixes ou mobiles, de déterminer leurs natures, moments et durées d'émission. Il faut prendre en considération l'évolution future des niveaux sonores (ex : augmentation du trafic routier), le relief du site et constructions existantes susceptibles de générer du bruit.

La disposition des volumes bâtis modifie la propagation des sons. Ainsi les espaces plus ou moins ouverts permettent de canaliser ou de masquer les bruits (fig.II-9). Les rues amplifient différemment les sons suivant leur largeur et la hauteur des bâtiments qui les bordent (fig.II-8). A largeur égale, une rue bordée par des bâtiments hauts est plus bruyante qu'une rue bordée par des bâtiments bas. A cet égard, l'urbanisme des pays du Maghreb, urbanisme fermé, est exemplaire.

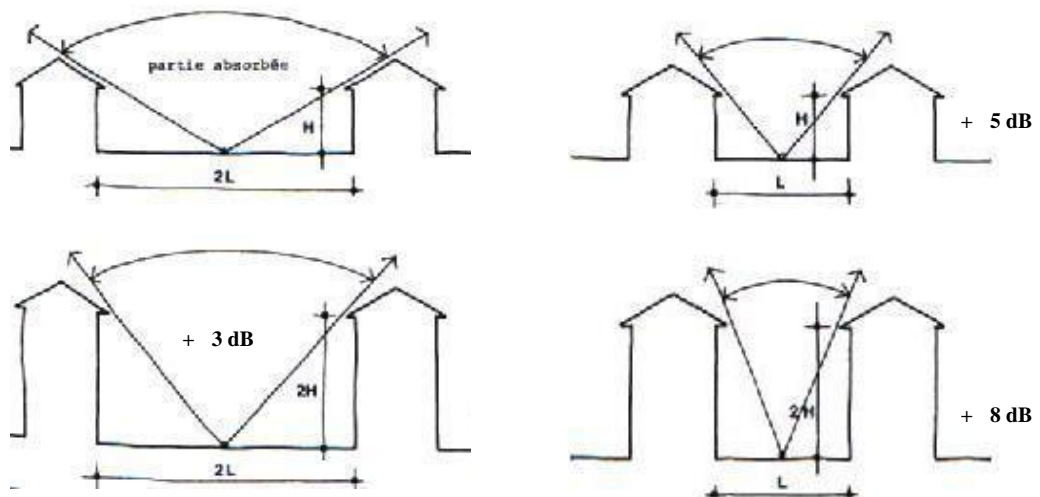
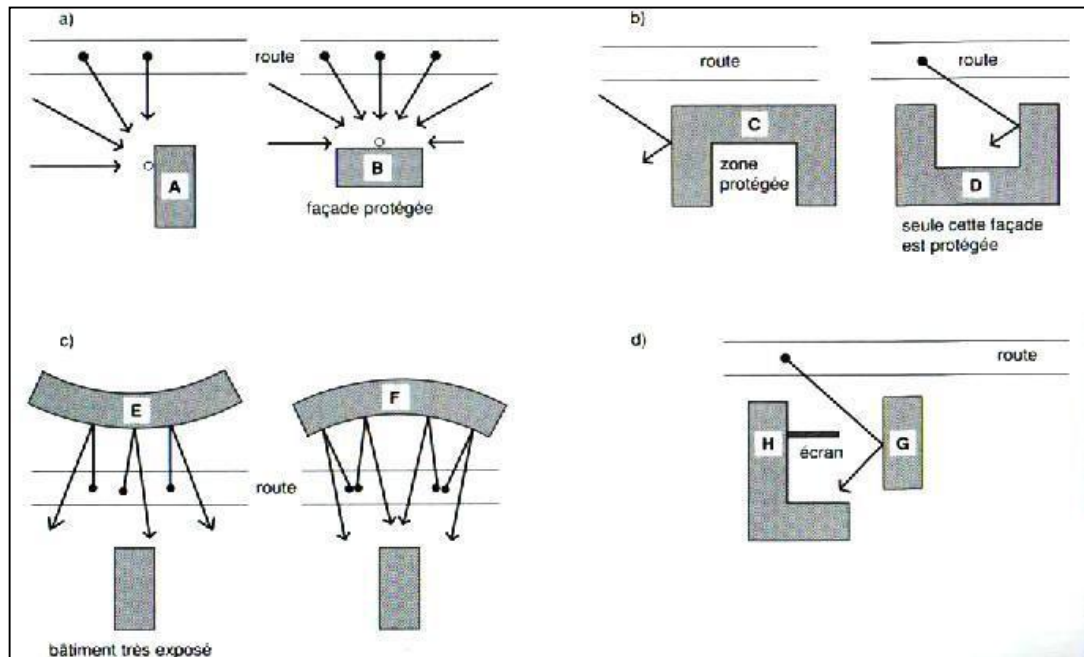


Figure II- 8. Influence des profils de rues

(Source : Hamayon et Michel, 1982)

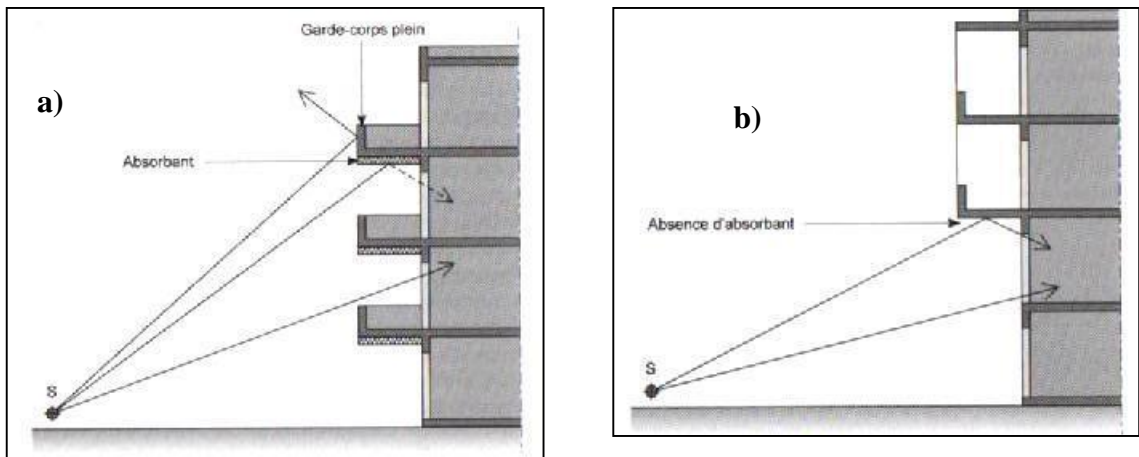
Pour protéger les espaces sensibles (chambre à coucher, salles de classe, jardin intérieur...) des bruits, en tenant compte du fait que les façades réfléchissent les ondes sonores, plusieurs solutions peuvent être envisagées telles que :

- La création de cours intérieures, les constructions entourant la cour constituent des écrans au bruit .
- La pose de jardinières ou terrasses en retrait.
- La création de passages couverts piétonniers.
- La création de balcons à garde-corps plans, comportant sous la face un revêtement absorbant et vus sous un angle de site du point de la voie bruyante supérieur à 30° (fig.II-10).
- La création d'espace tampon tels que les loggias fermées.



- a) La façade à l'opposé de la rue du bâtiment B est la plus protégée. Les façades du bâtiment A sont moins exposées aux bruits que la façade côté rue du bâtiment B ;
- b) Le bâtiment D est moins protégé que le C ;
- c) La forme convexe (bâtiment E) diffuse le bruit, en revanche, la forme concave du (bâtiment F) les focalise.
- d) Le bâtiment G réfléchit les sons vers le bâtiment H.

Figure II- 9. Exemples de situations de bâtiments vis-à-vis des nuisances sonores



- a) Diminution du bruit à l'intérieur des locaux apportée par les balcons.
- b) Augmentation du bruit causée par le balcon

Figure II- 10. Influence de la conception des balcons dans la propagation des bruits
(Source : Hamayon, 2008)

L'agencement et répartition des locaux sont très importants dans l'atténuation des bruits aériens intérieurs, les mesures suivantes sont recommandées:

- Isoler les pièces principales des circulations communes par des couloirs, des lieux de rangements ;
- Eviter de placer les pièces à vivre près des cages d'escalier ou locaux techniques ;
- Eloigner l'entrée des garages des logements ;
- Créer des espaces tampons entre les pièces.

3.6. Qualité de l'enveloppe du bâtiment

L'isolement acoustique d'un bâtiment par rapport aux bruits extérieurs dépend essentiellement de la qualité des éléments de la façade et de la toiture.

3.6.1. Parois Lourdes

Réalisées en maçonnerie ou en béton, ces éléments de façade répondent, du point de vue acoustique, à la loi de masse. Elles ont un indice d'affaiblissement acoustique nettement supérieur à celui des fenêtres qui y sont insérées. Ces parois sont généralement complétées d'un doublage thermique intérieur ou extérieur qui, suivant la nature de l'isolant, améliore (cas des isolants à cellules ouvertes tels la laine minérale et les isolants élastifiés) ou diminue (cas des isolants à cellules fermées tels le polystyrène ou le polyuréthane) sensiblement l'affaiblissement acoustique de la paroi. Pour améliorer l'isolation acoustique des façades lourdes ce ne sont pas ses parties pleines (les murs) qu'il faut traiter mais plutôt ces fenêtres, portes-fenêtres et bouches d'entrées.

Le tableau II-1 présente quelques indices d'affaiblissement acoustique pondérés (R_w+C_{tr}) et (R_w+C) de murs extérieurs en dB.

Tableau II- 1. Exemples d'indices d'affaiblissement acoustique pondérés de murs extérieurs.

(Source :Hamayon, 2008)

<i>Composition du mur extérieur</i>	<i>(R_w+C) (dB)</i>	<i>(R_w+C_{tr})(dB)</i>
Béton 16 cm + PSE 80 mm + PP 10 mm	55	50
Béton 16 cm + PSEE 80 mm + PP 13 mm	66-68	59-63
Béton 16 cm + LM 80 mm + PP 10 mm	61-67	53-62
Béton 16 cm + LM 85 mm + PP 13 mm sur SM	72	67
BBC 20 cm + PSE 80 mm + PP 10 mm	50-54	46-51
BBC 20 cm + PSEE 80 mm + PP 13 mm	71	64
BBC 20 cm + LM 80 mm + PP 10 mm	62-68	55-61
BBC 20 cm + LM 85 mm + PP 13 mm sur SM	70	65

BBC : bloc de béton creux – *PSE* : polystyrène expansé – *PSEE* : polystyrène expansé élastifié –

LM : laine minérale – *SM* : structure métallique – *PP* : plaque de plâtre.

3.6.2. Parois légères

Les performances acoustiques des parois légères à ossatures en bois² sont celles des parois doubles, elles dépendent de la nature des composants, de leurs dimensions, de l'étanchéité à l'air des jonctions entre les éléments et de la mise en œuvre.

Dans le but d'améliorer leur affaiblissement acoustique, on réalise un complexe de doublage de type laine minérale + plaque de plâtre transformant ainsi la paroi double en paroi triple, mais les résultats ne sont pas toujours satisfaisants. Alors pour améliorer les qualités acoustique des façades légères, il est recommandé de:

- Renforcer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe au niveau de la liaison avec les autres éléments de la construction (maçonnerie, éléments de toiture...);
- Augmenter la masse de la paroi intérieure en appliquant plusieurs plaques de plâtre superposées;
- Désolidariser la paroi intérieure de l'ossature et d'augmenter l'espace entre les parois.

3.6.3. Bardage métallique

La plupart des bâtiments industriels, agricoles et commerciaux sont réalisés avec un bardage métallique double peau.

Un bardage standard est composé de deux parements galvanisé de 75/100 mm séparés de deux couches de laine minérale de 30 et 80 mm. Quand le parement intérieur de ce bardage est perforé (pour la correction acoustique) l'indice d'affaiblissement acoustique (R_w+C_{tr}) de l'ensemble est d'environ 30 dB et de 40 dB quand le parement intérieur est plein.

Les bardages triples peau permettent d'obtenir une bonne isolation acoustique avec un indice (R_w+C_{tr}) de 40 dB, associée à une bonne correction acoustique avec un indice α_w de 0,85.

Pour améliorer les performances acoustiques des bardages, il est conseillé de :

- Prévoir une peau extérieure en matériaux lourds (Pierre, plaques de béton...)
- Ecarter les parements pour augmenter l'épaisseur de la laine minérale.

²Elles sont composées d'éléments modulaires réalisés en atelier, associant une structure porteuse en bois, des panneaux raidisseurs en particules de bois agglomérées et un remplissage en laine minérale. Ces modules reçoivent un habillage intérieur en plaque de plâtre le plus souvent monté sur ossature métallique indépendante. L'habillage extérieur peut-être de diverses natures : bardage en bois, panneaux peints ou enduits

3.6.4. Vitrages et menuiserie

Les fenêtres et les baies constituent les éléments de façade les plus critiques d'un point de vue acoustique. Leurs efficacités dépendent:

- de l'étanchéité à l'air ;
- de la qualité du vitrage ;
- de la menuiserie et du type d'ouvrant.

Du point de vue acoustique, les simples vitrages se distinguent essentiellement par leur masse. Au voisinage de la fréquence critique du vitrage l'isolement acoustique est diminué.

L'épaisseur des verres utilisés est généralement déterminée par la nécessité de résister aux chocs. Cependant, pour une protection suffisante vis-à-vis des bruits extérieurs, on choisira des verres plus épais, donc plus lourds. Dans ce cas, les menuiseries et leurs organes de manœuvre doivent être adaptés aux poids des vitres.

Les simples vitrages présentent, en générale, de mauvaises qualités acoustique et thermique si leurs épaisseurs sont faibles (tableau II-2). Les pays industrialisés ont recours de plus en plus aux doubles vitrages et doubles vitrage à feuilleté acoustique pour améliorer les performances acoustiques des façades.

Pourtant, il a été prouvé qu'à masse totale égale, l'indice d'affaiblissement d'un vitrage simple est plus élevé que celui d'un double vitrage avec les vitrages symétriques de même épaisseur (voir tableau II-2). De plus, avec une lame d'air de quelques millimètres, la fréquence de résonance du double vitrage se situe dans la gamme des fréquences audibles.

Les meilleures performances acoustiques sont obtenues avec un double vitrage de type asymétrique³.

Les vitrages feuilleté acoustique⁴ permettent d'atténuer l'effet de fréquences critiques et obtiennent un $R_{A,tr}$ supérieur à 35 dB. Les vitrages feuilletés acoustiques montés en double vitrage permettent un gain de l'affaiblissement acoustique de 10 dB par rapport à des doubles vitrages d'épaisseurs similaires (tableau II-2).

Le tableau II-2 présente les indices d'affaiblissement acoustique pondérés de quelques vitrages simples, doubles vitrages et doubles vitrages à feuilleté acoustique.

³ Le double vitrage asymétrique est composé de vitrages d'épaisseurs différentes, par exemple, un double vitrage 4(6)10 est composé d'un premier verre d'épaisseur 4 mm, d'une lame d'air de 6 mm et d'un second vitrage de 10 mm, il permet d'obtenir un indice $R_{A,tr}$ de 32 dB.

⁴ Les vitrages feuilletés acoustiques sont composés de deux ou plusieurs feuilles de verre, assemblés par un ou plusieurs films de polyvinyle ou couches de résine de synthèse.

Tableau II- 2. Indices d'affaiblissement acoustiques pondérés de différents types de vitrages

Type de vitrage	Epaisseur (mm)	Poids Kg/m ²	Classe Cékal*	R _w (dB)	R _{A,tr} (dB)
Simple vitrage	4	10	-	30	27
	5	12,5	-	30	28
	6	15	-	31	29
	8	20	-	32	30
	10	25	-	33	31
	12	30	-	34	32
Double vitrage de type symétrique	4(6)4**	20	I	30	27
	4(8)4	20	I	30	27
	4(12)4	20	I	30	27
	5(12)5	25	II	32	28
	6(12)6	30	II	33	30
	8(10)8	40	III	34	31
Double vitrage de type asymétrique	4(6)6	25	II	34	30
	4(6)8	30	III	35	31
	4(6)10	35	III	35	32
Double vitrage à feuilleté acoustique	44.1A (12)8	40,5	V	40	35
	44.1A(12)10	45,5	VI	41	37
	44.1A(20)55.1A	48	VI	47	40

*la certification Cékal (organisme certificateur des vitrages isolants) garantit la qualité des vitrages isolants et le suivi de la production. Elle repose sur 06 classes de performances.

Classes de performances acoustiques	I	II	III	IV	V	VI
Indice R _{A,tr} (R _w +C _{tr}) minimal (dB)	25	28	30	33	35	37

**Un double vitrage noté 4(6)4, les premier et troisième chiffres indiquent l'épaisseur des vitrages, le deuxième chiffre entre parenthèses indique l'épaisseur de la lame d'air, en mm.

Un vitrage acoustique noté 44.1A(12)8 correspond à deux vitres de 4 mm séparées par une feuille de résine de 1 mm, d'une lame d'air de 12 mm et d'une vitre de 8 mm.

L'affaiblissement acoustique d'une fenêtre dépend, également, de la qualité de la menuiserie⁵. Si la nature du matériau composant la menuiserie (bois, aluminium, PVC) n'a pas d'incidence notable sur la qualité acoustique de la fenêtre, l'étanchéité à l'air entre l'ouvrant et le dormant est en revanche fondamentale. De ce fait, les châssis coulissants sont moins performants que les châssis à frappe.

L'indice d'affaiblissement acoustique pondéré $R_{A,tr}$ qui caractérise les performances acoustique de l'ensemble menuiserie-vitrage est déterminé lors d'essais en laboratoire.

3.6.5. Toitures

Les transmissions des bruits extérieurs peuvent se faire par l'intermédiaire des toitures et parois liées à celles-ci. Les toitures sont en particulier exposées au bruit des avions, d'autant plus que leur surface, fonction de la pente, est grande.

Selon les matériaux utilisés, l'indice d'affaiblissement acoustique peut varier de 15 à 30 dB. Les toitures sous combles perdus ayant un plancher distant d'au moins 1 m recouvert de laine minérale sur des plaques de plâtre et les toitures sur combles aménagés posées sur de la laine minérale et des plaques de plâtre permettent d'obtenir un indice d'affaiblissement acoustique supérieur à 40 dB. Le tableau suivant donne quelques valeurs de l'indice $R_{A,tr}$ (dB) pour les toitures les plus employées.

Tableau II- 3. Indice d'affaiblissement acoustique pondéré $R_{A,tr}$ (dB) des couvertures en petits éléments. (Source : Hamayon, 2008)

<i>Éléments de couverture</i>	<i>Tuiles à emboitement</i>	<i>Ardoise sur voliges</i>	<i>Bardeaux bitumés sur panneaux de particules</i>
Toiture seule	16	23	29
Toiture pour combles perdus (laine minérale de 200 mm sur plancher en BA13 avec une distance moyenne plancher/couverture > 1m)	38 à 47	43 à 52	49 à 55
Toiture pour combles aménageables (laine minérale de 200 mm sous toiture et 1 BA 13)	37 à 38	40 à 43	47 à 52

Les toitures terrasses composées d'une dalle support en béton armé sur un isolant thermique et un revêtement d'étanchéité, ont des indices d'affaiblissement acoustique pondérés $(R_w + C_{tr}) = R_{A,tr}$ très importants, en général supérieurs à 50 dB.

⁵ En France, la certification ACOTHERM est attribuée aux menuiseries assurant de bonnes performances acoustiques et thermiques. Les performances acoustiques sont classées en 04 catégories : AC1 pour $R_{A,tr}$ 28 dB, AC2 pour $R_{A,tr}$ 33 dB, AC3 pour $R_{A,tr}$ 36 dB, AC4 pour $R_{A,tr}$ 40 dB.

Les couvertures en tôle métallique nervurée qui sont employées, le plus souvent, dans les locaux industriels, secteur tertiaire et les locaux d'enseignement (gymnases, atelier) ; peuvent avoir des indices $R_{A, tr}$ de 23 à plus de 40 dB.

3.7. Ecrans antibruit

Dans la mesure du possible, il faut éloigner les bâtiments de la source émettrice du bruit. L'efficacité de l'éloignement dépend de la nature de la source de bruit (ponctuelle ou linéaire). Etant donné que l'atténuation est de l'ordre de 6 dB par doublement de la distance à la source (voir propagation du son en champ libre Chapitre I), l'éloignement à lui seul n'est pas suffisant pour protéger des bruits extérieurs. De ce fait, on a le plus souvent recouru à la construction de murs antibruit⁶ en amont, lors de la conception (intégré à la composition du bâtiment) ou comme solution curative. Ce dernier peut réduire l'intensité du bruit de 10 à 15 dB.

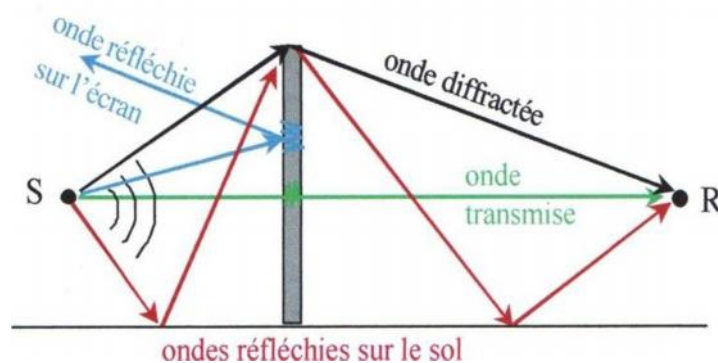


Figure II- 11. Fonctionnement d'un écran antibruit (à gauche)
(Source: AFSSE, 2004)

L'efficacité globale d'un écran est conditionnée par son efficacité en diffraction, fonction de la hauteur et longueur de l'écran ainsi que son implantation (distance à la voie, longueur de voie masquée par l'écran).

L'onde réfléchie par l'écran peut se révéler indésirable et augmenter les niveaux sonores des installations proches. L'utilisation de matériaux adaptés coté route permet de réduire cette énergie réfléchie.

Pour être efficaces, les écrans doivent masquer les sources aussi bien en coupe qu'en plan.

⁶ L'écran antibruit est un obstacle qui modifie la propagation directe du bruit. Il peut prendre la forme d'un mur, d'une butte de terre ou d'un bâtiment (entrepôt, garage,...) pouvant protéger un autre sensible aux bruits. L'écran peut être réalisé avec différents matériaux : bois (pins traités ou essences tropicales), métaux (acier ou aluminium), béton, plastiques opaques ou transparents, briques, verre.

⁷ DEOUS Suzanne et Pierre, *Le Guide de l'Habitat Sain*, Medico Editions, Andorra, 2004, p.73

4. Principes de l'isolation acoustique des bruits solidiens

Les bruits solidiens sont dus au déplacement de la paroi suite à l'application d'une force le plus souvent brusque (un choc). On en distingue:

- Les bruits d'impacts, provenant de chocs directs sur les parois comme les bruits de pas, de déplacement, chutes d'objets ou claquements de portes ;
- Les bruits d'équipement (robinetterie, chaudières, ascenseur...).

4.1. Isolation acoustique des bruits de choc

Comme toute paroi soumise à une onde sonore, le plancher est susceptible de transmettre une partie de l'énergie incidente, son affaiblissement acoustique vis-à-vis des bruits aériens est donc identique à celui des parois séparatrices verticales. Cependant, les planchers sont soumis à divers chocs (chutes d'objets, déplacements...) qu'il faut maîtriser. Les bruits de choc sur les autres parois sont moins fréquents, dus essentiellement aux claquements de portes.

L'énergie acoustique due aux chocs produits sur les planchers se transmet à l'étages inférieur par :

- Transmission directe (TD) à travers les planchers ;
- Transmission latérales (TL) par les parois liées aux planchers.

Il faut préalablement rappeler que si les bruits de choc sont générés dans la structure, et se transmettent par voie solidienne, ils émettent également dans le domaine aérien. Donc, un isolement aux bruits d'impact ne peut se réaliser que sur une structure isolante des bruits aériens.

Pour se protéger des bruits d'impact, le principe de base est la création de coupures élastiques dans la chaîne de transmission du bruit. Pour cela on utilise des matériaux "résilients" c'est à dire des matériaux élastiques qui restent élastiques sous charge statique et dynamique.

4.1.1. Revêtement de sol

Le principe du revêtement de sol recouvrant le plancher support, consiste à absorber l'énergie communiquée au plancher au moment du choc.

Le tableau II-4 présente l'indice de réduction du niveau de choc pondéré de quelques revêtements de sol:

Tableau II- 4. Indice L_w de divers revêtements de sol.

(Source: Hamayon, 2008)

<i>Revêtement</i>	<i>Indice L_w (dB)</i>
Moquette courante sur thibaude ou sur sous-couche alvéolaire	23 à 40
Tapis aiguilleté sans envers en mousse	17 à 21
Tapis ou dalles vinyliques avec envers en mousse	12 à 20
Linoléum sur sous-couche de liège	14
Dalle vinyliques avec envers en liège	8 à 16
Carrelage avec sous-couche résiliente	5 à 20
Linoléum avec envers en toile de jute	3 à 6
Tapis ou dalles vinyliques sans sous-couche	8

Pour améliorer l'efficacité du revêtement de sol, la pose d'une sous-couche résiliente est recommandée. Les matériaux résilients gardent leur élasticité sous l'effet de charges statiques et dynamiques (mousse de polyéthylène expansé, fibres minérales, polystyrène expansé élastifié..).

Les revêtements souples (liège, tapis..) atténuent les bruits de choc dans les hautes fréquences.

4.1.2. Sol flottant

Le principe consiste à provoquer une coupure dans le parcours de l'onde sonore pour stopper la transmission du bruit de choc. Le plancher comprend une dalle principale solidaire des parois verticales, une sous-couche résiliente et une dalle complémentaire « flottante ». Cette dernière est sans contact avec les parois verticales. La dalle flottante posée sur le matériau résilient, constitue ainsi une coupure élastique.

Le sol flottant peut être :

- Une chape flottante à base de liant hydraulique (mortier de ciment avec ou sans ossature) avec une sous-couche résiliente ;
- Une dalle flottante à base de liant hydraulique (béton armé ou non) avec une sous-couche résiliente ;
- Une chape sèche constituée d'un assemblage de panneaux (contreplaqué, plâtre...) posés sur une couche résiliente de bonne compressibilité ;
- Un parquet flottant sur une sous-couche résiliente qui peut être soit un parquet traditionnel posé sur du sable par l'intermédiaire d'un feutre, soit un parquet mosaïque avec une sous-couche en liège ou en fibres végétales, soit un parquet sur lambourdes flottantes entretoisées avec en dessous un isolant.

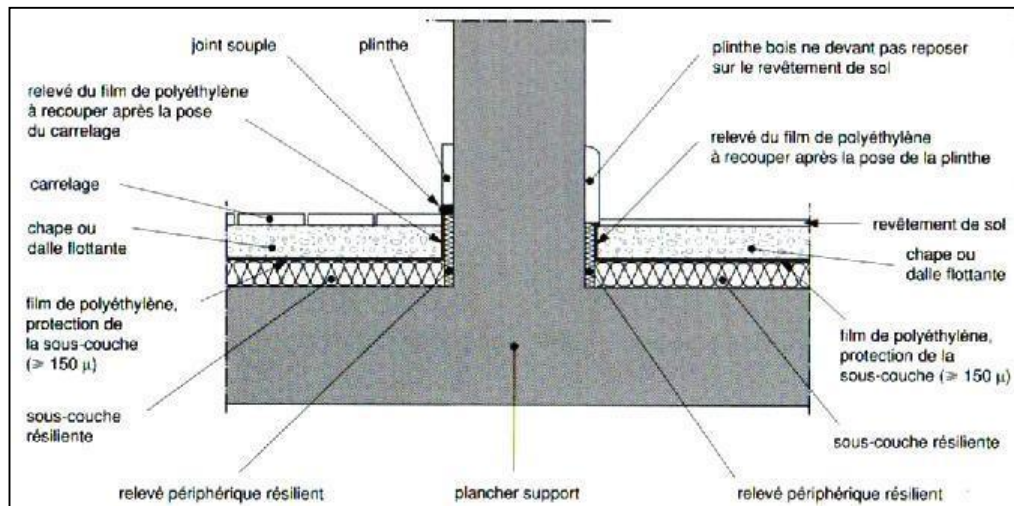


Figure II- 12. Détail d'une dalle flottante.

(Source : Hamayon, 2006)

Cependant, une exécution soignée des sols flottants est une condition essentielle pour obtenir une importante réduction des bruits de chocs. Pour cela, il faut éviter les liaisons rigides avec les murs, poteaux, trémies, gaines et plinthes, éviter de retourner la sous-couche sur le mur vertical, éviter de monter les cloisons légers sur le sol flottant, intégrer la canalisation dans le plancher support et désolidariser les radiateurs.

L'isolation par rapport aux bruits de choc peut être obtenue par :

- Un plafond suspendu étanche avec incorporation d'une laine minérale dans le plénum, à condition que les transmissions latérales soient maîtrisées ;
- Une désolidarisation par la réalisation de joints de dilatation séparant les locaux⁸, ou par un système de « boîte dans la boîte ».

Ces solutions présentent l'avantage, outre d'engendrer une importante diminution des bruits de chocs, d'améliorer l'isolement par rapport aux bruits aériens et bruits d'équipement.

4. 2. 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 solidiens. D'une manière générale, il faut désolidariser ces équipements de la structure par l'utilisation de joints souples et de plots antivibratiles.

⁸ Dans l'unité d'habitation de Marseille (1952) de Le Corbusier, chaque cellule d'habitation repose sur la structure par des plots en plomb qui amortissent les vibrations.

5. Principes de la correction acoustique

La correction acoustique consiste à traiter l'absorption des sons afin d'atténuer la réverbération. Elle est évaluée en mesurant le coefficient d'absorption des matériaux, l'aire d'absorption équivalente A et le temps de réverbération du local T_R . La correction acoustique a pour objectif de:

- Favoriser l'écoute, renforcer le niveau sonore en provenance de la source (salle de spectacle, salle d'enseignement...)
- Diminuer le niveau sonore et favoriser l'écoute à faible distance à la fois (piscine, restaurant, salle de sport)

5.1. Influence des matériaux absorbants

La qualité acoustique d'un local dépend essentiellement de sa durée de réverbération. Cette dernière est tributaire du volume du local et des matériaux absorbants qui recouvrent ce dernier. De ce fait, il faut augmenter ou diminuer l'énergie absorbée (les matériaux absorbants) suivant la destination du local (bureau, salle de cours ou de conférence, pièce à vivre..).

Dans un local dont les surfaces sont réfléchissantes (ex : salle de bain, salle réverbérante), le temps de réverbération est relativement long et le champ direct est diminué puisqu'il y a beaucoup d'énergie réfléchie, le message émis à l'intérieur est confus. En revanche dans un local dont les surfaces sont absorbantes, le temps de réverbération est court, le champ direct est augmenté et le message émis est clair.

Les illustrations suivantes montrent l'influence de l'absorption : dans la figure (II-13.a), les parois sont totalement réfléchissantes, le son incident se réfléchit 13 fois avant de perdre 50% de sa valeur, c'est-à-dire 3 dB. Si par contre les parois réfléchissent 80 % du son incident, il suffit de 3 réflexions pour perdre la même quantité d'énergie (fig.II-13.b)

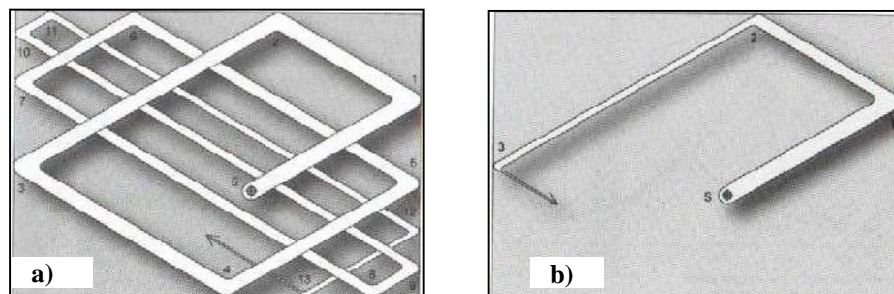


Figure II- 13. Influence de l'absorption
(Source : Hamayon, 2008)

Les matériaux absorbants diminuent la réflexion de l'énergie incidente, donc diminuent la réverbération. Leurs coefficients d'absorption varient avec la fréquence du son incident et leur choix et emplacement sont fonction de l'usage du local. Il existe trois catégories de matériaux absorbants:

5.2. Matériaux poreux et fibreux

En acoustique, les matériaux poreux absorbants sont à porosité⁹ ouverte (figure II.5), comme les produits fibreux (laines de verre, de roche, bois expansé), les revêtements textiles et les produits cellulaire (mousse)¹⁰.

Les sons de fréquences aiguës ($f > 1000$ Hz) sont mieux absorbés par ce type de matériaux. Pour augmenter l'absorption des sons graves, il faut augmenter l'épaisseur du matériau.

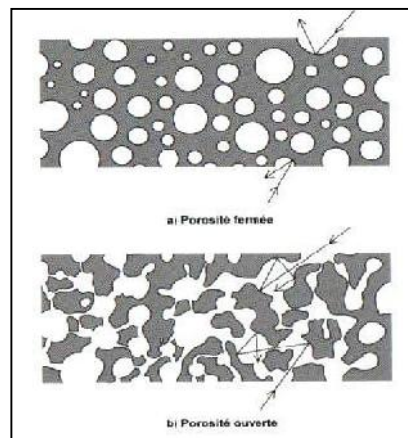


Figure II- 14. Matériaux poreux
(Source : Hamayon, 2008)

5.3. Résonateurs

Les résonateurs¹¹ sont généralement utilisés dans l'absorption des sons graves et médiums, ce sont des cavités sphériques ou cubiques de volume V débouchant à l'air libre par un col de section S et de longueur L .

⁹La porosité est le rapport du volume des vides d'un matériau au volume total. Elle peut être ouverte ou fermée.

¹⁰Dans ces matériaux, l'air est mis en mouvement par les ondes sonores, ces dernières perdent de l'énergie par suite de frottements des particules d'air sur le matériau, l'énergie acoustique est dissipée sous forme de chaleur.

¹¹Les résonateurs (ou vases acoustiques) sont employés depuis l'antiquité, l'architecte romain **Vitruve** (1er siècle av.J-C) y fait référence dans son traité *De architectura*. Réalisés en terre cuite, les vases acoustiques étaient incorporés aux parois latérales des théâtres antiques ou dans les gradins, ils produisaient un renforcement des sons par effet d'écho artificiel. Plus tard, entre le XIe et le XVIIIe siècle, des résonateurs étaient encastrés dans les murs d'églises en Europe. Ils étaient parfois remplis de cendre afin, pense-t-on, de modifier leur volume et d'amortir les vibrations. Des vases semblables étaient incorporés aux voûtes hémisphériques des mosquées et des bains turcs afin d'augmenter l'absorption des sons. **Helmholtz**, était le premier à décrire le fonctionnement du résonateur, d'ailleurs, il porte son nom

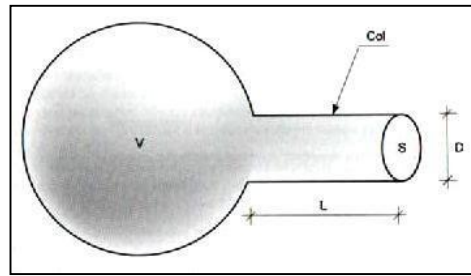


Figure II- 15. Résonateur de Helmholtz (Source : Hamayon, 2008)

La fréquence propre du résonateur est donnée par la formule de Holmholtz (comprenant la correction de Rayleigh, qui a introduit le diamètre du col):

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{(L+0.8D)V}} \quad (\text{II.3})$$

Avec : f_0 la fréquence propre du résonateur (Hz), c la célérité du son (m/s), S la section du col (m^2), L la longueur du col (m), D le diamètre du col (m) et V le volume du corps (m^3).

Les résonateurs groupés sont des matériaux perforés tels que : les éléments en bois ou en béton comprenant des fentes, les briques perforées et les plaques perforées (en plâtre, bois, acier ou aluminium).

5.4. Membranes

Utilisés dans l'absorption des sons graves ($f < 300$ Hz), ils sont constitués d'un panneau fin fixé à distance de la paroi par une fixation périphérique étanche (tasseaux).

Lorsque l'onde acoustique frappe le panneau, il se déforme et comprime la lame d'air (emprisonnée entre le panneau et la paroi), qui agit comme un ressort. Comme pour le résonateur, il se crée une vibration. Quand la fréquence de l'onde sonore et la même que la vibration du panneau, il ya résonance.

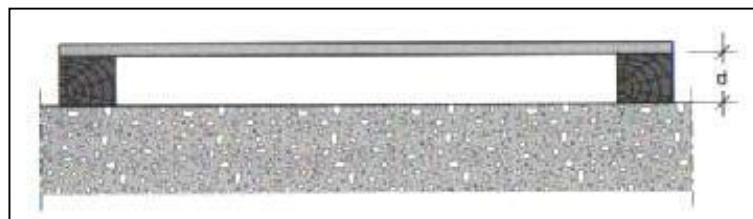


Figure II- 16. Composition d'une membrane (Source : Hamayon, 2008)

La fréquence propre d'un tel système est donnée par la formule suiva

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{m \times d}} \quad (\text{II.4})$$

Avec : f_0 la fréquence de résonance (Hz), m la masse surfacique du panneau (kg/m^2) et d la distance séparant le panneau de la paroi (cm).

5.5. Critères de la qualité acoustique d'une salle

Du point de vue acoustique, les salles sont divisées en salles destinées à la parole, salles destinées à la musique et salles polyvalentes.

Dans les salles de parole (telles que : amphithéâtres, salles de conférences, salles de réunion, salles de classe, etc...), il faut assurer une bonne compréhension du message verbal, c'est-à-dire une bonne intelligibilité.

Dans les salles de concert, les sons perçus par les auditeurs doivent être clairs, nets et équilibrés.

Dans les salles polyvalentes, les sons perçus doivent avoir tous les critères mentionnés ci-dessus.

Les critères de la qualité acoustique d'une salle sont :

- 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.

5.5.1. Répartition de l'énergie sonore dans la salle

Pour concevoir des salles avec une géométrie particulière favorisant une bonne répartition sonore, les acousticiens ont recours à plusieurs méthodes:

- Méthode de l'acoustique géométrique

Elle est utilisée dès le XVII^e siècle, par Kircher, qui publia en 1650, un livre de 1500 pages sur l'acoustique « *Mururgia Universalis* » depuis le fameux traité « *De architectura* » de Vitruve. Kircher utilisa des diagrammes à rayons pour expliquer le principe de réflexion et de focalisation des sons dans une chambre. Dans son court traité publié en 1838, S. Russell utilisa des diagrammes à rayon pour tracer la disposition optimale des sièges d'un auditorium de manière à obtenir à la fois, une bonne audition et une bonne vision¹². L'alignement des sièges devint une courbe dont la profondeur varie selon la proximité de la scène, ou selon l'angle sous lequel l'auditeur voit celle-ci. Connue sous le nom de « courbes isoacoustiques », cette méthode simple est d'un usage courant à l'heure actuelle.

¹² L'auditeur reçoit les sons directement de la source sonore (les sons directs) ou des surfaces réfléchissantes (les sons réfléchis). Pour assurer l'arrivée des sons directs aux auditeurs, on applique le principe de la *vision dégagée*, le rayon de vision de l'auditeur arrière doit être relevé au-dessus du niveau des yeux de l'auditeur avant de 10 à 15 cm.

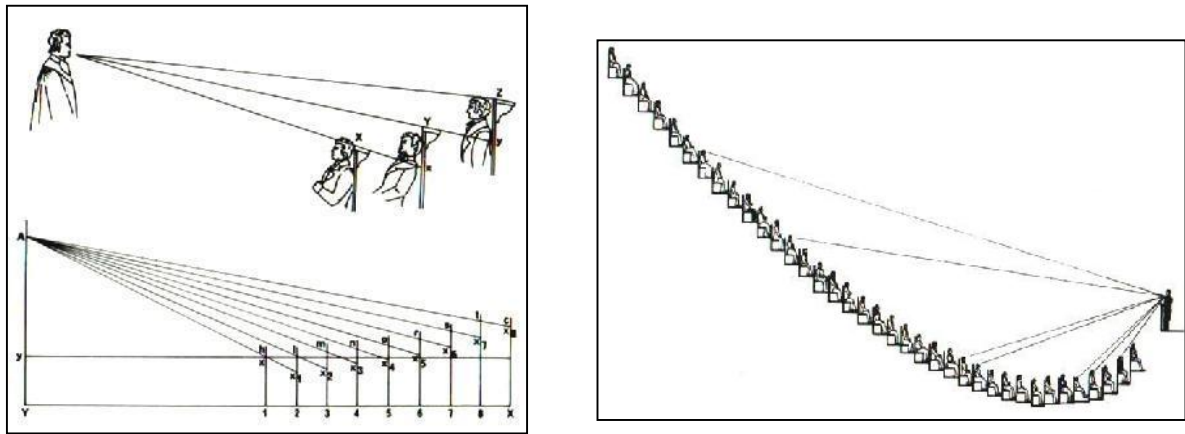


Figure II- 17. Courbes isoacoustiques (principe de vision dégagée)

(Source: Forsyth, M, 1985)

- Méthode de maquette

Réalisée à différentes échelles (1/10 à 1/50), la modélisation de la salle peut être *optique* par un rayon laser partant du fond de la maquette et se réfléchissant sur un miroir directionnel situé sur la scène. Le miroir qui est assimilé à la source sonore, permet de visualiser les trajets, les réflexions et diffusions des rayons en fonction des matériaux et des formes employés. Quant à la modélisation *ultrasonique* dans laquelle les fréquences des sons étudiés sont multipliées selon l'échelle de réduction (le rapport entre la longueur d'onde du son et la dimension du local est conservé), permet de simuler le champ sonore. On fait correspondre l'absorption des matériaux de la maquette à celle des matériaux utilisés dans la salle par des essais en laboratoire (salle réverbérante à échelle réduite).

- Simulation informatique

Elle repose sur le calcul des trajets effectués par un grand nombre de rayons sonores. Cette technique consiste à réaliser, à partir de programmes de conception assistée par ordinateur, une image tridimensionnelle du local. L'absorption et la diffusion des parois étant définies, on simule la source sonore et le récepteur. On obtient ainsi le niveau de pression acoustique à l'emplacement de l'auditeur et d'autres critères de l'acoustique des salles tels que la durée de réverbération.

5.5.2. Temps de réverbération préconisé

Le temps de réverbération doit être adapté aux conditions d'utilisation de la salle : Dans les salles de classe ou de conférence par exemple, on cherche à privilégier l'intelligibilité à l'effet sonore, donc un temps de réverbération plus court que pour un auditorium ou une salle de concert où l'on cherchera à avoir une élévation du temps de réverbération, qui entraînera une prolongation du son.

Cependant, un accroissement trop important du temps de réverbération entraîne :

- un accroissement du niveau sonore;
- une dégradation du message parlé;
- une diminution du pourcentage d'intelligibilité.

D'un autre côté une diminution importante du temps de réverbération peut jouer sur:

- la qualité de la voix ;
- L'équilibre tonal.

D'une manière générale, une élévation ou une diminution excessive du temps de réverbération joue sur l'homogénéité sonore de la salle. En effet, dans un cas comme dans l'autre, le rapport champ direct /champ diffus varie. Afin d'obtenir une meilleure qualité acoustique ce rapport doit être le plus homogène possible. Cela impose donc un temps de réverbération adapté pour que l'écoute ne varie pas selon la place qu'occupe l'auditeur dans la salle.

Il est possible de préconiser des durées de réverbération en fonction de la destination des salles et de leur volume. Les abaques (fig.II-18) donnent quelques exemples aux fréquences médiums.

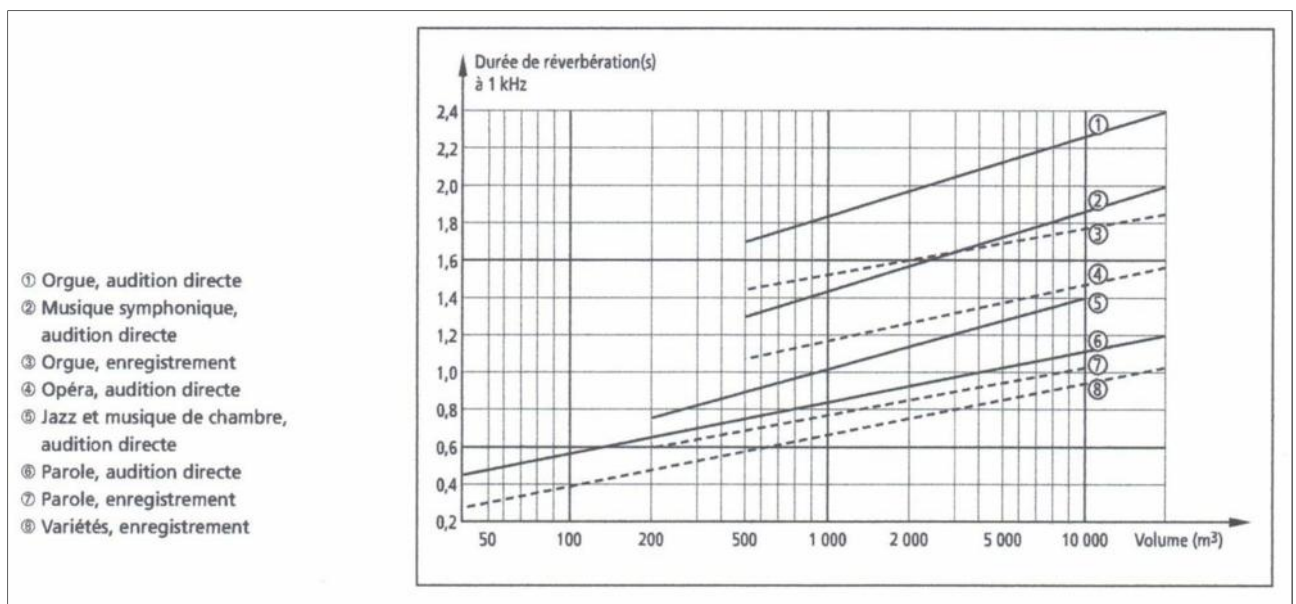


Figure II- 18. Durée de réverbération préconisée aux fréquences médiums
(Source: <http://www.bpbplaco.com>)

La durée de réverbération varie, non seulement, en fonction du volume de la salle, mais aussi selon le taux d'occupation des sièges. En effet, la présence de public modifie le temps de réverbération de la salle. Un auditorium peut présenter une acoustique très différente selon qu'il est comble ou vide, car, en général, les sièges vides réfléchissent les ondes sonores alors que les spectateurs les absorbent.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué en détail les principes de base de l'isolation acoustique de la construction contre les différents bruits. Ces principes nous pouvons les résumer en cinq points essentiels:

- Créer de la masse, ce principe met en évidence l'intérêt des matériaux massifs dans l'isolation acoustique.
- Réaliser des parois doubles, en utilisant des matériaux hétérogènes, dont les propriétés physiques influent sur la plage de fréquences absorbées. Il faut aussi varier l'épaisseur et la densité volumique des matériaux employés.
- Agir au niveau de l'implantation des constructions, l'agencement des locaux, l'aménagement d'espaces tampons et d'obstacles entre la source de bruit et la construction, influencent la manière dont le bruit atteint les lieux sensibles.
- Etanchéfier les baies et fenêtres, les passages de canalisation, les jointements, etc. qui peuvent réduire les performances acoustiques de la paroi.
- Désolidariser les différents éléments de la construction (cloison-plancher, mur-plancher, canalisation-mur, etc.) afin d'éviter la propagation des vibrations et bruits de chocs, au moyen de sols flottants, plafond suspendus, joints de dilatation et plots antivibratoires.

Nous avons également expliqué les principes de base de la correction acoustique qui consiste à traiter l'absorption des sons afin d'atténuer les phénomènes de réverbération.

Dans le chapitre suivant nous allons développer les différents principes du confort acoustique adaptés aux équipements culturels.

Introduction

L'instruction s'acquiert en grande partie par la parole et l'audition. La maîtrise de l'acoustique est donc essentielle dans la conception d'une bibliothèque adaptée à sa fonction première. La conception acoustique du bâtiment doit porter, comme nous l'avons expliqué aux chapitres précédents, sur le choix du site, le plan de masse et les plans intérieurs, les matériaux de construction et de revêtement et les études de traitement des espaces sensibles au bruit.

Les chercheurs, en milieu culturel, ont la priorité de transmettre des connaissances. Pour cela, ils utilisent différents supports, dont le discours verbal reste le plus privilégié. Une perturbation dans la qualité sonore des locaux culturels peut réduire l'efficacité de la tâche de recherche et de compréhension. Les établissements culturels sont donc des exemples de bâtiments publics où le confort sonore est primordial. Ce dernier, nécessite d'une part une isolation des locaux afin de maintenir des niveaux de bruits ambiants intérieurs en dessous des valeurs limites. D'autre part, une ambiance acoustique agréable à l'intérieur des locaux, déterminée par le niveau d'absorption des matériaux et une durée de réverbération optimale selon l'usage.

1. Le bruit dans les établissements culturels

En milieu culturel, le bruit peut être un élément perturbateur pour la stimulation de l'imagination et la créativité des enfants et les jeunes ainsi la compréhension et la concentration. Sa présence est due à l'existence de différentes sources sonores à l'extérieur de l'établissement ou à l'intérieur dans les différents espaces.

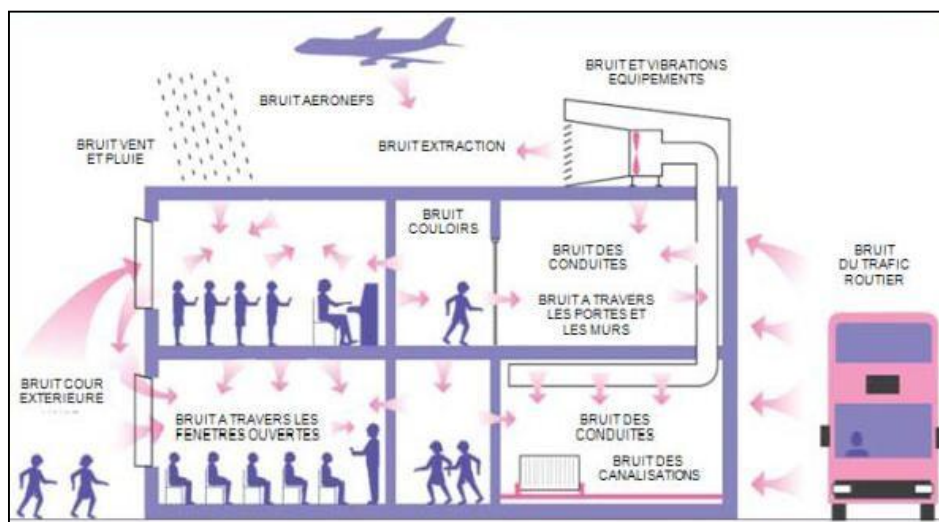


Figure III-1. Sources de bruit dans les établissements culturels

(Source : www.ecoutetonlycée.com)

1.1. Les sources du bruit

La source du bruit peut être externe ou interne. Si la nuisance sonore est extérieure à l'établissement (travaux de voirie, flux automobiles ou ferrés), le double vitrage est nécessaire, et efficace si les deux vitrages sont de composition différente, pour éviter la propagation du son.

Si la nuisance est interne, elle peut venir soit des systèmes internes à l'établissement (climatisation, ascenseurs, écoulement d'eaux usées, etc.), soit de l'activité humaine,

1.1.1. Sources de bruit extérieures aux bâtiments

Le trafic routier ou ferroviaire.

Le trafic aérien.

Les activités industrielles et humaines bruyantes.

Leur impact dans les locaux est directement lié à leur nombre, leur proximité et à l'isolation acoustique de la façade du bâtiment.

Les bruits extérieurs (principalement du trafic routier) ont des effets préjudiciables sur les performances des lecteurs et des chercheurs. Il s'avère que les effets du bruit sur les enfants sont le manque d'attention, la perturbation du langage et de la mémoire¹.

1.1.2. Sources de bruit intérieures aux bâtiments

Les usagers: lecteurs soit enfants ou adultes et personnel responsable, qui parlent et se déplacent. Le bruit généré par les usagers croît avec leur nombre.

Le matériel: comme les équipements techniques, ce sont principalement des équipements de ventilation et de climatisation. Chacun d'eux constitue une source de bruit dont l'intensité varie en fonction de sa puissance, de la qualité de sa conception et de son état d'entretien. Le mobilier, le déplacement d'une chaise ou d'une table engendre plus ou moins de bruit en fonction du type de mobilier, du type de sol, de la façon dont est déplacé l'objet.

Ces sources de bruit intérieures peuvent perturber les activités réalisées dans un local adjacent, comme une salle de lecture par exemple, en fonction de l'isolation acoustique entre locaux à l'intérieur du bâtiment.

En plus de ces différentes sources de nuisances sonores, le phénomène de réverbération du local contribue à l'amplification du bruit². Cela dépend principalement des caractéristiques d'absorption acoustique des revêtements disposés sur les parois. Plus les revêtements sont absorbants, plus le phénomène d'amplification du bruit sera faible.

¹ HAMAYON, Loïc. Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, Editions Le Moniteur, Paris, 2008, 237 p.

² Knecht, H.A et al. *Background noise levels and reverberation times in unoccupied classrooms: predictions and measurements*. American Journal of Audiology vol 11, 2002, p 65-71

1.2. Acoustique des bâtiments

L'acoustique du bâtiment est un secteur de l'Acoustique. Ce domaine spécifique analyse comment les éléments d'un bâtiment agissent sur la propagation du son entre les pièces. Pour répondre aux objectifs acoustiques suivants :

- Pour augmenter l'isolation phonique aux bruits aériens R_w [dB] : des plafonds massifs, plafonds en poutres de bois, toitures légères.
- pour améliorer l'isolation acoustique latérale $D_{n,c,w}$ [dB] entre salles voisines.
- pour réduire les bruits parasites provenant du plénum.

1.3. Acoustique des salles

L'acoustique des salles a pour objectif d'offrir la qualité de son la plus adaptée aux lieux d'écoute que peuvent être des salles de spectacles (opéra, cinéma, amphithéâtre...), les halls de transit (gare, aéroport...). Mais aussi aux lieux publics que sont les salles dédiées au lecture et la recherche (bibliothèques, centres culturels...).

Une onde sonore lors de sa propagation (Figure III- 1) est soumise à des phénomènes de réflexion, diffraction, diffusion ou absorption par les obstacles rencontrés (sol, murs et plafond, mobilier...).

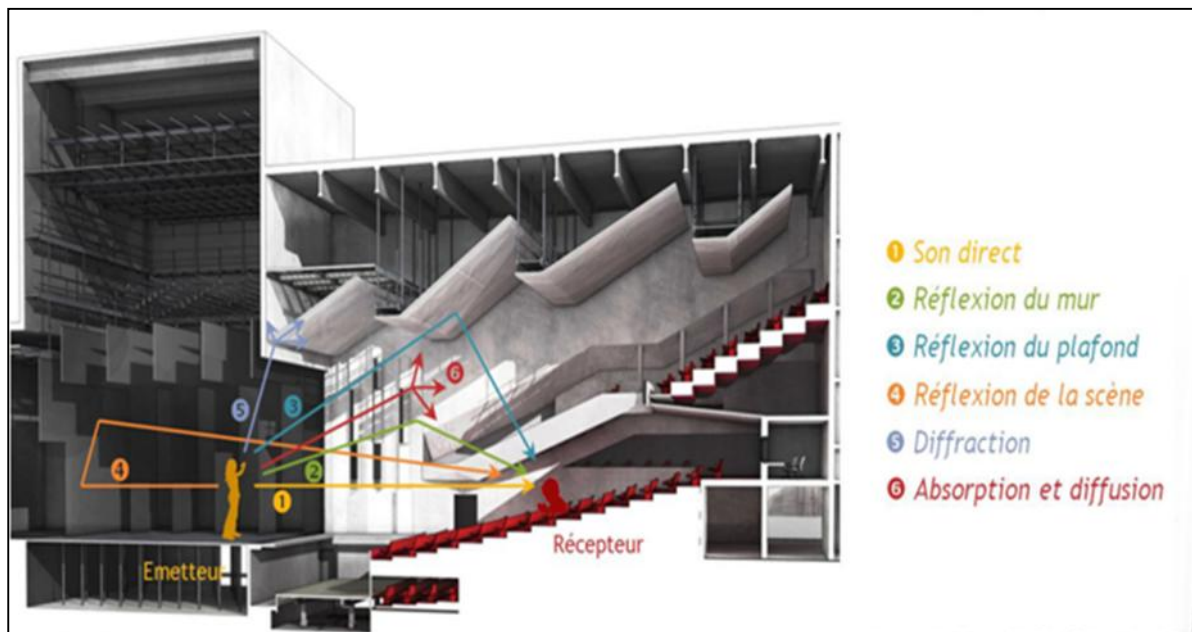


Figure III- 2. Propagation d'une onde sonore dans un auditorium

(Source: Acoustique du bâtiment, G. Krauss, F. Kuznik, R. Yezou, INSA Lyon)

2. Spécificités acoustiques des différents espaces du bâtiment culturel

L'équipement culturel est un établissement géré par l'état et la collectivité local dont il dépend, il est chargée d'assurer la plus vaste audience afin de favoriser la conservation du patrimoine et la diffusion des œuvres de l'art et les productions de l'esprit, et de développer toutes les activités pouvant contribuer à la l'épanouissement de la culture et à la formation, afin d'assurer une continuité éducative sur le plan extrascolaire pour la société.

Les établissements culturels regroupent différents espaces selon leurs usages et les objectifs de qualité acoustique recherchés. Ainsi, par exemple, l'objectif acoustique dans une salle de lecture est d'obtenir une bonne intelligibilité du message parlé ou la bonne concentration pendant la recherche ou la compréhension, donc un temps de réverbération adapté et une isolation suffisante ente locaux. Cependant, l'objectif dans un cafétéria ou une cantine culturels est la maîtrise des niveaux sonores et le phénomène de surenchère sonore, appelé «effet cocktail».

2.1. Le confort acoustique des bibliothèques

Le confort acoustique dans la bibliothèque nécessite un contrôle soigné des bruits ambiants et de la réverbération. Il est impératif de maintenir un niveau de bruit suffisamment bas car le silence est véritablement d'or dans une bibliothèque.

Généralement, si on obtient un niveau de bruit de fond hors utilisation de 40 dB (bibliothèque vide), on assure des conditions acoustiques satisfaisantes pendant les périodes d'occupation. De ce fait, l'utilisation de matériaux avec des coefficients d'absorption élevés est conseillée sur les plafonds. Leur utilisation n'est pas nécessaire sur les murs, car ces derniers supportent souvent un rayonnage plein de livres qui constitue une surface suffisamment absorbante.

Pour maitriser les bruits de pas, le plancher doit être revêtu de liège ou moquette.

La bibliothèque se compose de plusieurs entités et plusieurs espace pour le quel on doit faire un dimensionnement détaillé:

- Espace liée à la lecture:** accueil, espace lecture, espace des periodiques, espaces audiovisual...
- Espace liée au livre:** restauration et traitement du livre...
- Espaces annexes:** cafeteria. Photocopie, relieure, service entretien...
- Partie liée a l'administration:** bureau du directeur, bureau du reunion, bureau du bibliothecaire...

2.2. Le confort acoustique des salles de lecture

Une salle de lecture est un espace principal de la bibliothèque. elle est aménagée, destinée à permettre au public de consulter les documents sur place, et de s'en servir comme support de travail: une salle de lecture est donc équipée de plans de travail. Les plans de travail d'une salle de lecture varient en confort d'un établissement à l'autre, mais comportent au moins un bureau de contrôleur, bureaux de travail, Tables de lecture, Bureau de consultation internet.

.La salle de lecture est le lieu de l'apprentissage où l'enseignant transmet son savoir en s'appuyant très largement sur la communication orale, et l'échange des informations.

Il n'y a pas de règles strictes en ce qui concerne la forme et les dimensions des salles de lecture. Elles ont des surfaces variables et sont destinées à accueillir les lecteurs, les chercheurs, les enseignants. La hauteur de plafond n'est pas standardisée, il faut toutefois éviter les salles longues et étroites et les salles trop larges. Généralement, la surface utile de la salle de lecture est de: 155m^2 ³.

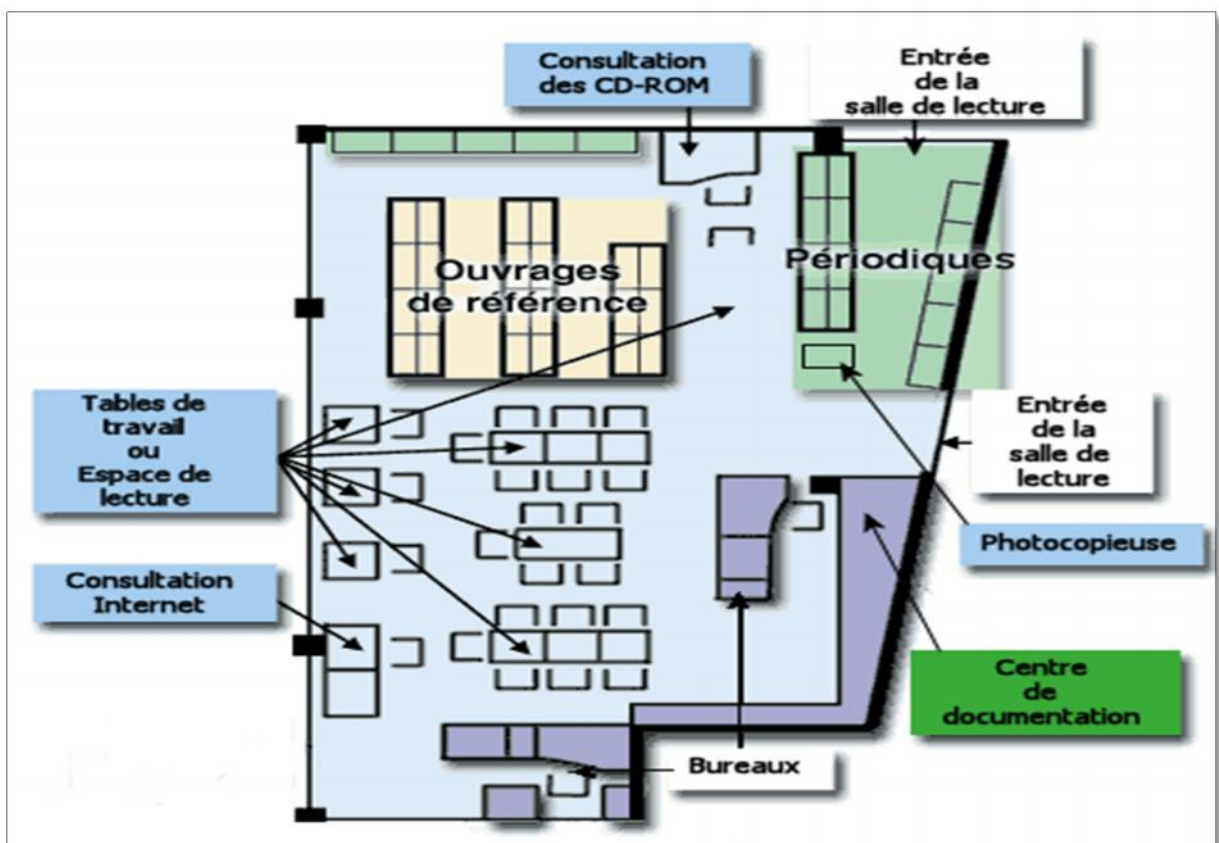


Figure III- 3 .Exemple d'un aménagement pour une salle de lecture

Source : (Neufert 8ème édition de Ernest Neyfert)

³ Knudsen V.O et Harris C.M, *Le projet acoustique en architecture*, Dunod, Paris 1957.

La salle de lecture est un lieu de travail soit enfants ou adultes a besoin d'un environnement propice qui favorise la concentration, la compréhension et l'apprentissage. Cet environnement doit impérativement réunir plusieurs critères à savoir, un éclairage suffisant, une température ambiante, une ventilation confortable et une intelligibilité du discours.

2.2.1. Intelligibilité de la parole et bruit de fond

L'intelligibilité de la parole⁴ est recommandée dans les salles de lecture et plus particulièrement dans le cas des messages complexes (apprentissage d'une langue étrangère) ou dans l'apprentissage des jeunes enfants (bibliothèque scolaire). Elle dépend des facteurs suivants:

- Bruit de fond dans la salle (bruit interférent) ;
- Qualité acoustique de la salle de lecture (Temps de réverbération et forme de la salle)
- Niveau de puissance du discours de l'enseignant et de sa prononciation.

Selon Bradley⁵ et Hodgson⁶, le paramètre le plus important pour l'intelligibilité de la parole est le **rapport signal/bruit**⁷. Comme les niveaux de la voix des professeurs varient, ceci signifie qu'il est particulièrement important de réduire le niveau du bruit de fond dans la salle de lecture.

Etant donné que la plus grande partie du champ de la parole (émission) se situe dans un champ de fréquences allant de 315Hz à 6000Hz et la compréhension (réception du signal parlé) est principalement due au spectre des fréquences entre 750Hz et 3000 Hz⁸, les bruits de circulation constitués essentiellement de sons graves masquent le langage parlé (les basses fréquences masquent les hautes fréquences). De plus, l'effet de masque est maximum pour des fréquences voisines, c'est pourquoi la voix de l'enseignant peut être fortement altérée par le bavardage des usagers.

⁴ L'intelligibilité est le rapport, exprimé en pourcentage, du nombre de phrases comprises au nombre total de phrases prononcées. Elle peut être mauvaise, acceptable, bonne ou excellente.

⁵ Bradley, J.S., Reich, R.D. and Norcross, S.G. *On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility*. Journal of the Acoustical Society of America vol.106, 1999, p.1820-1829.

⁶ Hodgson, M, *Rating, ranking, and understanding acoustical quality in university classrooms*, Journal of the Acoustical Society of America, vol. 112(2), 2002, p.568-575.

⁷ La différence entre le niveau de la voix de l'enseignant (signal utile) et le niveau de bruit de fond de la salle (bruit interférent)

⁸ AFSSE, *Impacts sanitaires du bruit- Etat des lieux- Indicateurs bruit/santé*, novembre 2004. Fichier PDF (consulté le 12/11/08), [En ligne] <http://ufcna.com/Bruit-impact-sante-AFSSE.pdf>.

Dans une analyse des mesures des conditions acoustiques et l'intelligibilité de la parole dans les salles de lecture pour les enfants de 12 et 13 ans, Bradley⁹ conclut que 30 dB(A) est un niveau de fond approprié, avec des temps de réverbération optima de 0,4 à 0,5 secondes.

Finitzo-Hieber et Tillman (78)¹⁰ recommandent un rapport de signal/bruit de 12 dB(A) pour l'audition normale. Olsen (1988)¹¹ attribue qu'une valeur plus élevée de S/N 20 à 30 dB(A) est exigée dans l'enseignement des malentendants.

Plus récemment, Bistafa et Bradley¹² recommandent un rapport signal/bruit supérieur à 15 dB(A) dans la salle de lecture, 25 dB(A) étant le rapport idéal. Avec des valeurs de temps de réverbération de 0.4 à 0.5 secondes.

La figure (III.4) illustre les contours d'intelligibilité pour une pièce de 300 m² en fonction du bruit de fond et le temps de réverbération selon différents objectifs de conception. Dans une salle de lectures par exemple, on se réfère à la courbe "besoins particuliers". Pour une intelligibilité de 100%, le bruit de fond ne doit pas excéder 35 dB (A) et un temps de réverbération 0.5 secondes.

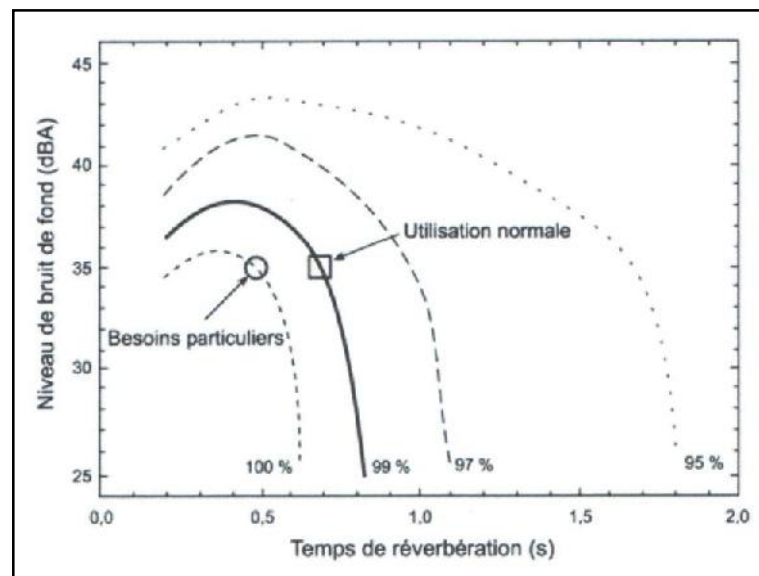


Figure III-4. Contours d'intelligibilité en fonction du bruit de fond
(Source: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca>)

⁹ Bradley, J.S. *Speech intelligibility studies in classrooms*. *Journal of the Acoustical Society of America*, vol.80(3), 1986, p.846-854.

¹⁰ Shield, B et Dockrell, J. *The effect of noise on children at school: A review*, *Journal Building Acoustics* n°10, 2003, p.97-106. [En ligne], <http://www.architecture.com/Files/>

¹¹ Ibid.

¹² Bistafa, S.R. and Bradley, J.S. *Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics*. *Journal of the Acoustical Society of America* n°107, 2000, p. 861-875.

Si l'isolation acoustique des parois vis-à-vis de l'extérieur ou vis-à-vis des bruits intérieurs (circulation dans les couloirs, etc....) n'est pas suffisante, les sources extérieures à la salle de lecture apportent alors une contribution au niveau sonore dans la salle et peuvent perturber l'apprentissage.

2.2.2. Intelligibilité et temps de réverbération

Il a été prouvé que l'intelligibilité de la parole s'améliore avec la diminution du temps de réverbération¹³. Ce dernier, quand il est trop long, amplifie les bruits de bavardage dans la salle de lecture et les bruits de l'extérieur. De ce fait, le rapport signal/bruit diminue et le message de l'enseignant devient moins intelligible.

La maîtrise du champ réverbéré dans l'architecture de la salle de lecture consiste principalement:

- A respecter des formes géométriques favorables à la maîtrise des ondes acoustiques, et à la diffusion des premières réflexions (Figure III-5). De ce fait, la première moitié du plafond ne devrait pas recevoir de matériaux absorbants. Aussi, les plans inclinés du côté de l'enseignant ou en plafond sont recommandés.

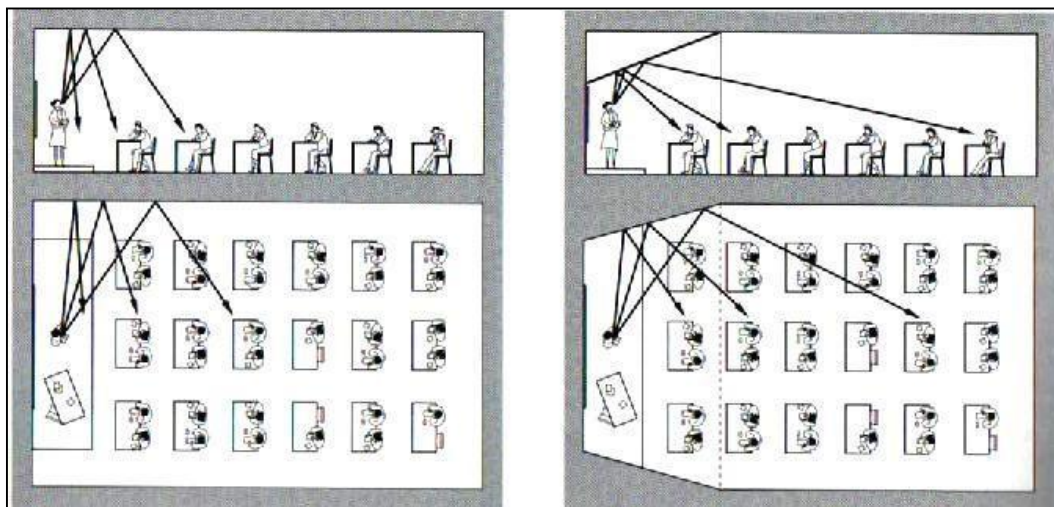
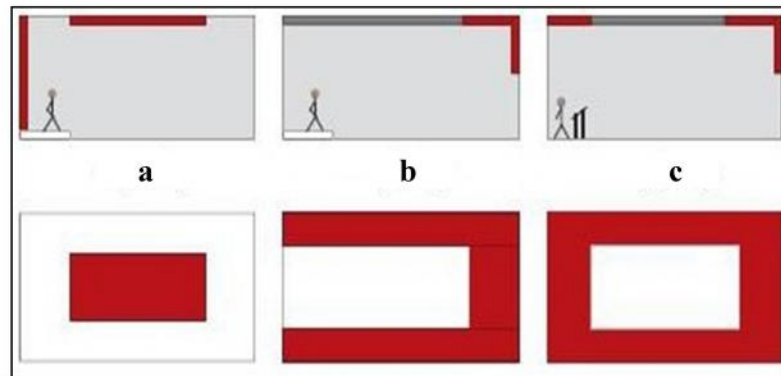


Figure III- 5. Favoriser les premières réflexions

(Source: Hamayon Loïc, 2006)

¹³ Hodgson, M. et Nosal, E. *Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms*. Journal of the Acoustical Society of America, vol.111(2), 2002, p.931-939.

- A disposer des matériaux absorbants avec un coefficient d'absorption $\alpha \geq 0.6$, sur la partie de plafond située au fond de la salle ainsi que le mur du fond et un mur latéral. Il est préférable que le traitement des murs soit jusqu'à la hauteur de la tête des enfants (environ 1.20m) mais, en général, le traitement se fait à partir de 1.80 à 2.00 m de hauteur pour éviter la détérioration du matériau absorbant.

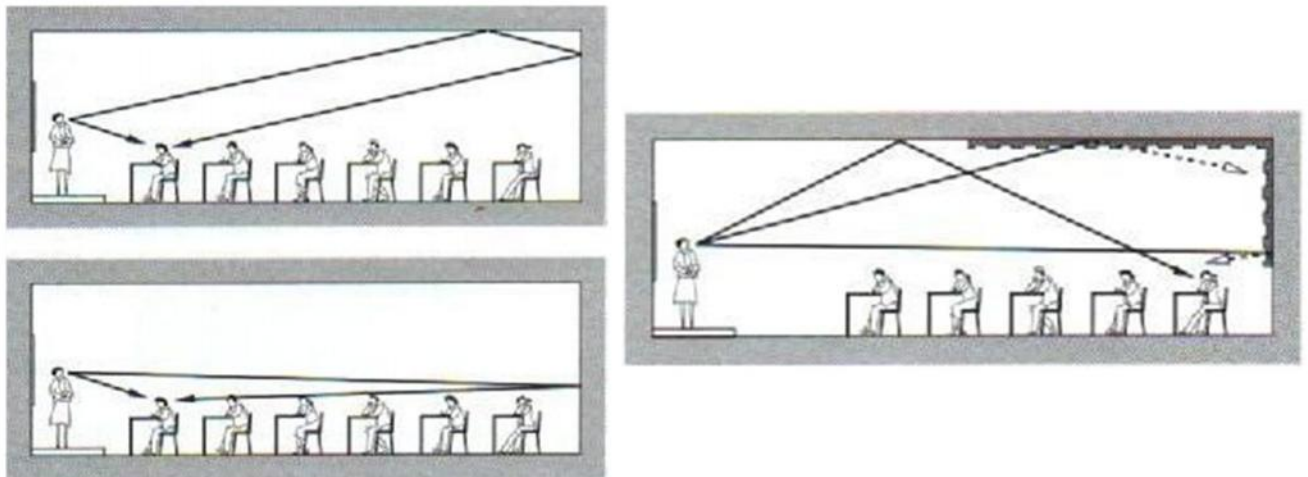


(a: défavorable, b: favorable, c: favorable).

En haut: coupe longitudinale, en bas : zone plafond, vue de dessous.

Figure III- 6. Répartition des surfaces absorbantes

(Source: Société Suisse d'Acoustique, 2004).



A droite: salle non traitée, risque d'écho et de réverbération

A gauche: salle traitée premières réflexions favorisées et réverbération maîtrisée.

Figure III- 7. Traitement acoustique du plafond et fond de la salle

(Source: Hamayon, 2006)

Pour améliorer l'intelligibilité dans des salles de lecture ou salle d'information accueillant des formes d'enseignement et de recherche moderne centrée sur l'interaction des enfants et des adultes, l'apport d'absorption était la solution retenue¹⁴. Les résultats montrent une amélioration significative des conditions de travail, une diminution des niveaux de bruit ambiants de 5 dB (lecture individual) et de 13 dB (travail de groupe).

Dans une autre étude¹⁵ pour améliorer les conditions acoustiques d'écoute d'une salles d'étude, le choix s'est porté sur une modification de la durée de réverbération par rajout de 50 % d'absorption sous forme de cubes suspendus au plafond (Figure III-8)



Figure III- 8. Exemple d'un traitement acoustique de la salle
(Source: Semidor Catherine, 2003)

Les différences des temps de réverbération mesurés (avant et après traitement) dans les locaux d'activité et dans les salles de lecture étaient importantes et nettement perceptibles.

La qualité acoustique des salles de lecture est un élément important de la concentration et l'apprentissage verbal, qui représente lui-même la base des acquisitions culturels. Diverses publications scientifiques internationales démontrent que l'environnement acoustique de la salle de lecture représente un facteur très important de la réussite¹⁶.

¹⁴ Oberdörster. M et Tiesler. G, Ergonomie acoustique des locaux scolaires, Institut Fédéral pour la Santé et la Sécurité des Travailleurs en Allemagne, 2006

¹⁵ Semidor Catherine, *La qualité sonore des espaces recevant les tout-petits*, Colloque européen « Construire avec les sons », 17/18 mars 2005, Fichier PDF, (consulté le 15/04/09) [En ligne], <http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr>.

¹⁶ CAPS - Cellule Audition de Paris-Sud, 2003. In. AFSSE, *Impact sanitaire du bruit*, novembre 2004, p.185

2.3. Les cafétérias et les cantines culturels

Dans les cafétérias et les cantines culturels, l'objectif principal pour le confort des usagers est la maîtrise des niveaux sonores. Il s'agit principalement d'éviter l'effet cocktail¹⁷ pour un environnement confortable et pour se faire entendre d'un voisin, sans avoir à forcer la voix. Pour cela, il convient de limiter la densité d'occupation: la densité recommandée est de l'ordre de 0.4 ou 0.5¹⁸ usagers/m².

Le temps de réverbération préconisé pour une bonne intelligibilité dans les salles à manger est de 0.5 Seconde pour un volume inférieur ou égal à 250 m³ et de 0.7 seconde pour un volume supérieur à 250 m³. Dans les cuisines qui communiquent souvent avec les salles à manger et contribuent à augmenter leurs niveaux de bruit; on cherche à obtenir des durées de réverbération inférieures à 1.5 seconde.

Pour réduire le temps de réverbération dans les cantines, on limite la hauteur sous plafond à 3.20 m. On aménage des cloisons de faible hauteur (pour la surveillance et convivialité) en matériaux absorbants.



Figure III- 9. Traitement acoustique du plafond d'une cantine culturelle en matériau absorbant
(Source: www.euphonie.fr)

Les plafonds sont traités en matériaux absorbants dont les coefficients d'absorption acoustique est supérieur à 0.6 (bandes d'octave centrées sur 500, 1000 et 2000 Hz) (Figures III-9 et III-10).

¹⁷ Lors d'une réunion de type cocktail ou dans un restaurant, le niveau de bruit augmente avec le nombre de personnes, à un certain niveau il sera presque impossible de s'entendre parler, c'est ce qu'on appelle effet cocktail party

¹⁸ Loïc Hamayon, Réussir l'acoustique du bâtiment, Le Moniteur, Paris, 2006, p.207

Ces matériaux doivent être lavables et supportant l'humidité. Lorsque la hauteur sous plafond est supérieure à 3.50- 4 m, on traite les parties supérieures des murs du réfectoire.

Le niveau de bruit dans un réfectoire traité et occupé est d'environ 60 dB, si les bruits de l'extérieur ne dépassent pas cette valeur, il n'est pas nécessaire de prendre des précautions pour l'isolation acoustique.

Le plancher doit être recouvert d'un matériau résilient (Linoléum, carreaux d'asphalte ou caoutchouc).

Evidemment, le choix, l'emplacement et les dimensions des matériaux absorbants sur les cloisons ou plafonds doivent faire l'objet d'une étude acoustique détaillée.



Figure III- 10. Traitement acoustique du plafond en baffles acoustiques
(Source: www.euphonie.fr)

2.4. Les espaces de circulation

Les espaces de circulation sont les lieux de transition au sein des établissements culturels: couloirs, halls d'entrée et cages d'escaliers. Ils accueillent ponctuellement un nombre très important d'utilisateurs dans les périodes où le contrôle des adultes est réduit.

Dans ces espaces, l'objectif principal est de maîtriser l'amplification de la réverbération pour ne pas créer de nuisances dans les espaces adjacents: salles de lecture, espace de recherche ...

Pour cela, la réglementation française en vigueur préconise une durée de réverbération inférieure ou égale à 1.2 seconde pour un volume compris entre 250 m³ et 512 m³ et inférieure ou égale à 0.15 pour un volume supérieur à 512 m³.

Elle fixe, aussi la surface requise pour l'absorption acoustique dans les circulations communes des établissements culturels¹⁹. L'aire d'absorption équivalente A de la circulation horizontale et hall d'un volume inférieur à 250 m^3 doit être au moins égale à la moitié de la surface au sol de l'espace considéré ($A \geq S_{\text{sol}} / 2$).

L'utilisation de matériaux absorbants pour le traitement acoustique dans les espaces de circulation des bibliothèques scolaires se fait par:

-La disposition sur les paliers marches et contremarches de tapis. Cette solution présente des problèmes de coût, d'entretien et d'usure.

-La mise en place de matériaux absorbants au plafond (Fig.III-11) et murs (Fig.III-12). Ces solutions sont les plus utilisées car elles présentent l'avantage d'être plus ou moins durables.

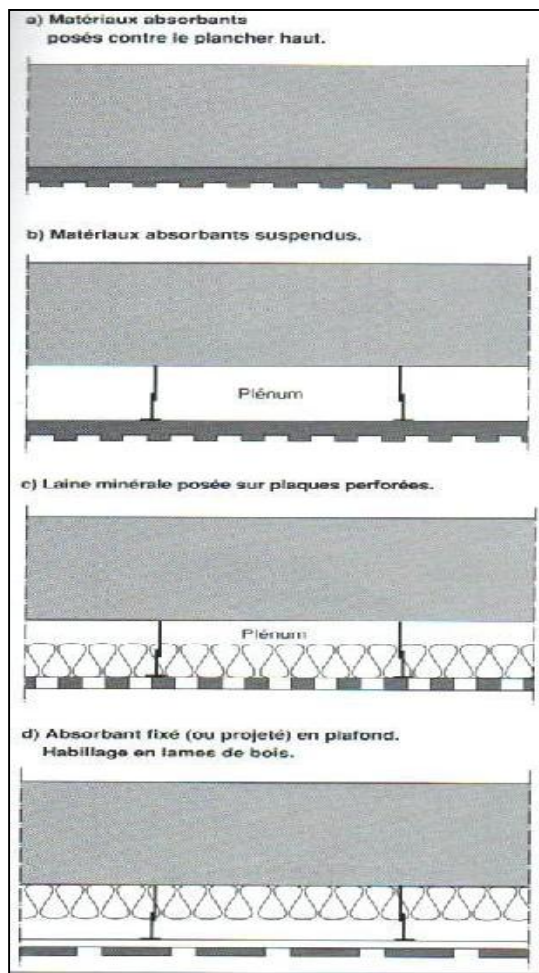


Figure III- 11. Exemples de matériaux absorbants posés en plafond (Source: Hamayon, 2006)

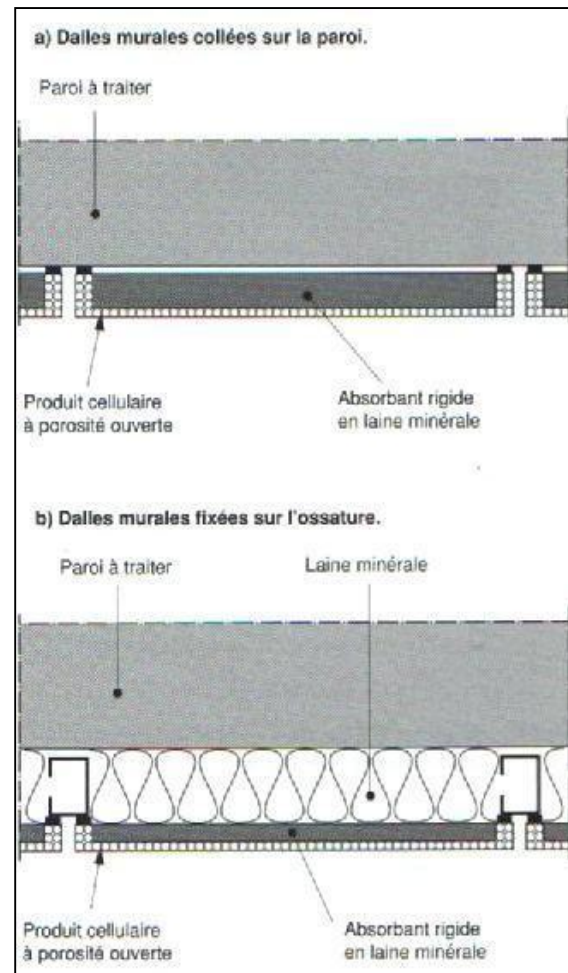


Figure III- 12. Exemple de matériaux absorbants posés sur les murs (Source : Hamayon, 2006)

¹⁹Arrêtés du 25 avril 2003 relatifs à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement.

2.5. Les amphitheatres

Les amphitheatres des établissements culturels servent souvent à de multiples fonctions: salle de réunion, grande salle de conférence, théâtre, auditorium...

Il faut une étude préalable pour le volume, la forme et réflexions des sons pour les projets de construction des amphithéâtres. Cependant, on doit utiliser une amplification du son quand le volume dépasse les valeurs suivantes²⁰: bibliothèque d'école 1200 m³, lycée, 1500 m³ et université, 1800 m³.

L'amphithéâtre doit être conçu dans un environnement calme. S'il est inclus dans un bâtiment, il doit être soigneusement isolé des espaces adjacents, on utilisera des murs avec des indices d'isolement élevés, des portes étanches et un système de conditionnement d'air silencieux.

La disposition des auditeurs en gradins favorise l'absorption. On placera des réflecteurs du son côté conférencier de manière à distribuer les ondes sonores au milieu et au fond de l'amphithéâtre (Figure III-13). Il faut rendre les murs latéraux diffusants en les habillant de reliefs. Le sol doit être recouvert de linoléum ou revêtements élastiques.

Il est nécessaire de réaliser un compromis entre les propriétés optimums de l'auditorium culturel pour la parole et celles pour la musique.

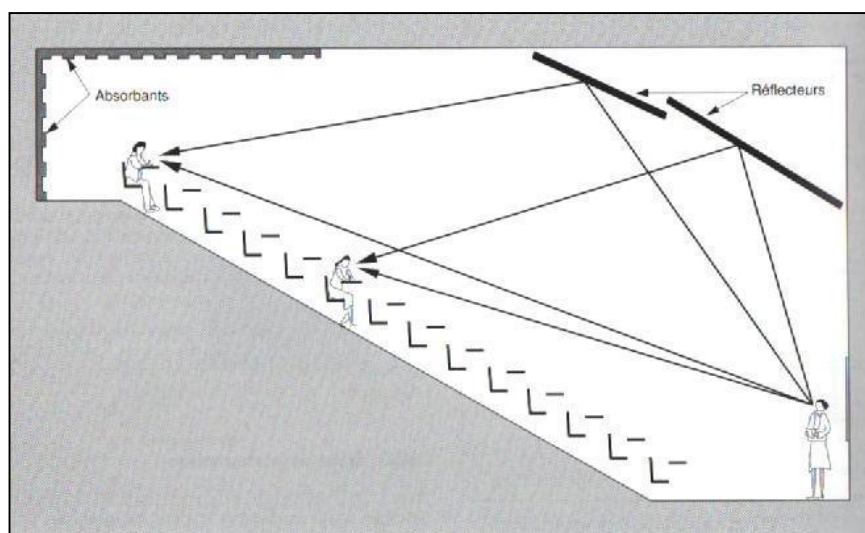


Figure III- 13. Disposition de réflecteurs et matériaux absorbants dans un amphithéâtre
(Source : Hamayon Loïc, 2006)

²⁰V.O. Knudsen et C.M. Harris, *Le projet Acoustique en Architecture*, Dunod, Paris, 1957

2.6. Les salles de musique

L'isolation sonore des salles de musique doit être considérée avec une attention particulière car il n'est pas seulement nécessaire de se protéger contre les bruits extérieurs; il faut également veiller à concentrer la musique à l'intérieur pour ne pas gêner les locaux voisins. On obtient généralement satisfaction avec un isolement sonore d'au moins 45 dB, les fenêtres doivent être à double vitrage acoustique et les portes doivent avoir une structure solide.

Si elle n'est pas dotée de ventilation artificielle, la salle de musique doit être éloignée des salles de lecture, on y accède par un couloir traité qui remplira la fonction de 'sas acoustique.

La diffusion du son y est nécessaire, pour cela, il faut prévoir des panneaux obliques ou autres irrégularités à la surface des murs et plafonds. La durée de réverbération optimale pour la salle de musique dépend de la nature de la musique diffusée.

A l'intérieur de la salle de musique, il est recommandé de bien répartir les matériaux absorbants. Comme pour l'amphithéâtre, les murs et plafond voisins de l'estrade doivent être recouverts de matériaux réfléchissants, tout en évitant le parallélisme, tandis que les murs et plafond de fond doivent être absorbants. Il est recommandé d'utiliser des planchers et des lambris en bois qui fournissent une absorption des basses fréquences de la musique. L'utilisation des rideaux de velours et autres textures est déconseillée.

3. Le rapport Signal/Bruit

Le rapport Signal/Bruit, permet de définir le rapport entre le niveau en dB(A) du message utile sur le niveau du bruit de fond (ou ambiant) pouvant perturber la compréhension de la communication. On considère que ce critère doit être compris entre +6 et +10 dB(A) pour une oreille normale, afin de maximiser la perception et la compréhension d'un signal. En dessous de ces valeurs, le message utile est masqué. En fonction de la nature du bruit ambiant ce phénomène de masquage peut affecter tout ou partie du spectre audible. On ne peut donc se contenter d'analyser les valeurs globales d'intensité, il faut tenir compte du contenu fréquentiel des sons et bruits.

4. Réglementation du confort acoustique dans les bibliothèques

En évitant de construire des établissements culturels près des axes de circulation, pour des raisons de sécurité routière, on évite aussi l'exposition aux nuisances; pollution et bruit. Cet aspect élémentaire de l'urbanisme contribue de manière significative, à l'isolation acoustique des Bibliothèques.

L'architecture joue ensuite un rôle de premier plan, par l'implantation des bâtiments culturels, leur orientation et leur conception. Les exigences acoustiques réglementaires dans divers pays fixent trois paramètres pour un confort acoustique optimal dans les établissements culturels:

- 1- Niveau de bruit ambiant maximal perçu dans chaque espace en fonction de son usage.
- 2- Isolement acoustique vis-à-vis de l'extérieur et entre locaux, c'est-à-dire des indices d'affaiblissement acoustique des murs extérieurs ou de séparation, ainsi que des valeurs limites acoustiques relatives aux émissions internes du bruit: bruit des équipements (chauffage, ventilation) ou bruit intérieur (bruits de couloir, des autres classes) ainsi que les bruits de chocs.
- 3- Temps de réverbération dans les espaces en fonction de leur usage.

5. Etat de l'art sur l'évaluation du confort acoustique dans les salles de lecture

Dans une enquête ²¹ sur la perception de la qualité sonore auprès des usagers, il a été démontré que dans les salles traitées, les usagers étaient satisfaits de l'ambiance sonore alors que dans les salles de lecture non traitées, ils éprouvaient une diminution de la concentration. Il y avait une forte corrélation entre les scores de performances et les niveaux max LAmax. Cela prouve que les capacités des usagers du secondaire sont affectées par des bruits intermittents.

²¹Astolfi, A.; Pellerey, F. Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in Library lecturerooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.123, 2008, p.163-173.

A)

Franchini et al²² ont mené une série de mesures de bruit dans une centaine d'établissements culturels (bibliothèque, centre culturel et musée). Les résultats indiquent que les niveaux intérieurs mesurés en Leq dB(A) varient entre 40,8 à 50,8 dB(A). Les niveaux extérieurs calculés en façade des locaux varient entre 59,4 et 64,6 dB(A). Les temps de réverbération mesurés dans les fréquences de 250 à 4000 Hz, dépassent les valeurs recommandées dans 83% des cas.

B)

Une enquête de Shield et Dockrell²³, concernant 2000 élèves du primaire à Londres montre que :

- la plus grande part du bruit extérieur vient du trafic routier urbain.
- les niveaux acoustiques externes et internes influencent les résultats de tests de performance.
- les enfants sont sensibles au bruit extérieur, et gênés par des bruits spécifiques.
- le bruit intérieur est dominé par le bruit produit par les usagers eux-mêmes.
- les enfants qui présentent des besoins éducatifs particuliers sont très vulnérables au bruit de fond.

C)

Zannin et Marcon²⁴ ont évalué le confort acoustique dans une bibliothèque, elle possède 04 salles de lecture séparées par un couloir central de 7x7x3,1m. Les murs qui séparent les salles du couloir sont munis d'ouvertures permettant la ventilation et l'éclairage des salles. La capacité maximale de chaque salle est de 40 personnes

Les mesures acoustiques ont porté sur trois paramètres:

1. Niveau du bruit ambiant (LAeq) à l'intérieur de la salle porte fermé et fenêtre ouverte, et à l'extérieur de la bibliothèque.
2. Temps de réverbération (Salle de lecture vide, salle de lecture occupée par 20 personnes, salle de lecture occupée par 40 personnes).
3. Isolement acoustique (l'indice d'affaiblissement acoustique apparent R'W : The weighted apparent sound reduction index).

²² Franchini A et al, *Pollution sonores et prestations acoustiques dans les édifices scolaires*, 1995, (page consultée le 12/05/2011).

²³ Shield. B et Dockrell. J, *The effect of noise on children at school: A review*, *Journal Building Acoustics* n°10, 2003, p.97-106.

²⁴ Zannin. PHT et Marcon. CR, *Objective and subjective evaluation of the acoustic comfort in library*. *Applied Ergonomics* n° 38, 2007, p.675-680.

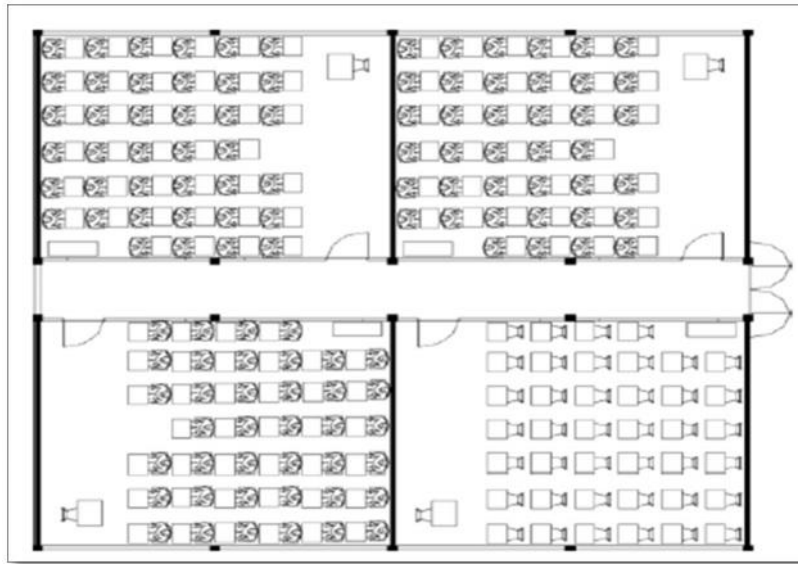


Figure III- 14. Vue en plan de la salle testée

(Source: Zannin et Marcon, 2007)

Les salles de lecture étudiées ne comportent aucun traitement acoustique. Des simulations du temps de réverbération ont été effectuées avec différents type de matériaux isolants : Plaque de plâtre, contreplaqué et contreplaqué perforé.

Malgré le fait que la bibliothèque évaluée se situe dans une zone urbaine calme (LA_{eq} extérieur=53 dB(A)), Le LA_{eq} mesuré à l'intérieur de la salle de lecture vide avec les salles voisines occupées, varie entre 56,2 dB(A) et 63,3 dB(A). Ces valeurs sont supérieures aux limites fixées par les recommandations. Par conséquent, les salles de lecture sont considérées comme bruyantes et les bruits sont générés par les activités des autres salles. Les résultats des questionnaires confirment les mesures acoustiques, indiquant que le bruit perçu à l'intérieur de la salle de lecture provient des salles voisines. Les bruits de leur propre salle (35%), bruit de la salle voisine (33%), voix de l'utilisateur (24%) et autres sources (8%). Donc les bruits des usagers de salle voisine désignent comme source principale de bruit.

Quant aux temps de réverbération relevés, ils sont supérieurs aux limites recommandées. Cela est dû à l'absence de traitement acoustique. Toutefois, la salle atteint un T_r acceptable lorsqu'elle est entièrement pleine (40 personnes).

Les meilleurs résultats de simulation de plafonds traités pour corriger les durées de réverbération, sont obtenus par le contreplaqué perforé.

D)

Zannin et Zwirtes²⁵ ont mené une étude dans 6 bibliothèques au Brésil pour évaluer la qualité acoustique des salles de lecture de conceptions différentes :

1. Design (a) caractérisées par des salles de lecture alignées le long d'un couloir central (voir plans ci-dessous) construites en 2001 et 2005. Le volume de la salle est d'environ 156 m³, les planchers sont en carrelage et le revêtement des murs et plafonds en plâtre.
2. Design (b) similaires aux précédentes avec des différences de hauteurs des locaux et matériaux de construction. La construction de ces bibliothèques date de 1977 et 1978. La salle de lecture à un volume de 140 m³, les plafonds sont en bois lambrissés, les planchers en parquets et les murs en brique revêtus de plâtre peint.
3. Design © composées de blocs indépendants, renfermant les salles de lecture, autour de la cour. Ces bibliothèques sont achevées en 1998. Le volume de la salle est d'environ 140 m³.

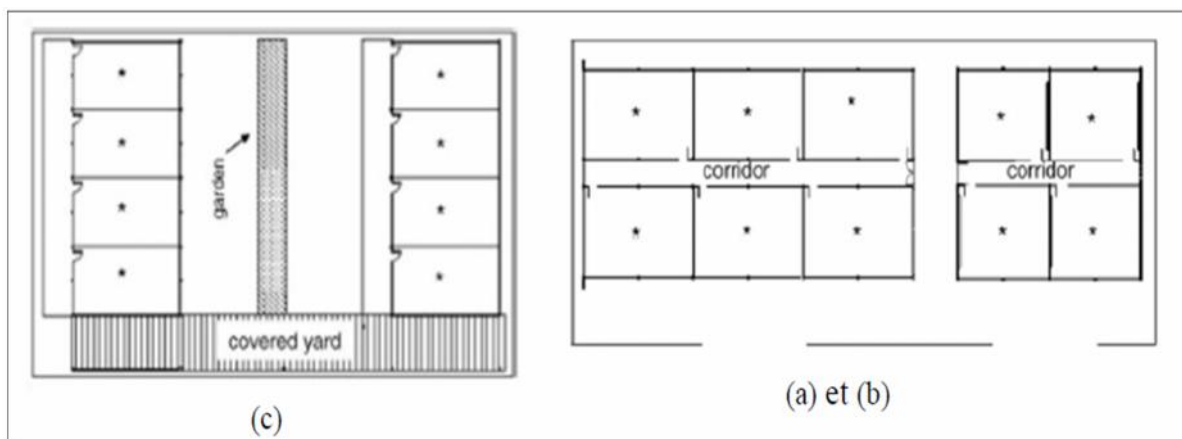


Figure III- 15.Plans de distribution des salles de lecture testées

(Source: Zannin et Zwirtes, 2009)

La qualité acoustique des salles de lecture a été analysée sur la base des mesures effectuées in-situ de:

- la durée de réverbération T_r (salle inoccupées et meublées).
- le niveau du bruit ambiant L_{eq} extérieur et intérieur (salle de lecture vide et occupée).
- l'isolement acoustique (mesures de l'indice d'affaiblissement acoustique apparent $R'W$).

²⁵Zannin. PHT et Zwirtes. DPZ, *Evaluation of the acoustic performance of lecturerooms public library* Applied Acoustics n°70, 2009, p. 626-635

L'évaluation acoustique des trois conceptions révèle une mauvaise qualité acoustique impliquant tant le design architectural que les matériaux utilisés. Dans la conception (b) et (c), l'emplacement des espaces de récréation et cours des bibliothèques favorise l'augmentation des niveaux de bruit ambiant intérieur. Pour les bibliothèques de design (a), l'utilisation d'ouvertures vitrées dans les murs séparant les salles de lecture et couloirs, permet au bruit des autres salles et hall de pénétrer, augmentant ainsi le bruit ambiant.

Quant aux temps de réverbération, il a été trouvé que les vieilles bibliothèques (design b) offrent de meilleures conditions acoustiques en raison des matériaux de finition des planchers et plafonds.

D'une manière générale, les niveaux de bruit ambiant mesurés dans les différentes salles de lecture est dû, en grande partie à l'isolation inadéquate des façades et murs de séparation.

Conclusion

L'architecture joue un rôle prépondérant pour isoler les bibliothèques des nuisances sonores et favoriser une bonne intelligibilité dans les espaces destinés à la parole. L'implantation des bâtiments, leur orientation et leur conception doivent respecter au plan réglementaire, des prescriptions (résultats de recherche et normes) qui devraient être connus des maîtres de l'ouvrage et des architectes et qui concernent les salles de lecture, les salles d'apprentissage des langues, de musique, les locaux de restauration, les ateliers, les préaux et les couloirs...

Des solutions de type architectural ou acoustique permettent de doter les salles de lecture d'une isolation performante au bruit provenant de l'extérieur ou des espaces adjacents. Compte tenu des effets du bruit sur les performances et comportements, des recherches ont été faites dans plusieurs pays et ont abouti à des recommandations pour améliorer le confort acoustique dans les établissements culturels

Introduction

Avant d'entamer une étude pour optimiser la conception acoustique pour n'importe quel projet, Il est important de comprendre d'abord les sources de bruit et les nuisances sonores dans lequel il est implanté et aussi comprendre L'impact de l'environnement immédiat sur notre cas d'étude pour satisfaire les exigences en termes de conformité aux normes et à la réglementation.

Ainsi l'optimisation des dispositions architecturales pour protéger les usagers du bâtiment des nuisances acoustiques et la création d'une qualité d'ambiance acoustique adaptée aux activités accueillies dans les différents espaces de la bibliothèque municipale de Jijel.

Ainsi on aborde une présentation de La salle de lecture de l'objet d'étude de ce mémoire du point de vie architecturale, ce qui impose d'abord une introduction de l'ancienne partie et la nouvelle extension du musée ainsi que l'environnement immédiat qui peut influencer sur le confort acoustique a l'intérieur de la salle de lecture.

IV.1. Situation de la ville de Jijel

La wilaya de Jijel se situe au Nord-est de l'Algérie à 357 Km à l'Est de la capitale Alger, entre les wilayas de Bejaia à l'Ouest, Sétif au Sud-ouest, Constantine au Sud et au Sud-est, Skikda à l'Est et la mer méditerranée au Nord. Elle est située à 36°49 Nord de latitude et 05°47 Est de longitude, quant à son altitude elle varie entre 10 m dans l'ancienne ville et 400 m dans la nouvelle extension. Avec ses 120 Km de côtes, la ville de Jijel est caractérisée pleinement par un climat méditerranéen dont les caractéristiques générales sont la douceur de l'hiver et la chaleur de l'été.

IV.2. Classification climatique

Les zones climatiques peuvent être classées en deux grandes catégories, zones climatiques d'hiver, et d'été.

IV.2.1.Zones climatiques d'hiver

- La zone H1 subit l'influence de la proximité de la mer.
- La zone H2 subit l'influence de l'altitude.
- La zone H3 subit l'influence de la latitude.

Ces trois zones sont classées en fonction de l'altitude en 07 sous zones.

IV.2.2. Zones climatiques d'été

Cinq zones déterminent les zones climatiques d'été :

- La zone E1 subit l'influence de la proximité de la mer.
- La zone E2 subit l'influence de l'altitude.
- La zone E3, E4 et E5 subissent l'influence de la latitude.

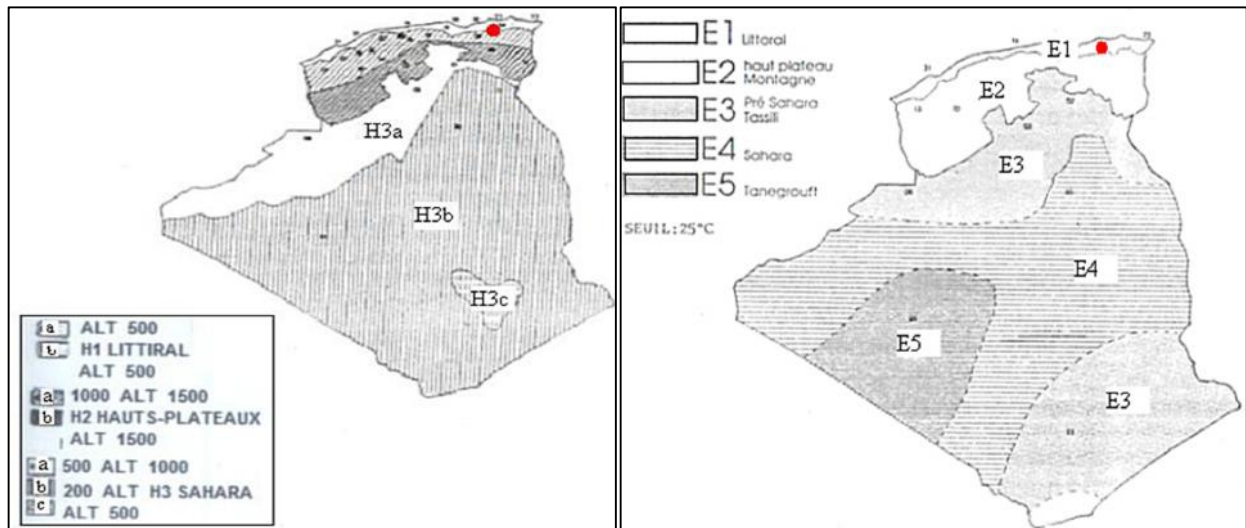


Figure IV.1 : De gauche à droite Les zones climatiques d'hiver Les zones climatiques d'été en Algérie
(Source: Mr. MEDDOUR Samir. 2008).

IV.3. Microclimat de Jijel

Les paramètres microclimatiques sont de prime importance, comprendre la richesse des caractéristiques microclimatiques d'un espace extérieur en milieu urbain ainsi que les implications en termes de confort des usagers, ouvrent de nouvelles possibilités à la maîtrise du climat lumineux intérieur.

L'étude du climat lumineux à l'intérieur des espaces se doit d'être complétée par des données microclimatiques, qui sont propres à chaque région et mini régions. Les données environnantes du relief des vents de la végétation, etc. sont ceux qui créent les microclimats et doivent être pris en considération pour une meilleure maîtrise de l'environnement.

IV.3.1. Les vents

La wilaya de Jijel est sollicitée par deux vents dominants: le vent du Nord-ouest d'Octobre à Avril, et le vent du Nord-est entre Mai et Septembre. Quant au sirocco vent du Sud il ne souffle en moyenne que 24 jours par an. La côte présente une ouverture sur la mer au Nord qui expose la ville aux vents dominants d'été. Les parties protégées par les montagnes sont relativement à l'abri.

Ce graphique (Figure IV.2) montre la fréquence et la vitesse du vent soufflant de chaque direction, Lorsqu'on se déplace vers l'extérieur sur l'échelle radiale, la fréquence associée au vent venant de cette direction augmente.

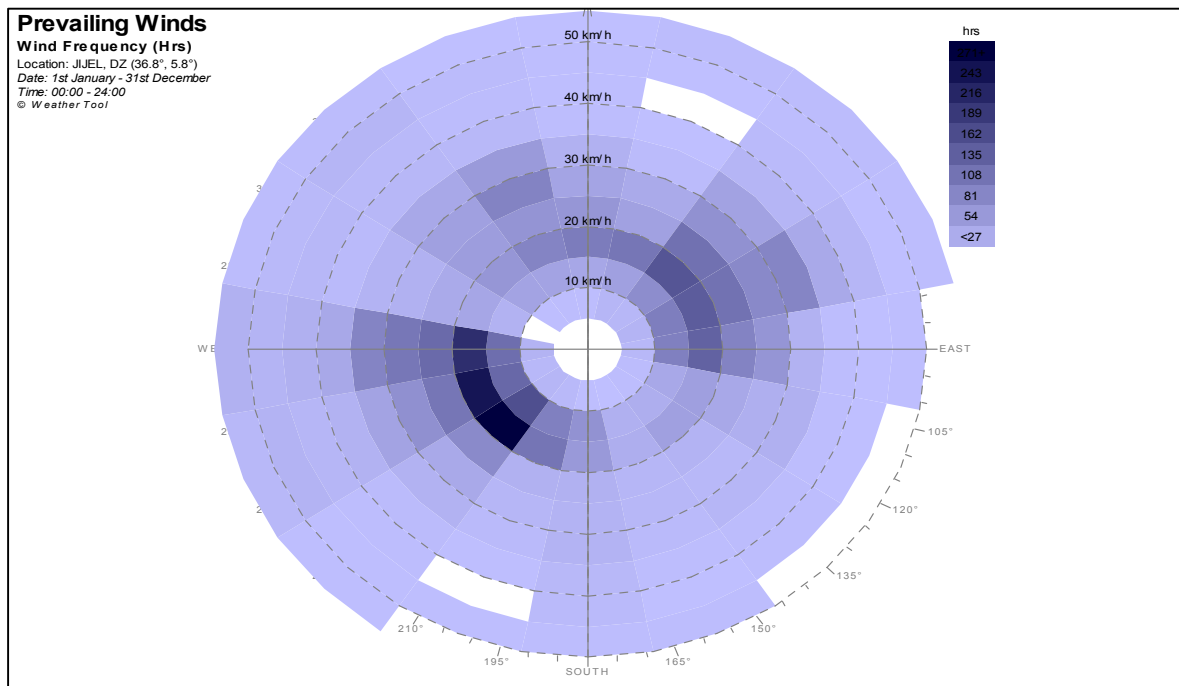


Figure IV.2 : fréquence des vents

(Source : Ecotect Analysis 2011)

IV.3.2. Précipitation

Pour les pluies la ville est classée parmi les zones les plus pluvieuses d'Algérie, la pluviométrie moyenne est entre 800 et 1200 mm/an, et le nombre de jours de pluie par an est de 111 jours. L'humidité atmosphérique quant à elle est assez élevée elle est de 71% en moyenne⁴.

IV.3.3. Les températures

Les températures jouent un rôle déterminant dans le phénomène d'évaporation, donc dans l'estimation du bilan hydrologique.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18°C (hiver 12,3°C, été 23,8°C) avec une valeur maximum moyenne de 30°C au mois d'août et une valeur minimum moyenne de 8°C les mois de janvier et février.

IV.3.4. L'humidité

⁴ KHELFALLAH, Shéhérazade. 2008. conceptualisation de la lumière : une approche pour la réinvention et la perception des espaces de culte « recherche et action au sein de la mosquée Bilal ibn Rabah à Jijel ».268.Mémoire de magistère. Architecture. Université de Jijel.

Les valeurs moyennes d'humidité sont en général très élevées toute l'année et leurs amplitudes saisonnières relativement faibles, le minimum s'observe au mois de mars et le maximum au mois de Juin.

IV.3.5. Le climat lumineux

Vu que l'objet de recherche ne peut pas se détacher de son climat lumineux, on a tenté de rapprocher des données d'ensoleillement et surtout d'éclairement en consultant les informations déjà instaurées à la base des données de l'Ecotect.

Il existe quatre zones lumineuses distinctes en Algérie, Jijel de la part de sa position géographique, se trouve dans la première zone lumineuse, dont le type de ciel dominant est de ciel semi couvert.

Le diagramme du parcours solaire stéréographique (Figure IV.3) montre que la durée d'ensoleillement moyenne pour la ville de Jijel en été est de 13 heures, et en hiver 9 heures.

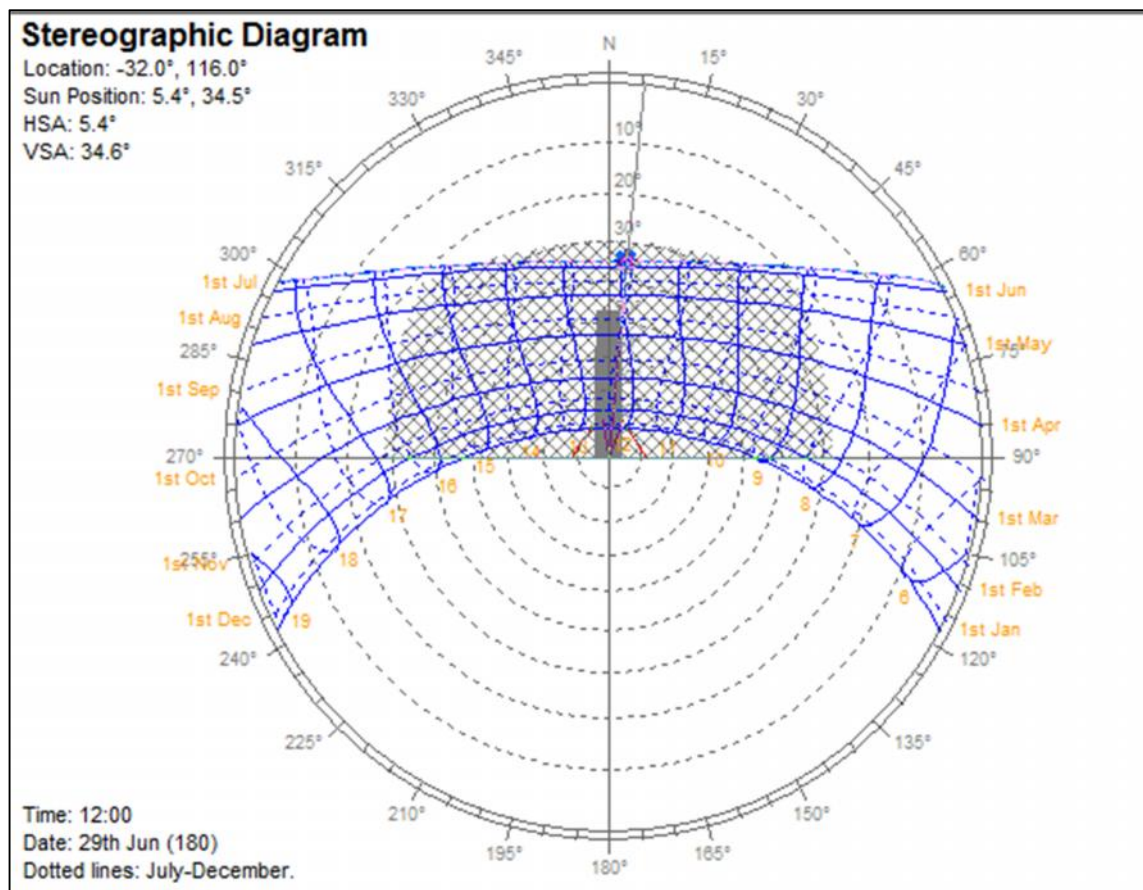


Figure IV.3: le diagramme stéréographique de la ville de Jijel.
 (Source : EcotectAnalysis 2011.)

IV.4. Présentation de l'objet d'étude

Pour confirmer les notions théoriques de la première partie de cette recherche, on a choisi de faire une présentation dont l'objet d'étude est la salle de lecture de la bibliothèque municipale de Jijel. Le but c'est de traiter la question de l'influence des différentes sources de bruit sur la qualité du confort acoustique.

IV.4.1. Situation

L'objet d'étude, la salle de lecture de la bibliothèque est située dans l'agglomération chef-lieu de ville de Jijel se trouve au niveau de l'avenue Abd El Hamid Ben Badis a la limite sud du vieux triangle historique), c'est le pos1 de la ville de Jijel.



Figure IV.4.: Situation géographique bibliothèque municipale Jijel

(Source : Google-Earth 2010)

IV.4.2. Présentation de la bibliothèque municipale de Jijel

La bibliothèque municipale de Jijel (Abd el Baki – Salah) fut construite entre la fin des années 80 et Le début des années 90, elle a ouvert ses portes le 10/01/1990.

Ce bâtiment est par excellence le centre d'information local, où les citoyens de la ville et même de la wilaya peuvent trouver facilement toutes sortes d'information surtout avec les services qu'elle assure ou ils sont accessibles à tous, sans destination, d'âge ou de sexe.

IV.4.3. Limites et accessibilité

La bibliothèque est limitée et aussi accessible: Au Sud: l'Avenue Ben Badis (primaire),
Au Nord-est: Voie Secondaire, Au Nord-Ouest: Voie secondaire.

IV.4.4. Environnement immédiat

La bibliothèque est entourée par: École primaire Mekideche Mahmoud au Sud, Habitations individuelles au Nord-est. Habitation collective + habitations individuelles au Nord-Ouest.

IV.4.5. Caractéristiques du terrain

Le terrain est de forme triangulaire avec une superficie de: 321 m².

IV.5. Critère de choix de l'objet d'étude

Notre étude se porte sur la salle de lecture de la bibliothèque municipale, Le choix est motivé par plusieurs paramètres:

- Elle était exposée aux différentes sources de bruits extérieurs et intérieurs.
- l'absence des traitements acoustiques au niveau des salles de lecture.
- Elle était déjà utilisée par des usagers

IV.6. Description de la bibliothèque

Ce bâtiment est constitué d'un seul volume compact. La forme d'îlot et la surface réduite triangulaire oblige l'architecte de créer un projet qui exploite au maximum la surface du terrain et qui l'intègre parfaitement avec la forme de l'îlot pour dépasser le problème de réduction et contrainte d'un terrain triangulaire.



Figure IV.5 : Le volume de la bibliothèque municipale

(Source : auteur)

Le volume du projet présente trois façades vraiment similaires. Les façades sont caractérisées par leurs symétrie et leurs ordonnance et principalement leurs verticalité grâce à l'exploitation de terrain en hauteur (5niveaux), d'autres cote l'utilisation des auvents comme des éléments horizontaux pour casser la verticalité et pour marque l'entrée.



Figure IV.6 : la façade principale de bibliothèque municipale
(Source: auteur)

IV.6.1. Le programme surfacique

A) plan d'entre sol :

Niveau	Espace	Changement	Usagers	S m ²	Norme	Remarque
Entresol	Salle d'exposition	Salle de théâtre pour enfants	Public Enfants	77,50	-	-
	Archive	Magasin	Services	13,00	-	Annexé à la salle de théâtre
	Magasin	Bureaux	Services	78,00	-	Utilisée par les associations
	Total			168,5	-	-

Figure IV.7. Le programme surfacique d'entre sol
(Source: auteur)

B) plan rez –de- chaussée :

Rez-de-chaussée	Salle d'exposition	-	Public	91,00	-	-
	Librairie	Foyer + Bureau	Public	52,00	-	Foyer non exploité
	Discothèque	-	-	15,00	-	-
	Laboratoire photos	Bureau	Public	18,50	-	-
	Hall	Hall + Réception	Public Adhérents	37,50	-	-
	Dépôt	-	Services	06,00	-	Annexé à la salle d'exposition
	Total			220	-	-

Figure IV.8. Le programme surfacique de rez-de-chaussée

(Source: auteur)

C) plan de 1^{er} étage :

1 ^{er} Étage	Salle polyvalente	Salle de lecture (Garçon)	Public Adhérents	135,00	2.7 m ² /per	-
	Bureau	Salle de lecture (9 ^{ième} Année)	Public Adhérents	28,00	2.7 m ² /per	-
	Salle des jeux	Rayonnage	Services	66,00	-	-
	Réception	Bureau de catalogage	Services	09,30	-	-
	Magasin	Bureau d'inscription	Public	09,00	-	-
	Sanitaires	-	Public Adhérents	11,50	-	-
	Débarra	-	Services	01,40	-	Utilisée pour les archives
	Hall + Dégagement	-	Public Adhérents	49,50	-	-

Figure IV.9. Le programme surfacique de 1^{er} étage

(Source: auteur)

D) plan de 2^{ème} étage :

				Total	309,7	-	-
Niveau	Espace	Changement	Usagers	S m ²	Norme	Remarque	
2 ^{ème} Étage	Salle de lecture	Salle de lecture (Filles)	Public Adhérents	152,5	2.7 m ² /per	-	
	Bureau directeur	Salle de lecture (7 et 8 ^{ème} Année)	Public Adhérents	22,23	2.7 m ² /per	-	
	Secrétariat	Rayonnage	Services	15,50	-	-	Pour S de lecture (7 et 8 ^{ème} Année)
	Bureau	Salle de lecture (Primaire)	Public Adhérents	16,90	2.7 m ² /per	-	
	Bureau	Rayonnage	Services	15,60	-	-	Pour S de lecture (Primaire)
	Magasin	Bureau bibliothécaire	Services	10,50	-	-	Control
	Sanitaires	-	Public Adhérents	11,50	-	-	
	Hall + Dégagement	-	Public Adhérents	50,50	-	-	
	Total				295,2	-	-

Figure IV.10. Le programme surfacique de 2^{ème} étage

(Source: auteur)

E) plan de 3^{ème} étage :

3 ^{ème} Étage	2 Chambres	Salle de lecture (Universitaires)	Public Adhérents	57,30	2.7 m ² /per	Avec Rayonnage
	2 Chambres	Salle de musique	Public Adhérents	56,00	-	-
	1 Chambres	Salle d'archives	Services	24,40	-	-
	3 Chambres	Administration	Services	77,50	-	Bureau directeur et secrétariat
	1 Chambres	Laboratoire photos	Services	24,00	-	Non utilisé
	Sanitaires	-	Public Adhérents	11,50	-	-
	Hall + Dégagement	-	Public Adhérents	47,00	-	-

Figure IV.11. Le programme surfacique de 3^{ème} étage

(Source: auteur)

IV.6.2. Répartition des salles de lecture

Le projet se compose de quatre niveaux avec un entresol, qui constitue d'un théâtre d'enfant avec un bureau et des locaux à louer, tandis que le RDC abrite un bureau de réception avec une salle d'exposition et une cafeteria, le premier étage abrite deux salles de lecture (garçon et 9ièmeAnnée) Avec rayonnage, un bureau de catalogage et un bureau d'inscription.

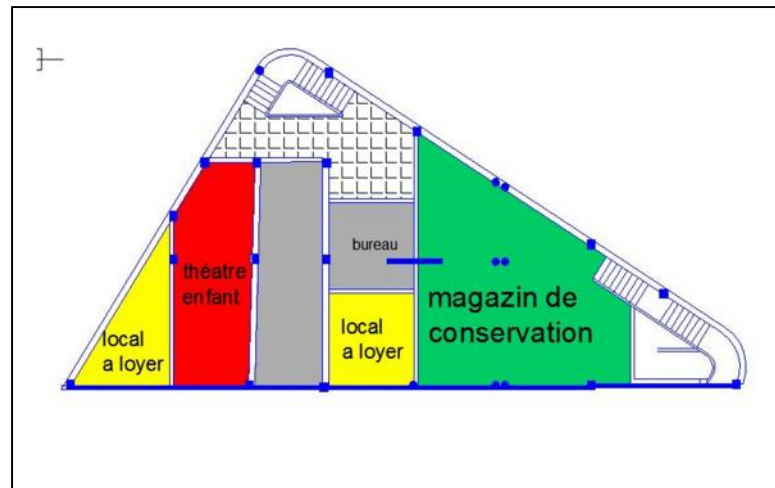


Figure IV.12: le plan de l'entresol

(Source: auteur)

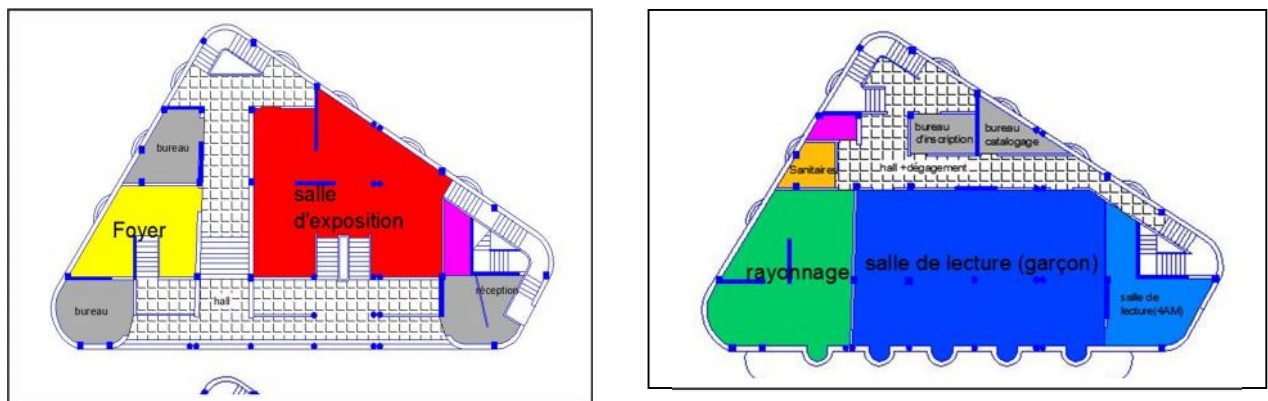


Figure IV.13 : De gauche à droite le plan de RDC et le plan de premier étage

(Source : auteur)

- Le troisième niveau se compose d'une salle de d'exposition et trois salles de lecture.
- Le quatrième niveau se compose de différents bureaux de service avec deux salles de lecture.

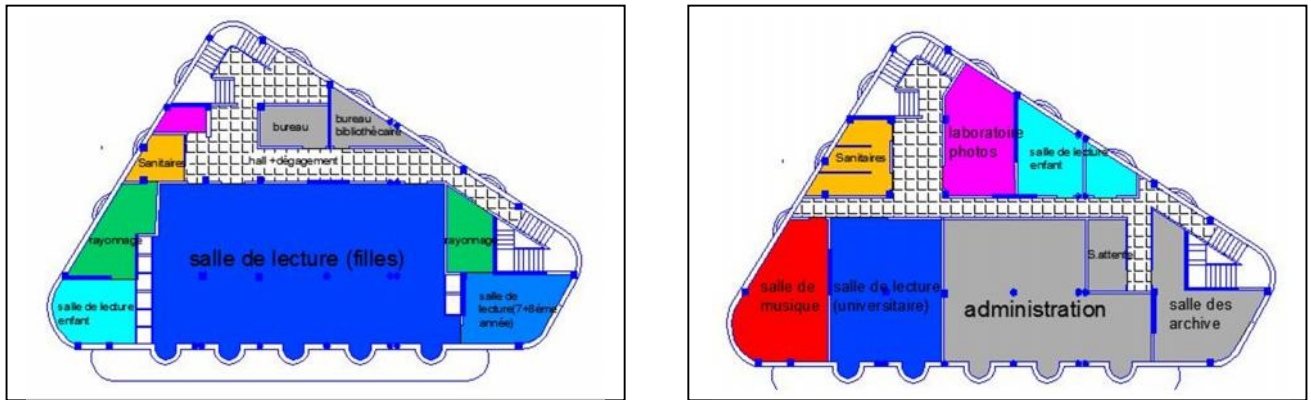


Figure IV.14: De gauche à droite le plan de deuxième étage et le plan de troisième étage

(Source: auteur)

IV.6.3. Description de la salle de lecture

A) Scénario 1:

La salle sans traitement acoustique, elle se situe au 2^{ème} étage, une salle de lecture pour les filles, orientée en plein sud, de forme rectangulaire, sa surface est 152m². Les cloisons intérieures sont composées de brique de 10cm, et les murs extérieurs sont de type double murette de 30 cm : mur extérieur de 15 cm et le mur intérieur de 10 cm avec une isolation (lame d'air) de 5cm, les planchers sont à corps creux de 20 cm, d'une hauteur sous plafond de 4.08 m (Figure IV.15).



Figure IV.15: la salle de lecture de 2^{ème} étage sans des traitements acoustiques

(Source: auteur)

B) Scénario 2 :

La salle est avec des traitements acoustiques, elle se situe au 2eme étage, une salle de lecture pour les filles, orientée en plein sud ,de forme rectangulaire, sa surface est 152m, les murs intérieure de séparation sont composé de brique de 15cm, avec des panneaux de paille de 5cm et les murs extérieurs sont de type double murette de 32 cm : mur extérieur de 15 cm et mur intérieur et de 10 cm avec une isolation (liège) de 7cm, les plancher de 22 cm de type hourdis résine avec isolation liège de 2 cm, le plafond en contreplaqué perforé.

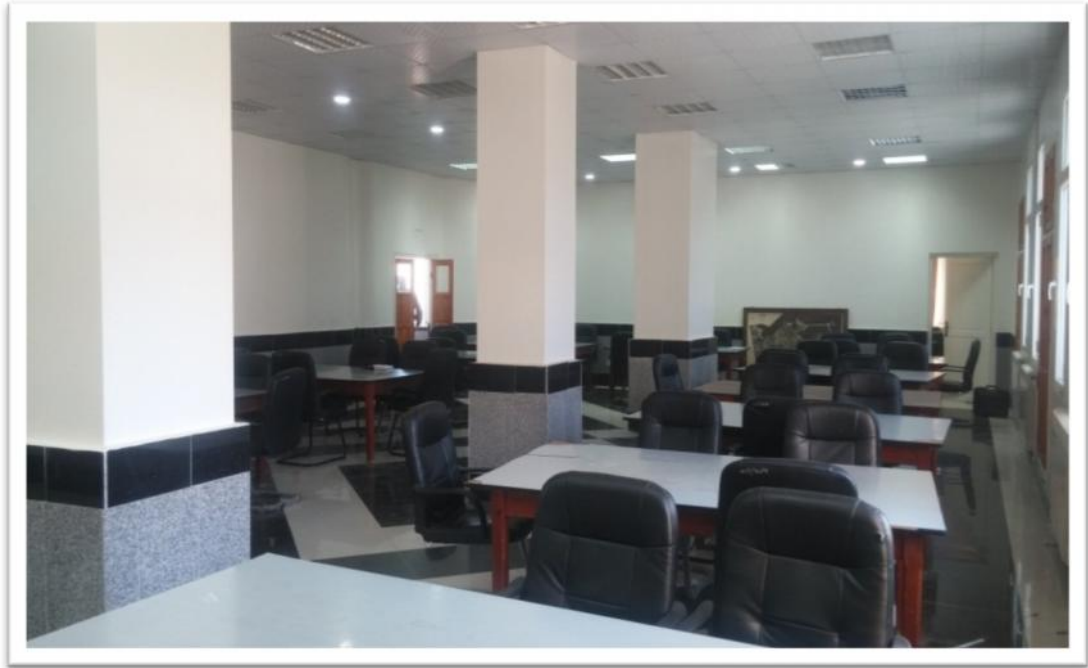


Figure IV.16: la salle de lecture de 2^{ème} étage après des traitements acoustiques

(Source: auteur)

IV.6.4. la répartition des ouvertures dans la salle de lecture de 2eme étage

Le tableau suivant montre la morphologie des différentes ouvertures qui permettent l'introduction de bruit à la salle de lecture de premier et de deuxième étage.

Dans ce passage on va montrer et décrit les différentes sortes des ouvertures (Figure IV.10) qui permettent l'introduction de bruit à la salle de lecture.

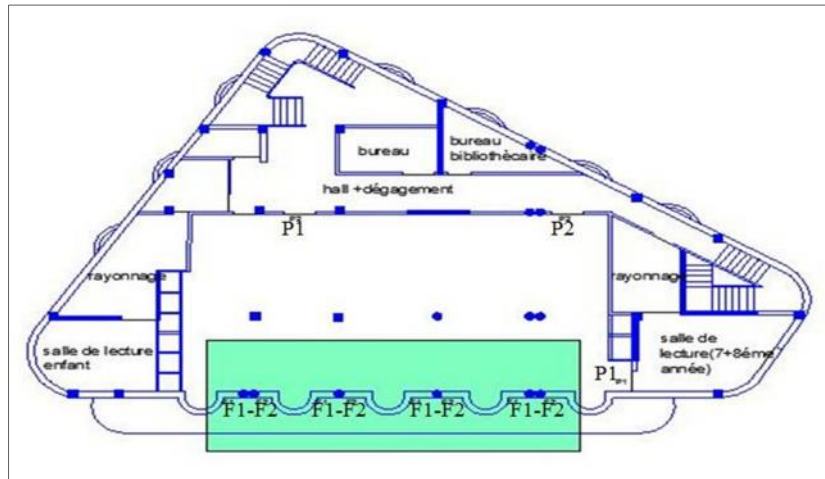


Figure IV.17: la répartition des ouvertures dans La Salle de lecture

(Source: auteur)

Tableau IV.1 : la morphologie des ouvertures dans la salle de lecture (Source : auteur)

Baies	Type	Taille (m)	Emplacement	Nombre	Forme	Orientation
F1	Latérale	2.00*0.80	La façade extérieure	4	Rectangulaire	Sud
F2	Latérale	2.00*0.80	La façade extérieure	4	Rectangulaire	Sud
P1	/	1.20*2.1	Sur la gauche de la salle de lecture	1	Rectangulaire	Est
P2	/	1.40*2.1	En face la façade principale de l'intérieur	2	Rectangulaire	Nord

Conclusion

Ce chapitre contient l'essentiel d'informations qui peuvent servir l'évaluation du cas d'étude dans son contexte, surtout ce qui concerne les sources de nuisance sonore et l'impact de bruit sur le confort acoustique de la bibliothèque.

La deuxième partie de ce chapitre qui contient une présentation d'objet d'étude la salle de lecture de la bibliothèque municipale de Jijel commençant par sa position ainsi que la description des différentes ouvertures.

INTRODUCTION

Ce chapitre d'approche est basé tout d'abord sur l'observation in situ de plusieurs situations sonores (questionnaires et mesures in situ se fait par un sonomètre numérique) pour analyser l'environnement acoustique et l'impact des nuisances sonores sur l'apprentissage et capacités des différents usagers de la bibliothèque. et l'évaluation objective par les mesures in situ du bruit de fond à l'intérieur et l'extérieur des salles de lectures de la bibliothèque municipale de Jijel, ainsi l'évaluation du confort acoustique dans la salle de lecture en complément du calcul de la durée de réverbération. à l'aide de logiciel de simulation ECOTECT ANALYSIS 2011.

V.1.L'outil de travail (simulation numérique)

C'est l'un des outils qui consiste à simuler (faire paraître comme réelle une chose qui ne l'est pas) un système phénomène donné afin d'étudier son fonctionnement, ses propriétés et de prédire son évolution. La simulation numérique repose sur la programmation de modèles théoriques ou mathématiques adaptés aux moyens numériques. C'est donc une série de calculs utilisant souvent la technique, dite des éléments finis effectuée sur un support matériel "ordinateur" dont les interfaces graphiques permettent la visualisation des résultats par des "images de synthèse.

V.2.Objectif de l'étude

L'objectif de la présente étude est d'évaluer quantitativement et qualitativement les performances acoustiques dans les salles de lecture sur la base de différents indicateurs qui aident à créer un confort sonore adéquat tel que le type de l'isolant, son épaisseur, son position, les dimensions, ses formes. la conception architecturale de la bibliothèque et la conception de la salle de lecture étudiée pour définir la qualité acoustique des conceptions différentes (avec ou sans traitements acoustiques), ainsi que l'influence de surface d'ouverture sur le confort acoustique dans la salle de lecture étudiée afin de confirmer ou infirmer les hypothèses citées dans le chapitre introductif.

V.3. Argumentation du choix des logiciels de Simulation

Les logiciels de simulation informatique de l'analyse acoustique ont connu et connaissent encore une évolution très rapide. Ils permettent des simulations du temps de réverbération ont été effectuées avec différents type de matériaux isolants dans un espace architectural localisé. Cela donne la possibilité de réaliser une conception acoustique adéquate.

Nous avons optée pour le choix du logiciel ECOTECT ANALYSIS 2011, grâce à sa convenance avec notre méthodologie du travail : c'est un outil d'analyse environnementale qui Offre un large éventail de fonctionnalités de simulation et d'analyse qui peut améliorer la qualité du confort acoustique des bâtiments.

Il permet, aux concepteurs de travailler facilement en 3D et appliquer tous les outils nécessaires en un temps efficace. Il compte d'une série d'outils d'analyse et de traitement de données qui simplifient plus d'un autre logiciel le travail des architectes.

Il appartient au groupe Autodesk, ce qui simplifie l'interaction avec les fichiers en 2D (DFX).

V.3.1.Présentation de logiciel de simulation Ecotect 2011

EcotectAnalysis 2011, est un logiciel de simulation développé pour la première fois par Andrew Marsh et récemment approprié par la société américaine Autodesk. Ecotect a été conçu pour que la conception environnementale la plus efficace soit validée pendant les premières étapes conceptuelles du design.

Ecotect permet aussi d'avoir une idée précise sur le rayonnement solaire (en visualisant le rayonnement solaire sur les fenêtres et les autres surfaces, à n'importe quelle période de l'année), sur l'éclairage naturel (en calculant les valeurs des facteurs d'éclairage naturels et les niveaux d'éclairage à n'importe quel point du modèle) et aussi sur les ombres et réflexions (en affichant la position et le parcours du soleil par rapport au modèle, à la date, à l'heure et à l'emplacement choisis).

Cependant, Ecotect ne permet pas d'avoir des résultats poussés en termes de photométrie mais seulement des moyennes annuelles. Dans ce sens, ses développeurs lui ont fourni des sorties plus étendues à travers des interfaces d'outils plus spécialisés.

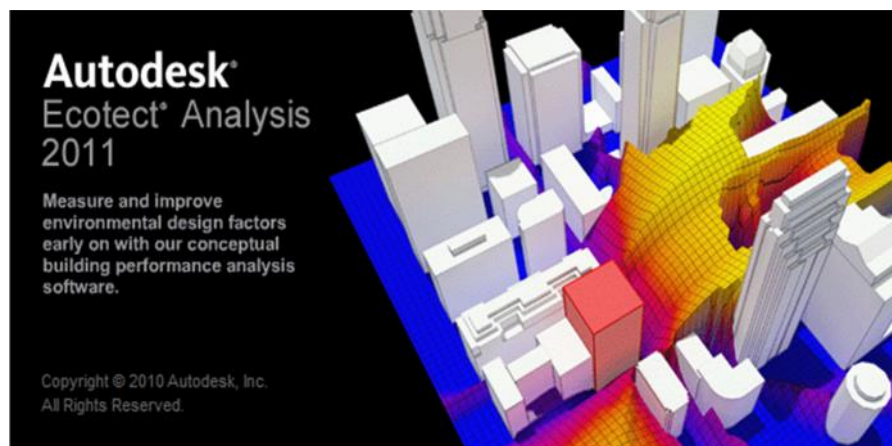


Figure : V.1:Ecotect analysis 2011
(Source : EcotectAnalysis 2011)

V.4. la méthode de simulation

V.4.1. Préparation des plans

La première tâche est de redessiné les plans et l'environnement immédiat de l'objet d'étude on utilisant le logiciel Autodesk-Autocad 2012.

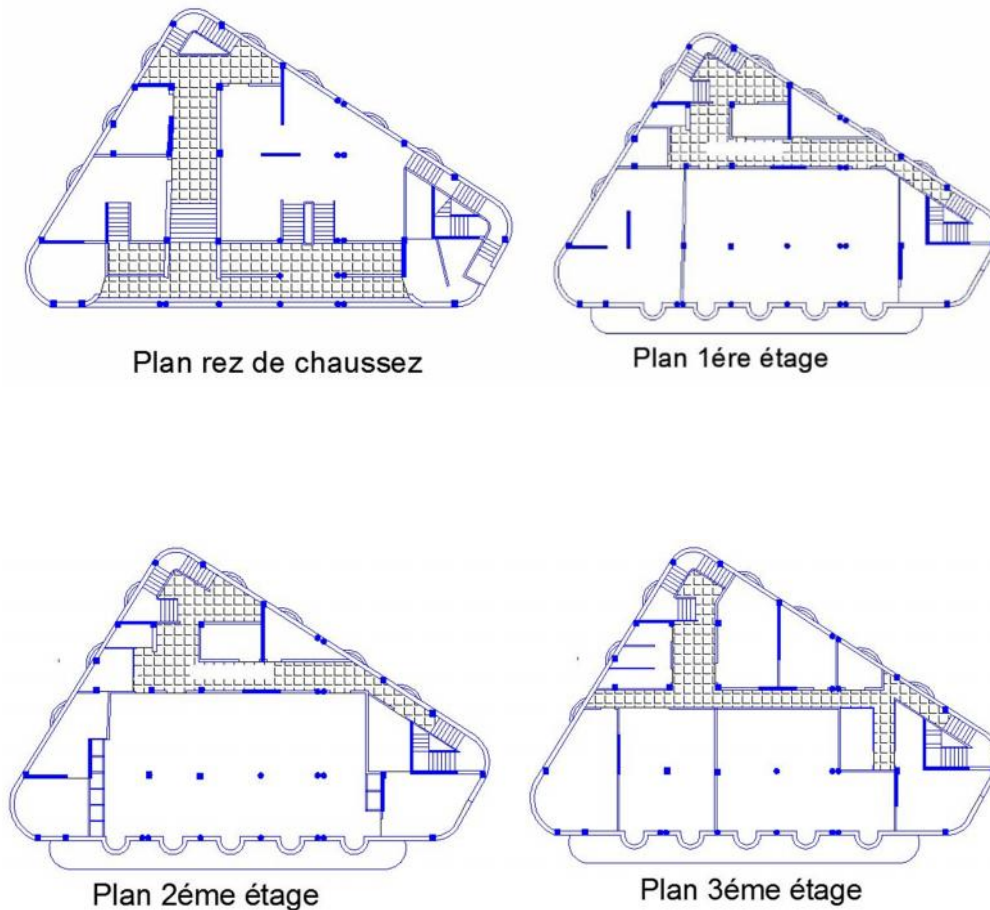


Figure V.2: redessiné les plans
(Source : auteur)

V.4.2. Paramétrage de l'EcotectAnalysis

Cette tâche sert à introduire dans le logiciel les informations essentielles pour l'obtention les résultats adéquats. Ces paramètres contiennent toutes les données relatives au modèle et à son environnement à savoir :

V.4.2.1. La description du projet

Dans cette première phase de travail, les informations sur le projet (son nom, genre et sa destination ainsi que son emplacement géographique).

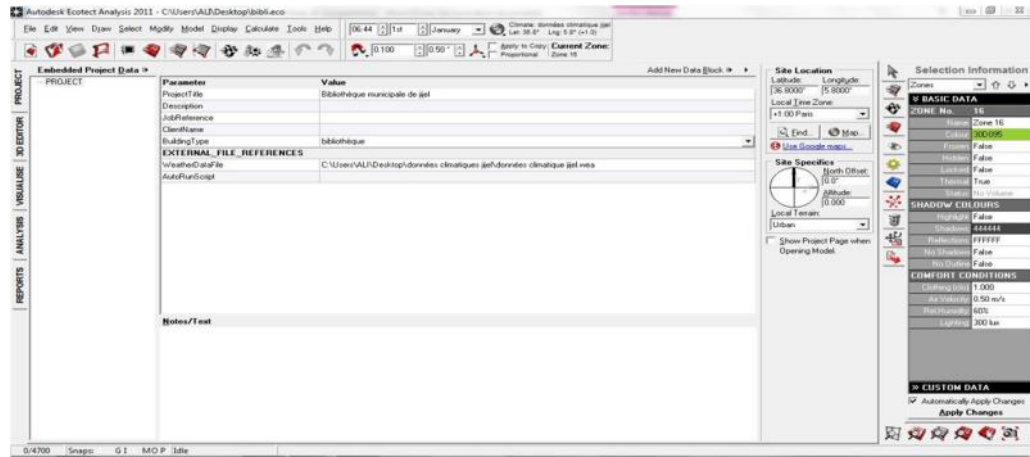
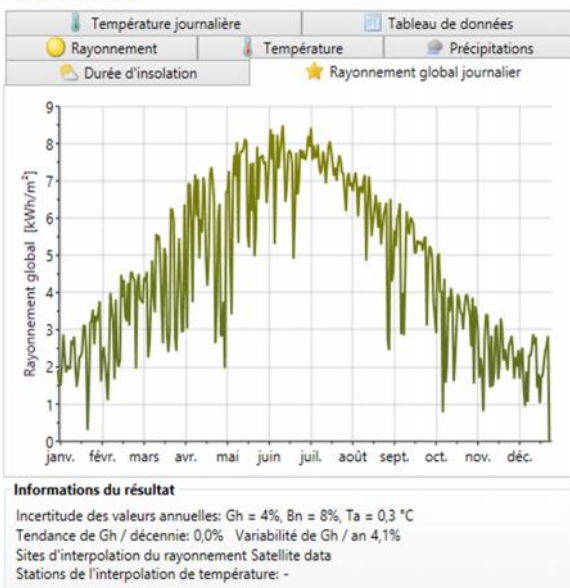


Figure V.3: modifié la dimension du modèle.
(Source : EcotectAnalysis 2011)

V.4.2.2. Les données climatiques

Avant de démarrer le travail il faut ajouter un fichier weather data créer par le logiciel meteonorm7 convertit vers format WEA pour que l'Ecotect la connaisse,

JIJEL/TAHER



JIJEL/TAHER

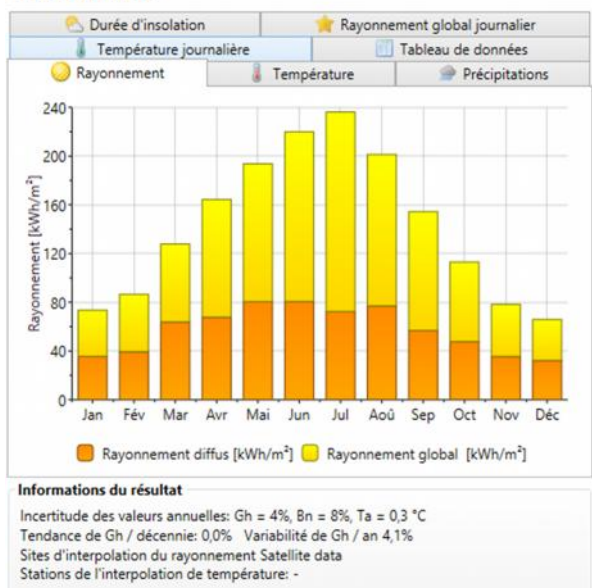


Figure V.4: quelque résultat de météonorm7 concernant le rayonnement et le rayonnement global journalier
(Source : meteonorm7)

V.4.2.3.L'orientation

Dès le départ de la simulation, il faut toujours définir le paramètre de l'orientation à cause de son importance dans le processus de simulation ainsi que la nature de site et choisi le type urbain.

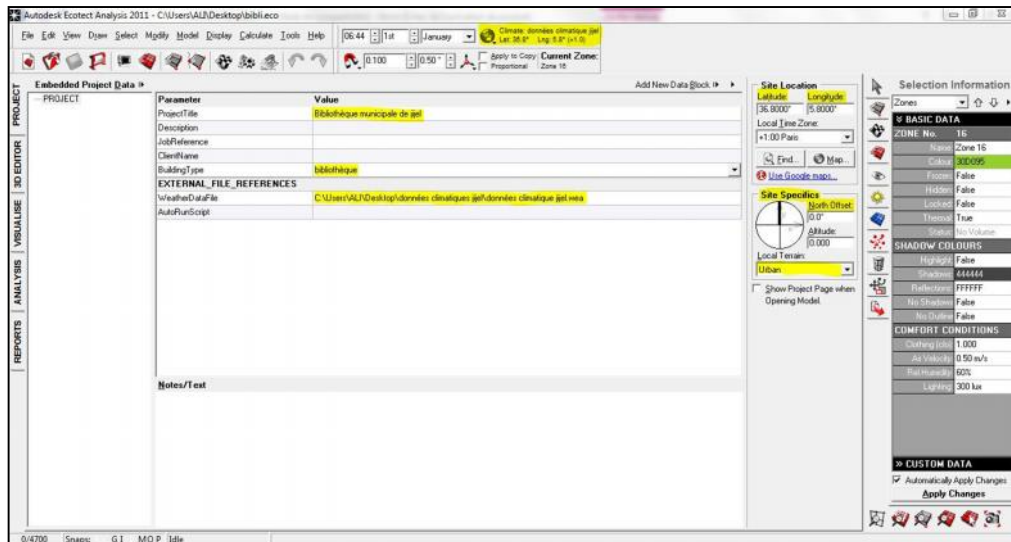


Figure V.5: le paramétrage du logiciel.
(Source : EcotectAnalysis 2011)

V.4.3. Importation des plans

Après avoir modélisé Les plans de l’objet d’étude par le logiciel Autocad 2012, et enregistré sous format DXF pour les connaître par Ecotect, avec le réglage de différents paramètres tel que la compatibilité des échelles.

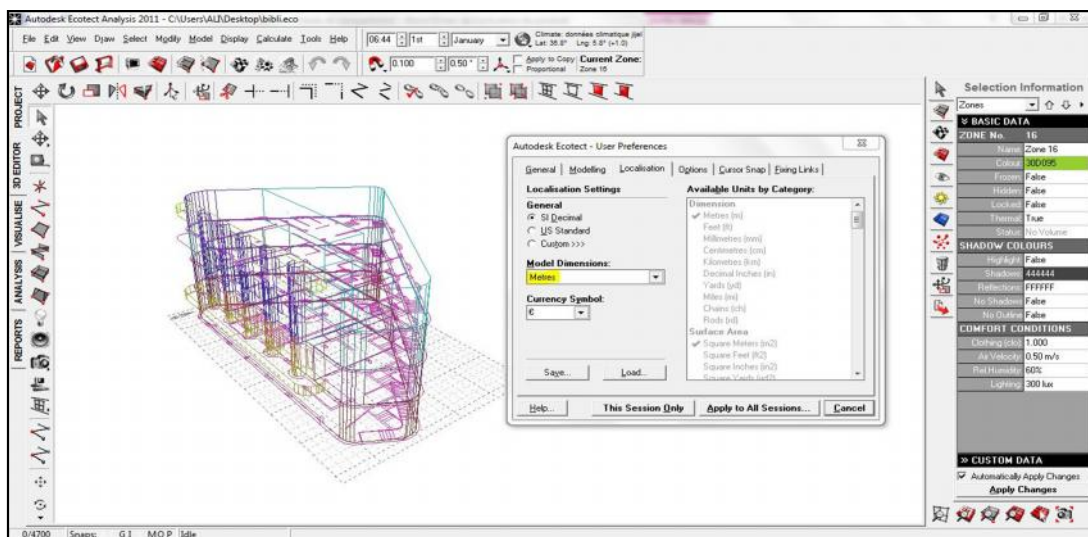


Figure V.6: modifié la dimension du modèle.
(Source : EcotectAnalysis 2011.)

V.4.4. Modelage en 3D :

Avec l’utilisation de la barre ‘modélisation’ de l’Ecotect, on a modélisé la 3D de bibliothèque municipale avec tous ces composants telle que notre objet d’étude la salle de lecture la salle avec la commande « Zone ».

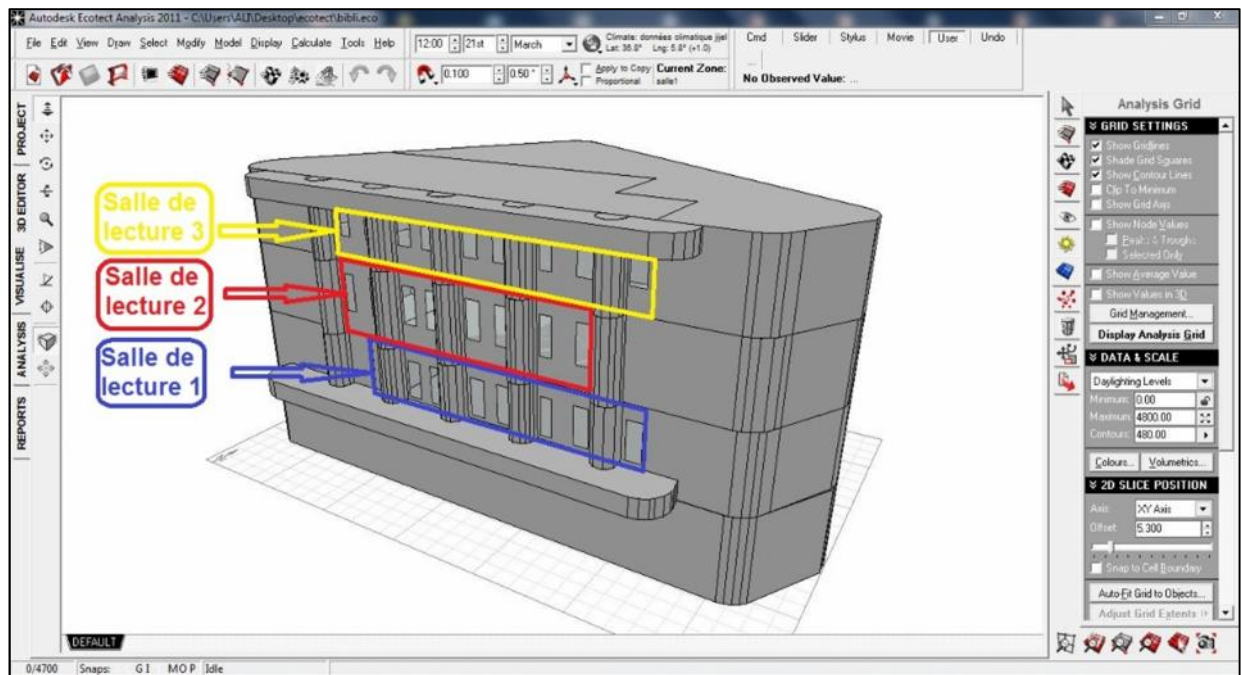


Figure V.7: modélisation de la 3D en Ecotect.
(Source : EcotectAnalysis 2011.)

V.4.5.Insertion des ouvertures et des portes

La possibilité de manipulation de l'emplacement de l'ouverture dans la fenêtre 3d lors et après l'ajout de l'ouverture.

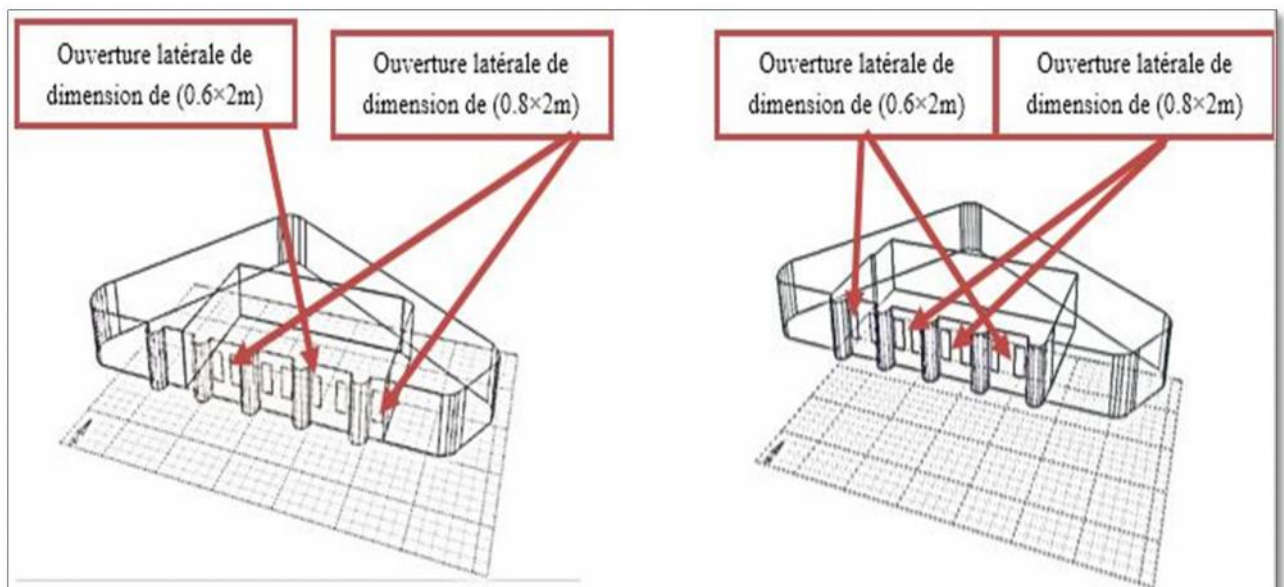


Figure V.8: insertion des ouvertures et des portes
Source : EcotectAnalysis 2011

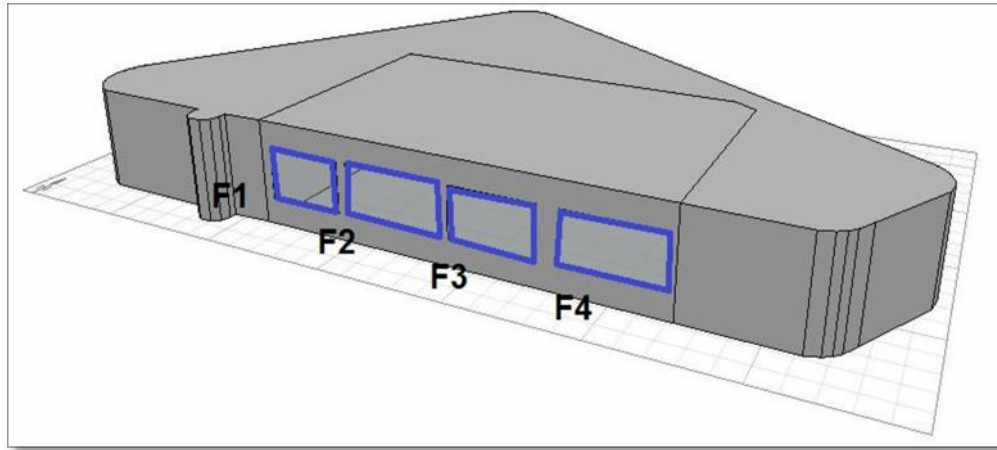


Figure V.9: modélisation de la 3D de 2eme étage en Ecotect.
(Source : EcotectAnalysis 2011.)

V.4.6. Protocole de simulation

A) Scénario 1 : la salle sans traitement acoustique

A.1) mur extérieur :

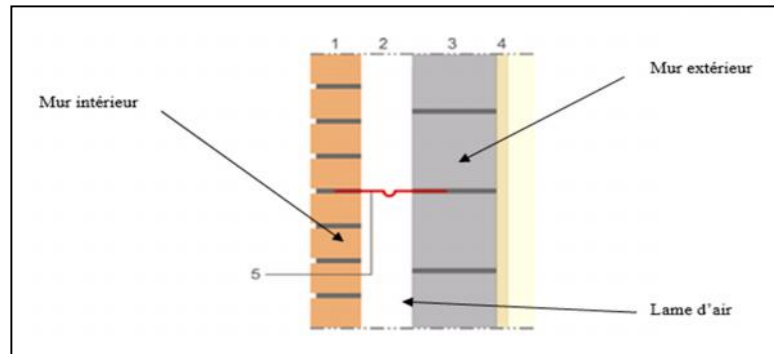


Figure V.10: les composantes de mur extérieur
(Source : auteur)

A.2) les cloisons intérieures:

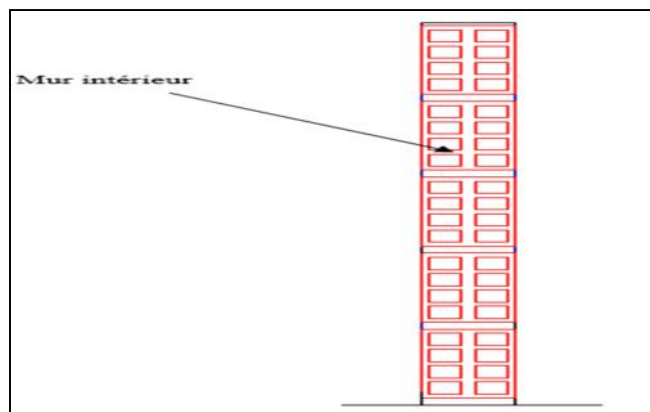


Figure V.11: les composantes des cloisons intérieures
(Source : auteur)

A.3) le plancher :

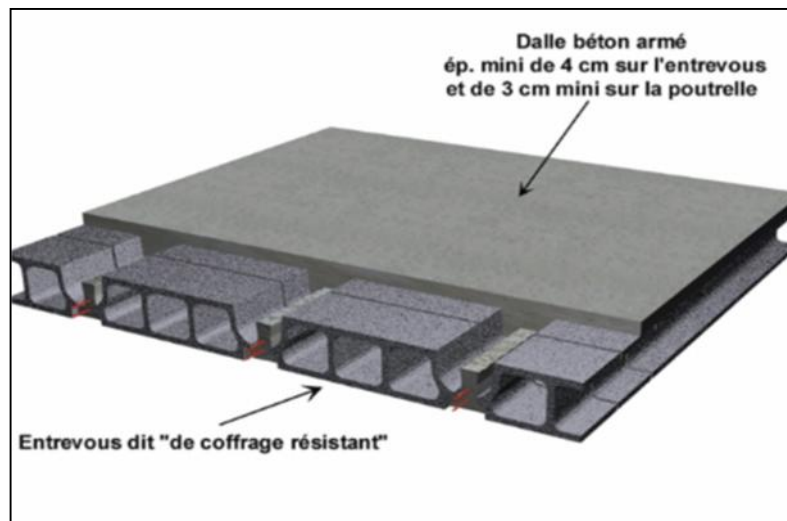


Figure V.12: les composantes de plancher

(Source : auteur)

B) Scénario 2 : la salle après des traitements acoustiques

B.1) mur extérieur :

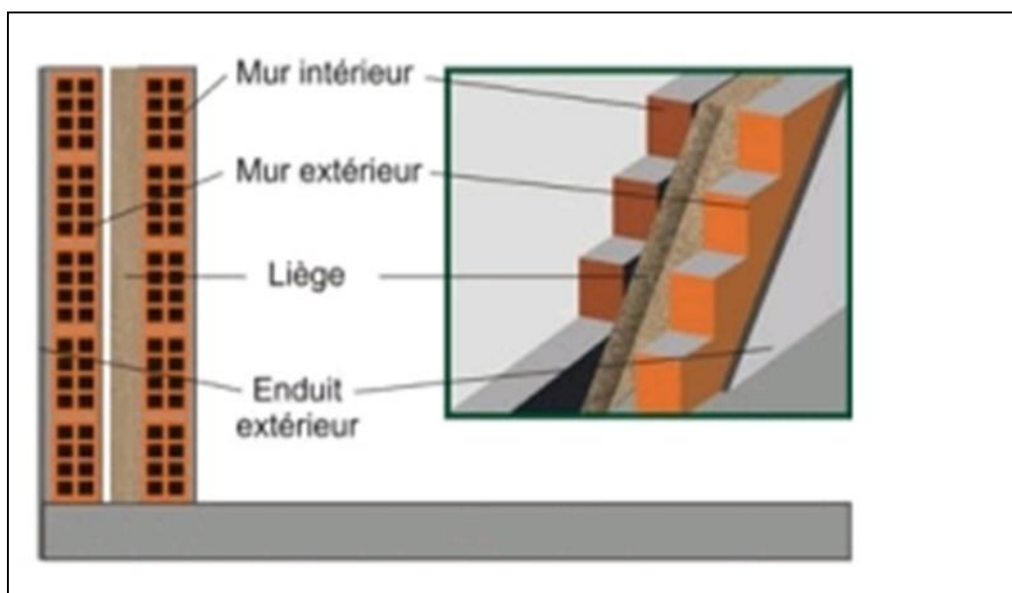


Figure V.13: les composantes de mur extérieur

(Source : auteur)

B.2) les cloisons intérieures:

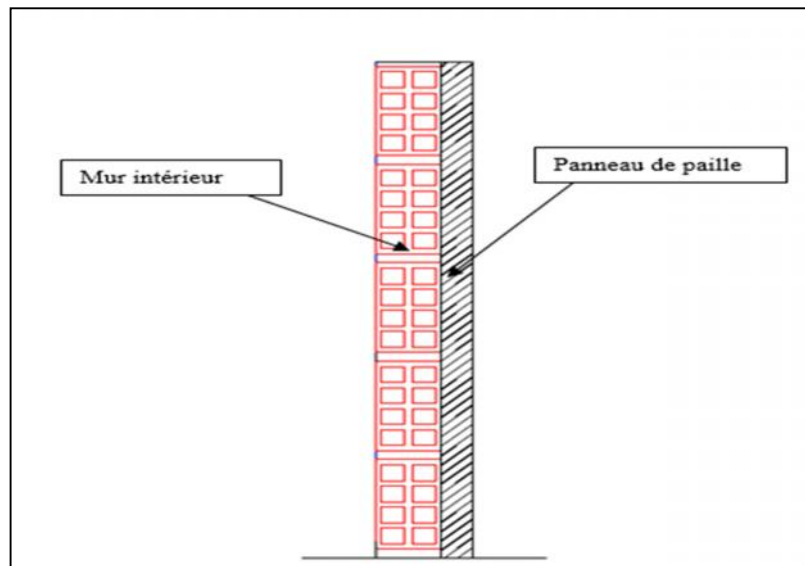


Figure V.14: les composantes des cloisons intérieures
(Source : auteur)

B.3) le plancher :

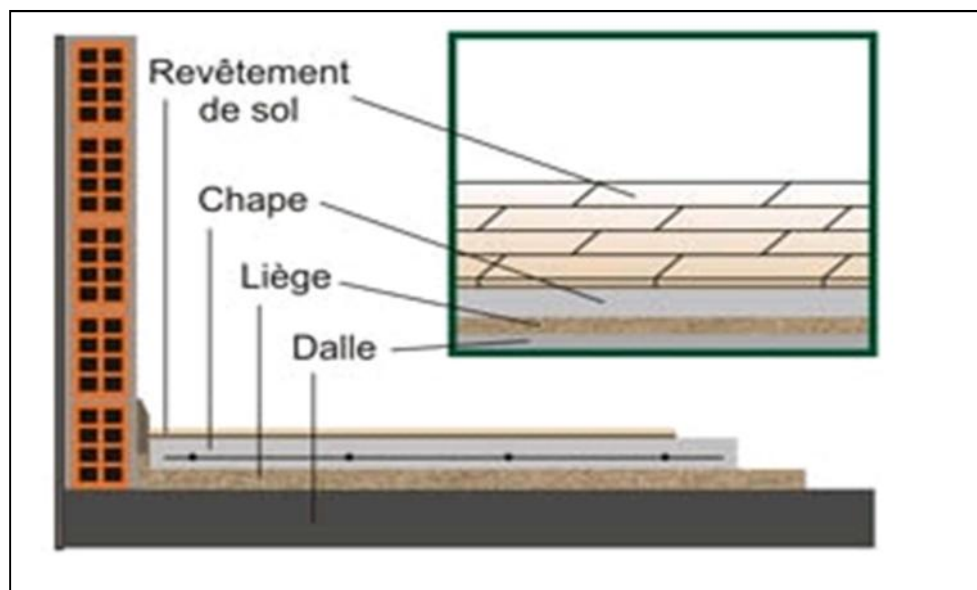


Figure V.15: les composantes de plancher
(Source : auteur)

V.4.7. Le choix de l'isolant

Une isolation intérieure est utilisée en disposant deux types d'isolants écologiques, le liège expansé et la paille. et le contreplaqué perforé sur la partie de plafond.

V.4.7.1. Le liège expansé

Le liège allie l'effet « amortisseur » en faisant un très bon absorbant du bruit à un effet « masse » qui est la base de l'isolation acoustique. Le mur (devant ou derrière) constitue également une masse de densité différente permettant d'accentuer l'isolation. Cette isolation avec le liège se fait en mur, en dalle et même sur les toits pour renforcer l'étanchéité, le liège est un bon absorbant du son pour la correction acoustique parce qu'il est constitué naturellement de 95 % de gaz inerte, et Grâce à sa structure cellulaire compacte et souple, le liège absorbe un maximum des ondes reçues, En plus il est très simple à mettre en œuvre pour isoler intérieurement et extérieurement Suivant son épaisseur et son mode de pose, le liège peut absorber des différentes fréquences.

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

Tableau V.1: LES COMPORTEMENTS PHONIQUES DU LIEGE

(Source: Hamayon Loïc, 2008. réadaptée par l'auteur)

V.4.7.2. La paille

La paille, une tige sèche issue de la culture des céréales comme le blé, dont la tête est coupée pour l'alimentation, est compressée pour obtenir des panneaux utilisée pour certains travaux de rénovation et de construction et d'isolation des constructions neuves, peut être disposé au niveau des murs et même les planchers, soit en vrac, en bloc ou en botte, des fibres ou bien des ballots en respectant des techniques d'utilisations, et de compression.

Les panneaux de paille constituent un élément efficace pour l'isolation acoustique, soit en panneaux doublées soit doté a un mur de brique ou en béton: des essais ont montré qu'un ballot de paille a un indice d'isolation phonique de 29-49 dB.

V.5. la simulation

Afin d'examiner l'efficacité des deux isolants choisis sur le confort acoustique intérieur des salles de lectures, une simulation avec le logiciel Ecotect a été effectuée, sur les deux cas, afin de comparer les résultats avec les normes recommandées. Le but de cette évaluation est d'assurer le confort acoustique idéal aux usagers.

V.5.1. Le projet objet de simulation dans son environnement immédiat

Dans toute simulation vis a évalué la qualité du confort acoustique dans un local il est obligatoire d'ajouté l'objet d'étude a l'interface de travail avec son environnement.

La salle de lecture objet de simulation est au deuxième étage est exposée à l'extérieur à partir d'une seule façade orienté sud entouré par des voiries.

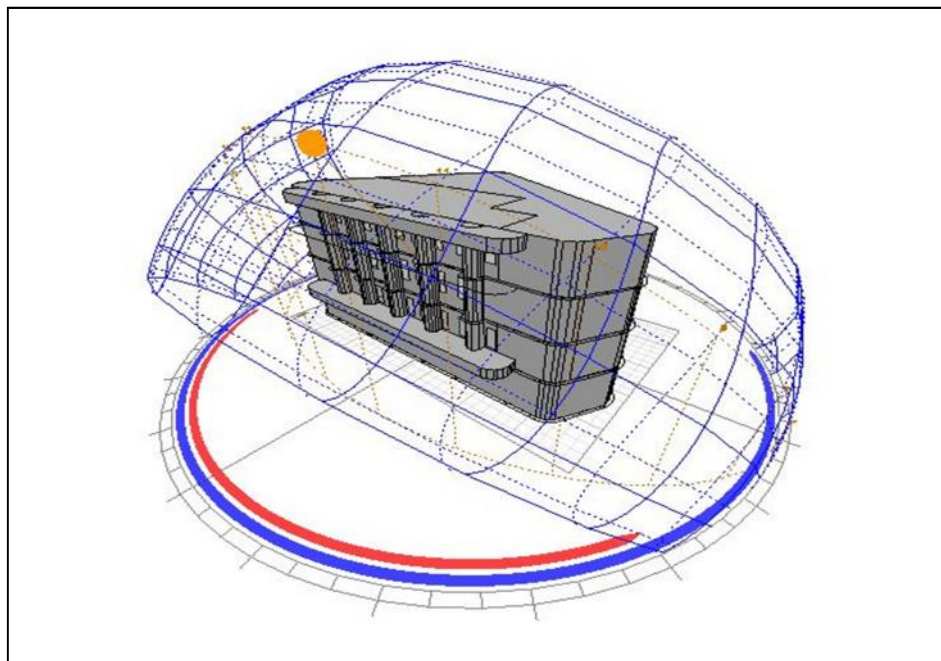


Figure V16: L'ensoleillement annuel de la bibliothèque

(Source : EcotectAnalysis 2011)

CONCLUSION

Dans ce chapitre on a expliqué de la méthode de simulation, qu'on a pu établir par l'ECOTECT ANALYSIS 2011 dans les deux cas sans et avec des traitements acoustiques.

INTRODUCTION

Il est important d'interpréter les résultats qu'on a eus de la simulation précédente les durées de réverbération et les niveaux sonores à l'intérieur de la salle sur la base de différents indicateurs (Avec ou sans traitements acoustiques) qui aident à créer un confort sonore adéquat en comparant la différence des résultats obtenus aux celles recommandés.

Aussi, on va proposer un résultat de recherche livresque sur l'évaluation du confort acoustique dans les salles de lecture.

Finalement, on va proposer un ensemble des recommandations concernant l'objet d'étude et à généraliser qui seront vérifiées par rapport aux normes, on se basant sur les résultats obtenus. Le choix sera dégagé en fonction de leur efficacité en ce qui concerne l'amélioration de confort acoustique à l'intérieur de la salle de lecture.

VI.1. Analyse et interprétation des résultats et Comparaison avec les normes

VI.1.1. Scénario 1 : la salle de lecture sans traitements acoustique

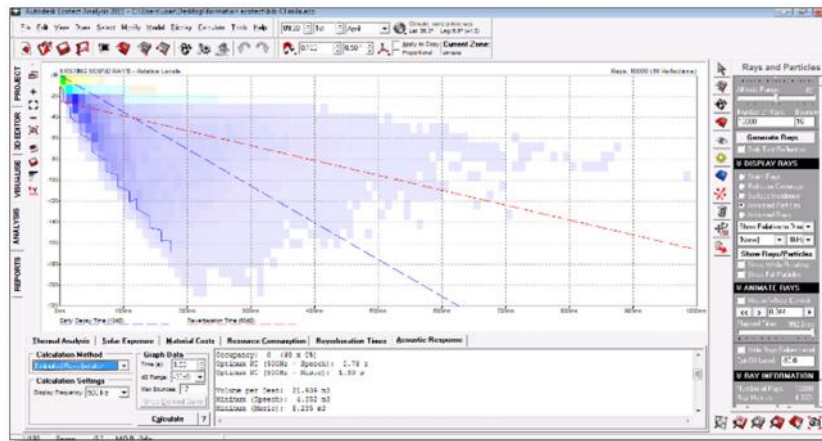


Figure VI.1 : Les niveaux relatifs à la réponse impulsionnelle des rayons (Source : auteurs)

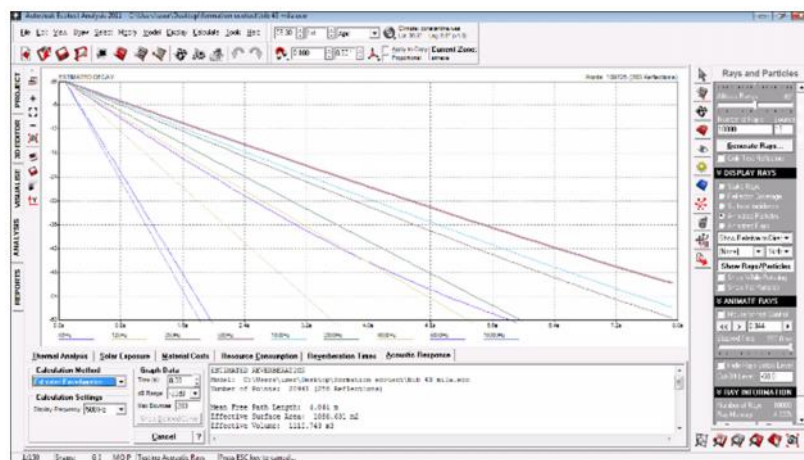


Figure VI.2 : Estimations de la décroissance du point (Source : auteurs)

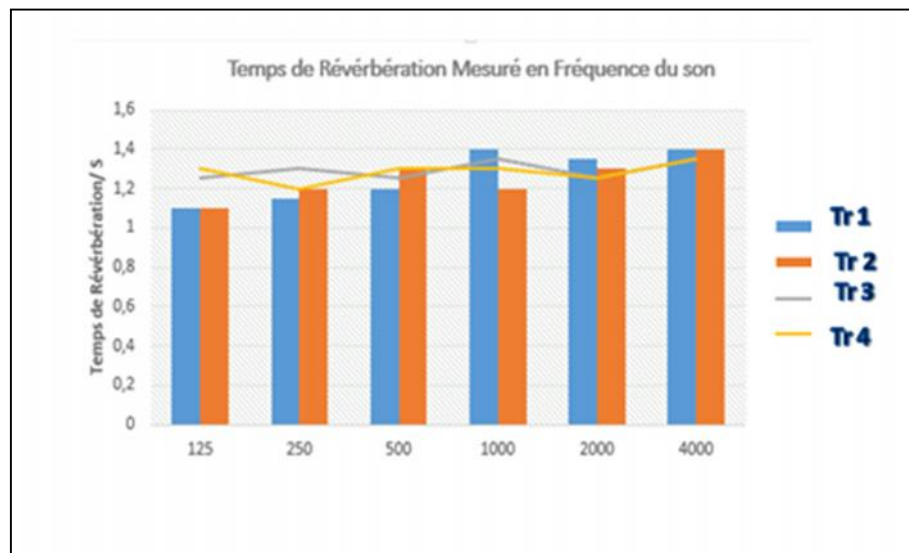


Figure VI.3 : Temps de réverbération mesuré en fréquence du son

(Source : auteurs)

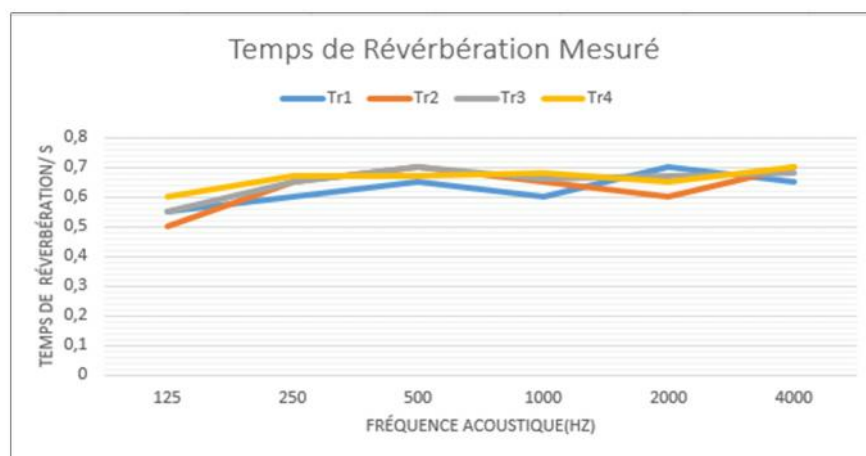


Figure VI.4 : Temps de réverbération mesuré (les normes)

(Source : auteurs)

Les résultats

Les graphes montrent que pour la salle de lecture de deuxième étage de la bibliothèque municipale de la wilaya de Jijel avec les présences des personnes à l'intérieur un temps de réverbération de 1.4s qui est nettement supérieur à les normes recommandées de 0.4s-0.8s, doté d'un niveau sonore de 54dB supérieur à la norme recommandée pour les salles de lecture : 45-50dB, ces chiffres élevés sont dus à la présence des usagers (on a pris dans les calculs le max des personnes qui peuvent retrouver dans la salle), ainsi la raison de l'absence des isolants des murs et des planchers.

VI.1.2.Scénario2: la salle de lecture avec des traitements acoustique

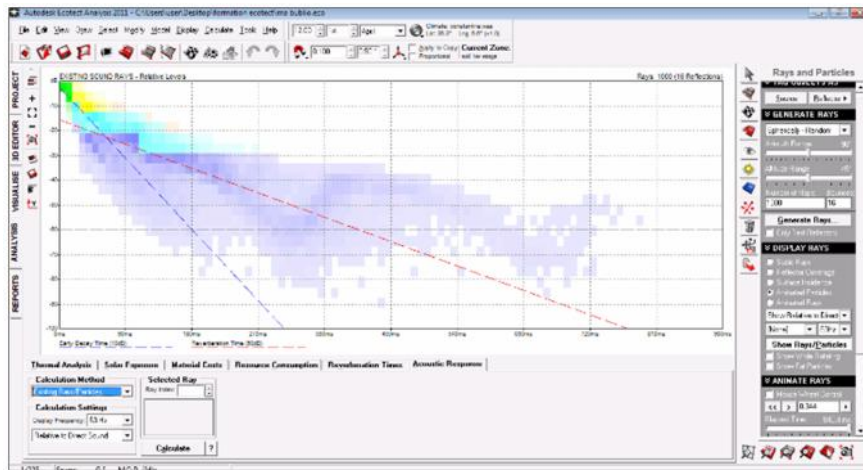


Figure VI.5 : Les niveaux relatifs à la réponse impulsionnelle des rayons
(Source : auteurs)

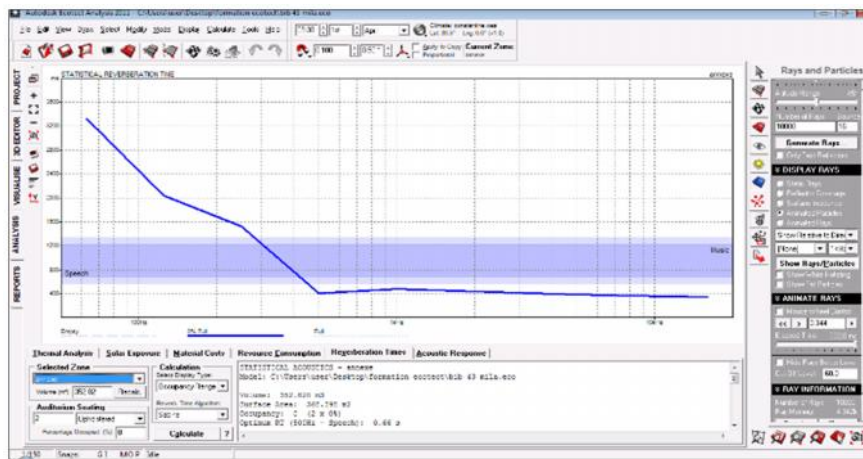


Figure VI.6 : Estimations de la décroissance du point
(Source : auteurs)

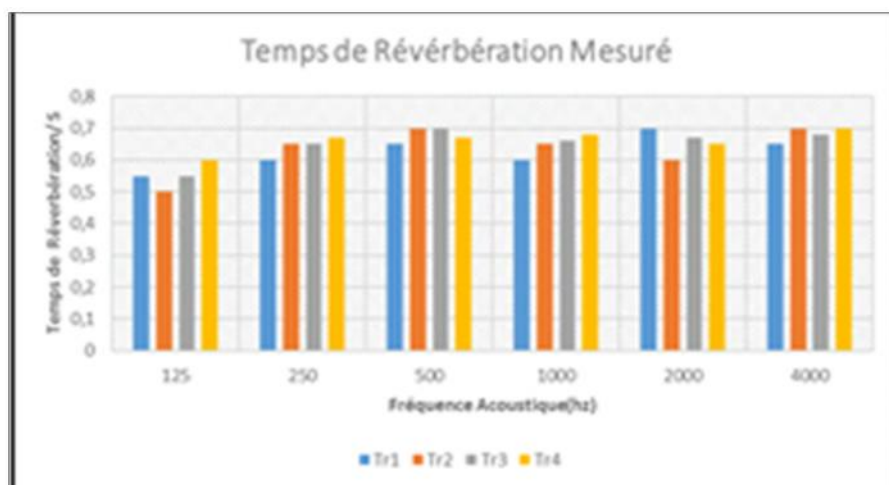


Figure VI.7 : Temps de réverbération mesuré en fréquence du son
(Source : auteurs)

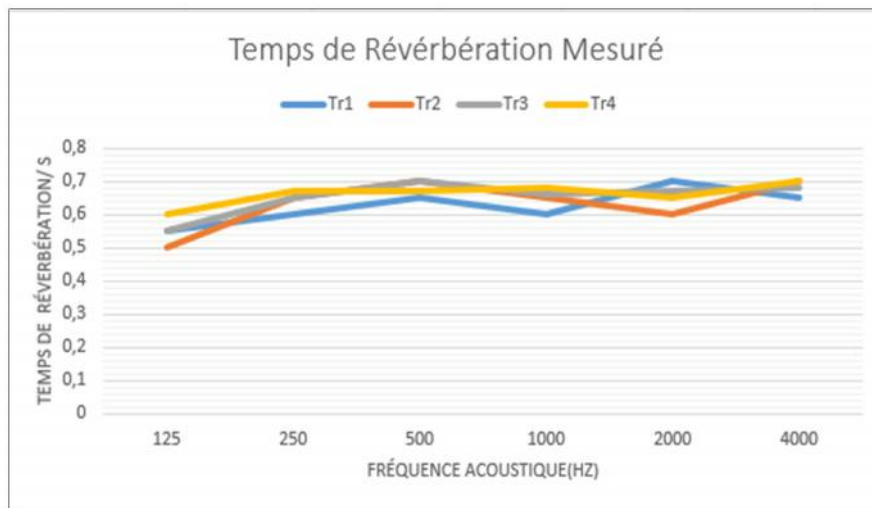


Figure VI.8 : Temps de réverbération mesuré (les normes)

(Source : auteurs)

Les résultats

Les graphes montrent que pour la salle de deuxième étage de la bibliothèque municipale de la wilaya de Jijel avec la présence des personnes à l'intérieur, le temps de réverbération de 0.7s dans la fourchette des normes recommandées de 0.4s-0.8s, doté d'un niveau sonore de 45dB, un niveau satisfaisant qui permet la lecture et la concentration à l'intérieur de la salle de lecture, ces chiffres crédibles sont dus à l'utilisation des isolants sur les murs, le plafond et les planchers afin de réduire les différents types de bruit : d'impact, aérien..., soit intérieur ou même extérieur.

VI.3. Recommandations

VI.3.1. Recommandations concernant l'objet d'étude

- L'isolation acoustique peut être obtenue grâce à un plan de masse approprié, des matériaux adaptés et une bonne disposition des salles de lecture. Toutefois, on peut avoir recours au double vitrage acoustique et au renforcement de l'isolement des parois.
- Les dimensions et le volume de la salle doivent être étudiés afin d'éviter un long temps de réverbération. D'une manière générale, il faut éviter les salles longues et étroites et les salles trop larges (privilégier les traitements acoustiques avec des matériaux absorbants, faux-plafond et revêtements muraux acoustiques).
- Traiter les couloirs pour éviter la réverbération et la propagation des bruits.

VI.3.2. Recommandations à généraliser

- Le choix du site doit tenir compte de l'éloignement de l'école par rapport à la source de bruit. Cela permet une réduction de 3 à 6 dB(A) (sonore linéaire ou ponctuelle respectivement par doublement de distance). Pour cela, les documents d'urbanisme devraient constituer des outils de choix et de prévision.
- La disposition architecturale interne du bâtiment doit respecter un zoning sonore avec une hiérarchisation des espaces du plus bruyant au plus calme. Séparer les salles de lecture (espaces calmes) des espaces bruyants: cantine culturel et terrains de jeux, aussi bien horizontalement que verticalement.
- Le choix de l'emplacement et de l'orientation du bâtiment culturel doit tenir compte des contraintes acoustiques du site. Les locaux sensibles (salles de lecture) doivent être orientés du côté calme, à l'opposé des sources de bruit (on tiendra cependant compte également de l'orientation des façades et de son interaction avec l'éclairage naturel et l'apport solaire).
- Implanter les bibliothèques à l'écart des artères à grand trafic. Le niveau de bruit au site choisi doit être inférieur à 45dB(A).
- Eviter d'ouvrir les salles de lecture (espace sensible) sur l'extérieur ou sur les terrains de jeux.
- Equiper la salle avec des tables et chaises avec embout souple ou chaises fixes, pour éviter les bruits solidiens.
- Mesurer l'isolement des façades pour voir l'impact réel des différents matériaux de construction sur l'atténuation des bruits extérieurs et la perception des usagers.

VI.4. comparaison livresque des recommandations

- ✓ Une comparaison livresque des recommandations concernant le niveau de bruit ambiant maximal dans les salles de lecture montre que les valeurs françaises sont moins exigeantes que celles des autres pays.
- ✓ Le tableau VI -1 présente les chiffres pour quelques pays. L'indicateur de bruit est le niveau de pression acoustique équivalent pondéré $Leq(A)$.
- ✓ Le tableau VI -2 présente les niveaux de bruit de fond maximal recommandés dans les salles de lecture.

Tableau VI - 1. Recommandations en termes de bruit ambiant intérieur pour divers pays

(Source: Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale, 2004)

Pays		Belgique	France	Allemagne	Italie	Portugal	Grande-Bretagne	Suède	Turquie	Brésil	USA
Année des textes		1977/87	1995	1989	1975		1997	1995	1986	1987	2002
Type d'espace	Salle de lecture	30-45 ⁽¹⁾	38	30	30	35	40	30	45	40-50	35-40
	Bibliothèque	-	33	30	-	-	40	35	-	35-45	35-40
	Salle de musique	30-40	-	-	-	-	30	-	-	-	-
	Hall, couloir, préaux	-	-	-	40	-	50	-	-	-	-
	Restaurant, gymnases	35-40	43	-	40	40-45	-	40	60	-	-
	Ateliers	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Etablissements pour handicapés auditifs ⁽²⁾	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-

(1) Les niveaux intérieurs préconisés dépendent du niveau du bruit de l'environnement dans le quartier, classé en quatre catégories

(2) Les niveaux recommandés sont inférieurs de 10 dB pour les malentendants.

Tableau VI - 2. Niveaux du bruit ambiant dans les salles de lecture.

(Source: Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale, 2004)

Pays	Normes, recommandations ou directives	Source
France	38 dB(A) dans le cas d'un bruit continu ; 43 dB(A) dans le cas d'un bruit intermittent	Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement
Suisse	35 dB(A) (en LeqA sur la durée d'un cours)	Recommandation suisse
Grande-Bretagne	35 dB(A) pour les salles de lecture recevant moins de 50 personnes; 30 dB (A) pour les salles recevant plus de 50 personnes. (en LeqA sur 30 minutes)	Recommandations du Building Bulletin de juin 2003
USA	35 dB pour les salles de volume < 566 m ³ ; 40 dB pour les salles de volume > 566 m ³ .	ANSI S12.60-2002 (Acoustical Performance criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools) de 2002
	30 dB max	American speech Language Hearing Association (ASHA-1990)

VI.4.1. Temps de réverbération

En terme de temps de réverbération (T_r) des salles de lecture, l'American speech Language Hearing Association (ASHA) aux Etat-Unis, recommande un $T_r = 0,4$ s. La norme ANSI S12.60 de 2002, fixe un $T_r = 0.6$ s pour un volume de la salle inférieur à 283 m^3 .

En Belgique, la recommandation BIAP (Bureau International d'Audiophonologie) de février 2003, fondée sur les recommandations de l'OMS, est de $0,4$ s. En France, l'arrêté du 25 avril 2003 indique des T_r de $0,4-0,8$ s. dans une salle de volume $\leq 250 \text{ m}^3$ et de $0,6-1,2$ s dans une salle de volume $>250 \text{ m}^3$.

En Angleterre, les recommandations du Building Bulletin (2003) est un $T_r = 0.8$ s pour les salles vides et meublées (moyenne obtenue des T_r à 500 Hz , 1 KHz et 2 KHz).

En Algérie, le T_r préconisé dans les locaux culturels est 0.8s (DTR C3.1.1- 2004: Isolation acoustique des parois aux bruits aériens- Règle de calcul)

En France, les durées de réverbération réglementaires (Articles 5 et 8 de l'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements culturels) dans les autres locaux des établissements culturels sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau VI - 3. Durée de réverbération réglementaire dans les locaux culturels

(Source: Hamayon, 2006)

Locaux concernés	Durée de réverbération T_r (secondes)
Salle de repos, Local d'enseignement, de musique, d'études ou d'activités pratiques, salle de restauration et salle polyvalente d'un volume $\leq 250 \text{ m}^3$ Local médical ou social, infirmerie, sanitaires, administration, foyer, salle de réunion, bibliothèque, CDI	$0.4 \text{ s} \leq T_r \leq 0.8 \text{ s}$
Local d'enseignement, de musique, d'études ou d'activités pratique d'un volume $> 250 \text{ m}^3$, sauf atelier bruyant	$0.6 \text{ s} \leq T_r \leq 1.2 \text{ s}$
Salle de restauration d'un volume $> 250 \text{ m}^3$	$T_r \leq 1.2 \text{ s}$
Salle polyvalente d'un volume $> 250 \text{ m}^3$	$0.6 \text{ s} \leq T_r \leq 1.2 \text{ s}$ et étude particulière obligatoire
Autres locaux et circulations accessibles aux usagers mineurs d'un volume $> 250 \text{ m}^3$	Si $250 \text{ m}^3 < V \leq 512 \text{ m}^3$: $T_r \leq 1.2 \text{ s}$ Si $V > 512 \text{ m}^3$: $T_r \leq 0.15 \frac{V}{S}$

Les valeurs limite du T_r ci-dessous correspondent à la moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500 , 1000 et 2000 Hz

VI. 4.2. Isolement acoustique vis-à-vis de l'environnement extérieur et entre les espaces

Pour l'isolation acoustique vis-à-vis de l'extérieur, l'arrêté de 25 avril 2003, relatif à la limitation du bruit dans les établissements culturels en France fixe les valeurs limites pour l'isolement des bibliothèques contre les bruits aériens extérieurs (bruit de transport terrestre), l'isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT,A,tr}$ exigé variera de 30 à 45 dB ; mais en aucun cas il ne sera inférieur à 30 dB. Pour l'isolement $D_{nT,A,tr}$ des locaux contre le bruit des aéroports, il est de 35 dB dans la zone C, 40 dB dans la zone B et 47 dB dans la zone A.

La réglementation allemande préconise d'adopter l'isolation des bibliothèques en fonction des niveaux sonores extérieurs. Le tableau suivant présente les niveaux d'isolation de la façade requis pour les locaux culturels en fonction des bruits extérieurs en Allemagne:

Tableau VI - 4. Niveaux d'isolation de la façade requis pour les locaux culturels
(Source: AFSSE, 2004)

Bruit mesuré à l'extérieur	Isolation requise de la façade
Inférieur à 55 dB(A)	30 dB
55 à 60 dB(A)	30 dB
61 à 65 dB(A)	35 dB
66 à 70 dB(A)	40 dB
71 à 75 dB(A)	45 dB
76 à 80 dB(A)	50 dB
Plus de 80 dB(A)	Doit faire l'objet d'une étude spécifique

L'isolement entre locaux est le paramètre le plus travaillé dans les normes et pratiques étrangères. Les principales valeurs d'indicateurs d'affaiblissement acoustique pour différents pays européens sont présentées dans le tableau VI -5:

Tableau VI - 5. Valeurs requises d'affaiblissement acoustique entre locaux dans différents pays européens

(Source: AFSSE, 2004)

Pays	Belgique	Allemagne	Italie	Angleterre	Suède
Isolation entre une salle et une autre salle	25-49	47	40	28-38	30-44
Salle de lecture avec la cage d'escalier	15-39	52	42	-	44
Salle de lecture et un atelier	-	55	-	48	-
Salle de lecture et salle de sport	42-66	55	-	28	-
Salle de lecture et la cantine	-	-	-	-	-
Salle de classe et salle de musique	42-66	-	-	-	60
Salle de lecture et salle de soins	-	-	-	-	52

En France, l'article 2 de l'arrêté de 25 avril 2003 exige un isolement acoustique standardisé pondéré aux bruits aériens $D_{nT,A}$ minimal (dB). Les tableaux suivants présentent les valeurs $D_{nT,A}$ minimal des établissements culturels :

Tableau VI - 6. $D_{nT,A}$ minimal (dB) des bibliothèques (Source : Hamayon, 2006)

Local de réception	Local d'émission					
	Salle de repos	Salle d'exercice ou espace d'apprentissage ⁽¹⁾	Administration	Local médical, infirmerie	Espace d'activités, salle d'évolution, salle de jeux, local de rassemblement fermé, salle d'accueil, salle de réunions, sanitaires ⁽²⁾ , salle de restauration, cuisine, office	Circulation horizontale, vestiaire
Salle de repos	43 ⁴	50 ⁴	50	50	55	35 ⁵
Local d'information, salle d'exercice	50 ⁽⁴⁾	43	43	50	53	30 ⁽⁵⁾
Administration, salle des professeurs	43	43	43	50	53	30
Local médical, infirmerie	50	50	43	43	53	40

(1) Notamment dans le cas d'un établissement d'enseignement, voisin d'une bibliothèque.

(2) Dans le cas de sanitaires affectés à un local, il n'est pas exigé d'isolement minimal.

(3) Un isolement de 40 dB est admis en cas de porte de communication, de 25 dB si la porte est antipince-doigts.

(4) Si la salle de repos n'est pas affectée à La Salle d'exercice. En cas de salle de repos affectée à une salle d'exercice, un isolement de 25 dB est admis.

(5) Un isolement de 25 dB est admis en présence de portes antipince-doigts

Tableau VI - 7. $D_{nT,A}$ minimal (dB) des établissements culturels autres que les bibliothèques
(source : Hamayon, 2006)

Local de réception	Local d'émission						
	Local d'enseignement, d'activités pratiques, administration	Local médical, infirmerie, atelier peu bruyant, cuisine, local de rassemblement fermé, salle de réunion, sanitaires	Cage d'escalier	Circulation horizontale vestiaire fermé	Salle de musique, salle polyvalente, salle de sport	Salle de restauration	Atelier bruyant
Local d'enseignement, d'activités pratiques, administration, bibliothèque, salle de musique, salle de réunion, salle de professeurs, atelier peu bruyant	43 ⁽¹⁾	50	43	30	53	53	55
Local médical, infirmerie	43 ¹	50	43	40	53	53	55
Salle polyvalente	40	50	43	30	50	50	50
Salle de restauration	40	50 ²	43	30	50	-	55

(1) Un isolement de 40 dB est admis en présence d'une ou plusieurs portes de communication

(2) A l'exception d'une cuisine communiquant avec la salle de restauration

Le même arrêté, exige qu'un équipement de chauffage et de ventilation fonctionnant de manière intermittente n'engendre pas un bruit supérieur à 38 dB(A) et 33 dB(A) s'il fonctionne de manière continue, dans les bibliothèques, centres de documentation et locaux médicaux, les salles de repos et les salles de musique. Ce niveau est porté à 43 dB (A) pour les autres locaux.

Le niveau de bruit des équipements électriques ne doit pas dépasser 33 dB(A) dans les bibliothèques, centres de documentation, locaux médicaux, salles de repos et salles de musique et 38 dB(A) pour les autres locaux.

Conclusion

La notion de "confort acoustique", comme celle de "qualité d'ambiance sonore" d'un lieu, peut être appréhendée en ayant recours à deux dimensions ou facettes complémentaires. La qualité et quantité d'énergie émise par les sources, et la qualité et quantité des événements sonores du point de vue de l'auditeur. Point de vue qui dépend non seulement de l'histoire individuelle mais également des valeurs propres au groupe social auquel on appartient.

Cette qualité, et le confort qu'elle procure, peuvent avoir une influence sur la qualité du travail, du sommeil, et sur les relations entre les usagers du bâtiment. Quand la qualité de l'ambiance se détériore et que le confort se dégrade, les effets observés peuvent se révéler rapidement très négatifs, comme la baisse de productivité, des conflits de voisinage, voire même des problèmes de santé.

Conclusion générale

Le bruit est synonyme de nuisance. Les bruits les plus dominants sont générés par les moyens de transport et les activités humaines. Ils engendrent une gêne considérable ressentie par les habitants des villes et les usagers des établissements culturels.

La perception subjective des bruits diffère d'un individu à l'autre. Cependant, Il existe une population très sensible aux méfaits des bruits, ce sont les personnes âgées et les enfants en phase d'apprentissage. En effet, il a été prouvé, principalement chez les plus jeunes, que le bruit peut compromettre l'exécution de tâches cognitives (mémorisation, concentration, lecture...).

Le confort acoustique dans le bâtiment se base sur des principes simples comme celui de masse ou de la double paroi. Pour isoler des bruits aériens, on agit au niveau de l'implantation des constructions, l'agencement des espaces, l'aménagement d'espaces tampons et d'obstacles entre la source de bruit et l'espace sensible. Afin d'éviter la propagation des vibrations et bruits de chocs, on désolidarise les différents éléments de la construction. On utilise des sols flottants, plafond suspendus, joints de dilatation et plots antivibratoires.

Enfin pour éviter le phénomène de réverbération, on adapte la géométrie et la répartition des matériaux absorbants à la fonction de la salle.

La maîtrise du bruit dans l'environnement culturel, est un facteur déterminant dans la réussite. Il est peu pris en compte, alors que les conséquences du bruit sur le développement intellectuel et la fatigue des usagers enfants et adultes.

La salle de lecture est un élément structurant dans la conception des bibliothèques. Elle est le lieu de l'apprentissage et la concentration.

Pour cela, il est nécessaire d'avoir un rapport signal sonore/bruit de fond supérieur ou égal à 15 dB (audition normale). C'est à dire le niveau du bruit de fond dans la salle ne doit pas dépasser la valeur entre 45-50 dB. Avec une durée de réverbération maximale entre 0.4 et 0.8 secondes.

Afin d'évaluer le confort sonore et le niveau du bruit de fond de plusieurs conceptions de la salle de lecture de la bibliothèque municipale de Jijel et de comparer leur qualité acoustique, nous avons effectué un travail expérimental sur deux cas avec les présences des personnes, le premier scénario sans traitements acoustiques et le deuxième scénario avec des traitements acoustiques des murs, la partie de plafond et le plancher. Aussi nous avons proposé plusieurs recherches et enquête livresque sur l'évaluation de confort acoustique dans les bibliothèques.

En complément, le calcul du temps de réverbération dans les deux cas permet de déterminer le confort acoustique. Pour l'appréciation de ces paramètres physiques, une enquête a été réalisée auprès des usagers de la bibliothèque, qui ont reçu des questionnaires type pour l'évaluation de leur perception du bruit en salle.

La qualité sonore des différents espaces de la bibliothèque dépend de leur fonction, du nombre d'utilisateurs, du moment de la journée et de leur conception. La perception de ces espaces par les usagers décrit une certaine hiérarchie sonore: les espaces de récréation, les patios, les cantines et cafétéria culturels dans les bibliothèques sont des espaces bruyants qu'il convient de séparer des salles de lecture. Les couloirs qui sont contigus aux salles doivent être traités pour éviter la propagation des bruits intérieurs et la réverbération. Les liaisons entre ces deux espaces doivent être étudiées (porte et sas).

Nous devons penser lors de la conception d'une bibliothèque à un zoning sonore des espaces basé sur des relations spatiales étudiées (proximité ou éloignement, contiguïté ou isolement) afin d'assurer un confort acoustique optimal dans les espaces sensibles au bruit.

Les résultats des mesures révèlent que la salle de lecture occupée en premier cas sans des traitements acoustiques est caractérisée par de niveau de bruits de fond supérieurs à la norme recommandée pour les salles de lecture. Contrairement à la salle de lecture occupée en deuxième cas avec des traitements acoustiques qui présentent un niveau de bruit de fond en deçà de valeurs limites.

De ce fait, les salles de lectures de la bibliothèque municipale de Jijel est plus bruyantes a cause de leur situation mauvaise qui s'aggrave avec l'ouverture des fenêtres pour l'aération sur la voie principale qui est considéré comme une source extérieure principale de bruit. Donc il faut fermer les ouvertures afin de diminuer les niveaux de bruit à l'intérieur des salles de lectures.

L'évaluation subjective des usagers, quant à la qualité sonore de leur salle de lecture, confirment ces résultats. Selon les questionnés, les salles de lectures de la bibliothèque municipale de Jijel est considérée bruyantes.

Cependant, la bibliothèque de part sa conception architecturale (la volumétrie compacte et le plan sans éclat) favorise la propagation des bruits. Ainsi offre un environnement intérieur bruyant.

De ce fait, on confirme la première hypothèse de ce travail concernant le rôle de la conception architecturale dans la diminution des niveaux de bruit perçu à l'intérieur des salles de classe et la création d'un environnement sonore propice. Les éléments qui ont favorisé cette diminution sont les espaces tampons, la compacité du plan et les matériaux de construction.

Les niveaux du bruit de fond dans les salles desservies par un couloir augmentent significativement quand les locaux adjacents sont occupés. Cela s'explique par la propagation des bruits émanant du couloir et des salles voisines, augmentant ainsi les niveaux de bruit de fond dans la salle testée. Le bruit de fond dans la salle cumule les bruits générés par les sources extérieurs et les bruits provenant des espaces adjacents, ce qui confirme la deuxième hypothèse selon laquelle le confort acoustique est influencé en premier lieu par les bruits extérieurs.

Les usagers qui sont gênés par les bruits pendant la recherche, la communication et la lecture, mentionnent différentes sources de nuisances sonores extérieures qui dépendent de l'environnement immédiat de la bibliothèque. La source principale reste la circulation routière.

Les bruits intérieurs représentent les plus grands pourcentages de gêne durant l'apprentissage et les recherches dans la bibliothèque. Les bruits générés par les déplacements, les regroupements et bavardages sont perçus comme très gênants par l'ensemble des usagers car ils perturbent les activités, particulièrement les tâches qui requièrent le plus de concentration et d'attention.

D'une manière générale, la somme des bruits intérieurs et extérieurs affectent l'ensemble des activités en salle. La compréhension des textes, la mémorisation et la concentration sont les premières activités affectées régulièrement par le bruit pour une majorité des usagers.

La gêne exprimée par les usagers pendant la lecture et la communication est justifiée car les niveaux sonores à l'intérieur des salles occupées augmentent considérablement. Cela est dû principalement aux bruits générés par les usagers dans la salle. A cela, s'ajoute le phénomène de réverbération, car la salle testée présente une durée de réverbération trop longue.

L'ensemble des questionnaires désignent le nombre d'usagers de la bibliothèque, considéré comme un facteur pouvant améliorer l'acoustique en salle.

La perception subjective des usagers et les utilisateurs confirment les mesures du bruit dans les salles de lectures. Ils sont très sensibles aux variations de la pression acoustique et très attentifs à leur environnement sonore.

De ce fait, on devrait s'inspirer de l'héritage architectural qu'offrent les bibliothèques séculaires de la ville de Jijel pour concevoir des salles de lectures adaptées à la communication et la recherche dans un environnement calme, où le confort acoustique optimal favorise l'échange, la concentration et l'instruction pour la réussite.

BIBLIOGRAPHIE**LIVRE**

1. **BALAY, Olivier**, l'Espace sonore de la Ville au 19ème Siècle, A la Croisée, Paris, 2003.
2. **NEUFERT, Ernst**. les éléments de projet de construction « l'homme, mesure de tous choses ».8eme. Dunod. Édition : le moniteur. p.175-191.
3. **BEAUMIER, Jean-Louis**. L'isolation phonique écologique: Matériaux et équipements, mise en œuvre et étude des cas, en neuf et en rénovation, Terre vivante, Mens, France, 205 p.
4. **CHAGUE, Michel**. L'acoustique de l'habitat: Principes fondamentaux, application de la Réglementation française et européenne, Editions du Moniteur, Paris, 235 p.
5. **DESMONS, Jean**. Acoustique pratique: Chauffage, climatisation, froid, sanitaire. Editions Parisiennes, Paris, 151 p.

6. **GALLAUZIAUX, Thierry et FEDULLO, David**. Le grand livre de l'isolation, Editions Eyrolles, Paris, 2009-2010

7. **HAMAYON, Loïc et MICHEL, Claude**. Guide d'acoustique pour la conception des bâtiments d'habitation, Editions Le Moniteur, Paris, 1982.

8. **HAMAYON, Loïc**. Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, Editions Le Moniteur, Paris, 2008, 237 p.

9. **HAMAYON, Loïc**. Réussir l'Acoustique du Bâtiment, 2ème édition, Editions Le Moniteur, Paris, 2006, 234 p.

10. **VAN TRAN, Bui**. Acoustique architecturale, Office des Publications universitaires, Alger, 1996, 169 p.
11. **SCHRIVER-MAZZUOLI, Louise**. Nuisances sonores: Prévention, protection, réglementation, Dunod, Paris, 2007. 190 p.

12. **PUJOLLE, Jean**. La pratique de l'isolation acoustique des bâtiments, Editions Le Moniteur, Paris, 1978.

13. **LIENARD, P**, Décibels et indices de bruit: Divers méthodes d'évaluation des niveaux sonores, Gêne et nuisances dues au bruit à partir de mesures physique, 2ème édition, Masson, Paris, 1978, 53 p.

THESES ET MEMOIRES

1. **DEBACHE-BENZAGOUTA Samira**, La conception sonore des bâtiments d'habitation- Cas du logement collectif, Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2004.
2. **BOUGRIOU Badr eddine**, Bilan et réalité de l'architecture scolaire, Thèse de Magister, Université de Constantine, 2002.
3. **BENRACHI Bouba**, Evaluation de la relation exigences techniques et coûts dans la conception du logement collectif- Cas de Constantine, Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2002.
4. **REMY Nicolas**, Maitrise et prédictibilité de la qualité sonore de projet architectural applications aux espaces publics en gare, Thèse de doctorat de l'école polytechnique de l'Université de Nantes, Cresson, 2001.

FICHES ET GUIDES

1. **BALAY Olivier**, L'espace sonore de la ville au 19ème siècle, presses universitaires de France n° 56, 2007. Fichier PDF (consulté le 13/01/09), [En ligne], www.cairn.info.
2. **BISTAFA, S.R. and BRADLEY, J.S.** Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics. *Journal of the Acoustical Society of America* n°107, 2000, p. 861-875.
3. **BRADLEY J.S**, La conception acoustique de salles destinées à la communication orale, *Solution constructive* n°51, 2009, (consulté le 19/04/2011), [En ligne], [www.http://irc.nrcnrc.gc.ca](http://irc.nrcnrc.gc.ca).
4. **CHERUETTE Patrick**, Du son aux bruits: les clés de la perception auditive, *Les cahiers techniques du bâtiment* N° 185, décembre 1997. p 56-59.
5. **DEGIOANNI, J.F**, L'acoustique: des principes simples pour une science complexe, *Les cahiers techniques du bâtiment* N° 185, décembre 1997. p.60-61
6. **DELETRE Jean-Jacques**, Le confort sonore et la métrologie acoustique, *Arch et compost/Arch behav*, vol.7, 1991, p.95-100.
7. **QUILGHINI Janne**, Exigences pédagogiques et réponses architecturales, *Technique et Architecture* n°344, novembre 1982
8. **ROZEC Valérie et RITTER Philippe**, Les avancées et les limites de la législation sur le bruit face au vécu du citoyen (la ville, le bruit et le son), *Géo carrefour*, vol.78 n°2, (page consultée le 17/11/11). [En ligne], <http://geocarrefour.revues.org>.
9. **SAN SOUCI Soach**, Acoustique des salles de classe accueillant des élèves malentendants et normotendants, *Atelier CAPS, ORSAY*, 2003, Fichier PDF, (consulté le 19/04/2011). [En ligne], <http://www.dotacoustics.com>.

- 10. SHIELD. B et DOCKREL. J**, The effect of noise on children at school: A review, Journal Building Acoustics n°10, 2003, p.97-106.
- 11. SUNER Bruno**, Les résonateurs, une redécouverte prometteuse, Les cahier techniques du bâtiment n° 133, février/mars 1992.
- 12. YANG W et KANG J**. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces, Applied Acoustics n° 66, 2005, 211-229 p.
- 13. ZANNIN PHT, MARCON CR**, Objective and subjective evaluation of the acoustic comfort in classrooms, Applied Ergonomics n°38, 2007, p 675-680.
- 14. ZANNIN PHT, ZWIRTES DPZ**, Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools, Applied Acoustics n°70, 2009, p 675-680.

Rapports d'études et comptes rendus de colloques

- 1. Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale (AFSSE)**, Impacts sanitaires du bruit: Etats des lieux, indicateurs bruit/santé, novembre 2004, (consulté le 12/11/08), [En ligne] <http://ufcna.com/Bruit-impact-sante-AFSSE.pdf>.
- 2. Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail AFSSET**, Effets biologiques et sanitaires du bruit, comment lutter contre le bruit?, octobre 2007, Fichier PDF (consulté le 19/01/2009), [En ligne] www.afsset.fr.
- 3. Bruitparif, RIF, 01dB et CIDB**, Campagne de mesure et de sensibilisation au bruit au sein des Lycées d'Ile de France: Rapport de synthèse, novembre 2009. Fichier PDF, (consulté le 06.03.10), [En ligne], www.ecoutetonlycée.com.
- 4. Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)**, Recherche appliquée et construction pour faire face aux enjeux de société et aux évolutions techniques majeures, juillet 2005, Fichier PDF, (consulté le 10/01/2009), [En ligne], www.cstb.fr.
- 5. DIAZ Frédéric**, Acoustique architecturale, Recueil de notions de base (Fichier PDF) [En ligne] www.artic.ac-besançon.fr (consulté le 13/03/2010)
- 6. FILIPPINI Mickael**, Etude acoustique de l'auditorium de Pigna, Rapport de stage en maîtrise de physique et applications- Université de Corse Pascal Paoli (Faculté des sciences et Techniques) 2002/2003, p. 44. Fichier PDF (consulté le 17/03/2010) [En ligne], <http://www.centreculturelvoce.org>.
- 7. LAVANDIER Catherine et autres**, Qualité des ambiances sonores liées aux usages des Établissements d'enseignement, Colloque européen « Construire avec les sons », 17/18 mars 2005, Fichier PDF, (consulté le 15/04/09) [En ligne], <http://rp.urbanisme.developpementdurable.gouv.fr>.

8. Nelson, P.B; Soli, S.D; Seltz, A. Acoustical Barriers to Learning, Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America, 2002. (page consultée le 12.05.11) [En ligne], <http://www.centerforgreenschools.org/docs/acoustical-barriers-to-learning.pdf>.

9. SEMIDOR Catherine, La qualité sonore des espaces recevant les tout-petits, Colloque européen « Construire avec les sons », 17/18 mars 2005, Fichier PDF, (consulté le 15/04/09) [En ligne], http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/agenda/construire_avec_les_sons.pdf.

10. Shield. B et Dockrell. J, The effects of classroom and environmental noise on children's academic performance. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem , 2008, (page consultée le 12.05.11). [En ligne], http://www.icben.org/2008/PDFs/Shield_Dockrell.pdf

Guides et brochures

1. Ministère de la Jeunesse, des Sports et des loisirs. Les piscines: Conception, réalisation, Exploitation, Algérie, 1978. 217 p.

2. Direction de l'Education de la Wilaya de Constantine, Service de programmation et suivi, Bureau des statistiques et carte scolaire. Guide des établissements d'enseignements, 2009/9010.

3. Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat ANAH, Bruit et confort acoustique (Fiche Technique), Fichier PDF (consulté le 11/10/2008), [En ligne], www.anah.fr

Lois et documents techniques

1. Arrêté du 25 février 1964 relatif à la lutte contre le bruit excessif.

2. Arrêté du 4 avril 1972 relatif à la mesure du bruit produit par les véhicules automobiles et aux conditions imposées aux dispositifs dits "silencieux".

3. Arrêté du 17 octobre 2004 portant approbation du cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente. JORA N°13 du 16/02/2005

4. Circulaire du 25 Avril 2003 relative à l'application de la réglementation acoustique des bâtiments autres que d'habitation ; JORF n°123 du 28 Mars 2003 page 9107, texte n°14. (consulté le 17/12/2009), [En ligne], Legifrance.gouv.fr.

5. CNERIB, Document Technique réglementaire DTR C3.1.1, Isolation acoustique des parois aux bruits aériens: Règles de calcul, Editions CNERIB, Alger, 2004.
6. Décret N° 95-408 du 18 Avril 1995 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage. Journal Officiel de la République Algérienne du 19 Avril 1995 (Fichier PDF)
7. Décret N° 2006-1099 du 31 Août 2006 relatif à la lutte contre le bruit de voisinage et modifiant le code de la santé publique (dispositions réglementaires), JORA du 1er septembre 2006 (Fichier PDF)
8. Loi N° 92-1444 du 31/12/1992 relative à la lutte contre le bruit. Journal Officiel de la République Algérienne N°01 du 01/01/93 (Fichier PDF).

Sites internet

1. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ADEME. <http://www.ademe.fr/>
2. Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (ANAH): <http://www.anah.fr>
3. Centre d'information et de documentation sur le bruit CIDB: <http://www.bruit.fr>
4. Ministère de l'écologie et du développement durable: <http://www.ecologie.gouv.fr>
5. Organisation mondiale de la santé: <http://www.who.int/fr/index.html>
6. [En ligne] <http://www.acouphile.fr>
7. [En ligne] <http://www.acousticbulletin.com>
8. [En ligne] <http://www.audition-info.org>
9. [En ligne] <http://www.dBstop.com>
10. [En ligne] <http://www.cresson.archi.fr>

LES ANNEXES

Annexe 1. Caractéristiques de l'onde sonore

L'onde sonore de fréquence f et de période T se propage jusqu'à la membrane du tympan de l'oreille avec une célérité C qui dépend de la nature du milieu. La propagation peut être représentée par une courbe sinusoïdale (fig. I-1). Il y a ainsi une double périodicité, une périodicité temporelle et une périodicité spatiale.

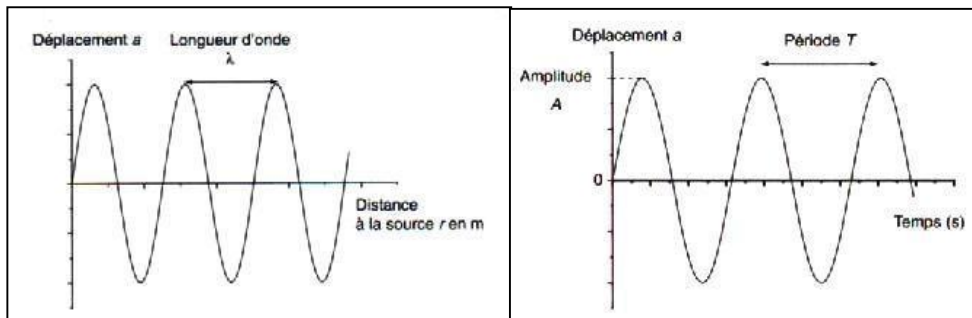


Figure I-1. Double périodicité caractérisant l'onde sonore

(Source: Schriver-Mazzuoli, 2007)

L'onde sonore est ainsi caractérisée par :

- son Amplitude A qui est la valeur maximale de l'élongation dans un sens ou un autre.
- sa vitesse particulière $v=da/dt$, da étant l'élongation pendant l'intervalle de temps dt .
- sa période T qui est le temps en seconde écoulé entre deux passages de la molécule à la même position dans le même sens.
- sa fréquence f qui est le nombre d'oscillations par seconde des molécules d'air autour de leur position d'équilibre ou encore le nombre de périodes par seconde exprimée en hertz. $F=1/T$
- sa pulsation ω en radians par seconde, définie comme le produit de la fréquence par 2π .

1. Longueur d'onde

La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde acoustique pendant une période. Elle est égale au produit de la célérité du son par la période T . $\lambda = C.T$

La fréquence f étant l'inverse de la période, on écrit : $\lambda = C/F$

C : la célérité du son, T : la période, f : la fréquence

A température ambiante, la célérité du son est d'environ 340m/s, ainsi la fréquence des sons audibles (comme nous le verrons plus loin) s'étendant en moyenne de 20 Hz à 20 kHz, la longueur d'onde des sons audibles varie donc :

$$\lambda = 340/20 = 17 \text{ m à } \lambda = 340/20\ 000 = 17 \times 10^{-3} \text{ m} = 17 \text{ mm.}$$

Les sons aigus sont ainsi caractérisés par une fréquence élevée et une faible longueur d'onde et inversement pour les sons graves.

2. Célérité

La vitesse de propagation du son ou célérité est indépendante de la fréquence, elle varie avec le milieu de propagation et pour un même milieu elle varie légèrement avec la température et la pression. La formule empirique suivante nous permet de calculer la célérité du son C en fonction de la température de l'air T en Kelvins.

$$C = 20 (T_K)^{1/2}$$

Dans l'air, la vitesse du son est de l'ordre de 340 m/s à température ambiante. Elle est inférieure à la vitesse de la lumière (3×10^8 m/s) ; ceci explique que lors d'un orage, on perçoit la lumière avant le bruit du tonnerre.

3. Fréquence

La fréquence f d'un son est le nombre de variations de pression autour de la pression atmosphérique par unité de temps. Elle est exprimée en hertz, ex : 400 Hz correspondent à 400 variations de la pression par seconde.

La fréquence est l'expression du caractère grave ou aigu d'un son, les sons graves sont dits de basse fréquence ; les aigus, de haute fréquence.

Lorsque deux sons ont pour fréquences respectivement f_1 et f_2 , on dit qu'ils sont séparés par l'intervalle et qu'ils définissent une bande de fréquences de largeur $\Delta F = F_2 - F_1$, f_2 étant la plus grande des deux fréquences.

L'octave et le tiers d'octave, qui sont très utilisés en acoustique architecturale, sont des intervalles valant respectivement 2 et $\sqrt[3]{2} = 1,26$. Par souci de normalisation, on donne un rôle préférentiel aux octaves dont les fréquences centrales sont : 31,5 – 63 – 125 – 250 – 500 – 1000 – 2000 – 4000 – 8000 – 16000 Hz.

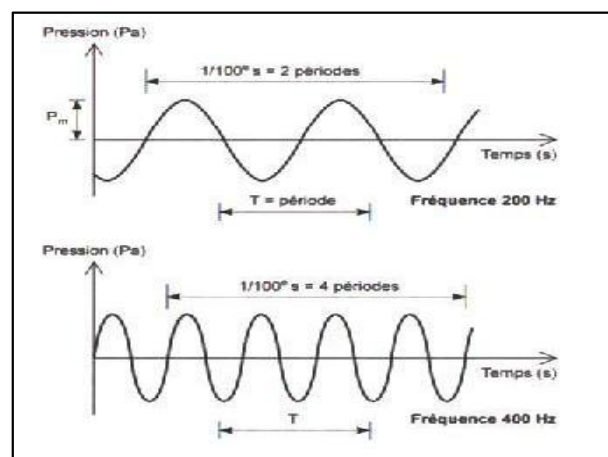


Figure I- 2. Fréquence du Son
(Source : Hamayon, 2008)

4. Niveaux d'intensité, de pression, de puissance

Intensité, pression et puissance acoustique

Niveau de puissance acoustique L_W	Niveau d'intensité acoustique L_I	Niveau de pression acoustique L_p
$L_W = 10 \log W / W_0$ (dB)	$L_I = 10 \log I / I_0$ (dB)	$L_p = 10 \log p / p_0$ (dB)
<p>W : puissance acoustique de la source (W).</p> <p>W_0 : puissance acoustique de références = 10^{-12} W.</p>	<p>I : intensité acoustique (W/m^2).</p> <p>I_0 : intensité acoustique de références* = 10^{-12} W/m^2.</p>	<p>p : pression acoustique efficace (Pa).</p> <p>p_0 : pression acoustique de références** = 2×10^{-5} Pa.</p>

*correspond à l'intensité minimale perceptible par l'oreille en l'absence de bruit de fond à la fréquence de 1000 Hz.

**correspond à la pression minimale perceptible par l'oreille en l'absence de bruit de fond à la fréquence de 1000 Hz.

Annexe2. Calcul de l'Indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi discontinue

Pour calculer l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi discontinue, composée de plusieurs éléments (mur, porte, fenêtre) on utilise la formule suivante :

$$R_{résultant} = 10 \log \frac{S_1 + S_2}{S_1 \cdot 10^{-0,1R_1} + S_2 \cdot 10^{-0,1R_2}}$$

Où :

R_{résultant}: indice d'affaiblissement acoustique de la paroi discontinue (dB) ; S₁ et S₂ : surfaces des composants de la paroi discontinue (m²).

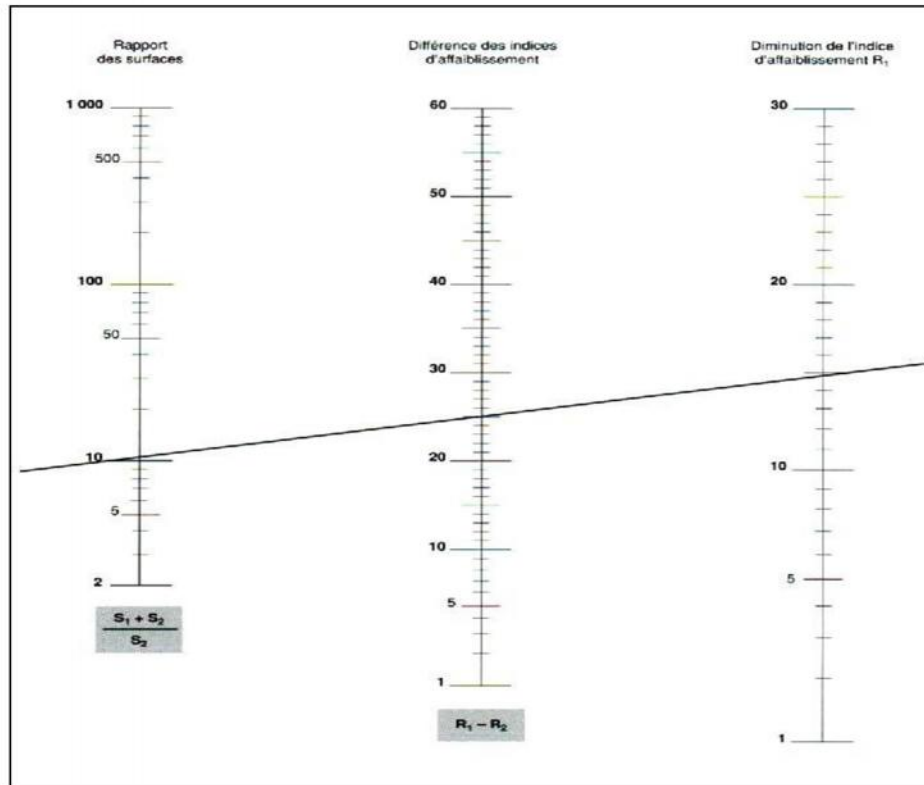
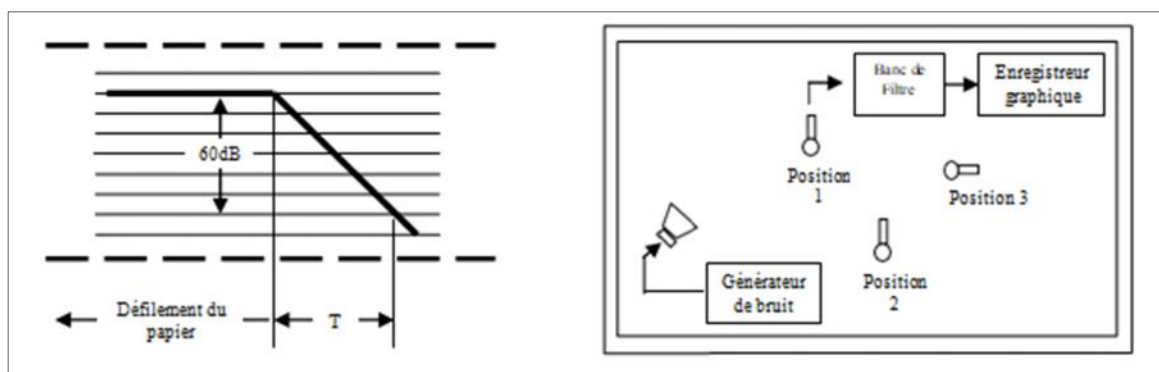


Diagramme permettant l'évaluation de l'indice d'affaiblissement acoustique d'un ensemble de deux éléments différents
(Source :Hamayon, 2006)

Annexe 3. Méthodes de mesure des paramètres de performances acoustique du bâtiment

1. Mesure du temps de réverbération

Le protocole de la mesure du temps de réverbération dans un local, consiste à émettre un bruit rose, qui est interrompu après un certain temps. On mesure le niveau sonore à l'aide d'un sonomètre muni d'une sortie permettant l'enregistrement sur une table graphique ou un oscilloscope, on y observe ainsi la décroissance du niveau sonore en fonction du temps, après extinction de la source. La vitesse de défilement du papier étant connue, l'évaluation de la durée du phénomène est obtenue par une simple mesure de distance sur le graphe.



La vitesse à laquelle le son décroît est directement liée au nombre de réflexions dans le local et par conséquent à la capacité d'absorption sur les obstacles sur lesquels les réflexions se produisent. Compte tenu que le coefficient d'absorption des matériaux varie avec la fréquence, la mesure du temps de réverbération est faite sur chaque bande d'octave ou de tiers d'octave.

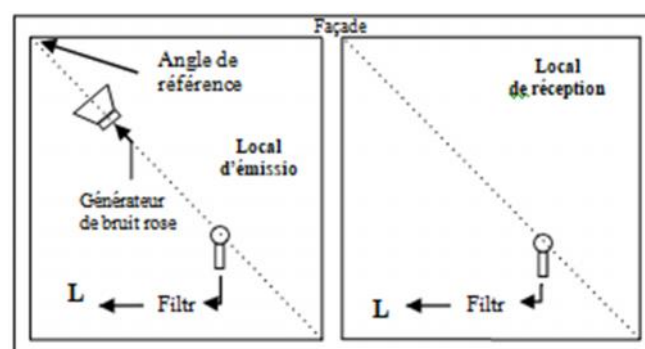
En pratique, il n'est presque jamais possible d'observer une décroissance de 60 dB, en raison de la présence du bruit de fond. Par conséquent, on se contente d'observer une partie de la décroissance et de la prolonger par extrapolation. Généralement, on évalue la chute de 15 dB calculée entre -5 et -20 dB.

2.Méthode de mesure de l'isolement aux bruit aériens

2.1.Mesure de l'isolement aux bruits aériens intérieurs

La mesure de l'isolement aux bruits aériens entre locaux consiste à générer un bruit rose dans un local et à analyser par bande d'octave (ou de tiers d'octave) le niveau sonore transmis dans le local adjacent. La source doit avoir une puissance suffisante pour minimiser le bruit de fond.

Le microphone est placé sur une diagonale du local aux deux tiers de sa longueur à partir de l'angle de référence. La hauteur par rapport au sol est fixée à 1,5 m. La source de bruit est placée sur le sol du local d'émission eu un point de la diagonale distant de 1 m de l'angle de référence.



Principe de mesure de l'isolement acoustique aux bruits aériens entre locaux.

(Source : Michel Chagué, 2001)

On suit le même principe pour la mesure de l'isolement au bruit aérien vertical entre locaux (superposés).

Dans le cas de la mesure d'isolement au bruit aérien entre une circulation commune et un local, l'angle de référence du local de réception est le proche de la porte. La source de bruit est installée dans la circulation commune à une distance de 2 à 5 m de la porte, le microphone est placé à 1 m de celle-ci.

2.2. Mesure de l'isolement aux bruits aériens extérieurs

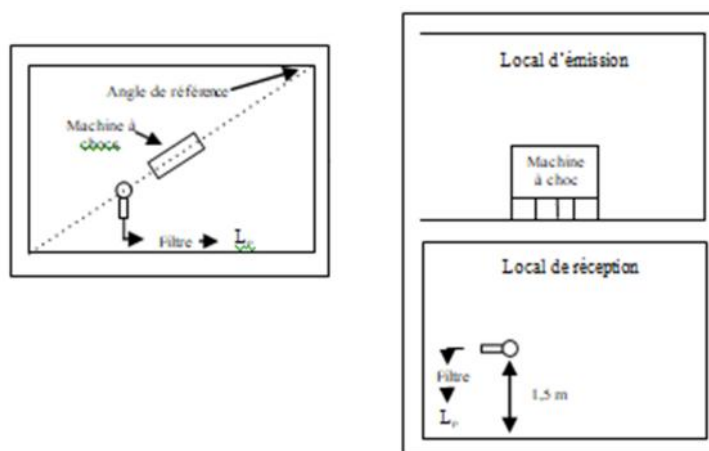
Pour la mesure de l'isolement vis-à-vis des bruits de l'espace extérieur, l'angle de référence du local de réception est situé à droite en regardant la façade lorsque celle-ci est unique et dans l'angle formé par deux façades dans les autres cas. Le microphone est placé aux deux tiers de la longueur de la diagonale à partir de l'angle de référence.

Pour le relevé du niveau de pression régnant à l'extérieur, le microphone est placé à 2 m des parties les plus avancées de la façade ou toiture. Lorsqu'une source artificielle de bruit est nécessaire (bruit route), son emplacement doit être fixé à au moins 7 m du centre de la façade du local testé.

3. Mesure des bruits d'impact

Pour tester la performance acoustique aux bruits de chocs des planchers et revêtements, on effectue des mesures in situ du niveau de pression acoustique du bruit de choc transmis. Pour ce faire, on utilise une machine à choc qui produit un bruit d'impact normalisé. La machine est équipée de 5 marteaux de 500g disposés en ligne, mis en mouvement par un moteur électrique. Les chocs appliqués au plancher sont provoqués par la chute libre des marteaux d'une hauteur de 4 cm, la cadence étant fixée à 10 coups par seconde.

La machine à choc est installée au centre du local d'émission sur le plancher. L'axe d'alignement des marteaux doit être orienté à 45° par rapport aux poutres du plancher ou parallèlement à une diagonale du local. Le microphone est placé aux deux tiers de la longueur de la diagonale, par rapport à l'angle de référence qui est situé à droite en regardant la façade unique ou à l'angle formé par deux façades. Les niveaux de pression acoustique dans le local de réception sont relevés par bande d'octave ou de tiers d'octave. Il faut vérifier que le niveau sonore soit supérieur d'au moins 10 dB au bruit de fond.



Disposition du matériel pour le mesurage du niveau de bruit de choc.

(Source : Michel Chagué, 2001)

Annexe 4. Système et processus auditifs

Oreille externe

L'oreille externe comprend :

Le pavillon: est constitué de fibrocartilages, capte les vibrations acoustiques et les dirige vers le conduit auditif.

Le conduit auditif externe joue le rôle d'amplificateur. Par un phénomène de résonance, les fréquences comprises entre 2000 et 5000 Hz se trouvent légèrement renforcées. De plus, l'orientation du conduit par rapport aux vibrations sonores permet de préciser l'emplacement des sources dans l'espace grâce à la différence d'énergie arrivant aux deux oreilles d'une part, au décalage temporel que met le son pour leur parvenir d'autre part.

Cela explique pourquoi il est plus difficile de localiser des sons de fréquence basse que des sons de fréquences élevées, l'écart de temps étant moins significatif.

Le tympan, est une mince membrane fibreuse (1/10 de mm), de forme circulaire d'un diamètre d'une dizaine de millimètres. Il obture le conduit auditif externe et est solidaire au marteau, premier osselet de la chaîne tympan-ossiculaire.

Le tympan capte les variations de la pression sonore. Les vibrations du tympan sont synchrones à celles du son et elles ont la même amplitude pour tous les sons d'égale intensité.

Oreille moyenne : elle est composée de cavités creusées dans le rocher du temporal, se sont : la trompe d'Eustache, la caisse du tympan et les cavités mastoïdiennes.

La trompe d'Eustache, est un conduit long de 4cm, qui fait communiquer la caisse du tympan avec le pharynx permettant ainsi l'équilibrage des pressions de part et d'autre de tympan.

La caisse du tympan qui fait la liaison entre le tympan et la fenêtre ovale, laquelle s'ouvre sur l'oreille interne ; la fenêtre ovale ayant une superficie 20 fois inférieure à celle du tympan (respectivement 3 mm² et 60 mm²), il se produit une importante amplification de vibrations acoustiques.

La caisse du tympan comprend la **chaîne** des osselets (marteau, enclume et étrier) qui transmet les vibrations acoustiques du tympan à la fenêtre ovale. Elle est maintenue par des ligaments suspenseurs et par des muscles qui se contractent sous l'influence de bruits importants. En effet, lorsque le bruit est supérieur à 85 dB et dure plus de 1s, les muscles des osselets se contractent et diminuent les vibrations, c'est le réflexe stapédien. Le réflexe stapédien est un réflexe naturel de l'ouïe, il permet de protéger partiellement l'oreille de l'impact des bruits intenses par la contraction des muscles sustentateurs de la chaîne des osselets, ainsi l'étrier se trouve séparé de son point de contact avec l'oreille interne. On peut comparer le réflexe stapédien au réflexe de contraction de la pupille de l'œil quand elle subit une très forte luminosité.

Oreille interne : appelée également labyrinthe, du fait de sa complexité structurale. Elle comprend :

L'organe vestibulaire, qui préside au sens de l'équilibre ;

La cochlée, ou « limaçon », est l'organe proprement dit de l'audition. Formée d'un sac membraneux de très petite taille flottant dans l'oreille interne, elle englobe un grand nombre de cellules en forme de cils d'où partent les fibres nerveuses qui se réunissent pour constituer le nerf cochléaire ou nerf auditif. Ce dernier transmet les informations au cerveau qui interprète le message sonore.

Annexe 5. Effets du bruit sur la santé

1-Effets traumatiques sur l'audition

A partir de niveaux sonores supérieurs à 120 dB l'oreille moyenne est lésée entraînant une rupture du tympan et la luxation des osselets. Ces lésions sont plus ou moins réversibles selon la durée et la fréquence du son : les bandes de basse fréquence (75 à 150 Hz) sont moins nocives que les bandes de haute fréquence (600 à 1200 Hz). Un bruit bref et très intense peut provoquer la rupture du tympan parfois suivie après cicatrisation d'une baisse de l'acuité auditive. Le seuil critique d'action traumatique d'une ambiance bruyante se situe entre 80 et 90 dB.

Le danger représenté par le bruit pour l'audition réside dans l'accoutumance aux bruits élevés.

Selon le caractère permanent ou non de la lésion causée par le bruit sur l'audition. On peut distinguer : **Fatigue auditive, La surdité, Les acouphènes**

2- Les effets non traumatiques ou extra-auditifs

Effets biologiques et physiologiques

Des études récentes ont démontré que le bruit pouvait être à l'origine de troubles biologiques et physiologiques ou aggraver l'état pathologique préexistant de l'individu.

Effets subjectifs et psychologiques

La gêne engendrée par le bruit affecte la qualité de vie. Cela peut se traduire par la baisse des performances, des effets sociaux et comportementaux conflictuels (isolement, agressivité, perturbation de la communication orale). Au travail, le bruit conduit à une baisse du rendement et à l'augmentation des accidents du travail.

Annexe 6. Les différents types de bruit

1- Bruits normalisés ou bruits de référence

Les bruits normalisés sont créés artificiellement et utilisés pour des mesures acoustiques. On distingue :

- **Bruit blanc** est composé de toutes les fréquences audibles au même niveau de pression sonore, sa densité spectrale de puissance constante quelle que soit sa fréquence. Ces fréquences doublent d'une octave à l'autre et ont toutes la même énergie qui croît de trois décibels par octave.
- **Bruit rose** : bruit dont l'intensité est inversement proportionnelle à la fréquence et dont le niveau par bande d'octave est constant. Il contient plus de sons graves que d'aigus. Il est utilisé pour mesurer l'isolement à l'intérieur des bâtiments et l'isolement des façades au bruit des avions.
- **Bruit route** : bruit dont le niveau sonore dans chacune des bandes d'octave ou de tiers d'octave est voisin de celui des trafics routier et ferroviaire. Il est plus riche en sons graves que le bruit rose. Son spectre est continu dans une bande d'octave mais l'intensité en décibels dans chaque bande d'octave est fixée par rapport à l'intensité contenue dans la bande d'octave centrée sur 1000 Hz. Les variations des autres bandes d'octave par rapport à cette bande sont respectivement de : +6 dB (à 125 Hz) ; + 5 dB (à 250 Hz), + 1 dB (à 500 Hz), - 2 dB (à 2000 Hz), -8 dB (à 4000 Hz).
- **Bruit de choc normalisé** : bruit produit dans un local par une machine à cinq marteaux frappant le sol pour mesurer l'isolation d'un revêtement.

2- Autres types de bruit

- **Bruit continu** : Un bruit émis sans interruption, sur le même mode, tel que le bruit émis par une VMC, un compresseur une pompe.
- **Bruit intermittent** : Un bruit discontinu, émis moins de 50% du temps. Dans le bâtiment, il s'agit notamment des bruits de sanitaires ou d'ascenseurs.
- **Bruit impulsionnel** : Consiste en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique d'une durée inférieure à 1s et séparées par des intervalles de temps d'une durée supérieure à 0.2 s : Exemples : claquement de portes, coups de bélier, les explosions, les bruits de pétards...
- **Bruit à tonalité marquée** : Le contenu tonal de ce bruit est identifiable soit directement à l'oreille (oiseau, moustique, sifflet de l'arbitre), soit au moyen d'une analyse de fréquence.
- **Bruit fluctuant** : bruit ayant des fluctuations de niveau supérieur à 5 dB mesuré avec un Sonomètre en mode lent.
- **Bruit stable** : bruit ayant des fluctuations inférieures à 2 dB sur un sonomètre en mode lent.
- **Bruit particulier** : bruit du milieu ambiant pouvant être identifié spécifiquement.
- **Bruit aérien** : bruit se propageant dans l'air pouvant être extérieur ou intérieur (exemples : bruit de circulation, la voix, bruit de télévision...).
- **Bruit solidiens** : bruit se propageant dans les solides. On distingue les bruits d'impacts (bruits de chocs sur une paroi) et bruits d'équipement (ascenseur, chaudière...).
- **Bruit ambiant ou bruit de fond** : ensemble de bruits émis par toutes les sources sonores proches ou éloignées en un lieu et à un instant donné.

Résumé

Dans les équipements culturels comme les bibliothèques, le bruit peut être un élément perturbateur pour la stimulation de l'imagination et la créativité des enfants et les jeunes, ainsi la compréhension et la concentration. Sa présence est due à l'existence de différentes sources sonores à l'extérieur de l'établissement ou à l'intérieur dans les différents espaces.

La lutte contre les bruits est donc devenue un enjeu important qui se traduit par une réglementation de plusieurs centaines de textes (lois, arrêtés décret, circulaires, normes) qui fixent des performances acoustiques minimales à atteindre pour garantir un confort acoustique favorable aux utilisateurs et usagers.

Les performances acoustiques s'expriment au moyen d'un grand nombre d'indices qui caractérisent les produits, les espaces, les phénomènes d'isolation et de correction acoustique.

La réussite acoustique d'un bâtiment dépend de sa conception architecturale, de sa conception technique et de la qualité de son exécution.

Cette recherche vis à établir des recommandations scientifiques opérationnelles pour le but de créer un environnement sonore intérieure optimale dans les équipements publics tout en profitant au maximum du confort acoustique en parallèle évitant l'effet de bruit sur la santé.

Mot clé : performances acoustiques, confort acoustique, réussite acoustique, isolation acoustique, correction acoustique, qualité de son, environnement sonore.

عنصر مدمر لتحفيز القدرة على التخيل يمكن للضجيج أن يكون في المرافق الثقافية مثل وبالتالي الفهم والتركيز. يرجع وجودها إلى وجود مصادر صوتية مختلفة خارج البناية أو داخل المساحات المختلفة.

مكافحة الضوضاء هي القضية الرئيسية التي تنتج في تنظيم المئات من النصوص (القوانين, المراسيم, مرسوم التعميم والمعايير) تحدد الحد الأدنى من الأداء الصوتي الذي يجب تحقيقه لضمان الراحة الصوتية المفضلة للمستخدمين. يتم التعبير عن الأداء الصوتي عن طريق عدد كبير من المؤشرات التي تميز المنتجات والمساحات والطواهر العازلة والتصحيح

يعتمد النجاح الصوتي للمبنى على التصميم المعماري والتصميم الفني وجودة التنفيذ. يهدف هذا البحث إلى وضع توصيات علمية لعملية لغرض خلق بيئة سليمة داخلية مثالية في المرافق العامة مع الاستفادة القصوى من الراحة الصوتية في نفس الوقت تجنب تأثير الضوضاء على الصحة.

.الكلمات المفتاحية: الأداء الصوتي، الراحة الصوتية، النجاح الصوتي، عزل الصوت، التصحيح الصوتي، جودة الصوت

Abstract

In cultural facilities such as libraries, noise can be a disruptive element for stimulating the imagination and creativity of children and young people, thus understanding and concentration. Its presence is due to the existence of different sound sources outside the establishment or inside the different spaces.

The fight against noise has therefore become an important issue, resulting in the regulation of several hundred texts (laws, decree decrees, circulars, standards) which set the minimum acoustic performance to be achieved in order to guarantee favorable acoustic comfort for users and users. .

Acoustic performances are expressed by means of a large number of indices that characterize products, spaces, phenomena of insulation and acoustic correction.

The acoustic success of a building depends on its architectural design, technical design and quality of execution.

This research aims to establish operational scientific recommendations for the purpose of creating an optimal indoor sound environment in public facilities while taking maximum advantage of acoustic comfort in parallel avoiding the effect of noise on health.

Key word: acoustic performance, acoustic comfort, acoustic success, sound insulation, acoustic correction, sound quality.