

République Algérienne Démocratique et
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme

epau

Laboratoire Architecture et Environnement



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN ARCHITECTURE

Thème

Evaluation du confort acoustique dans les écoles primaires
algériennes.

Cas d'étude : Ecole primaire Hafsa à Bouzareah, Alger

Présenté et soutenu par

KOURIFA Isma

Mémoire dirigé par :

F. MEZOUARI

R. AIT OUFELLA

Jury :

Président de jury :

Examineur :

Examineur :

Octobre 2015

TABLES DES MATIERES :

REMERCIEMENTS	I
LISTE DES ABREVIATIONS	II
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
RESUME	VI
ABSTRACT	VII
ملخص	VIII

<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	2
-------------------------------------------	----------

INTRODUCTION	Error! Bookmark not defined.
---------------------------	------------------------------

PROBLEMATIQUE	Error! Bookmark not defined.
----------------------------	------------------------------

HYPOTHESES	Error! Bookmark not defined.
-------------------------	------------------------------

OBJECTIFS	Error! Bookmark not defined.
------------------------	------------------------------

METHODOLOGIE	Error! Bookmark not defined.
---------------------------	------------------------------

Etape I : Recherche bibliographique.	Error! Bookmark not defined.
---------------------------------------------------	------------------------------

Etape II : Travail expérimental.	Error! Bookmark not defined.
-----------------------------------------------	------------------------------

1- Evaluation subjective.....	Error! Bookmark not defined.
-------------------------------	-------------------------------------

2- Expérimentation.....	Error! Bookmark not defined.
-------------------------	-------------------------------------

Etape III : Traitement, analyse des données et recommandations. ..	Error! Bookmark not defined.
---------------------------------------------------------------------------	------------------------------

STRUCTURE DU MEMOIRE	Error! Bookmark not defined.
-----------------------------------	------------------------------

<i>CHAPITRE I : Notions de base de l'acoustique du bâtiment et les effets du bruit.</i>	9
------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

INTRODUCTION	10
---------------------------	-----------

I.1 : ACOUSTIQUE ET DONNEES D'INVESTIGATION	10
----------------------------------------------------------	-----------

I.1.1- L'acoustique	10
----------------------------------	-----------

I.1.2- Le son	11
----------------------------	-----------

I.1.3- Le bruit	16
------------------------------	-----------

I.1.4- L'acoustique architecturale	18
-------------------------------------------------	-----------

a- Correction acoustique	19
--------------------------------	-----------

b- Isolation acoustique	26
-------------------------------	-----------

I.2 - EFFETS DU BRUIT	32
I.2.1- Effets néfastes dus au bruit	32
I.2.2- Effets du bruit à l'école.....	34
I.2.3- Effets du bruit sur les enfants.....	35
I.3 - L'ACOUSTIQUES DES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES.....	36
I.3.1 - Les sources de bruit des établissements scolaires	36
I.3.2 -Traitement des espaces pédagogiques.....	37
I.4 - REGLEMENTATION RELATIVE AU CONFORT ACOUSTIQUE	41
I.4.1 - Réglementations et normes internationales.....	41
I.4.2 - En Algérie	42
CONCLUSION :	43

CHAPITRE II : METHODES ET MOYENS D'ANALYSE. 44

INTRODUCTION.....	Error! Bookmark not defined.
II.1 - DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE	Error! Bookmark not defined.
II.1.1 - Situation géographique.....	Error! Bookmark not defined.
II.1.2 - Présentation de l'école primaire HAFSA	Error! Bookmark not defined.
II.1.3 - Configuration de l'école	Error! Bookmark not defined.
II.1.4 - Espaces étudiées	Error! Bookmark not defined.
II.1.5 - Matériaux et revêtements utilisés	Error! Bookmark not defined.
II.2 - LES OUTILS D'INVESTIGATION	Error! Bookmark not defined.
II.2.1 - L'entretien.....	Error! Bookmark not defined.
II.2.2 - Le questionnaire	Error! Bookmark not defined.
II.3 - MESURES ACOUSTIQUES	Error! Bookmark not defined.
II.3.1- Mesure du niveau de bruit	Error! Bookmark not defined.
II.3.2- Mesure du temps de réverbération.....	Error! Bookmark not defined.
II.3.3- Mesure d'isolement acoustique	Error! Bookmark not defined.
CONCLUSION.....	Error! Bookmark not defined.

CHAPITRE III : RESULTATS, ANALYSE ET DISCUSSIONS. 63

INTRODUCTION.....	Error! Bookmark not defined.
III.1- RESULTATS ET ANALYSE DE L'ENTRETIEN.....	Error! Bookmark not defined.
III.1.1 - Résultats de l'entretien	Error! Bookmark not defined.

III.1.2 - Analyse de l'entretien	Error! Bookmark not defined.
III.1.3 - Synthèse des résultats	Error! Bookmark not defined.
III.2- RESULTATS ET ANALYSE DU QUESTIONNAIRE	Error! Bookmark not defined.
III.2.1 - Résultats et Analyse du questionnaire	Error! Bookmark not defined.
III.2.2 - Synthèse des résultats	Error! Bookmark not defined.
III.3 - RESULTATS ET ANALYSE DES MESURES ACOUSTIQUES ..	Error! Bookmark not defined.
	not defined.
III.3.1 - Mesure in situ du niveau de bruit global	Error! Bookmark not defined.
III.3.2 - Calcul de la durée de réverbération.....	Error! Bookmark not defined.
III.3.3 - Calcul de l'isolement acoustique	Error! Bookmark not defined.
CONCLUSION.....	Error! Bookmark not defined.
<i>CONCLUSION GENERALE</i>	88
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	92
<i>ANNEXES</i>	98

REMERCIEMENTS :

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué à l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger au sein du laboratoire Architecture construction et Environnement.

Je tiens à remercier en premier lieu mes encadreurs ,Madame MEZOUARI et Monsieur AIT OUFELLA, ceux qui ont suivi ce travail. Je leur suis reconnaissante pour leurs orientations, encouragements et le temps consacré à cette modeste recherche.

En deuxième lieu, j'adresse mes sincères remerciements au directeur de l'école primaire "Hafsa" qui m'a donné l'autorisation de réaliser mon expérimentation au sein de son établissement ainsi que l'enseignante Mme FELKAOUI qui a bien voulu me recevoir dans sa classe. Sans oublier, l'APC de Bouzareah qui m' a fournis la documentation nécessaire concernant le cas d'étude.

En troisième lieu, je remercie profondément mes parents et mon petit frère, qui m'ont accompagné et soutenu durant tout mon cursus scolaire et universitaire. Mes remerciements s'adressent aussi à tous mes amis pour leur aide et leur soutien moral.

En dernier lieu , je remercie toute personne ayant participé à l'élaboration de ce travail de près ou de loin.

LISTE DES ABREVIATIONS :

ARS : Agence Régionale de santé , Franche-Comté.

BATOD : British Association of Teachers of the deaf.

BIAP : Bureau International d'Audiophonologie.

CERTU : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

CIDB : Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit.

CNB : Conseil National du Bruit.

CNERIB : Centre National d'Etudes et de Recherche Intégrées du Bâtiment.

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (France).

CSTC : Centre Scientifique et Technique de la Construction (Belgique).

DTR : Document Technique réglementaire.

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement

HQE : Haute Qualité environnementale.

IBGE : Institut Bruxellois de la Gestion de l'Environnement.

ICBEN : International Commission on Biological Effects of Noise.

ISO : International Organization of Standardization.

OMS : Organisation mondiale de Santé.

SSA : Société Suisse d'Acoustique.

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Champs d'investigation de l'acoustique.	11
Figure 2 : Différents niveaux sonores.	13
Figure 3 : Longueur d'onde	15
Figure 4 : Les fréquences audibles par l' être humain	15
Figure 5 : Courbes isosoniques.	16
Figure 6 : Modes de transmission des bruits aériens intérieurs et extérieurs.	18
Figure 7 : Isolation et correction acoustiques.....	19
Figure 8 : Correction; traitement des réflexions d'un bruit par des revêtements absorbants. ..	20
Figure 9 : Mode de transmissions d'énergie acoustique.....	20
Figure 10 : Résonateur de Helmholtz.....	22
Figure 11 : La durée de réverbération..	23
Figure 12 : Traitement des transmissions d'un bruit aérien à travers l'isolation acoustique. ...	26
Figure 13 : L'abaque de la loi de masse.	27
Figure 14 : Effets du bruit sur l'adulte et l'enfant	33
Figure 15 : Effet du bruit sur les enfants	35
Figure 16 : Sources de bruit dans les établissements scolaires.	36
Figure 17 : Mur sans absorbant	37
Figure 18 : Mur avec absorbant.....	37
Figure 19 : Evolution du coefficient d'absorption suite à la mise en œuvre du plafond absorbant.	37
Figure 20 : Utilisation des ilots a plafond	38
Figure 21 : Utilisation des panneaux acoustiques	38
Figure 22 : Exemple de polystyrène.....	39
Figure 23 : Exemple de laine de mouton.....	39
Figure 24 : Isolation acoustique des mus existants	39
Figure 25 : Plan de masse de l'école Hafsa.	44
Figure 26 : Plan du rez de chaussée de l'école Hafsa.	45
Figure 27 : Espaces étudiés au niveau de l'école Hafsa.	46

Figure 28 : Sonomètre ,Testo 816.	50
Figure 29 : Espaces étudiés lors de la 1ère journée.....	51
Figure 30 : Exemple de points de mesure et sources de bruit.	52
Figure 31 : Points de mesure d'une salle de classe.....	53
Figure 32 : Prise de mesure avec élèves.	53
Figure 33 : Prise de mesure sans élèves.	53
Figure 34 : Points de mesure de la cour de récréation.	54
Figure 35 : Vue sur la cour de l'école.	54
Figure 36 : Prise de mesure à un point de la coursive.....	54
Figure 37 : Points de mesure de la coursive.....	55
Figure 38 : Salle de classe étudiée.	57
Figure 39 : Paroi séparative étudiée.	57
Figure 40 : Répartition des surfaces absorbantes des salles de classes.	57
Figure 41 : Points de mesure de la salle de classe.....	68
Figure 42 : L'évolution du niveau de bruit global durant une journée.	69
Figure 43 : Points de mesure de la coursive.....	72
Figure 44 : Une salle de classe après traitement acoustique.	75
Figure 45 : Collage de panneaux absorbants avec une apparence légèrement inférieure.	75
Figure 46 : Salle de classe avec panneaux muraux	76
Figure 47 : Salle avec panneaux au plafond.....	76
Figure 48 : L'évolution du temps de réverbération avec différents traitements	77
Figure 49 : Valeurs de R dans toutes les fréquences de la première paroi.....	79
Figure 50 : Valeurs de R de la première paroi après la chute d'isolement.....	80
Figure 51 : Valeurs de R dans toutes les fréquence de la deuxième paroi.	81
Figure 52: Valeurs de R de la deuxième paroi après la chute d'isolement.....	82
Figure 53: Comparaison entre les isolements avant et après traitement du local de réception.....	85

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différentes vitesses de son selon les milieux.....	14
Tableau 2 : Majoration de l'indice d'affaiblissement acoustique.....	28
Tableau 3 : Fréquences critiques et chutes d'isolement des matériaux	29
Tableau 4 : Normes concernant le niveau sonore ambiant des salles de cours.	40

Tableau 5 : Normes concernant le temps de réverbération adéquat des salles de cours.	40
Tableau 6 : Normes concernant l'isolement acoustique des locaux d'une école.	41
Tableau 7 : Présentation du cas d'étude.	45
Tableau 8 : Les espaces étudiés au niveau de l'école primaire Hafsa.	46
Tableau 9 : Matériaux utilisés au niveau de l'école Hafsa	47
Tableau 10 : Valeurs des corrections pour la pondération A	55
Tableau 11 : Données pour le calcul de la durée de réverbération de la salle de classe.	56
Tableau 12 : Masses surfaciques des éléments de la paroi séparative de la salle de classe et coursive.	58
Tableau 13 : Données pour le calcul de l'aire d'absorption du local de réception.	60
Tableau 14 : Synthèse des réponses de l'entretien.	63
Tableau 15 : synthèse des mesures de la première salle de classe in situ	68
Tableau 16 : Niveau du bruit global de la salle de classe.	69
Tableau 17 : Comparaison entre les niveaux des différents points centraux de la salle de classe.	70
Tableau 18 : Synthèse des mesures de la cour in situ	71
Tableau 19 : Synthèse des mesures de la coursive in situ.	72
Tableau 20 : Détails de calcul de la durée de réverbération.	73
Tableau 21 : Coefficients d'absorption du plafond acoustique.	74
Tableau 22 : Coefficients d'absorption du plafond acoustique et panneaux muraux.	75
Tableau 23 : Détails de calcul des isolements bruts et normalisés in situ des deux parois.	78
Tableau 24 : Valeurs de l'isolement normalisé in situ des deux parois selon les différentes fréquences.	78
Tableau 25 : Valeurs de R dans toutes les fréquence de la première paroi.	79
Tableau 26 : Valeurs de R dans toutes les fréquence de la première paroi après la chute d'isolement.	79
Tableau 27 : Isolement brut et standardisé à différentes fréquences de la première paroi.	80
Tableau 28 : Données pour le calcul du Req (500) de la deuxième paroi.	81
Tableau 29 : Valeurs de Req dans toutes les fréquence de la deuxième paroi.	81
Tableau 30 : Valeurs de R dans toutes les fréquence de la première paroi après la chute d'isolement.	82
Tableau 31 : Valeurs de l'indice d'affaiblissement et isolements de la deuxième paroi selon les fréquences.	82
Tableau 32 : Isolement brut et normalisé de la deuxième paroi après correction acoustique.	84

Mémoire de Master.

Auteur : KOURIFA Isma.

Etablissement : EPAU, LAE, Alger.

Evaluation du confort acoustique dans les écoles primaires.

Cas d'étude : Ecole primaire Hafsa , Bouzareah.

RESUME :

L'école primaire représente la première expérience scolaire dans la vie d'un élève, il s'agit d'un lieu d'apprentissage par excellence où la communication surtout verbale est inhérente à chaque activité. Pour cela , la qualité acoustique des locaux d'enseignement est essentielle au bon déroulement des cours et permet aux enfants de se concentrer sans difficultés.

Ce mémoire s'intéresse au confort acoustique , l'une des cibles de la Haute Qualité Environnementale et cela à travers l'évaluation de ce dernier dans les salles de cours d'une école primaire. L'objectif principal du travail est de regrouper tous les éléments permettant d'instaurer un niveau sonore propice à l'apprentissage.

Notre démarche expérimentale s'est basée sur la prise de mesures in situ permettant de comparer et positionner les écoles algériennes par rapport aux normes internationales. Ainsi, différents supports ont été utilisés pour connaître l'avis des enfants et leurs enseignants sur la question du bruit à l'école. Enfin, les résultats obtenus nous ont permis de proposer des solutions et des perspectives futures afin d'améliorer la qualité sonore des espaces pédagogiques.

Mots clés : école primaire, acoustique, enfants, confort, son, bruit, , correction, isolation , matériau, mesures.

Master thesis.

Author : KOURIFA Isma.

institution : EPAU, LAE, Algiers.

Evaluation of Acoustic Comfort in Primary Schools

Case studied: Primary School Hafsa, Bouzareah.

ABSTRACT :

The Primary School is the first school experience in the life of a pupil. It is an excellent place of learning where the communication; especially the verbal one; is inherent in each activity. That's why; the acoustic quality of classrooms is very important to the well conduct of courses and which allows children to concentrate without difficulty.

This thesis is interested in acoustic comfort, one of the targets of the High Environmental Quality ;and that through the evaluation of this latter in the classrooms of a primary school. The main objective of this work is to gather all the elements which permit to establish a sound level suitable to learning.

Our experimental approach was based on taking field measurements to compare and position Algerian Schools by international standards. Also, different supports were used to know the points of view of children and their teachers on the subject of noise at school. Finally, the results have helped us to propose solutions and highlight future actions to improve the sound quality of educational areas.

Key words : elementary school, acoustic, children, comfort, sound, noise, correcting, insulation, measures, materials.

مذكرة ماستر

الكاتب : كوريفة إسماء

المؤسسة : المدرسة المتعددة التقنيات للهندسة المعمارية و العمران، الجزائر.

ملخص

تعتبر المدارس الابتدائية أول تجربة في مجال الدراسة في حياة التلميذ، أين يتم فيه التواصل و التعليم لذلك الجودة الصوتية لهاته الأماكن تؤثر على عملية الفهم و الاستيعاب من طرف التلاميذ. يتطرق هذا البحث العلمي إلى دراسة الراحة الصوتية التي تعتبر واحد من أسس الجودة العالية البيئية , في هذا الصدد، قمنا بتقييم مختلف النسب الصوتية في قاعات التدريس في مؤسسة ابتدائية بغرض تعيين النسبة و الجودة الصوتية الملائمة للتدريس. يعتمد بحثنا على قياس تحليل مختلف النسب الصوتية لتحديد مكانة المدرسة الجزائرية بالنسبة للمعايير الدولية و اعتبارها. ثم هذا البحث من خلال مختلف القياسات الكمية و الشدات الصوتية إضافة إلى آراء التلاميذ و الأساتذة و هذا ما سمح لنا باقتراح حلول لتحسين الجودة الصوتية في المؤسسات التربوية الجزائرية.

الكلمات الرئيسية : المدرسة الابتدائية، الأطفال، الراحة، الصوت، الضوضاء، تصحيح والعزل.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION :

L'OMS a défini la santé en 1946 comme *"un état de bien être physique, mental et social complet et non la seule absence de maladie ou d'infirmité."* En effet , l'homme est constamment à la recherche du bien être et du confort, que ce soit dans son lieu d'habitation, de travail ou encore d'études.

*Le bâti influence le développement cognitif, psychologique, affectif, sanitaire et social."*¹ de l'homme, par conséquent, la conception architecturale et urbaine a un impact direct sur la santé et l'état d'esprit des usagers, elle devrait intégrer toutes les notions de confort et qualité de vie.

L'émergence de nouvelles démarches comme la Haute Qualité Environnementale (HQE) qui intègre les principes du développement durable à la construction et qui énonce un nombre considérable de préoccupations sous forme de cibles a permis aux concepteurs d'intégrer de nouvelles notions concernant l'éco-construction , la santé et la qualité de vie, il s'agit d'une démarche *"au profit à la fois de l'habitant et de la planète"*².

Cette dernière inclut plusieurs éléments relatifs au bruit et parmi ses cibles , on retrouve **le confort acoustique** , un critère souvent relégué au second plan par les concepteurs au point de faire appel à l'ingénieur acousticien en dernier lieu alors que les nuisances sonores telles que les bruits 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.

En Algérie, cette notion est rarement prise en compte dans le domaine du bâtiment induisant une gêne et un inconfort sonore quotidien. En effet, le bruit émis par le trafic routier et ferroviaire constitue une source indéniable de nuisance. De même que l'architecture et le type de matériaux utilisés peuvent jouer un rôle prépondérant dans l'isolation du bruit.

Pour cela, ce confort est de plus en plus recherché par les Algériens et devrait être au centre des préoccupations au même titre que la pollution et la gestion de l'énergie. En effet, « *Dans un cadre de développement durable, nous devons agir sur les pollutions de l'eau et de*

¹ DEOUX,S. *Bâtir pour la santé des enfant. Espagne.* MEDIECO éditions. Octobre 2010.

² HAMAYON,L. *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments.* France. Editions du moniteur. Novembre 2010. p 185.

l'atmosphère, mais aussi sur le bruit. Il y va de la santé de tous les citoyens algériens. Le bruit est aussi une pollution »³

PROBLEMATIQUE :

L'école est le lieu de communication et d'acquisition des savoirs fondamentaux, sa fonction primaire est l'apprentissage des règles de vie. Toutefois, "*Aucune pédagogie ne peut remplacer les apprentissages procurés par le lieu où des enfants évoluent*"⁴.

Ceci dit , la question de qualité du lieu ainsi que celle de la qualité environnementale des écoles primaires en Algérie constitue une problématique centrale. En effet, les paramètres liés au confort, à la santé et au bien être de l'enfant ne sont pas pris en compte comme : la qualité de l'air, le confort hygrothermique, la qualité de l'eau ou encore le confort visuel.

Aussi, le choix des sites ne prend pas en considération la qualité de l'environnement acoustique alors qu'une ambiance sonore confortable est inhérente à la fonction même de l'école. Le fait d'assurer une qualité d'écoute au niveau des salles de cours en l'occurrence influe largement sur le comportement de l'enfant et sa capacité à se concentrer; Si bien que, "*les orthophonistes et les audiologistes ont mainte fois mis en garde contre les troubles d'apprentissage liés au bruit dans les salles de classe présentant une mauvaise acoustique.*"⁵ La question est : Comment assurer à l'enfant un confort acoustique ? et quels sont les paramètres à prendre en charge afin de permettre une bonne concentration au niveau des écoles primaires ?

³ BENLKADI Kamel. *Le bruit en Algérie, les insupportables nuisances sonores*; El Watan Algérie.12 Mars 2008.

⁴ DEOUX,S. *Bâtir pour la santé des enfant. Espagne*. MEDIECO éditions. Octobre 2010. p135.

⁵ TEBBOUCHE,H. *L'impact de la qualité environnementale des établissements scolaires sur la performance du système éducatif en Algérie*. Mémoire de magistère. Architecture. Université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel. 2010.

HYPOTHESES :

Afin de répondre à nos questions et d'atteindre nos objectifs , nous avons formulé deux hypothèses principales :

1. La configuration des écoles actuelles pose problème à travers :
 - Son organisation plaçant des espaces en commun (les cours de récréation abritant des activités sportives) à proximité des salles de cours.
 - L' utilisation de matériaux inadéquats engendrant une mauvaise isolation et correction acoustiques.
2. Le mobilier ainsi que le comportement des usagers contribuent à l'accroissement du niveau sonore.

OBJECTIFS :

l'objectif principal est de placer l'enfant au centre de la réflexion en définissant toutes les sources de bruit et de gêne qui empêchent le bon déroulement de la vie à l'école en général et celui des cours en particulier. Tout cela afin d'arriver à instaurer un niveau et confort sonore propice à l'apprentissage et des espaces en harmonie avec l'environnement. Pour cela , il y'a plusieurs objectifs secondaires :

- 1- Faire connaître les cibles et objectifs de la qualité environnementale dans les milieux scolaires.
- 2- Identifier les sources de bruit nuisibles au confort de l'enfant
- 3- Déterminer les paramètres acoustiques qui permettent d'assurer un certain confort pour l'enfant.

METHODOLOGIE :

Afin de répondre à nos objectifs et de confirmer ou infirmer nos hypothèses de recherche, notre travail se déroulera en trois étapes distinctes :

Étape I : Recherche bibliographique.

Dans un premier temps, définir tous les concepts et termes en rapport avec l'acoustique et cela en se basant sur des références tels que : les livres , les colloques , les publications , les thèses et mémoires de recherche qui ont déjà traité le sujet.

Dans un second temps, s'intéresser à l'acoustique des établissements scolaires, les effets du bruit ainsi que le réglementation et les normes concernant le bruit dans les écoles.

Étape II : Travail expérimental.

Il contiendra deux parties essentielles :

1- Evaluation subjective :

avec comme outils : l'entretien pour les enfants et le questionnaire pour les enseignants.

En effet , cette partie consiste en la perception des ambiances sonores et connaître les sources de bruit qui induisent une gêne au sein des salles de cours.

1.1 : Choix des établissements scolaires : notre choix s'est porté sur les enfants en vue de leur plus grande sensibilité au bruit. pour ce faire , nous avons ciblé une école primaire pour le cas d'étude et cela afin d'évaluer le confort acoustique.

1.2 : Prise de contact : Afin de mener à bien notre expérimentation , nous nous sommes rapprochés du directeur de l'établissement muni d'une autorisation de l'académie. Pendant laquelle , nous leur avons expliqué notre intention et nos objectifs et nous leur avons présenté notre thème et le matériel à utiliser.

1.3 : Observation : cette étape nous permet de nous imprégner des lieux , essayer d'identifier les sources de nuisances et l'impact du bruit sur le déroulement du cours et la concentration des enfants.

1.4 : Choix des salles de cours : le directeur nous a attribué deux classes de 4^{ème} année , s'agissant des plus âgés après les 5^{ème} année pour une meilleure compréhension du sujet.

1.6 : L'entretien :

L'entretien engage deux personnes en vis-à-vis et à ce titre ne peut être considéré comme un simple questionnaire où on est dans une relation anonyme. Des rapports sociaux se jouent dans un entretien. ⁶ Il permet de comprendre et d'interpréter les informations selon les valeurs et les repères des personnes interviewées et il s'agit d'un outil plus flexible et adaptable aux situations.

S'agissant d'enfants , nous avons opté pour l'entretien oral en présence de l'enseignant qui est l'interlocuteur auprès de ces derniers. Cela nous permet d'obtenir leur confiance plus facilement et de vulgariser le thème.

Les questions sont simples et ont été traduites par nos soins, en langue arabe permettant aux enfants de comprendre et de répondre en toute liberté.

2- Expérimentation :

Nous nous basons ainsi sur les mesures in situ afin d'évaluer la performance acoustique des différentes conceptions et l'impact du bruit extérieur sur le confort sonore intérieur des classes. Cela à travers le calcul de différents indicateurs :

2.1 : Niveau d'intensité sonore : noté Li, cela en utilisant un appareil de mesure appelé sonomètre , le principe est de mesurer le niveau dans plusieurs points de la salle pour ensuite calculer le niveau ambiant.

2.1.1 : Endroits de la mesure : les mesures se font selon le champ sonore⁷ :

a- Champ proche : ce dernier se trouve tout près de la source et peut fausser la mesure , donc on prend peu ou pas de mesures.

⁶ LEFEVRE,Nicolas. *L'entretien comme méthode de recherche*. Méthodes et techniques d'enquêtes. Cours Master 1. Université Lille 2. France.

⁷ ROULET,J.C. Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments,2eme édition. Ingénierie de l'environnement.

-
- b- Champ libre : le niveau sonore diminue selon la distance et le type de source ⁸:
- Source linéaire : le niveau sonore diminue de **3 dB** en doublant la distance.
 - Source ponctuelle : le niveau sonore diminue de **6 dB** en doublant la distance.

Les mesures y sont fiables.

c- Champ diffus : à partir d'une certaine distance, le niveau devrait être le même , on peut vérifier la régularité et l'uniformité du niveau en effectuant la majorité des mesures.

2.2 : Durée de réverbération : noté **Tr**, pour ce faire , nous devons avoir toutes les informations sur la salle de cours , à savoir : longueur , largeur , hauteur , nombre et superficie d'ouvertures , les matériaux utilisés ainsi que le mobilier et cela afin de calculer le temps de réverbération. C'est un indicateur du confort acoustique , sa mesure a pour but de connaître l'état acoustique d'un local et, si cet état est jugé insatisfaisant, d'évaluer l'importance des corrections à effectuer.⁹

2.2.1- Méthode calculatoire :

Différentes formules existent pour calculer les temps de réverbération dans une salle en fonction de la fréquence. Ce sont des formules qui ont été obtenues de manière expérimentale. La formule de **SABINE.W** qui date de 1898 est la plus couramment utilisée ¹⁰.

2.3 - Mesure d'isolation acoustique :

Elle s'effectue sur différents objets

- Les éléments structurels entre deux locaux ou entre l'intérieur et l'extérieur (mur, toiture, plancher...etc.)
- Les éléments particuliers (fenêtres, porte, faux-plafond....etc.)

2.3.1: Indice d'affaiblissement acoustique : noté **R**, il dépend des caractéristiques acoustiques des parois de séparation et du son émis , il nous permet de connaître l'intensité du son transmis. Il caractérise la qualité d'isolement de la paroi

⁸ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2^{ème} édition. 2010. p 34.

⁹ ROULET, J.C. Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments, 2^{ème} édition. Ingénierie de l'environnement.

¹⁰ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul*. 2004.

2.3.2 : Mesure d'isolement brut : il représente la valeur de l'isolation d'une paroi entre deux locaux. Il est mesuré in situ. C'est le résultat de la différence entre le niveau mesuré dans le local d'émission et le niveau mesuré dans le local de réception in situ.

2.3.3 : Mesure d'isolement normalisé :

Cet isolement acoustique normalisé a été défini afin de pouvoir comparer l'isolement d'un local quelconque, très souvent vide quand on fait des mesures, à celui d'un local normalement meublé.¹¹ Il s'agit de calculer l'isolement brut mais en prenant en compte la capacité d'absorption du local de réception.

Etape III : Traitement, analyse des données et recommandations.

elle permet de collecter toutes les informations , analyser et comparer les données et proposer des solutions à moyen et long terme.

STRUCTURE DU MEMOIRE :

Afin d'atteindre notre objectif de recherche et d'apporter les éléments de réponse à la problématique posée, notre mémoire est structuré comme suit :

Chapitre I : Notions de base de l'acoustique du bâtiment et les effets du bruit, il regroupe quatre parties distinctes : les notions de base de l'acoustique permettant d'appréhender le thème , les effets du bruit sur les enfants et à l'école , le traitement acoustique des espaces pédagogiques et enfin la réglementation concernant le bruit nationale et internationale.

Chapitre II : Méthodes et moyens d'analyses, il est composé de trois différentes parties avec la présentation du cas d'étude , la définition des moyens d'investigation ainsi que les mesures et la méthodologie suivie.

Chapitre III : Résultats, analyse et discussion, il contient tous les résultats obtenus suite aux expérimentations, aux mesures et aux calculs. une autre partie de ce chapitre permet d'analyser les résultats et proposer des solutions à court, moyen et long terme.

¹¹ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2^{ème} édition. 2010. p 111.

CHAPITRE I : Notions de base de l'acoustique du bâtiment et les effets du bruit.

INTRODUCTION :

Afin d'appréhender tout domaine de recherche, il est nécessaire d'avoir des connaissances de base concernant ce dernier. Dans notre cas , il s'agit de l'acoustique " la partie des sciences physiques qui étudie les sons et tout ce qui a rapport aux sons. On attribue les bases de l'acoustique à Pythagore (550 av. JC), aussi ,de nombreux théoriciens (tels que Galilée, Lord Raleigh et Wallace Sabine...etc.) ont permis et facilité la compréhension des phénomènes lié à la propagation des sons.

Ce chapitre comprend quatre parties distinctes et constitue une base de données pour la suite du travail.

La première partie rassemble les concepts de base permettant de comprendre l'étendue de notre sujet à savoir l'acoustique des établissements scolaires. Ainsi , il comporte les définitions des notions qui nous permettront de mener à bien notre expérimentation comme : le niveau sonore ambiant , l'intensité et la puissance acoustique , la durée de réverbération ainsi que la correction et l'isolation acoustique.

Aussi, l'ambiance sonore d'un local influe largement sur la conduite des usagers. A l'école , elle a un impact direct sur le comportement de l'enfant et sa capacité à se concentrer. Pour cela , il est important de connaître l'ampleur des effets du bruit sur la vie à l'école et le déroulement des cours , ce qui fait office de notre deuxième partie de ce chapitre.

Par conséquent, les espaces pédagogiques accueillant des enfants requièrent une attention particulière en terme d'acoustique et nécessitent un traitement particulier. Pour cela, la troisième partie concerne le traitement acoustique de ses espaces.

Enfin, la quatrième partie s'intéresse à la réglementation Algérienne ainsi que les normes internationales relatives au confort acoustique dans les établissements scolaires.

I.1 : ACOUSTIQUE ET DONNEES D'INVESTIGATION :

I.1.1- L'acoustique :

I.1.1.1- A la recherche d'une définition :

Selon le dictionnaire Media Dico , c'est la Partie de la physique qui traite des sons ainsi que la qualité sonore d'une salle. Quant au dictionnaire Larousse 2015, il la définit comme une

science qui étudie les propriétés des vibrations des particules d'un milieu susceptible d'engendrer des sons, infrasons ou ultrasons, de les propager et de les faire percevoir.

DESMONS,J en 2003 la définit comme la partie des sciences physiques qui étudie les sons et tout ce qui a rapport aux sons.¹² Enfin , le site technique électronique EPSIC,2001 parle d' une science du son; la partie des sciences physiques qui étudie les sons "depuis leur émission, ou production (source), à leur transmission dans le milieu, jusqu'à leur réception (microphone) et leur perception (oreille)"¹³.

I.1.1.2 : Les champs d'investigation de l'acoustique :

L'acoustique regroupe différents domaines (fig. 1) comme :l'acoustique physique, l'acoustique perceptive (la psycho acoustique), l'acoustique des salles (matériaux absorbants, acoustique des espaces clos, réverbération...etc.), l'acoustique musicale...etc.

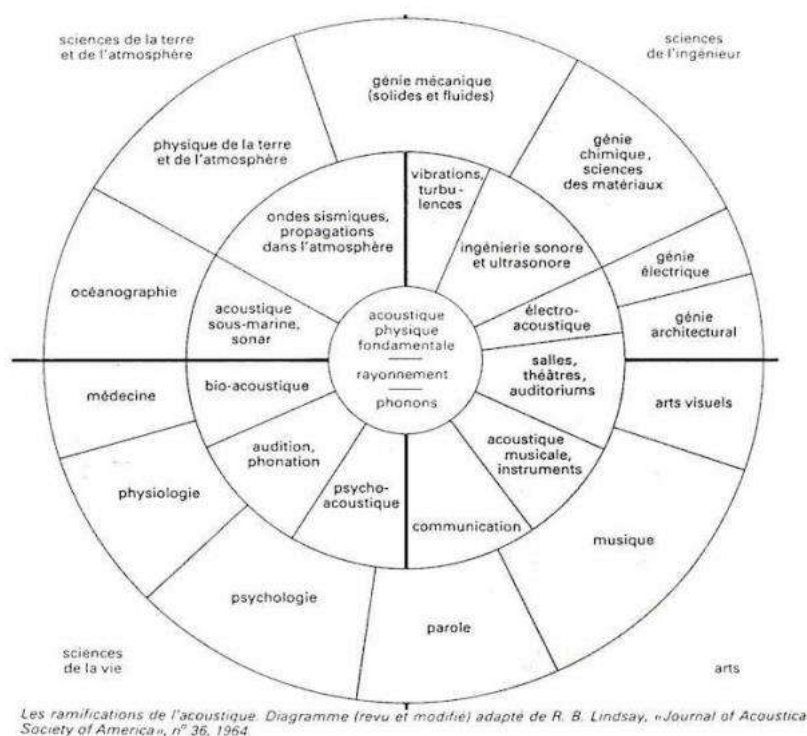


Figure 1 : Champs d'investigation de l'acoustique,(Lindsay.1964).

I.1.2- Le son :

I.1.2.1- Une sensation auditive :

¹² DESMONS,J. *Acoustique pratique*. Editions Parisiennes. 2003.P8.

¹³ EPSIC (Ecole Professionnelle de Lausanne). *Introduction à l'acoustique*.2001.
[http ://www.epsic.ch/branches/electronique/techn99/acous/AQSOMM.html](http://www.epsic.ch/branches/electronique/techn99/acous/AQSOMM.html)

D'après l'encyclopédie Larousse 2015, c'est une sensation auditive engendrée par une onde acoustique. Aussi, Il est défini comme une sensation auditive causée par les perturbations d'un milieu physique matériel élastique (air, eau...) et engendrée par la stimulation des éléments sensoriels de l'oreille interne (cellules ciliées), le plus souvent par les ondes acoustiques.¹⁴

Dans son ouvrage "*Acoustique pratique*", 2003, DESMONS, J définit le son comme une variation rapide de pression (dans l'air, dans l'eau ou tout autre milieu) décelable à l'oreille.

I.1.2.2- Définition :

Il est défini par ¹⁵: le niveau sonore (intensité), la fréquence (hauteur du son) et le timbre.

Les deux premiers facteurs, intensité et fréquence, sont suffisants pour caractériser un bruit, le timbre est un facteur musical.¹⁶

a- Niveau sonore : à son tour, est défini par deux paramètres :

- Intensité acoustique :

Elle peut se définir comme le vecteur transport d'énergie de l'onde sonore¹⁷, elle correspond à l'énergie vibratoire qui traverse une section de 1cm^2 ou 1m^2 pendant une durée d'une seconde¹⁸. Elle est donc définie comme un vecteur qui a une direction et un sens, celle et celui de l'onde acoustique et une norme qui représente l'énergie qui se propage exprimée en $\text{Watt}^{19}/\text{m}^2$.

Il existe une intensité sonore minimale sous laquelle on n'entend pas le son ; c'est le seuil d'audibilité. Il vaut $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ainsi qu'une intensité maximale ; palier au-delà duquel un son crée une douleur et endommage fortement le système auditif c'est le seuil de douleur qui est fixe à 1 W/m^2 .²⁰

- Niveau d'intensité acoustique :

¹⁴ ATIENZA, R, BALEZ, S ; REMY, N. *Introduction à l'acoustique*. CRESSON, École Nationale Supérieure d'Architecture . Grenoble .2008.

¹⁵ PIETQUIN, D. *Techniques du son, Notions fondamentales d'acoustique*. 2008.

¹⁶ VEDEILHIE, R. *l'acoustique élémentaire dans le bâtiment*. DUNOD. Paris. 1967. P2.

¹⁷ PASCAL, J.C. *Vibrations et acoustique*. Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Mans. Université de du Maine. 2007/2008

¹⁸ VEDEILHIE, R. *l'acoustique élémentaire dans le bâtiment*. DUNOD. Paris. 1967. P6.

¹⁹ Une source sonore émet un son avec une certaine puissance sonore P exprimée en watt (W). L'intensité sonore en un lieu dépend donc de la puissance sonore de la source ainsi que de $1/d^2$ avec d la distance à laquelle on se trouve de cette source (d'où l'unité de l'intensité sonore : W/m^2).

²⁰ PIETQUIN, D. *Techniques du son, Notions fondamentales d'acoustique*. 2008. P 10.

Il est égal à dix fois le logarithme décimal du rapport d'une intensité acoustique à l'intensité de référence $I_0 = 10^{-12}$ ²¹. Il s'exprime en dB²² et se calcule comme suit :

$$Li = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)^{23}$$

L : Niveau d'intensité sonore (dB)

- I: Intensité sonore de la source sonore (W/m²)

- I₀ : Seuil d'audibilité

- Le niveau sonore correspondant à l'intensité de référence (Le seuil d'audibilité), il est de 0 dB. (Fig. 2)

$$Li = 10 \log\left(\frac{I_0}{I_0}\right) = 10 \log(1) = 0 \text{ dB}$$

- Le niveau sonore correspondant à l'intensité maximale (Le seuil de douleur) est de 120 dB.

$$Li = 10 \log\left(\frac{I_{\text{Douleur}}}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{1}{10^{-12}}\right) = 120 \text{ dB}$$

La figure 2 résume les différents niveaux sonores depuis le seuil d'audibilité jusqu'au seuil de douleur.

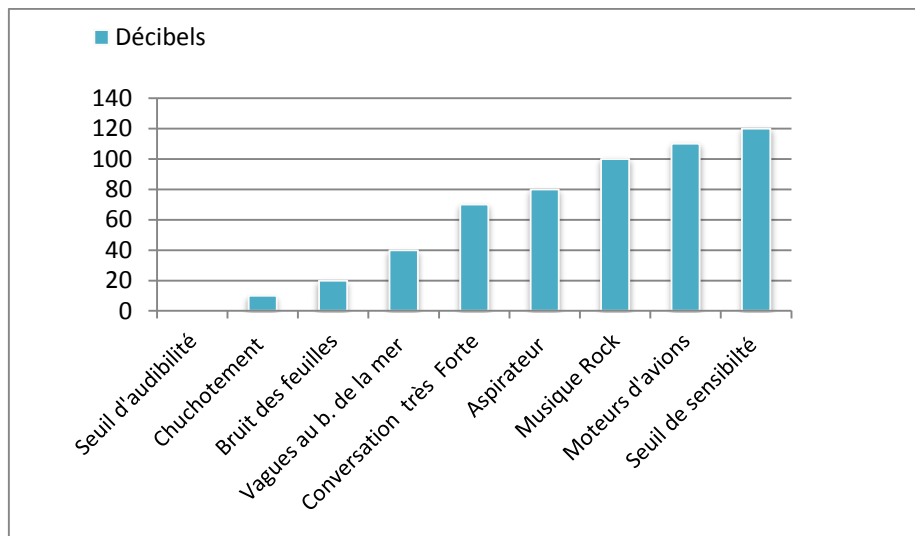


Figure 2 : Différents niveaux sonores, (Ludier , 2011), redessiné par l'auteur.

²¹ HAMAYON, Loïc. Réussir l'acoustique du bâtiment. Editions du moniteur. 2ème édition.2006.

²² Le décibel est, à ce jour, l'unité de mesure exprimant un niveau énergétique la plus utilisée pour la mesure du bruit, comme phénomène physique simple.

²³ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur.2ème édition. 2010.

b- La fréquence :

C'est le nombre d'oscillations périodiques par seconde. Elle s'exprime en Hertz (Hz).²⁴ Plus un son est aigu et plus sa fréquence sera haute. A l'inverse, plus un son est grave, plus sa fréquence sera basse. Elle est liée à la vitesse d'un son et la longueur d'onde et s'écrit comme suit :

$$f = V / \lambda$$
²⁵

λ : Longueur d'ondes en mètres.

V : la vitesse du son ou célérité dans le milieu en m/s.

f : la fréquence en hertz.

- La vitesse d'un son ou célérité dans un milieu matériel (c) : varie en fonction de l'homogénéité et l'élasticité du milieu. elle diffère selon les milieux (Tab. 1).²⁶

Tableau 1 : Différentes vitesses de son selon les milieux; (HAMAYON, 2010)

Milieu	Valeur de c à 15°C
Eau	1440
Air	340
Béton armé	1000 à 2000
Caoutchouc	40 à 150
Acier	5050
Aluminium	5200

- La longueur d'onde est la distance qui sépare les états identiques de deux ondes (fig. 3) contigus.²⁷ c'est la distance parcourue par une onde acoustique pendant une période²⁸.

²⁴ PIETQUIN, D. Techniques du son, *Notions fondamentales d'acoustique*. 2008.

²⁵ VEDEILHIE, R. l'acoustique élémentaire dans le bâtiment. DUNOD. Paris. 1967. P3.

²⁶ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2ème édition. 2010. p 28.

²⁷ Idem. p 31.

²⁸ PIETQUIN, D. Techniques du son, *Notions fondamentales d'acoustique*. 2008.

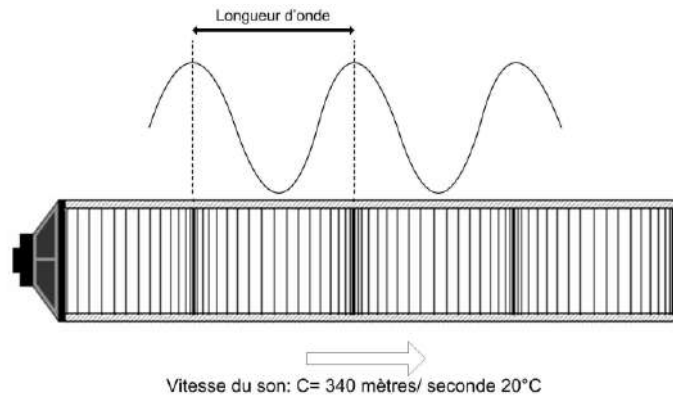


Figure 3 : Longueur d'onde, (www.techniquesduson.com, 2015)

- **Fréquences audibles :**

L'oreille humaine est sensible à des variations de fréquences entre 20Hz et 20000 Hz.²⁹

Au dessous de 20Hz , il s'agit d'infrasons et au dessus de 20000Hz , on parle d'ultrasons.³⁰
(Fig. 4).

L'oreille n'a pas la même sensibilité pour toutes les fréquences audibles.

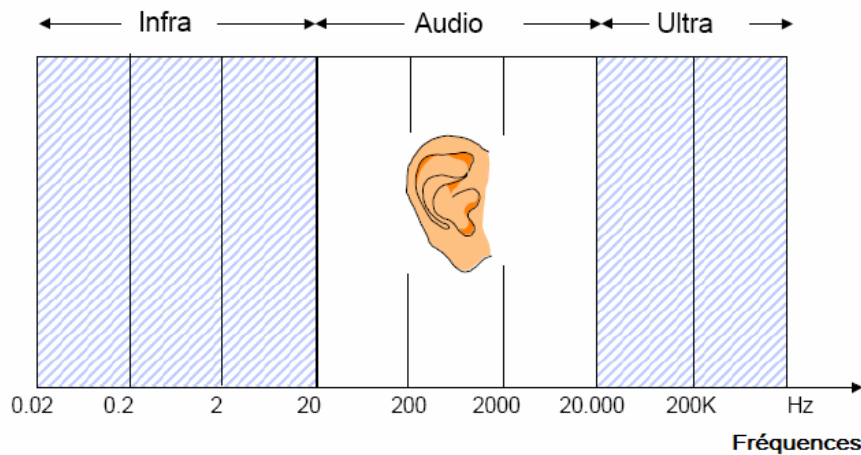


Figure 4 : Les fréquences audibles par l'être humain, (www.techniquesduson.com, Consulté en 2015)

- **Courbes d'isotonie :**

Les premières courbes isotoniques furent fondées sur les mesures effectuées par Kingsbury en 1927. Puis les courbes publiées par Fletcher et Munson en 1933 furent utilisées pendant plusieurs années avant d'être remplacées par les mesures de Robinson et Dadson en 1956.³¹

²⁹ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2ème édition. 2010. p 29.

³⁰ PIETQUIN, D. *Techniques du son, Notions fondamentales d'acoustique*. 2008.

Il s'agit de spécifier les combinaisons de niveaux de pression acoustique et de fréquences de sons purs continus qui sont perçus comme isotoniques par des auditeurs humains.³² En d'autres termes, Elle provoquent la même sensation d'intensité sonore chez l'oreille humaine. L'unité de mesure du niveau de sonie³³ est le phon : il correspond exactement au dB pour une fréquence de 1 000 Hz (Fig. 5).

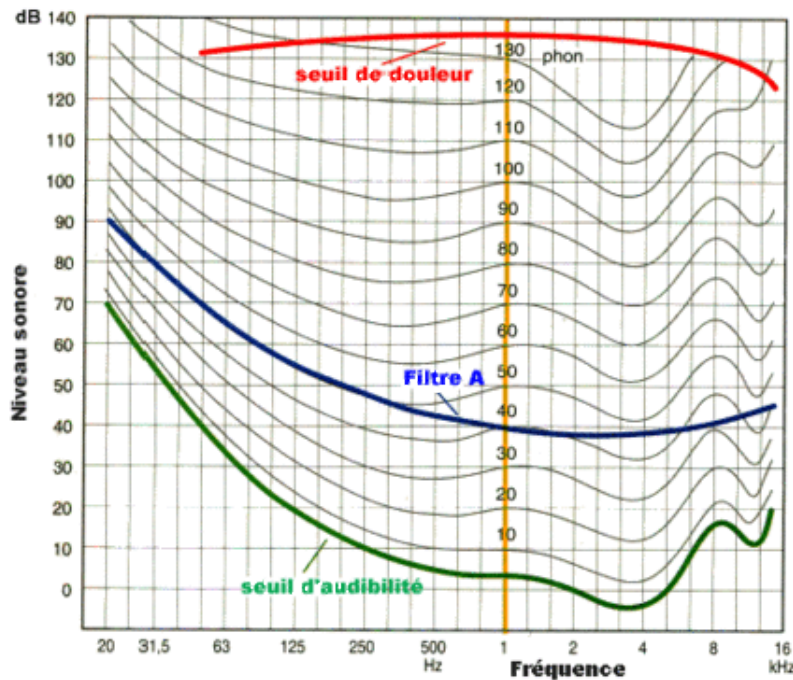


Figure 5 : courbes isotoniques, (Site de la confédération suisse, consulté en 2015).

c - Le timbre : est la constitution harmonique d'un son, il est donné par le nombre et l'intensité des harmoniques qui le compose et permet de le reconnaître. En effet, La fréquence fondamentale est la même, mais le nombre et l'intensité de leurs harmoniques respectives sont différents et l'oreille distingue les deux sons.³⁴

I.1.3 : Le bruit

a : Une sensation gênante :

Le DTR C 3.1.1, 2004³⁵ définit le bruit comme un mélange complexe de sons de fréquences différentes. il s'agit d'une sensation considérée comme gênante et désagréable. En effet, "il

³¹ Mary Florentine, Arthur, Richard R. Fay Popper et Richard R. Fay, *Loudness*, Springer Science & Business Media, 2010.

³² ISO 226:2003 : Acoustique - Lignes isotoniques normales.

³³ la sonie est un paramètre psycho acoustique qui varie avec le niveau sonore, la fréquence, la nature et la durée des sons.

³⁴ PIETQUIN, D. Techniques du son, *Notions fondamentales d'acoustique*. 2008.

³⁵ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens, règles de calcul*. 2004.

peut avoir un certain nombre d'effets indésirables. Il réduit par exemple l'intelligibilité des conversations, interfère avec les processus cognitifs, les fonctions biologiques endocriniennes, et il perturbe le sommeil."³⁶ Cependant, en acoustique, un bruit est une vibration aléatoire. Aussi, c'est un mélange confus de sons; il est constitué de la superposition d'un ensemble de composantes élémentaires qui n'ont entre elles aucune corrélation.

b : Classement de bruit : les bruits sont classés en trois groupes :³⁷

1- Grave (100- 400 hertz).

2- Médioms (400- 1600 hertz).

3- Aigus (1600- 6400 hertz).

c : Les sources du bruit : on distingue trois sources de bruits dans le domaine de l'acoustique du bâtiment :

- Les bruits aériens sont générés par des sources qui n'ont aucun contact avec la structure du bâtiment. Les vibrations sonores naissent dans l'air et se propagent par voie aérienne (en utilisant l'air comme support)³⁸. Il existe deux catégories :

- Les bruits aériens intérieurs ou bruits roses (bruit de conversation...); et
- Les bruits aériens extérieurs ou bruits routiers.

- Les bruits solidiens sont générés par des sources qui sont liées à la structure du bâtiment, ou qui la frappent. Il s'agit de bruits de choc (ou bruits d'impact) : les vibrations prennent naissance à l'intérieur d'une matière solide, lors d'un choc (bruits de pas, chutes d'objets, chute d'eau dans une douche ou une baignoire...etc.)³⁹

³⁶ VICENT,B . GISSENGER, V. *Les effets du bruit sur la santé*. Bruit et santé, synthèse documentaire. Lyon. Mai 2011. Révision 2. p4.

³⁷ VEDEILHIE, R. *l'acoustique élémentaire dans le bâtiment*. DUNOD. Paris. 1967.

³⁸.²⁸ Made in acoustic. Traitement et isolations acoustiques. www.madeinacoustic.com.

- Les bruits d'équipements : peuvent se transmettre à la fois par l'air ambiant et par une mise en vibrations des parois et des équipements. C'est un bruit créé par les ascenseurs , robinetterie , la ventilation mécanique...etc.⁴⁰

d : Les différentes voies de transmission de bruit : ⁴¹

- Les transmissions directes (TD) : par les parois opaques (façade, toitures et planchers) et les baies.(fig. 6).

- Les transmission parasites (TP) : par des points singuliers (gaines , entrées d'air , défauts d'exécution...etc)(fig. 7).

- Les transmissions latérales (TL) : par les parois liées à la façade , à la terrasse ou au plancher (fig. 7).

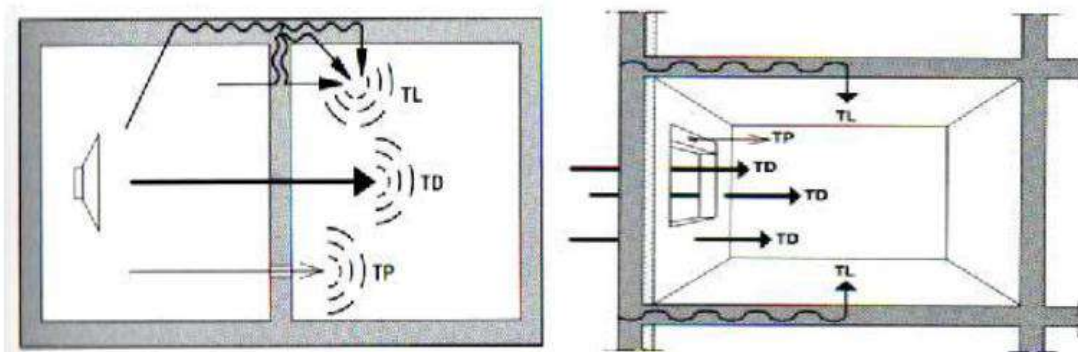


Figure 6 : Modes de transmission des bruits aériens intérieurs et extérieurs.
a : en plan , b : perspective frontale.
(Hamayon. Loïc, 2006).

I.1.4 L'acoustique architecturale :

Elle vise à comprendre et maîtriser l'acoustique des bâtiments .L'acoustique pratique peut être divisée arbitrairement en trois parties nécessitant des principes d'intervention différents⁴²:

- La correction acoustique.
- L'isolation phonique.
- L'isolation anti vibratile.

⁴⁰ CERTU. Mémento technique du bâtiment. *Confort acoustique*. Juillet 2012.

⁴¹ Idem. P 11.

⁴² VEDEILHIE, R. l'acoustique élémentaire dans le bâtiment. DUNOD. Paris. 1967. P21.

Dans ce cas , nous nous intéresserons à la correction et isolation acoustiques, deux paramètres à ne pas confondre(fig. 7). "La correction permet d'assurer la qualité acoustique propre d'un local et l'isolation est l'ensemble des dispositions prises pour réduire la transmission d'énergie entre les sources qui la produisent et les locaux qui doivent être protégés."⁴³

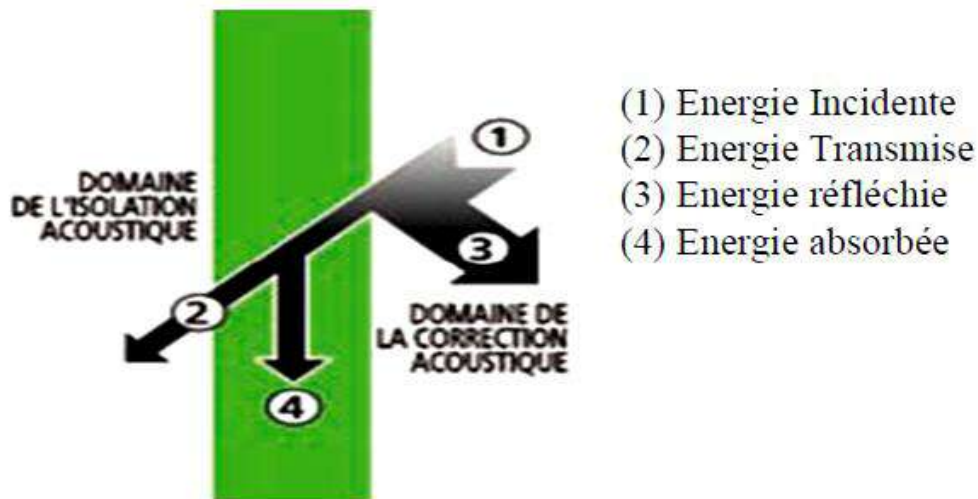


Figure 7 : Isolation et correction acoustiques, (la Farge 2010).

a : Correction acoustique :

C'est un indicateur du confort acoustique qui traite de l'ambiance sonore visant à limiter la réverbération des sons dans un local donné. Elle dépend du volume et de la forme du local ainsi que des matériaux constituant les parois. Elle a pour objectif d'assurer la qualité acoustique interne d'un local, qui peut être⁴⁴ :

- Un lieu où l'écoute doit être favorisée (salle de spectacle, salle d'enseignement)
- Un lieu où le niveau sonore doit être diminué (local industriel, atelier, bureau, préau d'école, circulation commune, ...)

⁴³ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2^{ème} édition. 2010. p 53.

⁴⁴ Made in acoustic. Traitement et isolations acoustiques. [Www.madeinacoustic.com](http://www.madeinacoustic.com).

Le principe de la correction est de réduire les niveaux sonores en neutralisant l'énergie réverbérée (réfléchi) (Fig. 8), soit de contrôler cette énergie pour contrôler l'audition.⁴⁵

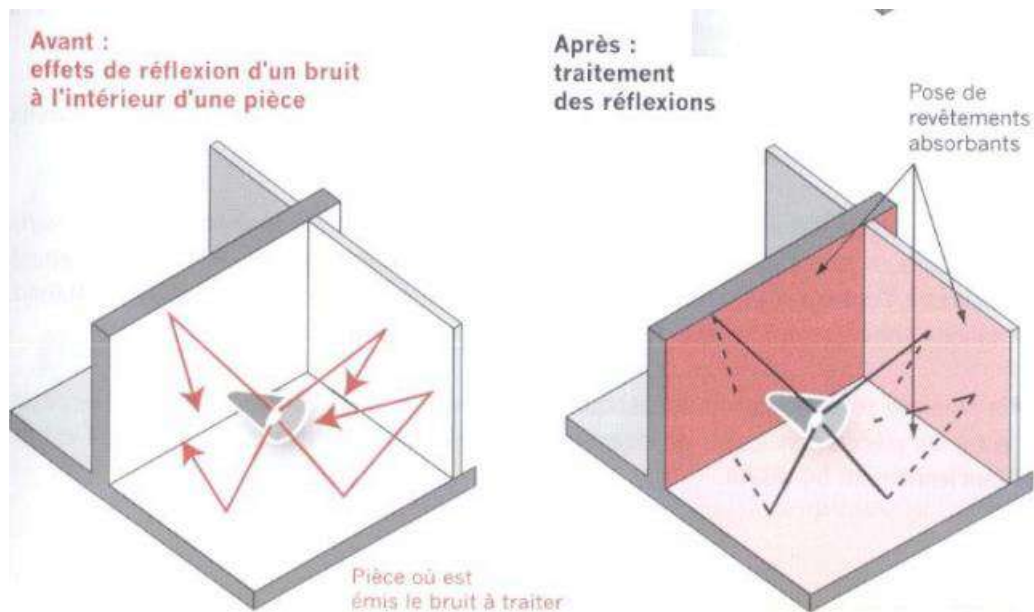


Figure 8 : Correction; traitement des réflexions d'un bruit par des revêtements absorbants.

(ATIENZA,R, BALEZ,S. 2009).

1- Propagation du son dans espace fermé :

Les sons émis à l'intérieur d'un espace fermé subissent différents phénomènes acoustiques expliqués ci dessous :

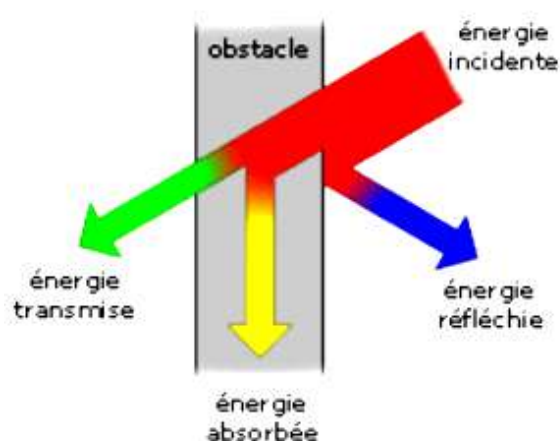


Figure 9 :Mode de transmissions d'énergie acoustique , (www.lafontaudio.com, acoustique et design, Consulté en 2015).

⁴⁵ VEDEILHIE, R. l'acoustique élémentaire dans le bâtiment. DUNOD. Paris. 1967. P22.

Quand une onde sonore rencontre la paroi d'un local (fig. 9):

- Une partie de l'énergie incidente **E_i** est transmise **E_t** de l'autre côté de la paroi, c'est-à-dire vers l'extérieur ou vers un local voisin.
- Une autre partie est absorbée **E_a**.
- Une dernière partie est réfléchi par la paroi **E_r**.

E _i : Energie incidente
E _a : Energie absorbée
E _t : Energie transmise
E _r : Energie réfléchi
On peut écrire :
$E_i = E_a + E_t + E_r$

Ces différentes énergies sont données par des coefficients définis⁴⁶ ci-dessous :

E_a dépend du coefficient d'absorption α avec :

$$\alpha = I_{\text{absorbée}} / I_{\text{incidente}}$$

E_t dépend du coefficient de transmission τ avec :

$$\tau = I_{\text{transmis}} / I_{\text{incidente}}$$

E_r dépend du coefficient de réflexion γ avec :

$$\gamma = I_{\text{réfléchi}} / I_{\text{incidente}}$$

On peut écrire aussi :
$\alpha + \tau + \gamma = 1$

2- Réverbération et absorption des parois :

La réverbération est la persistance d'un bruit dans un local après arrêt de la source. En d'autres termes , en plus des ondes directes s'ajoutent les ondes réfléchies par les parois⁴⁷ , ce qui prolonge le son et donne naissance au phénomène d'écho. Alors que l'absorption est la diminution de l'intensité sonore après la traversée d'un matériau absorbant⁴⁸. Il faut selon la qualité désirée, d'augmenter ou de diminuer la partie absorbée de l'énergie, en jouant sur les

⁴⁶ Acoustique des locaux -*Correction acoustique*. www.bruit.fr.

⁴⁷ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2^{ème} édition. 2010. p 54.

⁴⁸ Dico thermique. Le dictionnaire du confort thermique.

surfaces absorbantes et avec les matériaux bénéficiant d'un coefficient d'absorption entre **0** et **1**.⁴⁹

3- Coefficient d'absorption acoustique α : indique la capacité d'un revêtement à absorber l'énergie d'une onde sonore.

Plus il y a d'absorbants dans une salle, plus la durée de réverbération est courte

$\alpha = 0$: Matériaux parfaitement réfléchissants (lisses et durs)

$\alpha = 1$: Matériaux totalement absorbants (souples et poreux)

5- Matériaux absorbants :

Ils réduisent l'énergie acoustique réfléchi. on peut distinguer trois grands types⁵⁰ :

- **Matériaux poreux et fibreux :**

Dans ces matériaux, l'air est mis en mouvement par les ondes sonores. Elles perdent de l'énergie par suite des frottements des particules d'air sur le matériau, et l'énergie acoustique est transformée en chaleur et on dit qu'il y'a absorption.

- **Résonateurs :** sont généralement utilisés dans l'absorption des sons graves et médiums, ce sont des cavités sphériques ou cubiques de volume V (fig. 10) débouchant à l'air libre par un col de section S et de longueur L .⁵¹

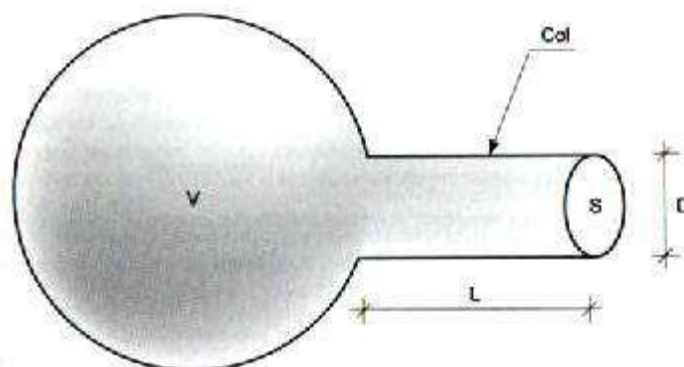


Figure 10 : Résonateur de Helmholtz, (Hamayon, 2008).

- **Membranes**, également appelées «diaphragmes» ou «panneaux fléchissant», lorsque les ondes acoustiques arrivent sur le panneau, celui-ci se déforme et comprime la lame d'air

⁴⁹ Made in acoustic. Traitement et isolations acoustiques. Wwww.madeinacoustic.com.

⁵⁰ Made in acoustic. Traitement et isolations acoustiques. Wwww.madeinacoustic.com.

⁵¹ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2^{ème} édition. 2010.

qui, agissant comme un ressort, renvoie le panneau. Il se crée donc une vibration. Quand la fréquence des ondes acoustiques est la même que la fréquence de vibration du panneau, il y a résonance.

6- Aire d'absorption équivalente (Nombre d'unités d'absorption d'un local) A :

C'est la valeur de la partie de la surface d'une paroi totalement absorbante composée d'un ou de plusieurs matériaux (différents coefficients d'absorption α).

Le DTR C 3.1.1 la définit comme la somme de produits des surfaces des parois ou objets du local multipliées par leurs coefficients d'absorption acoustique respectifs.

$$A = \alpha S^{52}$$

α : coefficient d'absorption du matériau.

A : Aire d'absorption équivalente en m²

S : surface totale du matériau.

* Quand le matériau est a 100% absorbant avec $\alpha = 1 \implies A = S$.

Dans le cas d'une salle avec différents matériaux :

$$A = \sum \alpha_i \times S_i^{53}$$

7- Durée de Réverbération 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 (Fig.11) , ce qui correspond à une intensité de **1/10** 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. ⁵⁴ La maîtrise de cette durée de réverbération dépend de la qualité acoustique recherchée.

⁵² CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.p18.

⁵³ Idem.

⁵⁴ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments.* Editions du moniteur.

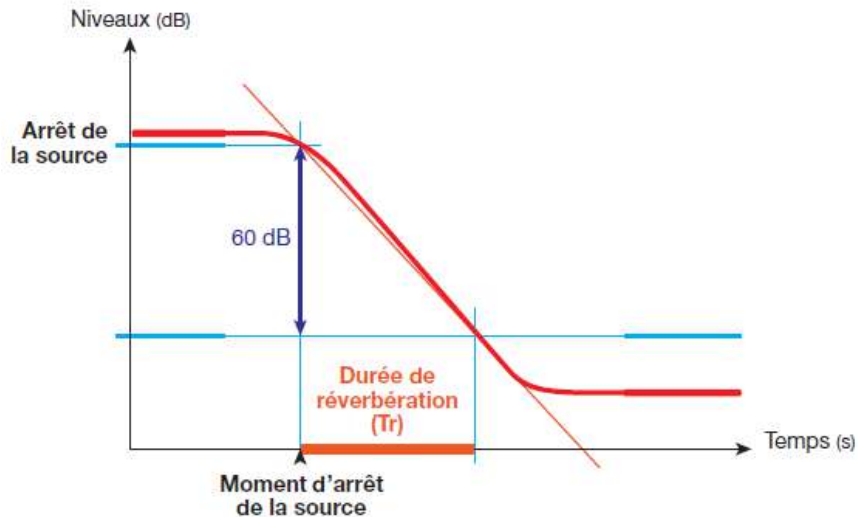


Figure 11 : La durée de réverbération. (Saint Gobain, 2012).

Dans les calculs, on considère que la durée de réverbération est la même en tout point du local.⁵⁵

8- Formule de Sabine :

Un physicien américain (wallace SABINE) a établi une formule empirique en 1898 permettant de calculer ce temps de réverbération d'un local. La formule de Sabine s'écrit :

$$Tr = \frac{0.16 V}{A} \text{ } ^{56}$$

T : Durée de réverbération en seconde

V : Volume du local en m³

A : Aire équivalente d'absorption en m²

9- L'écho est un phénomène caractérisé par un son pouvant être entendu deux fois à savoir , le son émis et le son réfléchi , si le temps entre le son émis et celui du retour est supérieur à 1/10 s ⁵⁷ , l'oreille humaine perçoit deux sons distincts. Il s'agit d'une reproduction distincte d'un son, due au fait que les ondes sonores rencontrant des obstacles changent de direction et produisent une nouvelle impression auditive.⁵⁸

10- Champ direct et champ réverbéré :

⁵⁵ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.

⁵⁶ Idem..

⁵⁷ VEDEILHIE, R. *l'acoustique élémentaire dans le bâtiment.* DUNOD. Paris.

⁵⁸ Idem. P55.

Dans les locaux de taille moyenne, la diminution du niveau d'intensité avec la distance est compensée par l'énergie réfléchi par les parois du local; le champ direct occupe l'espace situé à une faible distance de la source sonore, tandis que le champ réverbéré occupe la zone du local dans laquelle le niveau sonore est quasiment constant⁵⁹.

A cet effet, nous déduisons que :

- Un local contenant beaucoup d'absorbants, le champ direct y est augmenté puisqu'il y a peu d'énergie réfléchi. Il s'agit des salles sourdes.
- Un local ou il y a peu d'absorbants, l'influence du champ direct y est diminuée puisqu'il y a beaucoup d'énergie réfléchi. C'est le cas des salles réverbérantes.

11- Traitement des locaux par la réduction de la réverbération :

Un des phénomènes nuisant le plus fréquemment à une bonne qualité acoustique dans un local est la réverbération excessive des sons. Ce phénomène qui consiste en la perception du décalage entre le son direct et le son réfléchi, perturbe l'audition et nuit à l'intelligibilité. Il existe deux types⁶⁰ de salles souffrant de ce phénomène :

- Cas courants, tels que ceux des salles de classe, des bureaux, des salles de réunion pour lesquels une approche simple peut être suffisante.
- Cas où il est recherché une acoustique précise, tels que ceux des auditoriums, des salles de spectacle, des studios d'enregistrement.

Dans notre cas, nous nous intéresserons exclusivement au cas courants, afin d'y remédier à ce phénomène, il est intéressant de placer les matériaux absorbants sur les parois verticales disponibles, ceci afin de garantir une meilleure intelligibilité de la parole. Quant au sol, il est traité par la présence des auditeurs. Les réflexions sur le plafond sont utiles pour renforcer le son vers les places les plus éloignées de la source de bruit. Si une partie du plafond est à traiter (lorsqu'il n'y a pas assez de surface de parois verticales disponibles) le traitement est à placer vers le fond de la salle.⁶¹

⁵⁹ Made in acoustic. Traitement et isolations acoustiques. [Www.madeinacoustic.com](http://www.madeinacoustic.com).

⁶⁰ [Www.bruit.fr](http://www.bruit.fr), les grands principes de traitement acoustique d'un local.

⁶¹ Idem.

b : Isolation acoustique :

Elle concerne la propagation des bruits d'un local à un autre. Il s'agit de techniques et procédés mis en œuvre pour obtenir un isolement acoustique qui dépend de plusieurs paramètres⁶² :

- Les propriétés acoustiques d'un matériau.
- La mise en œuvre.
- Le contexte architectural.

Cette dernière a comme objectif la réduction de la transmission des ondes sonores aériennes et solidiennes d'un local (fig. 12) à un autre afin d'améliorer le confort.

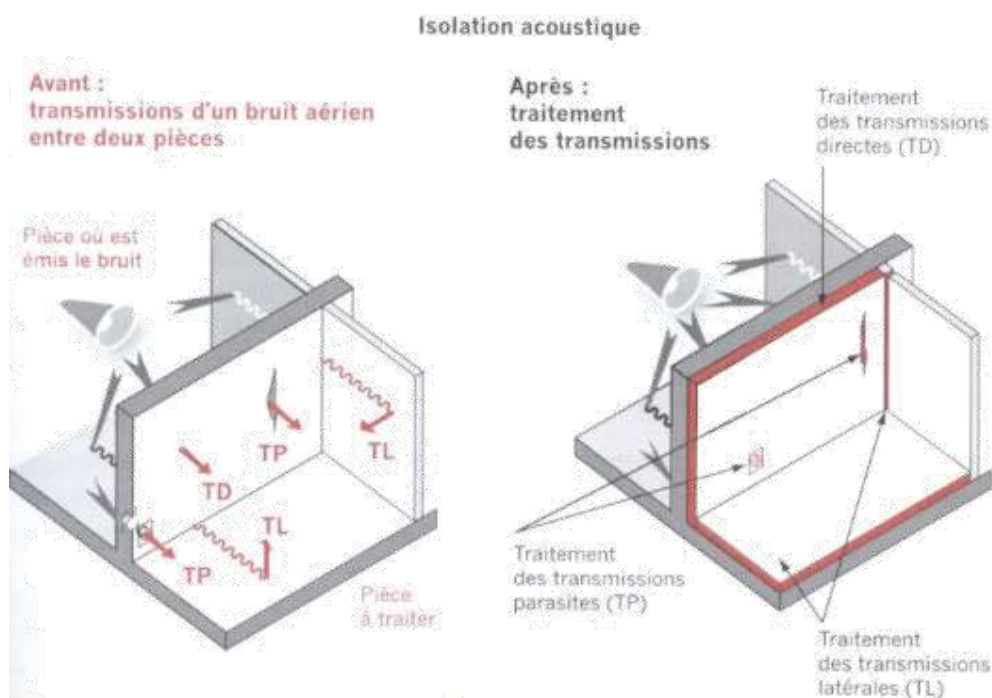


Figure 12 : Traitement des transmissions d'un bruit aérien à travers l'isolation acoustique.

(ATIENZA, BALEZ. 2009).

1- Coefficient de transmission τ : est un indicateur de l'isolation acoustique, il caractérise la paroi de séparation et s'écrit⁶³ :

$$\tau = I_2 / I_1 \quad \tau < 1$$

⁶² MEISSER, M , Consultant acoustique. Guide de l'acoustique du bâtiment. P 15. isover.fr

⁶³ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2^{ème} édition. 2010. p 98.

I₂ : Energie sonore mesurée dans le local de réception.

I₁ : Energie sonore mesurée dans le local d'émission.

2- Indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi : caractérise la performance en transmission directe d'une paroi ,il donne la performance d'une paroi séparative testée entre deux locaux.

C'est une caractéristique propre à la paroi⁶⁴ et il est exprimé en dB :

En cas de paroi continue, il s'écrit ⁶⁵:

$$R = 10 \log (1 / \tau)$$

τ : Facteur de transmission de la paroi.

En cas de paroi discontinue : une paroi composée de deux ou plusieurs éléments d'indices d'affaiblissement différents , il s'écrit ⁶⁶ :

$$R = 10 \log (\sum S_i / \sum \tau_i S_i)$$

S_i : Surface de l'élément i de la paroi en m²

τ_i : facteur de transmission de l'élément i de la paroi.

3- Loi de masse :

Elle permet d'estimer la valeur de l'indice d'affaiblissement acoustique **R** d'une paroi en fonction de sa masse surfacique. Cette loi est représentée graphiquement (Fig.13) suivant une échelle semi-logarithmique.⁶⁷ le principe est plus un mur est lourd, plus il isole.

⁶⁴ Made in acoustic. Traitement et isolations acoustiques. Glossaire.Www.madeinacoustic.com.

⁶⁵ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.P21.

⁶⁶ Idem. P22.

⁶⁷ Idem. P23.

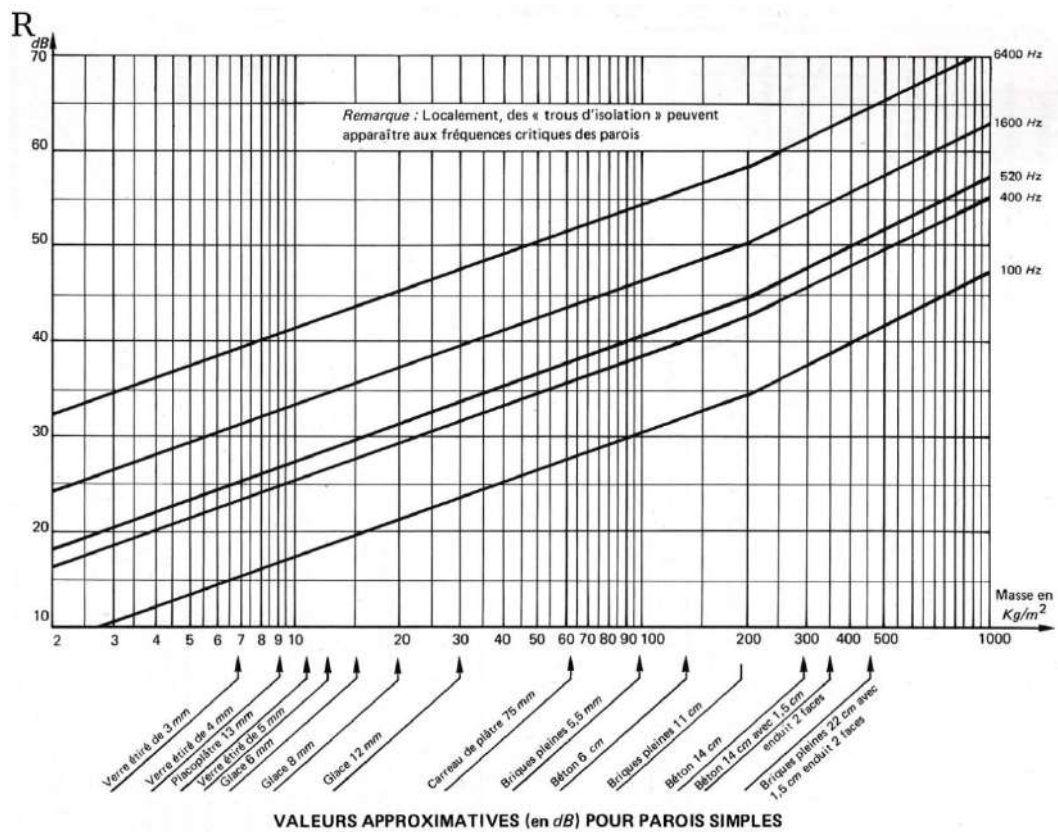


Figure 13 : L'abaque de la loi de masse ,(Saint Gobain).

Dans le cas des parois doubles⁶⁸, on prendra comme indice d'affaiblissement, l'indice de la masse surfacique totale des deux parois majoré conformément au tableau 2 :

Tableau 2 : Majoration de l'indice d'affaiblissement acoustique. R, (DTR C 3.1.1. 2004).

Lame d'air (cm)	Présence d'absorbant	Majoration de R (dB)
< 5 cm	Non	+ 3 dB
< 5 cm	Oui	+ 5dB
≥ 5 cm	Non	+ 5 dB
≥ 5 cm	oui	+ 7 dB

4- Fréquence critique :

- Cas des Parois simples : Toute paroi simple à une certaine fréquence, dite fréquence critique, un défaut d'isolement qui dépend de la masse volumique du matériau et de la rigidité de la paroi. Elle est exprimée par :

⁶⁸ **Une paroi double** est constituée de deux parois simples sans liaisons rigides entre elles comme une lame d'air.

$$f_c = \frac{c^2}{1.9e} \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

c : célérité du son en m/s.

E: Module d'élasticité du matériau en N/m²

ρ : Masse volumique du matériau e, Kg/m³

e : épaisseur de la paroi en m.

A la fréquence critique des matériaux, leur isolation acoustique chute d'autant plus que les matériaux sont rigides⁶⁹ et cette chute est à l'ordre de⁷⁰ :

10dB pour les matériaux à faibles pertes internes⁷¹ (acier, aluminium, verre...etc.)

7dB pour les matériaux à pertes internes moyennes (béton, plâtre, bois...etc.)

3dB pour les matériaux à fortes pertes internes (caoutchouc, liège, plomb...etc.)

Aussi, M. Meisser a donné une méthode empirique pour estimer l'allure de la courbe de **R**⁷² pour une paroi simple homogène avec 4 dB de variation par octave de masse ou de fréquence, soit : + 4 dB en doublant la fréquence.

+ 4 dB en doublant la masse.

Le tableau 3 indique les valeurs des fréquences critiques et les chutes d'isolement des matériaux les plus fréquents :

Tableau 3 : Fréquences critiques et chutes d'isolement des matériaux. (DTR C 3.1.1. 2004).

Matériaux	Masse volumique (kg/m ³)	Fréquence critique f _c (Hz) pour cm d'épaisseur	Chute de l'isolement à f _c (dB)
verre	2500	1200	10
Briques pleines	2000-2500	2000-2500	7
Béton	2300	1800	7
Plâtre	1000	4000	7
Acier	7800	1000	10

⁶⁹ VAN DAMME.M. Acoustique : conception et mise en œuvre. Isolation aux bruits aériens : principes et matériaux. Bruxelles.

⁷⁰ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.P23.

⁷¹ Les pertes internes représentent la quantité d'énergie dissipée par le matériau.

⁷² MEISSER : *La pratique de l'acoustique dans le bâtiment* Paris Cated-Eyrolles. 1971. 130p

La fréquence critique des blocs légers (blocs de plâtre, béton cellulaire...) est située dans un domaine de fréquences (les moyennes fréquences) où l'oreille est particulièrement sensible. Ces matériaux sont donc peu recommandés pour les travaux d'isolation acoustique.⁷³

- Cas des parois doubles : il s'agit d'une **fréquence de résonance**, les multiples réflexions entre les deux parois constituant la paroi double peuvent engendrer un phénomène de résonance à une fréquence particulière f_0 ⁷⁴ qui s'écrit :

$$f_0 = 84 \sqrt{\left(\frac{1}{ms1} + \frac{1}{ms2}\right) \sqrt{\frac{1}{d}}}$$

ms1 et **ms2** : masses surfacique des deux parois en kg/m²

d : distance séparant les faces internes des deux parois en m.

- Fréquence de résonance de la lame d'air :

Le volume d'air situé entre les deux parois sera mis en résonance par les sons dont la demi longueur d'onde est égale à la distance d'entre les deux parois. A ces sons correspondent des fréquences et sont données par la formule suivante⁷⁵ :

$$fn = \frac{n \cdot c}{2d}$$

n : Nombre entier supérieur à 0

c : célérité du son dans l'air m/s

d : distance entre les deux parois en m.

5- L'isolement acoustique entre locaux correspond à la différence arithmétique entre le niveau de pression acoustique **L1** dans le local émission et le niveau de pression acoustique **L2** dans le local réception⁷⁶. Les chemins de transmissions de l'énergie acoustique entre les deux

⁷³ MERSCH,S. IBGE. Bruxelles environnement. *Indice d'affaiblissement acoustique des matériaux*. Avril 2015.

⁷⁴ ACNAW. *Isolation acoustique*.2007.

⁷⁵ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul*. 2004.P25

⁷⁶ Idem.P22.

locaux sont regroupés en deux catégories⁷⁷ : transmissions directes⁷⁸ et indirectes (latérales⁷⁹ et autre chemins de transmissions⁸⁰). On distingue trois types d'isollements entre locaux :

- **Isolement acoustique brut** : est exprimé comme étant la différence entre le niveau sonore émis et le niveau sonore reçu dans le local

$$Db = Li1 - Li2$$

Li1: Niveau sonore mesuré dans le local "émission".

Li2: Niveau sonore mesuré dans le local "Réception"

- **Isolement acoustique normalisé** : est l'isolement brut corrigé en fonction de l'aire d'absorption réelle (**A**) mesurée dans le local de réception et l'aire d'absorption de référence.

$$Dn = Lp1 - Lp2 + 10 \log \left(\frac{A}{A_0} \right)^{81}$$

A : Aire d'absorption équivalente du local de réception.

A₀ : est une aire d'absorption équivalente de référence normalisée, prise égale à 10 m², sauf indication contraire dans un règlement ou une prescription contractuelle.

- **Isolement acoustique standardisé** : c'est l'isolement corrigé en fonction du temps de réverbération réel (**T**) mesuré dans le local de réception et le temps de réverbération de référence.

$$Dn, T = Lp1 - Lp2 + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)^{82}$$

⁷⁷ COENCA, J. SEJOURNE, C. Isollements au bruit aérien in situ. *incertitudes quant aux méthodes prévisionnelles*. 10ème congrès français d'acoustique. Lyon. Avril 2010.

⁷⁸ Les transmissions directes sont dues au rayonnement des éléments de la paroi séparative (cloison, bloc-porte...etc.) et sont caractérisées par l'indice d'affaiblissement acoustique R en dB de ces éléments.

⁷⁹ Les transmissions latérales sont des transmissions solidiennes (vibratoires) de l'énergie acoustique au travers des éléments constructifs liés à la paroi séparative et qui rayonnent dans le local de réception.

⁸⁰ les autres chemins sont aériens , il s'agit de "ponts phoniques" au travers de faux plafonds, faux-planchers , gaines et canalisations...etc.

⁸¹ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2ème édition. 2010. p 111.

⁸² DREAL , Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement. Région de la haute Normandie. France. 2015.

T : Durée de réverbération du local de réception.

T₀ : est un temps de réverbération de référence normalisé, pris égale à 0.5s.

I.2 - EFFETS DU BRUIT :

L'école est un lieu où les échanges oraux font partie intégrante de la formation, c'est le lieu d'apprentissage par excellence ou l'écoute, la communication et la compréhension sont primordiales pour le bon développement des enfants.⁸³ Ceci dit , les différentes sources de bruit perturbent le déroulement des cours et ont un impact négatif sur la performance et l'attitude des élèves.

Pour cela, des recherches ont été réalisées dans plusieurs pays notamment en France ou une étude menée dans la ville de Bordeaux, 1985 a apporté des enseignements inédits concernant l'influence du bruit sur le niveau d'attention des élèves. Leurs expériences ont prouvé que les taux d'erreurs de compréhension des enfants varient selon l'environnement sonore. Quant aux chercheurs britanniques, ils ont constaté en 2005 qu'*un enfant peut avoir jusqu'à deux mois de retard dans l'apprentissage de la lecture pour chaque hausse de cinq décibels de niveau de bruit (étude RANCH)*⁸⁴. Enfin , les résultats des autres études menées dans ce sens indiquaient en majorité les effets sérieux affectant l'apprentissage scolaire , l'état psychologique ainsi que le fonctionnement cardiovasculaire des élèves.

I.2.1 : Effets néfastes dus au bruit

a- Les effets auditifs directs biologiques et physiologiques du bruit :

Les niveaux sonores élevés entraînent une altération du système auditif qui est peu adapté à les supporter durant de longues périodes.⁸⁵ Si l'on s'expose à un niveau sonore élevé, le bruit peut endommager l'oreille, et notamment ses cellules ciliées, de façon transitoire (fatigue auditive ou surdité passagère) ou définitive. L'exposition à des sons intenses (musique amplifiée, explosions...) peut alors provoquer des acouphènes (bourdonnement dans les

⁸³ IBGE Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement. Bruit. Vade-mecum du bruit dans les écoles, Combattre le bruit dans les écoles, pourquoi et comment ? Janvier 2014.

⁸⁴ STANSFELD Stephen et al., étude RANCH, Children's reading and memory affected by exposure to aircraft noise, 2005, The Lancet, 365, p.

⁸⁵ Notre-planete.info, <http://www.notre-planete.info/environnement/bruit.php#sante>.

oreilles) ou une surdité (augmentation du seuil d'audibilité) passagère ou définitive.⁸⁶

b- Les effets indirects biologiques et psychologique du bruit :

Les effets biologiques extra auditifs, ne sont pas la conséquence directe de l'énergie acoustique sur l'oreille. Ils concernent le stress généré par le bruit sur l'être humain.⁸⁷

Ces effets sont plus difficiles à identifier car ils peuvent être liés à d'autres éléments stressants. Ils sont donc pas forcément à relier directement à l'exposition au bruit.

D'après différentes études (Davies, ICBEN⁸⁸,2008), il y a trois principales catégories d'effets extra auditifs :

- **Les effets sur le système cardiovasculaire :** Un état de stress créé par une exposition au bruit entraîne la libération excessive d'hormones telles que le cortisol ou les catécholamines (adrénaline, dopamine). Et c'est l'augmentation de ces hormones qui peut engendrer des effets cardiovasculaires.

- **Les effets sur la santé mentale ou effets psychologiques :**

Ils sont liés à ⁸⁹: - La nature du bruit, Sa signification et l'activité de la personne qui y soumise. En effet , Les effets psychologiques sont beaucoup moins aisément mesurables de façon objective car la perception du bruit est subjective et sa tolérance varie d'un individu à l'autre. Ses effets se traduisent par l'apparition de pathologies psychiatriques ou psychosomatiques (anxiété, dépression) en termes de modification des comportements de l'individu.⁹⁰

- **Les effets sur le sommeil :**

⁸⁶ VICENT,B . GISSENGER, V. *Les effets du bruit sur la santé*. Bruit et santé, synthèse documentaire. Lyon. Mai 2011. Révision 2.

⁸⁷ Idem.

⁸⁸ International Commission on Biological Effects of Noise

⁸⁹ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur.2ème édition. 2010. p 49.

⁹⁰ Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. les effets du bruit sur la santé. prévention des risques .6 mars 2013.

Le sommeil est la période où le corps se régénère. Il est essentiel pour le développement, la santé et le bien être. Le sommeil peut être facilement perturbé par le bruit(fig.14) ce qui peut provoquer des effets inconscient mineurs, voire un réveil complet.⁹¹

Dose Leq dB(A)	Effets	Crête en dB	Effets
75	Endormissement impossible	85	Réveil de l'adulte et de l'enfant
65	Réveil de l'adulte	60	Altérations du rythme cardiaque
55	Réveil de l'enfant	55	Début des modifications du rythme cardiaque
45	Sommeil paradoxal altéré	45	Perturbations de l'électro-encéphalogramme chez l'enfant
35	Début de perturbations possibles de l'électro-encéphalogramme		

Figure 14 : Effets du bruit sur l'adulte et l'enfant. (acouicité⁹², 2011).

I.2.2 : Effets du bruit à l'école :

Différentes études ont été menés dans des écoles visant à identifier l'effet néfaste qu'a le bruit sur les élèves , en 2007, une étude brésilienne de Zannin a démontré que les bruits gênants étaient ceux des classes voisines (élèves et enseignant) et de leur propre classe. Quant aux effets ressentis dans ce cas, c'était : la nécessité de hausser la voix, la perte de concentration, l'irritabilité, l'anxiété et de l'inconfort.

Une autre étude suédoise a été réalisée sur 3 classes de CM1 (78 enfants) durant laquelle les chercheurs ont découvert que les niveaux sonores équivalents étaient répartis entre **59 et 87 dB (A)**. Ce qui expliquant la fatigue, la difficulté à écouter le professeur et les maux de têtes des enfants.

D'autres recherches ont été réalisées dans ce sens et ont prouvé que le bruit à l'école avait un effet sur le comportement des élèves à l'exemple de l'étude de Mauny⁹³ et al. 2010 qui a démontré que les effets observés sont⁹⁴ :

⁹¹ VICENT,B . GISSENGER, V. *Les effets du bruit sur la santé*. Bruit et santé, synthèse documentaire. Lyon. Mai 2011. Révision 2.

⁹² Observatoire de l'environnement sonore du Grand Lyon.

- La participation réduite;
- L'inattention chronique;
- L'agressivité, l'irritabilité;
- La fatigue;
- L'agitation psychomotrice.

I.2.3 L'effet du bruit sur les enfants :

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...etc.)⁹⁵. De plus, Le bruit est une information parasite inutile que le cerveau doit traiter et filtrer pour laisser la place à l'information utile. En plus des effets sur l'audition (destruction des organes de réception de l'oreille interne), le bruit a des effets néfastes (fig.16) sur la fatigue et le stress⁹⁶.

Les effets sur les enfants sont résumés dans la figure 15; une synthèse de données recueillies au niveau du document de l'institut Bruxellois de la Gestion et de l'Environnement.

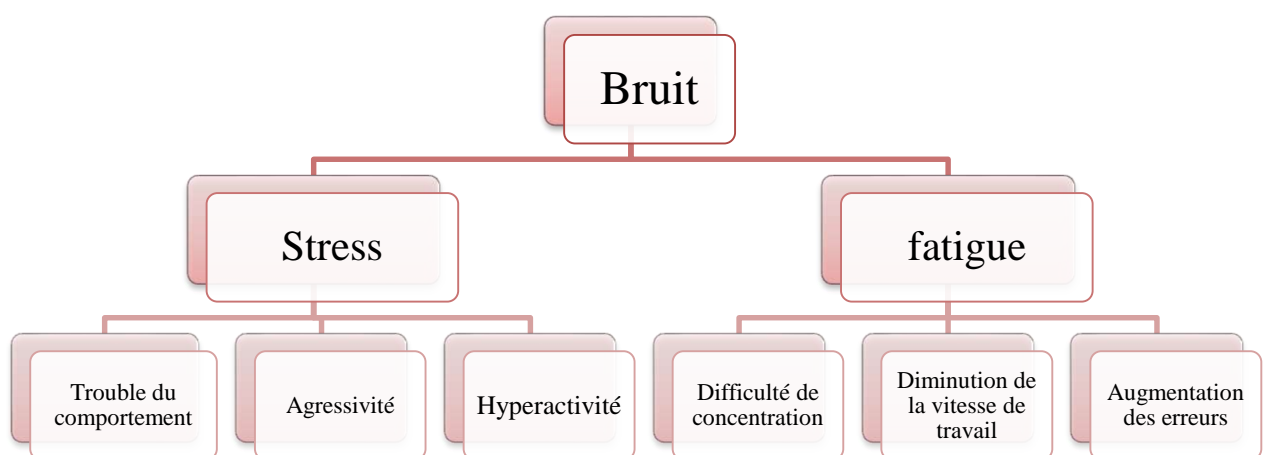


Figure 15 : Effet du bruit sur les enfants, Auteur , Données (IBGE, Janvier 2014.)

⁹³ Enquête sur les élèves de CE2 scolarisés à Besançon.

⁹⁴ CIDB : centre d'information et de documentation sur le bruit , www.bruit.fr.

⁹⁵ BOUKADOUM, Amina. *Evaluation du confort acoustique dans les Salles de cours des établissements scolaires*. Mémoire de magistère. Architecture. Université Mentouri. Constantine. 2012.

⁹⁶ IBGE, Institut Bruxellois de la Gestion de l'Environnement. *Combattre le bruit dans les écoles, pourquoi et comment ?* Bruxelles. Janvier 2014.

Les enfants sont plus vulnérables au bruit que les adultes⁹⁷ à cause de leur :

- Absence de reconnaissance des signaux de dangers;
- Manque de contrôle de leur environnement;
- Absence de stratégie d'adaptation;
- Périodes critiques durant les apprentissages;
- Les multi-expositions au bruit (écoles, domicile, espaces urbains...);
- Les enfants et les adolescents s'exposent dans leurs pratiques de loisirs à des risques pour leur santé.

I.3 - L'ACOUSTIQUES DES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES :

L'acoustique constitue un élément fondamental dans l'enseignement, d'ou la nécessité d'assurer une bonne écoute. En effet , Les bonnes conditions sonores permettent aux élèves de se concentrer et d'entendre facilement le professeur sans que celui-ci soit obligé de forcer la voix. De plus , l'effet du bruit sur les enfants est d'autant plus important, ce qui conduit à un traitement acoustique indispensable au niveau des écoles.

I.3.1 : Les sources de bruit des établissements scolaires :

L'enfant et son enseignant sont soumis à diverses nuisances sonores au quotidien à l'école :

⁹⁷ CIDB : centre d'information et de documentation sur le bruit ,Vulnérabilité des enfants.
www.bruit.fr.

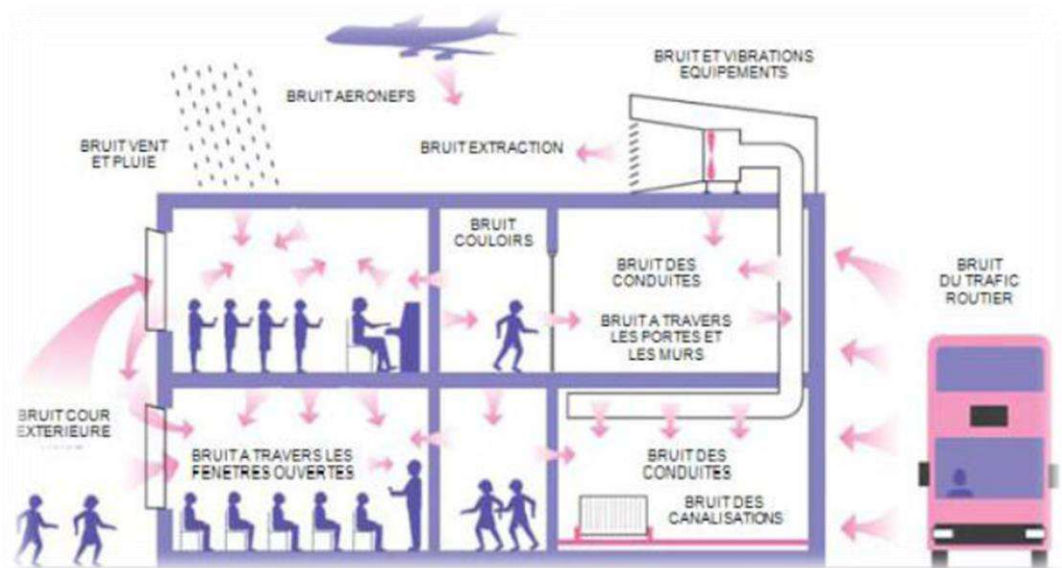


Figure 16 : Sources de bruit dans les établissements scolaires.

(www.ecoutetonlycée.com, consulté en 2015).

A l'aide de la (Fig.16) ,Les sources de bruits dans les écoles sont multiples. Elles peuvent être:

a- Extérieures à l'école :

- Trafic routier, ferroviaire ou aérien.
- Activités industrielles.
- Activités humaines bruyantes.

b- Intérieures ou inhérentes à l'activité scolaire :

- Bruit provenant des couloirs (entrée et sortie des classes) , sonneries...etc;
- Les comportements des occupants du local (bavardages inutiles, chute de matériel scolaire, bruit des chaises); et
- Bruit des équipements : canalisations , conduites...etc.

I.3.2 : Traitement des espaces pédagogiques :

Tous les espaces au sein d'une école ont leur importance , ceci dit, les espaces pédagogiques tels que les salle de cours et la bibliothèque requièrent une attention particulière du point de vue acoustique. En effet, Une salle de cours doit permettre une bonne diffusion de la voix, sans écho pour une parfaite intelligibilité du discours. Afin d'atteindre cet objectif, il est important de les concevoir convenablement et choisir des revêtements adéquats :

a- Utilisation de matériaux absorbants :

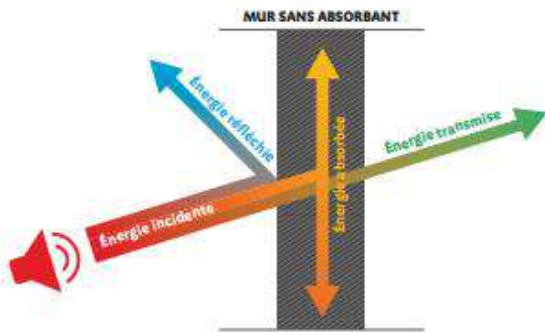


Figure 17 : Mur sans absorbant. (CNB,2015)



Figure 18 : Mur avec absorbant. (CNB, 2015).

Dans une salle sans revêtement de parois absorbant, l'énergie acoustique envoyée par la source de bruit **S** dans toutes les directions se réfléchit sur les parois et se conserve relativement longtemps dans le local (Fig.17) après que la source cesse d'émettre⁹⁸ (écho). Alors que l'utilisation d'un matériau absorbant au niveau des parois verticales diminue largement le taux d'énergie réfléchi (Fig. 18). Prenons l'exemple d'une mise en œuvre d'un plafond absorbant $\alpha_w \geq 0.90$ dans une salle de classe avec une surface au sol de 50 m² et un volume de 137,5 m³.⁹⁹

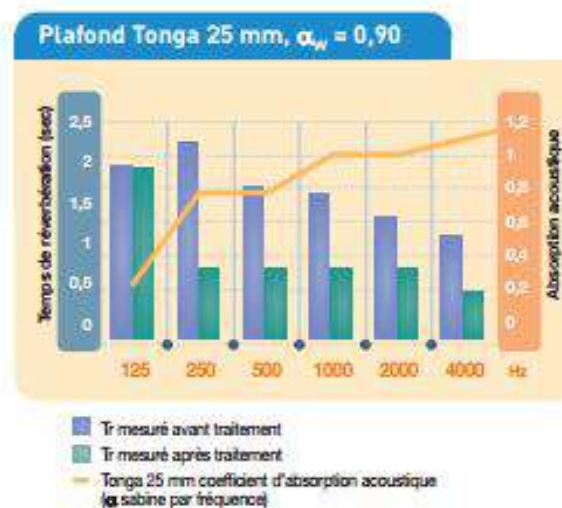


Figure 19 : Evolution du coefficient d'absorption suite à la mise en œuvre du plafond absorbant.

(Www.euroacoustic.com.2008)

⁹⁸ Les guides du CNB (Conseil National du Bruit) N°5, qualité acoustique des établissements d'accueil d'enfants de moins de 6 ans. France.

⁹⁹ Wwww.euroacoustic.com. L'acoustique dans les établissements d'enseignement.2008.

L'introduction du plafond acoustique a permis de réduire considérablement le temps de réverbération de la salle de cours , a 1000Hz, le temps a diminué de 1.7 jusqu'a 0.6s(Fig. 19). d'autres dispositifs absorbants peuvent être mis en œuvre pour une meilleure acoustique tels que :

- Cubes décoratifs et acoustiques.
- Îlots de plafond.(Fig.20)
- Panneaux acoustiques. (fig.21)



Figure 20 : Utilisation des îlots a plafond.
(www.doxacoustics.fr. 2015)



Figure 21 : Utilisation des panneaux acoustiques
(www.doxacoustics.fr.2015)

b- Recours aux isolants :

En plus de l'absorption , une salle de classe se doit d'être bien isolée des bruits provenant de l'extérieur ou des espaces de circulations, une mauvaise isolation entraine systématiquement un accroissement du niveau sonore ambiant. Pour cela , le double vitrage est l'élément incontournable pour une bonne isolation. Il est composé de deux vitres entre lesquelles une lame d'air , C'est la qualité et l'importance de cette lame qui confère au double vitrage ses performances.¹⁰⁰ Il est aussi important d'utiliser lors des constructions neuves ou de rénovations des matériaux bénéficiant d'un indice d'affaiblissement élevé (**R**) comme¹⁰¹ :

- Polystyrènes acoustiques (Fig. 22);
- Les laines minérales.(Fig. 23);
- Fibres naturelles.

Les exemples d'isolants sont présentés dans les figures suivantes :

¹⁰⁰ <http://www.guidefenetre.com/>.

¹⁰¹ Balez, Suzel. Propriétés acoustiques des matériaux et travaux de réalisation. 2007-2008.



Figure 22 : Exemple de polystyrène,
(Balez,S, 2007-2008.)



Figure 23 : exemple de laine de mouton.
(IBGE, 2010)

c - Isolation acoustique de murs existants.

Il est aussi possible d'isoler des constructions existantes en collant un mur constitué d'un matériau isolant sur le mur existant.

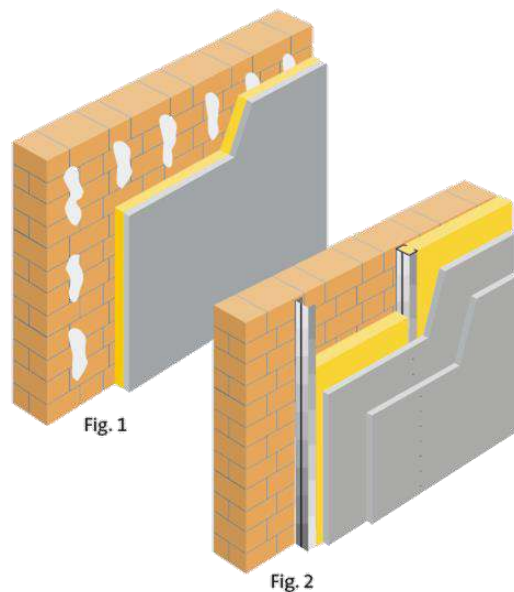


Figure 24 : Isolation acoustique des murs existants,(Isover. consulté en 2015)

- **Doublage** : La plaque de plâtre sur laquelle une couche de laine de verre a été posée en usine, est collée sur le mur existant (fig. 24) à l'aide d'une colle identique à celle qui permet de coller les plaques de plâtre.
- **Contre-cloison sèche** : une ou plusieurs plaques de plâtre sont fixées sur un côté à une structure métallique (fig. 24). La lame d'air ainsi obtenue est remplie entièrement de laine de verre.

I.4 : REGLEMENTATION :

I.4.1 : Réglementations et normes internationales :

Suite à une recherche sur la réglementation internationale acoustique , nous avons résumé les différents décrets et normes des critères acoustiques dans les trois tableaux suivants :

Tableau 4 : Normes concernant le niveau sonore ambiant des salles de cours.

Pays	Réglementation	Source
France	$0,4 \leq Tr \leq 0,8$ dans une salle de classe < 250 m ³ $0,6 \leq Tr \leq 1,2$ dans une salle de classe > 250 m ³	Arrêté du 25 avril 2003 relatif à La limitation du bruit dans les Etablissements d'enseignement.(Annexe I)
Organisation internationale de normalisation	$T \leq 0,8 \times T_0$ avec $T_0 = 0,35 \times \log(1,25 \times \text{Volume})$	Normes européennes ENISO 717-1 2
Belgique	$Tr = 0,4$ s	BIAP : bureau international d'Audiophonologie
USA	$Tr = 0,6$ s dans une salle de classe < 283 m ³ $Tr = 0,7$ s dans une salle de classe > 283 m ³ et < 566m ³ .	La norme ANSI S12.60 de 2002 American national standard acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools.
	$Tr = 0,4$ s	American speech Language Hearing Association
Angleterre	$Tr = 0,4$ s	BATOD : British Association of Teachers of the deaf.

Tableau 5 : Normes concernant le temps de réverbération adéquat des salles de cours.

Pays	Réglementation (dB(A))	Source
Belgique	40	BIAP : Bureau International d'Audiophonologie
France	38	Arrêté du 25 avril 2003 relatif à La limitation du bruit dans les Etablissements d'enseignement.
Angleterre	35 pour salle inoccupée	BATOD : British Association of Teachers of the deaf.
USA	30-35 pour une salle vide	American speech Language Hearing Association

Tableau 6 : Normes concernant l'isolement acoustique des locaux d'une école.

Pays	Réglementation (dB(A))	Source
France	<p>DnT,A* ≥ 43dB entre les différents locaux d'enseignement et d'activités pratiques.</p> <p>DnT,A ≥ 50dB entre les locaux d'enseignement et les locaux médicaux et infirmeries, les ateliers peu bruyants, les cuisines, les salles de réunion et les sanitaires.</p> <p>DnT,A ≥ 53dB entre les locaux d'enseignement et les salles de musique, salles polyvalentes, salles de sports et salles de restauration.</p> <p>DnT,A ≥ 55dB entre les locaux d'enseignement et les ateliers bruyants</p>	<p>Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement (Annexe I)</p>
Belgique	<p>DnT, A = 46dB entre les locaux d'enseignement classique.</p> <p>DnT, A = 58dB entre un local de musique et un local d'enseignement classique.</p> <p>DnT, A = 38dB entre les locaux de circulation et les locaux d'enseignement classique.</p>	<p>BIAP : Bureau International d'Audiophonologie, NBN S01-400-2 (2010)</p>

* Isolement acoustique standardisé pondéré

I.4.2 : En Algérie :

Le réglementation algérienne acoustique actuelle est composée principalement par deux lois , un décret et un DTR ¹⁰²:

a : Le décret n° 93-184 du 27 Juillet 1993 réglementant l'émission du bruit (Annexe II). Dans son article 3 , il détermine les niveaux sonores maximums admis au voisinage immédiat des établissement hospitaliers ou d'enseignement et les aires de repos et de détente sont de **45dB** en période diurne (6h-22h) et **40dB** en période nocturne (22-6h).¹⁰³

¹⁰² GRAMEZ, A. 10ème congrès français d'acoustique. *Introduction à la réglementation acoustique Algérienne et la réhabilitation acoustique des façades*. 12-16 Avril 2010. Lyon.

¹⁰³ Le décret n° 93-184 du 27 Juillet 1993 réglementant l'émission du bruit

b : Le **DTR C 3.1.1** : ce document technique réglementaire approuvé par la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction s'insère dans le cadre d'une politique nationale qui vise à lutter contre les nuisances sonores.¹⁰⁴ Il permet le calcul de l'isolement brut des parois ainsi que la détermination du niveau de bruit global dans les locaux de réception.

c : Les lois :

La loi 03-10 du 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable formule dans son titre 4 chapitre II (Annexe III) des prescriptions de protection contre les nuisances sonores et cela dans les articles 72, 73, 74 et 75. A titre d'exemple, **l'article 72** permet de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers nuisibles à la santé des personnes, à leur causer un trouble excessif ou à porter atteinte à l'environnement.

CONCLUSION :

Les sons émis par les diverses sources sonores sont différentes de par leur fréquence, intensité et durée. Ces indicateurs déterminent le niveau ambiant d'un local et nous renseignent sur la qualité sonore d'un espace. Aussi, ces bruits générés peuvent avoir un impact des plus néfastes sur les personnes occupant l'espace en question et ce dernier est d'autant plus important quand il s'agit d'enfants. Pour cela, les établissements scolaires doivent être vigilants et s'attarder davantage sur la problématique centrale qu'est le bruit à l'école. Enfin, la réglementation et les normes internationales sont intransigeantes quant à ce phénomène et préconisent des niveaux propices à l'apprentissage.

Ce chapitre va nous servir de plate forme nous permettant d'interpréter et d'analyser les données recueillies, les situer par rapport aux normes en vigueur et de proposer les solutions adéquates.

¹⁰⁴ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens, règles de calcul.* 2004.P22.



CHAPITRE II : METHODES ET MOYENS D'ANALYSE.

INTRODUCTION :

Suite à la récolte de données nécessaires à la bonne compréhension du thème et afin de mener à bien notre recherche , il est indispensable de se munir des moyens et ressources nécessaires. D'ou l'intérêt d'expliquer la méthodologie ainsi que la démarche adoptée pour l'élaboration de ce travail.

A cet effet, ce chapitre contient en premier lieu la description détaillée du cas d'étude avec toutes les informations utiles à notre recherche. En second lieu, il définit tous les outils utilisés lors de notre travail que ce soit : les outils d'investigation (entretien et questionnaire), le matériel de mesure et les critères de confort acoustique mesurés.

II.1 : DESCRIPTION DU CAS D'ETUDE :

Il s'agit d'une école primaire "Hafsa" qui existe depuis 1952 , cette dernière a été démolie et reconstruite pour ré ouvrir ses portes en 2011.¹⁰⁵

II.1.1 Situation géographique :

Elle se situe dans la proche banlieue ouest d'Alger , plus précisément dans la commune de Bouzareah. Elle est desservie par la voie mécanique "Route Djamel el Afghani Ex : Route de Béni Messous " et est bordée par deux voies mécaniques secondaires à l'est et l'ouest. Au niveau du sud , elle est mitoyenne avec des habitations individuelles (fig.25).

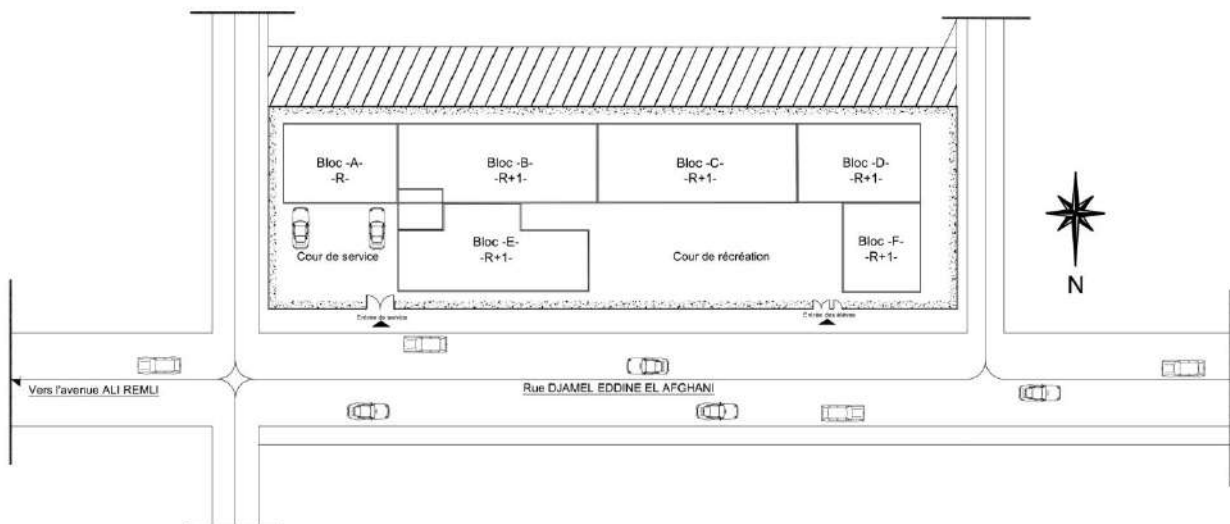


Figure 25 : plan de masse de l'école Hafsa.
(ESTC Haddad, 2006).

¹⁰⁵ Les informations ont été obtenues lors d'un entretien avec le directeur de l'école.

II.1.2 Présentation :

Elle compte douze classes (12) dont une , réservée aux enfants souffrant d'un retard scolaire et de maladies mentales. Son effectif administratif se résume à un directeur , elle accueille 357 élèves dont les cours sont assurés par 10 enseignants d'arabe et 2 enseignants de langue française (tab.7).

Tableau 7 : présentation du cas d'étude.

	L'école
Nombre d'élèves	357
Effectif administratif	01 (directeur)
Nombre d'enseignants	14
Nombres de classes	12

II.1.3 Configuration de l'école :

a : Organisation :

Elle est composée de six (06) blocs de A à F , s'articulant au tour de deux cours (fig. 26) :

- Cour de récréation de 347,5 m²
- Cour de service de 137 m².

La majorité des classes sont orientées Nord / Sud ¹⁰⁶et leurs surfaces varient entre 59 et 61 m².

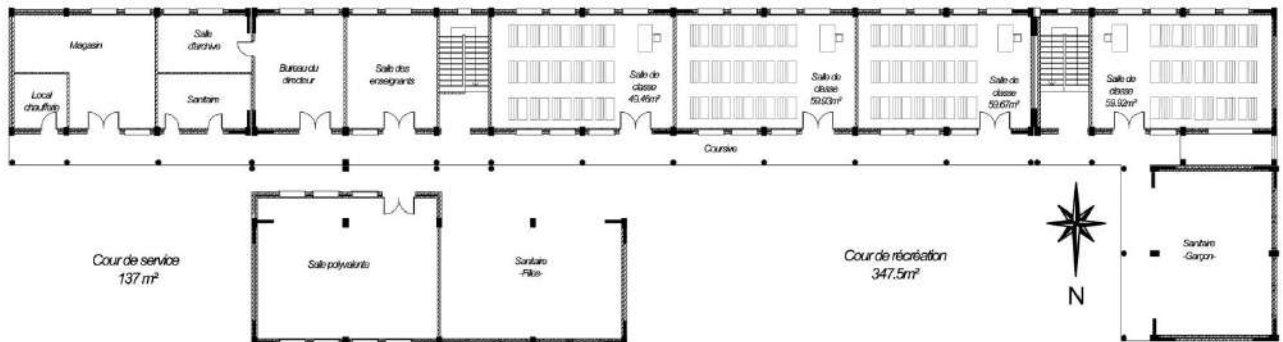


Figure 26 : Plan du rez de chaussée de l'école Hafsa.

(ESTC HADDAD, 2006).

b : Circulation : l'étage est accessible par le biais de deux escaliers. Les classes du rez de chaussé sont accessibles depuis un cheminement couvert (fig.26) et celles de l'étage sont desservies par une coursive (Fig.27) donnant sur la cour de récréation.

¹⁰⁶ 11 sur 12 salles de classes sont orientées Nord/ Sud et la douzième est orientée Est/ Ouest.

II.1.4 Espaces étudiés :

Les espaces concernés par notre expérimentation (Fig. 27) sont : deux classes, la cour de récréation et la coursive. Le tableau 8 présente brièvement les espaces en question :

Tableau 8 : les espaces étudiés au niveau de l'école primaire Hafsa.

Espace	Emplacement	Surface ¹⁰⁷ (m ²)
Salle de classe (01)	A l'étage, mitoyenne avec la cage d'escalier et une classe de l'autre côté. Elle est accessible depuis la coursive.	59,46
Salle de classe (02)	A l'étage, elle se situe entre deux salles de classe. Elle est accessible depuis la coursive.	59,93
Cour de récréation	Elle donne directement sur la voie mécanique "Route Djamel el Afghani Ex : Route de Béni Messous".	347,5
Coursive	A l'étage, elle donne sur la cour de récréation et dessert toutes les classes.	93,5

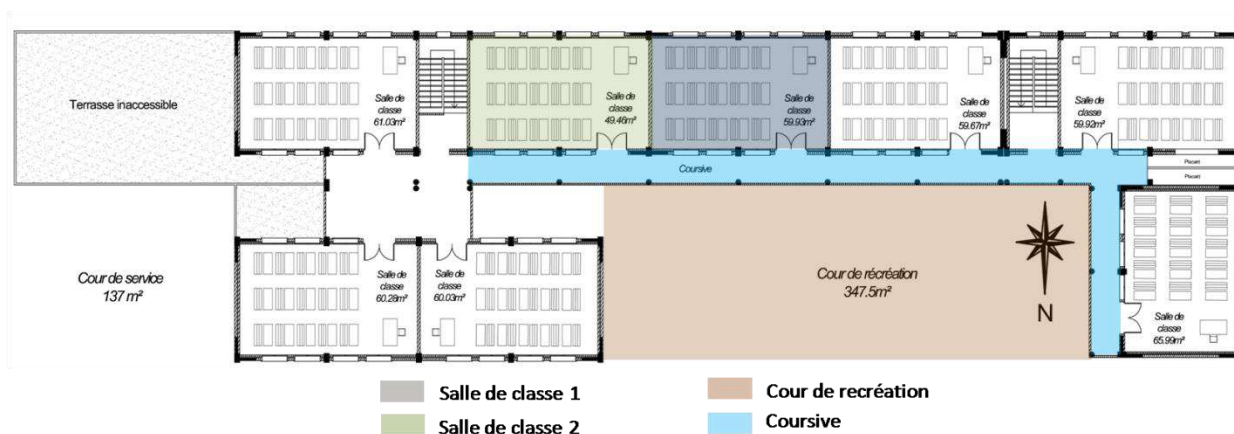


Figure 257 : Espaces étudiés au niveau de l'école Hafsa.

(ESTC HADDAD, Mai 2006).

II.1.5 : Matériaux et revêtements utilisés:

Pour notre cas, il est indispensable de connaître la nature de tous les matériaux et revêtements utilisés dans les locaux (Tab.9) car ses derniers influent sur la qualité sonore des espaces.

¹⁰⁷ Document APC BOUZAREAH. Programme projeté de l'école. Maître d'œuvre ESTC HADDAD. Mai 2006.

Tableau 9 : Matériaux utilisés au niveau de l'école Hafsa, (BET ESTC HADDAD.2006)

Elément	Matériau
Mur extérieur	Brique creuse double parois (0.3m)
	Enduit au mortier de ciment.
Mur intérieur	Brique creuse simple paroi (0.15m)
	Enduit au plâtre.
Sol	Carreau de granito 30*30
Sol (cour)	Revêtement en dalle autobloquant coloré.
Portes	Simple en bois isoplane.
	Vitrée a deux vantaux en bois isoplane.
	Pleine à deux vantaux en bois isoplane
Fenêtres	Bois.

II.2 LES OUTILS D'INVESTIGATION :

II.2.1 L'entretien :

représente notre premier outil d'investigation , il s'adresse uniquement **aux enfants**. Il a été réalisé de manière à faciliter la compréhension des élèves et s'est déroulé de manière orale dans la même optique. Bien que les questions y étaient simples et ont été traduites en langue arabe par nos soins, l'enseignant a joué un rôle clé lors du déroulement de l'entretien ; en mettant les enfants en confiance et en leur expliquant qu'ils pouvaient répondre spontanément et en toute liberté. Il contenait en tout 8 questions (Annexe IV) :

a- Des questions sur le sujet d'ordre général :

- Que signifie le bruit pour vous ?

La première question nous permet d'un côté d'introduire le thème et de connaître l'idée que se font les enfants du bruit.

- Qu'est ce qui vous dérange dans votre salle de classe ?

L'objectif de cette question est d'identifier les sources de gêne et de problèmes en général au niveau de la classe.

- Y'a-t-il un bruit quelconque qui perturbe le déroulement du cours ? Si oui , lequel ?

L'objectif est d'identifier les sources de nuisances sonores d'après les enfants.

b- Ambiance sonore à l'intérieur de la salle de classe :

-
- Vous arrive t-il de ne pas entendre les propos de votre enseignante ?
 - Est-ce que ceux qui sont assis à l'arrière de la classe suivent bien les cours ?
 - Est ce que le bruit du mobilier (chaises, tables et estrade) vous dérange ?

les deux premières questions sont relatives à l'écoute et l'assimilation des cours au niveau des salles. Quant à la troisième question , elle permet de savoir à quel point l'état du mobilier peut constituer une source de gêne.

c- Sources de bruit extérieures :

- Vous arrive -t- il d'entendre le bruit qui provient de ?
 - La classe mitoyenne.
 - La salle d'en face.
- Existerai t il d'autres sources de nuisances ?
 - La pratique du sport au niveau de la cour d'école ?
 - Voitures ?
 - Autres

L'objectif de cette partie de l'entretien est d'arriver à travers les réponses des enfants a identifier la provenance des sources de bruit extérieures à la classe.

II.2.2 Le questionnaire :

Il est destiné exclusivement **aux enseignants de l'école**, il contient quatorze questions (14) rédigées en français et traduites en arabe permettant à toute personne de comprendre et de répondre en liberté. Les questions (Annexe V) ont été organisées comme suit :

- a- Des questions sur le sujet d'ordre général :
 - Etes vous généralement satisfait de votre environnement acoustique ?
 - Comment définissez-vous le confort acoustique ?
 - Comment définissez-vous l'inconfort acoustique ?

L'intérêt de la première partie est d'introduire notre thème et de connaître les connaissances des enseignants concernant le sujet.

b- Ambiance sonore de la salle de classe :

- Est ce que les nuisances sont plus importantes à une période particulière de la journée ? Si oui , a quel moment ?
- Quelle est la source de bruit qui vous gêne le plus ?
- Est ce que l'inconfort acoustique au niveau de la salle de cours est lié au mobilier (chaise et table et estrade.)

L'objectif est de définir les sources de bruit les plus gênantes , le moment de la journée durant lequel le niveau sonore atteint le sommet. La dernière question nous permet de connaître l'importance des sources de bruit intérieures.

c- Impact et effet du bruit :

- Est ce que vous perdez l'attention des enfants à cause de ce qui se passe à l'extérieur de la classe ?
- Vous arrive-t- il de répéter une phrase plusieurs fois pour que les élèves vous entendent ?
- Vous arrive-t- il d'arrêter le cours à cause d'un bruit provenant de l'extérieur ?

Ces questions sont relatives à l'écoute et l'assimilation des cours et l'influence que peut avoir le bruit sur le déroulement du cours ainsi que sur l'enseignant en lui même.

d- Sources de bruit extérieures :

- Est-ce que vous pensez que l'inconfort acoustique provienne des salles mitoyennes ou celles d'en face ?
- Vous arrive-t- il de ne pas ouvrir les fenêtres à cause du bruit ?

Le but est d'identifier les sources de bruit extérieures à la salle de classe.

e- Vers des solutions :

- Avoir un bon niveau acoustique, vous servira-t- il à obtenir une meilleure concentration des enfants ?
- D'après vous quels sont les problèmes relatifs à cet environnement et que suggérez-vous pour l'améliorer ? Indiquez le changement que vous souhaiteriez ?

L'objectif principal de ces dernières questions est d'inciter les enseignants à proposer leurs propres solutions et cela afin d'arriver a instaurer un niveau sonore propice à l'apprentissage.

II.3- MESURES ACOUSTIQUES :

II.3.1 Mesure du niveau de bruit :

a- Appareil de mesure : le Sonomètre :

Le niveau de bruit se mesure à l'aide d'un sonomètre, il se compose de trois éléments essentiels (fig.28) : Microphone, l'unité de traitement et l'affichage¹⁰⁸. Dans notre cas, Il s'agit d'un Testo 816.¹⁰⁹



Le **TESTO 816** est un appareil de mesure de bruit de la classe 2 des les trois étendues (32-80dB, 50-100dB, 80-130dB), avec un changement automatique d'étendue, avec aussi deux pondérations de fréquences (A et C) et une fonction maximum/minimum.

Figure 28 : Sonomètre ,Testo 816.

b- Expérimentations; campagnes de mesure :

Lors des journées d'expérimentation, notre appareil était réglé dans l'étendue de mesure (30-80dB) et avec une fréquence de référence de 1000Hz ainsi qu'une pondération (A)¹¹⁰.

- **Première campagne de mesures le 13/05/2015 :**

1- Conditions de mesures : le directeur nous a permis de prendre des mesures dans trois espaces différents identifiés dans la figure 29 ci-dessous :

¹⁰⁸ ROULET,J,C. Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments,2eme édition. Ingénierie de l'environnement.

¹⁰⁹ Testo S.à.r.l. Mode d'emploi. Testo 816.

¹¹⁰ Le filtre de pondération 'A' couvre la gamme entière des fréquences de 20 Hz à 20 kHz, mais sa façon de percevoir le son se rapproche de la sensibilité de fréquence de l'oreille humaine. Ainsi, la valeur pondérée 'A' d'une source sonore est une approximation de la façon dont l'oreille humaine perçoit le bruit. Les mesures réalisées en pondération 'A' sont généralement désignées par dB(A) pour annoncer que les informations sont en décibels pondérés 'A'.

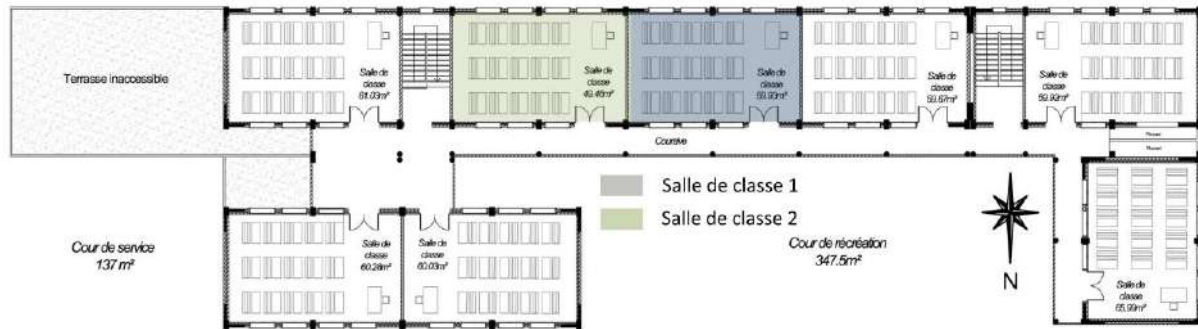


Figure 29 : Espaces étudiés lors de la 1ère journée.

a- Salles de classe :

- Classe 1 (fig.29) : les mesures ont été effectuées pendant les heures de cours , le nombre de personnes présentes était de 31 (30 élèves + l'enseignante).

- Classe 2 (fig.29): le nombre de personnes était de 27 (26 élèves + l'enseignante).

Les sources éventuelles de bruit dans les deux classes y étaient nombreuses :

- De l'extérieur de l'école : un chantier bruyant mitoyen au sud , une voie principale à fort trafic routier menant à Béni Messous.

- Des autres espaces de l'école : la classe mitoyenne et celle d'en face (fenêtres et portes ouvertes.)

- A l'intérieur : chuchotement , cris soudains de l'enseignante , le bruit du mobilier , ces sources en particulier ont parfois faussé la prise de mesure.

D'autres bruits ont été identifiés mais ne pouvaient pas être pris en considération , s'agissant de nuisances temporaires telles que le bruit d'une moto , la sirène d'une ambulance , les klaxons des voitures (cortège) , musique provenant des voitures...etc.

2- Points des mesures : Afin d'obtenir le niveau sonore ambiant dans les espaces , les mesures ont été prises dans divers points (Fig.30) et ces derniers ont été répartis selon le champ sonore:

- Champ proche : nous avons pris peu de mesures (3 pour a proximité de chaque source)

- Champ libre : Les mesures étant fiables , la moitié des points (6 sur 12) est située au centre de la classe , à savoir , éloignés des sources de bruits.

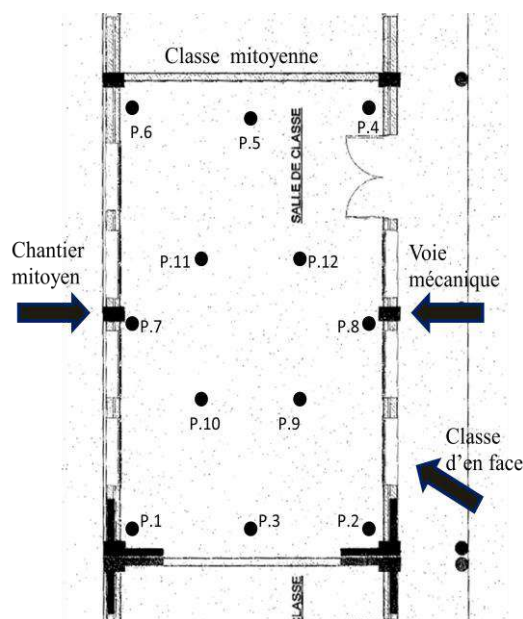


Figure 30 : Exemple de points de mesure et sources de bruit.

- Deuxième campagne de mesures, le 31/05/2015 de 9h à 16h :

- Conditions et endroits de mesure : durant cette journée , les mesures ont été prises à différentes périodes et dans différentes conditions.

a- Salle de classe¹¹¹ :

Pour ce cas , le nombre de points était de 19 (Fig. 31), au niveau de chacun , on a obtenu un niveau sonore maximum et un niveau sonore minimum. Les mesures ont été réalisées à quatre (04) de la journée :

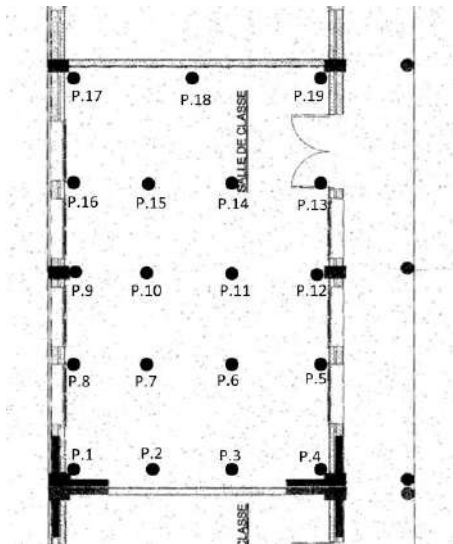
- **Matinée : 9h30 (avec élèves) :** durant cette mesure , les élèves étaient en séance de d'examen.

- **Matinée : 11h30 (sans élèves) :** cette campagne a été réalisé lors de la pause déjeuner (Fig. 33).

- **Après-midi : 14h (avec élèves) :** cette dernière s'est déroulée en présence des élèves (Fig. 32) durant une séance ordinaire de cours.

- **Après-midi : 16h (sans élèves) :** cette campagne a été réalisé en fin de journée après le départ des élèves.

¹¹¹ Pour la deuxième journée de mesure , nous n'avons pas pu prendre de mesures au niveau de la deuxième salle de classe, tous les résultats concernent la première salle de classe (fig.29).



Présentation de la salle de cours:

Surface : 59.42 m²

Orientation : Nord / Sud

Capacité d'accueil : 30 élèves.

Emplacement : 1er étage , accessible depuis une coursive. Elle est mitoyenne a deux autres salles de cours à l'est et l'ouest.

Figure 31 : Points de mesure d'une salle de classe.



Figure 32 : Prise de mesure avec élèves.



Figure 33 : Prise de mesure sans élèves.

b- Cour de récréation :

Concernant la cour, le nombre de points était de 21 (Fig. 34), au niveau de chacun , on a obtenu un niveau sonore maximum et un niveau sonore minimum. Les mesures ont été réalisées à deux périodes de la journée :

- **Matinée** (aux alentours de 11h) : la cour était vide (Fig. 35). Cependant , les sources de nuisances étaient multiples. En effet, en plus de la voie mécanique et les chantiers, d'autres bruits perturbaient la prise de mesure et faisaient accroître le niveau jusqu'à 10 dB par moment, nous conduisant à une nouvelle prise de mesure à l'exemple des klaxons occasionnels.

- **Après-midi** (aux alentours de 15h) : la cour était aussi vide, cette deuxième campagne nous permet de comparer entre les deux périodes de la journée qui pourraient présenter des différences.

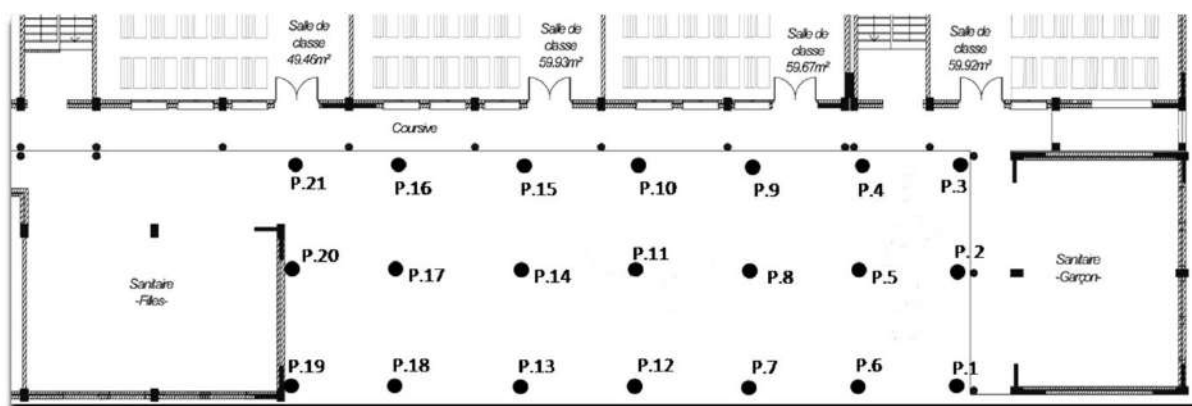


Figure 34 : Points de mesure de la cour de récréation.

Surface : 347.5 m²

Orientation : Nord / Sud

Capacité d'accueil : 336 élèves.

Emplacement : elle donne directement sur la voie mécanique "Route Djamel el Afghani Ex : Route de Béni Messous.



Figure 35 : Vue sur la cour de l'école.



Figure 36 : prise de mesure à un point de la coursive.

c- Coursive :

la prise de mesures du niveau sonore de cet espace (Fig. 36) a été effectuée pendant que les élèves étudiaient, elle nous permettra par la suite de calculer l'indice d'affaiblissement ainsi que l'isolement de la paroi séparative de la salle de classe. Pour ce faire, nous avons aussi désigné 11 points avec une distance de 2m par rapport à la salle suivant la norme NBN EN ISO 140-5:1998 nous permettant d'obtenir un niveau sonore maximum et un autre minimum (fig.37). Les mesures se sont déroulées durant deux périodes de la journée (matinée et après-midi).

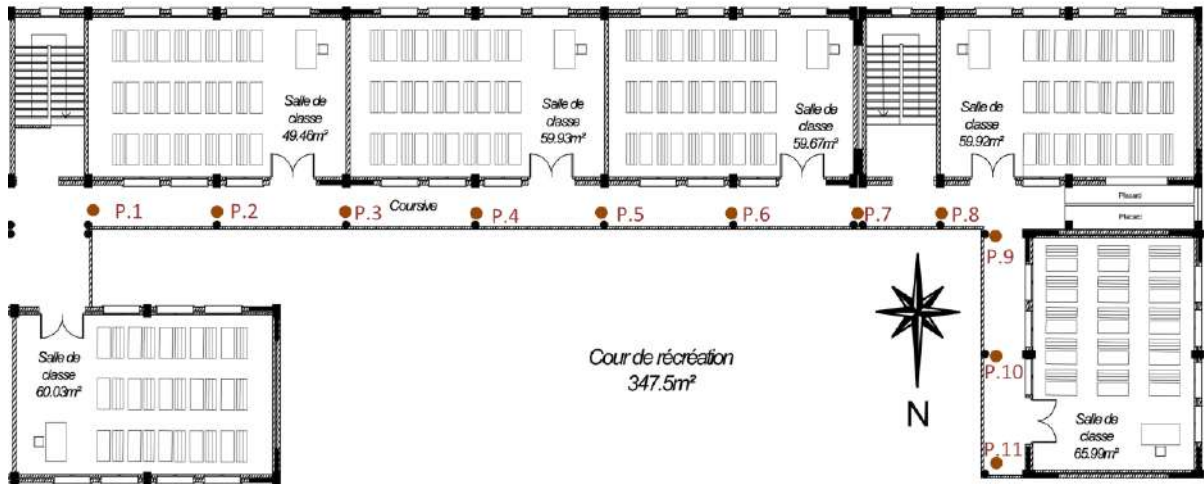


Figure 37 : Points de mesure de la coursive.

c- Calcul du niveau sonore moyen L_i moyen :

Suite à l'obtention du niveau sonore maximum et minimum de chaque point , on calcule en premier lieu, le niveau moyen au niveau du point en question. Par la suite, on calcule le niveau moyen de tous les points pour obtenir celui de tout l'espace et cela à l'aide de la formule suivante :

$$L_i \text{ moy} = \frac{L_{i1} + L_{i2} + L_{i3} + \dots + L_{in}}{\text{Nombre de points.}}$$

L_i moy : Niveau sonore moyen.

d- **Pondération A :**

Le niveau de bruit mesuré par le sonomètre est donné en décibels pondérés , le niveau de bruit pondéré est obtenu en appliquant des valeurs de corrections pour chaque niveau par octave (Tab.10).

Tableau 10 : Valeurs des corrections pour la pondération A¹¹²

Fréquences (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération par octave (dB)	-16	-8.5	-3	0	+1	+1

¹¹² CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.P17

II.3.2 Mesure du temps de réverbération :

a- **Méthode calculatoire** : Différentes formules existent pour calculer les temps de réverbération dans une salle en fonction de la fréquence. La formule de SABINE est la plus couramment utilisée ¹¹³,

$$Tr = \frac{0.16 V}{A} \text{ }^{114}$$

A : est l'aire d'absorption équivalente du local en m² (Il dépend du coefficient d'absorption α)
V: Volume du local en m³.

Dans notre cas, nous voulons calculer la durée de réverbération de la salle de classe(fig.38) de 59,93 m² et dont la hauteur est de 3,13m pour la comparer par la suite avec les normes en vigueur et apporter éventuellement des solutions pour obtenir une meilleure correction acoustique. Pour cela , il faut d'abord calculer l'aire d'absorption du local en définissant les surfaces des différents éléments et leur coefficient d'absorption (α) à l'aide de la formule suivante :

$$A = \sum Si \alpha_i$$

Afin de faciliter le calcul , nous avons répertorié les coefficients¹¹⁵ et les surfaces dans un tableau (Tab 11) et cela à différents fréquences :

Tableau 11 : Données pour le calcul de la durée de réverbération de la salle de classe.

Paroi (matériau)	Surface (m ²)	Coefficient d'absorption (α)			
		250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz
Plafond en plâtre	59.34	0.01	0.02	0.03	0.04
Sol (carrelage)	59.34	0.01	0.02	0.03	0.04
Murs avec enduit de plâtre	70.76	0.01	0.02	0.03	0.04
Portes vitrée a deux vantaux en bois isoplane.	Bois : 2,58	0.22	0.17	0.09	0.1
	Partie vitrée :0,86	0.25	0.18	0.12	0.07
Fenêtres (vitrage ordinaire)	18.2	0.25	0.18	0.12	0.07
Aire d'absorption équivalente A (m ²)					
Mobilier	Chaises vides : 31	0.02	0.03	0.04	0.04
	Tables d'écolier	0.05			
	Bureau d'enseignant	0.05			
Personnes	Personnes assises : 30 élèves.	0.25	0.3	0.35	0.33
	Personne debout 1 enseignante.	0.3	0.4	0.5	0.55

¹¹³ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.

¹¹⁴ Idem.

¹¹⁵ Suite à différentes lectures , nous avons attribués les coefficients adéquats aux matériaux et revêtements ainsi que l'aire d'absorption au mobilier et les occupants.



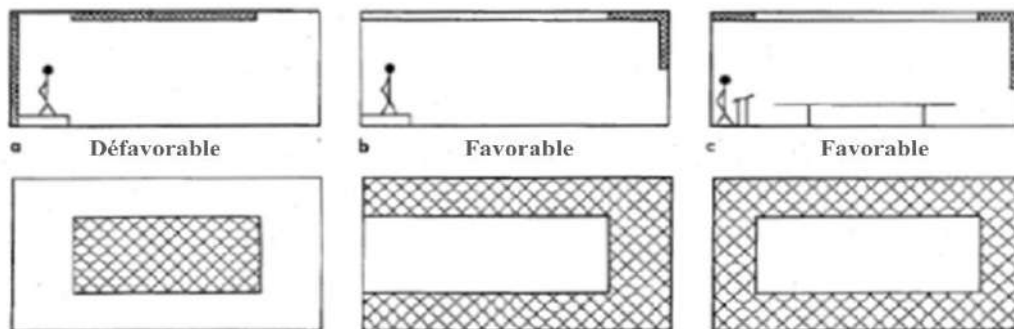
Figure 38 : Salle de classe étudiée.



Figure 39 : Paroi séparative étudiée.

b- Mise à la norme de la salle de cours :

Afin de remettre à la norme et diminuer le temps de réverbération de la salle de classe, nous tentons d'augmenter l'aire équivalente d'absorption et cela à travers l'introduction de dispositifs et revêtements absorbants avec une disposition adéquate suivant la figure 40.



En haut : coupe longitudinale.

En bas : vue de dessus sur plafond.

Figure 40 : Répartition des surfaces absorbantes des salles de classe , SGA.SSA (Société Suisse d'Acoustique), 2004.

II.3.3 Mesure d'isolation acoustique :

a : Mesure d'indice d'affaiblissement :

Il caractérise la qualité d'isolement de la paroi et se calcule à l'aide de coefficients de transmission τ des matériaux constituant la paroi séparative.

Pour ce faire, on calcule R à l'aide de la formule suivante¹¹⁶ :

¹¹⁶CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.

$$R = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right)$$

τ : Facteur de transmission de la paroi.

- Dans notre cas , nous voulons calculer l'indice d'affaiblissement de deux parois :

- 1- La paroi séparative entre la classe mitoyenne la salle de classe étudiée.
- 2- La paroi séparative entre la coursive la salle de classe étudiée (Fig.41).

1-La première paroi est une paroi simple continue en briques creuses de 0.15 m d'épaisseur¹¹⁷: Pour le calcul , nous devons connaître la masse surfacique et nous référer à l'abaque de la loi de masse (Fig. 14) pour obtenir l'indice d'affaiblissement.

Pour calculer le **R** à chaque fréquence , nous utilisons la loi de méthode expérimentale MEISSER expliquée dans le chapitre bibliographique et nous calculons par la suite la chute d'isolement à chaque fréquence pour avoir l'indice d'affaiblissement final.

2- La deuxième paroi sépare la salle de classe de la coursive.¹¹⁸ Ceci dit , il s'agit d'une **paroi discontinue** ; composée de deux ou plusieurs éléments d'indices d'affaiblissement différents.¹¹⁹

En plus de la surface pleine, la paroi séparative contient des ouvrants (3 fenêtres et une porte vitrée a deux vantaux). Afin de calculer **R** , on se réfère à l'abaque de la loi de masse (Fig.14) en prenant connaissance des masses surfaciques¹²⁰ des différents éléments composant la paroi (Tab. 12) :

Tableau 12 : Masses surfaciques des éléments de la paroi séparative de la salle de classe et coursive.

Elément		Surface (m ²)	Masse volumique (kg/m ³)	Masse surfacique (Kg/m ²)
Une porte vitrée a deux vantaux	Partie en bois	2,58	600	30
	Partie vitrée (simple)	0,86	2500	5
Fenêtres (simple)		7,8	2500	5
Surface pleine (briques creuses)	e = 0.15m	16,76	655	98.25
	e = 0.10m	16,76	750	75

¹¹⁷ Document APC BOUZAREAH. Programme projeté de l'école. Maitre d'œuvre ESTC HADDAD. Mai 2006.

¹¹⁸ Autrement dit : la façade nord : cette dernière est la plus exposée et contient plusieurs ouvertures.

¹¹⁹ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.

¹²⁰ La masse surfacique d'un corps homogène d'épaisseur constante est le produit de sa masse volumique par son épaisseur. Avec : $\sigma = \rho . e$

-
- Aussi, il s'agit d'une **double paroi** composée de¹²¹ :
 - Une cloison extérieure en briques creuses de 0.15 m.
 - Une lame d'air de 0.05 m.
 - Une cloison intérieure en briques creuses de 0.1 m.

Suite à cela , nous calculons le **Req** à chaque fréquence avec la loi de fréquence ainsi que les fréquences critiques des cloisons. Enfin , nous déterminons les nouvelles valeurs de l'indice d'affaiblissement pour chaque bande d'octave en prenant en compte la chute d'isolement.

b : Mesure d'isolement brut : différence de niveau de bruit entre un milieu dit émetteur contenant une ou plusieurs sources de bruit et un local récepteur.¹²²

$$Db = Li \text{ émission} - Li \text{ réception} \quad (dB)$$

Nous calculons l'isolement brut dans deux cas :

1- **Db** avec la coursive comme local d'émission et la salle de classe comme local de réception.

2- **Db** avec la classe mitoyenne comme local d'émission et la salle de classe étudiée comme local de réception.

Nous pouvons obtenir la valeur de l'isolement brut suivant deux méthodes :

1- En utilisant les mesures prises in situ.

2- En utilisant la valeur de l'indice d'affaiblissement R dans la norme NBN EN ISO

140-3 avec la formule suivante :

$$Db = R - 10 \log \left(\frac{S}{A} \right)^{123}$$

S : Surface de la paroi séparative en m²

A: Aire d'absorption équivalente du local de réception en m².

¹²¹ Document APC BOUZAREAH. Programme projeté de l'école. Maitre d'œuvre ESTC HADDAD. Mai 2006.

¹²² CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.

¹²³ Ibid., 22.

c : Mesure d'isolement standardisé :

Cet isolement acoustique standardisé a été défini afin de pouvoir comparer l'isolement d'un local quelconque, très souvent vide quand on fait des mesures, a celui d'un local normalement meublé.¹²⁴ Il se calcule à l'aide d'une formule :

$$D_{n,T} = L_{i1} - L_{i2} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

A : Temps de réverbération du local de réception.

A0 : est un temps de réverbération de référence normalisée, prise égale à 0.5s, sauf indication contraire dans un règlement ou une prescription contractuelle.

Ce dernier nous permet d'avoir un isolement plus précis en prenant en compte le local de réception et cela en calculant son aire d'absorption **A** (Tab.13) à l'aide de la formule suivante :

$$A = \sum S_i \alpha_i$$

Tableau 13 : Données pour le calcul de l'aire d'absorption du local de réception.

Paroi (matériau)	Surface (m ²)	Coefficient d'absorption (α)			
		250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz
Plafond en plâtre	59.34	0.01	0.02	0.03	0.04
Sol (carrelage)	59.34	0.01	0.02	0.03	0.04
Murs avec enduit de plâtre.	70.76	0.01	0.02	0.03	0.04
Portes vitrée a deux vantaux en bois isoplane.	Bois : 2,58	0.22	0.17	0.09	0.1
	Partie vitrée :0,86	0.25	0.18	0.12	0.07
Fenêtres (vitrage ordinaire)	18.2	0.25	0.18	0.12	0.07

On calcule D_{n,T} dans deux cas :

- 1- **D_{n,T}** entre la classe mitoyenne et la salle de classe étudiée.
- 2- **D_{n,T}** entre la coursive la salle de classe.

¹²⁴ HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2^{ème} édition. 2010. p 111.

Dans le cas de la coursive, on pourrait considérer la paroi comme extérieure et par conséquent, L'isolement normalisé est la différence entre le niveau de pression acoustique à l'extérieur à 2m de la façade et le niveau de pression acoustique moyen dans le local de réception correspondant à une valeur de référence de la durée de réverbération. Cette méthode est fixée par la norme NBN EN ISO 140-5:1998.

$$\text{où : } D_{n,T2m} = (L_{1,2m} - L_2) + 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

$L_{1,2m}$ est le niveau de pression acoustique à l'extérieur à 2m en avant de la façade [dB] ;

L_2 est le niveau moyen de pression acoustique dans la salle de réception [dB] ;

T est le temps de réverbération du local de réception [s] ;

T_0 est le temps de réverbération de référence, 0.5 s.

CONCLUSION :

Ayant comme objectif principal : la définition des sources de bruit qui empêchent le bon déroulement des cours et instaurer par la suite un niveau sonore propice à l'apprentissage , il est important de déterminer une méthodologie claire et logique nous permettant d'atteindre notre objectif en nous appuyons sur les données recueillies en bibliographie. Pour cela, il est indispensable de connaître parfaitement notre cas d'étude, notre périmètre d'intervention et de nous munir de toutes les données permettant la réalisation de notre travail. Ainsi, plusieurs outils de communication et dispositifs ont été mis en place pour garantir la bonne réussite de notre démarche et nos expérimentations nous permettant d'obtenir des résultats fiables et arriver à formuler des recommandations adéquates.

*CHAPITRE III : RESULTATS, ANALYSE ET
DISCUSSIONS.*

INTRODUCTION :

Ce troisième chapitre est l'occasion d'assembler le travail en entier. En effet, nous allons positionner les résultats par rapport aux normes répertoriées au début et comparer avec les solutions expliquées au niveau du chapitre relatif à la synthèse bibliographique.

Ainsi, il nous permet dans un premier temps d'élaborer une synthèse des résultats obtenus à travers l'analyse des réponses de l'entretien et des questionnaires ainsi que la discussion et l'interprétation des mesures et calculs acoustiques.

Dans un second temps, il est question de proposer des solutions qui correspondent aux résultats et formuler diverses recommandations à court, moyen et long termes.

III.1- RESULTATS ET ANALYSE DE L'ENTRETIEN :

III.1.1 : Résultats de l'entretien :

Tableau 74 : Synthèse des réponses de l'entretien.

Questions	Classe (01) (30 élèves)	Classe (02) (26 élèves)
1- Qu'est ce qui vous dérange dans votre salle de classe ?	Le bruit, bavardage, chantier ...etc.	Chantier, bavardage, le bruit des personnes qui font du sport...etc.
2- Que signifie le bruit pour vous ?	Différents sons au même temps, des sons qui dérangent...etc.	Des sons forts, bavardage,
3-Y'a-t-il un bruit quelconque qui perturbe le déroulement du cours ? Si oui, lequel ?	Chantier, voitures, maçons, camions, ambulances et bruit provenant des cours pendant l'activité sportive.	Voitures, chantier, ambulance, la rue, la classe d'en face et le bruit de l'estrade.
4-Est ce que le bruit du mobilier (chaises et tables) vous dérange ?	43.33% OUI 56.66% NON	76.92% OUI 23.07% NON
5- Vous arrive-t-il de ne pas entendre les propos de votre enseignante ?	93.33% OUI 6.67% NON	100% OUI
6- Vous arrive-t-il d'entendre le bruit de la classe mitoyenne ou celle d'en face ?	76.66% OUI 23.34% NON	65.38% OUI (Classe d'en face.) 34.61% NON
7- Est ce que vous arrivez à vous concentrer quand d'autres enfants pratiquent du sport au niveau de la cour d'école ?	100% NON	100% NON
8- Est ce que vous entendez le bruit des voitures qui passent ?	100% OUI	100% OUI

III.1.2 : Analyse de l'entretien :

La première question était d'ordre général nous permettant de connaître ce qui dérange les enfants dans leur salle de classe , les réponses étaient pour la plupart : le bruit ,le chantier , la réflexion du tableau (ne pouvant pas recopier ce qu'il y'a dessus à cause des rayons du soleil réfléchis) ainsi que le bruit des passants.

A travers la deuxième question, nous avons pu tester les connaissances des enfants au sujet du bruit. En effet, dans les deux classes , cette notion était associée à des sons qui dérangent , des sons forts , bavardage ou encore un nombre important de sons qui se produisent au même temps. Les différentes interventions des élèves nous ont agréablement surpris.

La troisième question nous a permis de connaître les sources de nuisances selon les enfants et parmi les réponses données , on retrouve : le chantier , l'activité sportive dans la cours , les klaxons des voitures , les sirènes d'ambulance, le bavardage des camarades , la voix de l'enseignante d'en face ainsi que le bruit de l'estrade.

Pour la question du mobilier , les avis étaient partagés entre les deux classes :

- Pour la première classe , 43.33% des élèves trouvent que le bruit du mobilier perturbe leur attention face à 56.67% qui ne prêtent pas attention à cette nuisance.

- Pour la deuxième classe : 76.92% d'entre eux associent le mobilier à une nuisance contre 23.07%. Ceci dit , lors de notre visite , nous avons remarqué que la seconde classe était plus agitée comparée à la première incluant le déplacement fréquent de leurs tables.

La sixième question concernait le bruit qui provient des salles mitoyennes et celles d'en face, là aussi , les avis étaient partagés entre les deux classes :

- 76.66% des élèves de la première classe trouvent que le bruit qui dérange provient de la salle mitoyenne.

- 65.38% des élèves de la deuxième classe entendent un bruit provenant de la salle d'en face. Quant au reste , ils n'entendent pas leurs camarades et généralement , il s'agit de ceux qui sont assis à proximité de la façade qui donne sur l'extérieur.

Concernant les deux dernières questions qui concernent le bruit provenant de la cours pendant l'activité sportive ainsi que celui des voitures , la totalité des enfants des deux classes étaient

unanimes pour dire que les deux représentaient des nuisances principales et perturbaient le déroulement du cours à plusieurs reprises.

Notons aussi que lors de notre expérimentation , nous avons remarqué que lorsqu'on se trouve au fond de la classe, on a du mal à entendre les propos de l'enseignante alors que parfois , dans des classes surchargées, les élèves sont contraints de s'installer au fond.

III.1.3: Synthèse des résultats:

A travers cet entretien , nous nous sommes rendu compte que certains élèves associent le bruit beaucoup plus à une distraction menant à un arrêt temporaire du cours qu'à une nuisance qui perturbe et dérange. Cependant, d'autres enfants sont conscients des effets que peut avoir le bruit sur eux et sur la vie à l'école. Lors de cet entretien , nous avons aussi été témoins des différentes nuisances qui conduisent parfois à une fermeture des ouvrants entraînant un changement de température au sein de la salle de classe.

III.2- RESULTATS ET ANALYSE DU QUESTIONNAIRE :

III.2.1 : Résultats et Analyse du questionnaire :

Le questionnaire était destiné uniquement **aux enseignants** de notre cas d'étude, l'école primaire "Hafsa". Il contenait treize questions (13) en français et traduites en arabes par nos soins :

La première question concernait l'environnement extérieur immédiat. Aucun enseignant n'est satisfait de son environnement acoustique et la totalité trouve que l'école se situe dans un quartier principal et très bruyant.

Pour la deuxième question dont le but était de définir le confort acoustique , les enseignants ont pour la plupart associé ce facteur au : calme permettant aux enfants de se concentrer, l'absence de bruit , l'absence de perturbations qui induisent la déconcentration des élèves ou encore le fait de pouvoir parler et entendre une personne avec un moindre effort. Des réponses parfois extrêmes à l'exemple de la deuxième dans laquelle, les enseignants associent le confort à l'absence de bruit , alors que le bruit devient gênant en dépassant un certain seuil. En d'autres termes, nous pouvons atteindre le confort en présence de bruit. Quant à l'inconfort

acoustique; traité au niveau de la troisième question, il est associé au bruit extérieur , éléments sonores perturbateurs, Tous les sons qui déconcentrent les enfants et c'est aussi le fait d'avoir du mal à communiquer entre une ou plusieurs personnes.

La quatrième question nous a permis de connaître les sources de nuisances : selon les enseignants et parmi les sources de bruit qui les gênent : Le bruit des voitures (klaxons , moteur et volume de musique) , les chantiers , les sirènes des ambulances et des véhicules de police et le bruit produit par les élèves.

La cinquième question concernait la plage horaire où le bruit dérange le plus , la moitié des enseignants interrogés trouve que les nuisances sont plus importantes pendant la période matinale. Alors que pour le reste, les nuisances sont présentes toute la journée avec la même fréquence. Pour notre part , nous avons identifié une différence entre les deux périodes , nous trouvons que le bruit est plus important le matin.

Les questions 6,7,8 concernent les effets du bruit ainsi que son impact sur le déroulement des cours que ce soit par rapport aux enseignants ou bien par rapport à leurs élèves.

Pour la sixième question, les enseignants étaient unanimes, ils répètent plusieurs fois les mêmes phrases pour que la totalité des enfants les entende.

- 100% des enseignants interrogés dans la septième question ont déjà interrompu leur cours à cause d'un bruit provenant de l'extérieur. Lors de notre visite, nous avons été témoins plusieurs fois d'un arrêt de cours car la majorité des élèves n'arrivait pas à entendre les propos de l'enseignant.

- Concernant la huitième question, 100 % des enseignants affirment perdre l'attention des enfants à cause des bruits provenant de l'extérieur surtout quand il s'agit des sirènes d'ambulance ou de la musique provenant des voitures.

La neuvième question traitait l'impact que peut avoir le bruit sur la ventilation des différentes salles. En effet, La totalité a répondu positivement à cette question et disent qu'ils ferment pratiquement toute la journée les fenêtres à cause du bruit. Cela constitue un problème d'avantage contraignant dans les classes surchargées.

Le but de la dixième question est de savoir si le bruit provient aussi des autres espaces de l'école, 33,33% pensent que l'inconfort acoustique provient aussi des salles mitoyennes et d'en faces contre 66,66% qui trouvent que le bruit provient uniquement de l'extérieur de l'école.

Pour la onzième question, l'objectif était de savoir si le mobilier est source de bruit à l'intérieur, 33,33% pensent que l'inconfort acoustique provient aussi du mobilier de la salle contre 66,66% qui trouvent que ce dernier ne produit pas de bruit gênant.

L'avant dernière question concerne l'assimilation et la concentration des enfants mais surtout leurs rapport avec le bruit. Tous les enseignants pensent qu'ils arriveraient à obtenir une meilleure concentration des enfants dans une salle avec une meilleure qualité acoustique.

La dernière question a permis de connaître les solutions adéquates d'après les enseignants et parmi les solutions proposées pour remédier au problème du bruit à l'école : le double vitrage et l'isolation des parois. Alors que d'autres parlent d'une meilleure implantation d'avantage réfléchi et cela en évitant la conception des écoles au cœur des tissus urbains et en favorisant les sites calmes.

III.2.2 : Synthèse des résultats :

Il est clair que pour les enseignants , le bruit a un effet néfaste sur le déroulement des cours (Annexe VI) et par conséquent , représente une véritable difficulté à toute heure de la journée.

L'exposition aux sources extérieures à l'exemple des voitures , du chantier ou encore des sirènes a un impact des plus sérieux sur les enseignants qui ont plus de mal à présenter leurs cours dans l'inconfort acoustique mais surtout sur les enfants qui ne peuvent pas se concentrer. Le bruit a un rapport direct avec l'assimilation des enfants et leurs résultats. Le deuxième point important est la fermeture des ouvrants. En effet , les enseignants confirment que les fenêtres restent fermées pratiquement toute la journée à cause du bruit , ce qui pose un véritable problème de ventilation surtout dans les classes surchargées.

III.3 - RESULTATS ET ANALYSE DES MESURES ACOUSTIQUES :

III.3.1 : Mesure in situ du niveau de bruit global :

a- Salle de classe : le tableau 15 représente la synthèse des mesures prises pendant la deuxième campagne à différents points dans la salle de classe et durant les quatre périodes de la journée.

Tableau 15 : synthèse des mesures de la première salle de classe in situ, auteur.

Points	1-Matinée : 9h30 (avec élèves)		2-Matinée : 11h30 (sans élèves)		3-Après-midi: 14h (avec élèves)		4-Après-midi: 16h (sans élèves)	
	Li max	Li min	Li max	Li min	Li max	Li min	Li max	Li min
1	60.4	53.2	49.1	48	54	50.2	56.7	49.1
2	56.8	49.2	51.4	47.2	57.7	50	55.6	51.9
3	55.3	43.1	48.4	47.5	57	52.2	49.5	48.4
4	63.5	52.9	51.8	48.4	58.3	51.9	56.1	47.8
5	52	48.9	50.5	48	53.1	49.4	54.6	50
6	54	51.1	45.3	44.4	55.7	49.6	46.8	45.7
7	50	47.9	49.9	46.4	56.8	50.2	48.8	45.8
8	52	49.9	48.8	48.1	56.3	52.3	51.7	48.9
9	60.5	49.9	48.9	47.9	55	51.5	51.1	48.9
10	52	48.9	44.9	43.4	50.6	49.3	51.7	48.2
11	56	53.3	46.2	45.5	54	50	47.2	46.2
12	55	50.9	49.9	46.9	57.7	50.9	56.2	49
13	57.9	50.9	47.4	46	57.6	49.9	58.2	50.2
14	59.6	49.9	51.8	48.5	57.9	52.6	54	50.1
15	57.13	54	52.1	48.9	58.5	49.6	47.2	46.9
16	52.6	50.1	57.5	48.4	64.1	55.9	55	48.4
17	53.2	50	51.9	49.5	54.9	50.2	47.5	46.4
18	60.8	51.8	50.9	46.9	61.4	50.4	50.8	48.9
19	59.1	51	54.4	48.9	57.7	56.3	51.9	48.1
Li	56.2	50.36	50	47.30	54.1	51.18	52.15	48.36
moyen	53.28		48.65		52.63		50.25	

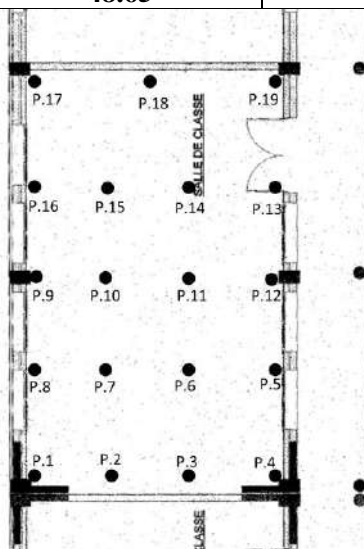


Figure 426 : Points de mesure de la salle de classe.

- Analyse des résultats :

Durant les quatre périodes , nous avons utilisé le même appareil de mesure et garder les mêmes points (fig. 41). Cependant, les conditions étaient différentes ; deux campagnes ont été réalisées en présence d'élèves et les deux autres sans élèves. Le niveau du bruit global varie (Fig. 42) entre 48 et 54dB (A) (Tab. 17) :

Tableau 16 : Niveau du bruit global de la salle de classe.

Conditions	Niveau de bruit global (dB (A))
Pendant les quatre périodes.	Entre 48 et 53.5
Salle vide.	Entre 48 et 50.5
Salle occupée par les élèves.	Entre 50 et 53.5

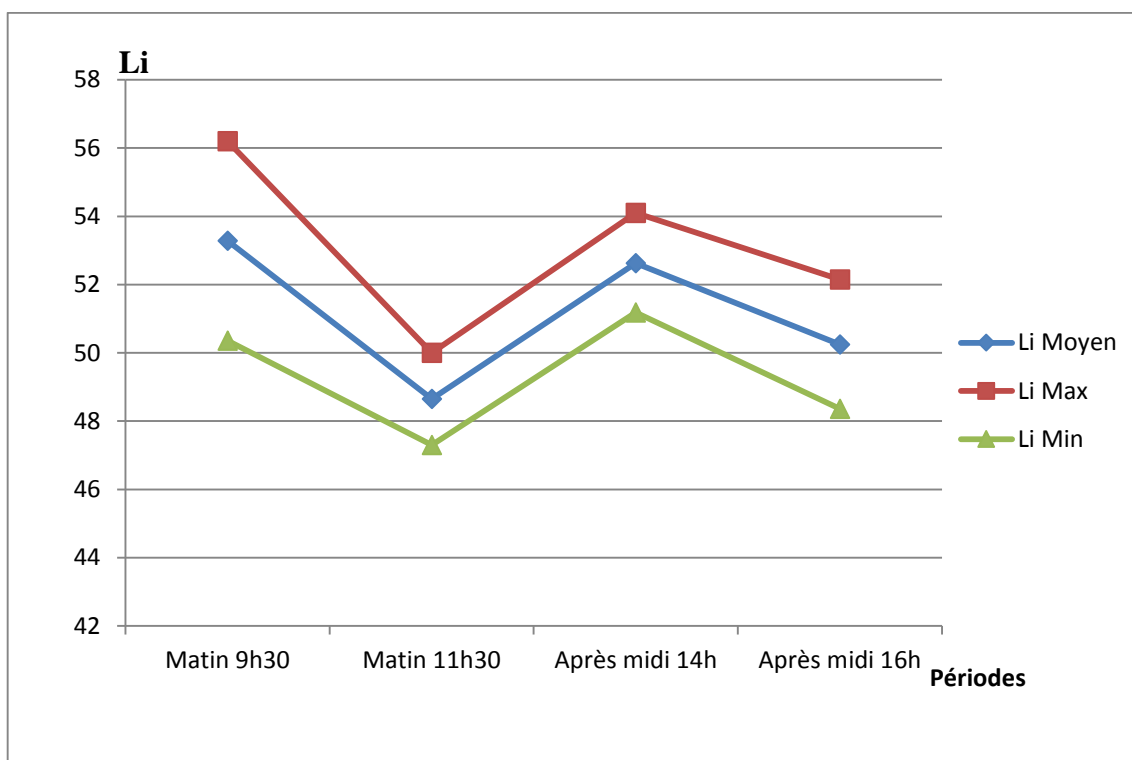


Figure 427 : l'évolution du niveau de bruit global durant une journée.

Les points du centre de la salle (2,3,6,7,10,11,14,15et 18) présentent une différence flagrante entre les diverses périodes , la présence des élèves influent considérablement sur le niveau de bruit de ces points , prenons l'exemple de trois de ces points (Tab. 18) :

Tableau 17 : Comparaison entre les niveaux des différents points centraux de la salle de classe.

Points	Matinée : 9h30 (avec élèves)		Matinée : 11h30 (sans élèves)		Après-midi: 14h (avec élèves)		Après-midi: 16h (sans élèves)	
	Li (max)	Li (min)	Li (max)	Li (min)	Li (max)	Li (min)	Li (max)	Li (min)
3	51.4		45.75		54.6		48.95	
11	54.65		45.85		52		46.7	
18	56.3		48.9		55.9		49.85	
ΔLi (dB(A))	5.65, 8.8, 7.4				5.65, 5.3, 6.05			

La différence varie entre 5 et 9dB(A) entre les deux périodes et cela veut dire que cet accroissement de niveau dépend entièrement de la contribution des occupants dans l'espace, le point 18 présente la plus importante différence mais cela s'explique par la présence de l'enseignant à cet endroit (au centre du tableau et au dessus de l'estrade).

Les points latéraux répertoriés sur les parois exposées présentent les valeurs les plus élevées à l'exemple du (1, 4, 9, 19), ces derniers se trouvent pratiquement dans le champ proche par rapport aux sources de nuisances extérieures.

- Conformité vis à vis des normes :

La réglementation anglaise et américaine préconise des normes pour des classes inoccupées , elle recommande un niveau sonore dans les salles de classe entre 30 et 35dB(A). Alors que le niveau mesuré in situ dans notre cas est entre 48 et 50.5dB(A) ; une grande différence démontrant que le niveau dans la salle est largement **au dessus des normes**.

Pour les salles de classe occupées , la réglementation française et belge préconise un niveau variant entre 38 et 40dB(A). Quant à la salle de classe étudiée, elle présente un niveau entre 52 et 53.5 dB (A); un niveau sonore au dessus des normes et limites recommandées; un niveau qui perturbe le déroulement des cours et qui est loin d'être propice à l'apprentissage.

b- Cour de récréation :

Nous avons effectué deux campagnes de mesures durant deux périodes (Tab.19) , pendant lesquelles, nous avons utilisé le même appareil de mesure et garder les mêmes points (fig.35). Notre intention était de mesurer le niveau dans la cour pendant une activité sportive. Mais

malheureusement , cela n'a pas été possible car c'était la période des contrôles. Durant la campagne de mesure, la cour était vide.

Tableau 18 : Synthèse des mesures de la cour in situ, auteur.

Points	Matinée :			Après-midi		
	Li (max)	Li (min)	Li moyen	Li (max)	Li (min)	Li R moyen
1	56.1	54.5	55,3	66.5	60.9	63.7
2	58.7	53.7	56,2	58.6	55.2	56.9
3	59.1	55.1	57,1	56	55	55.5
4	55.9	54.1	55	57.3	54.1	55.7
5	55.3	53.2	54.25	55	54	54.5
6	56.7	54	55.35	56	52.9	54.45
7	59.5	54.7	57.1	66(moto)	58.5	62.25
8	55.4	52	53.7	59.2	53.6	56.4
9	58.5	55.8	57.15	56.7	53.2	54.95
10	60.2	55.3	57.75	57	55	56
11	59.8	54.8	57.3	58.1	56.5	57.3
12	64.1	55.8	59.95	64.9	54	59.45
13	56.3	51.7	54	62(musique)	55.7	58.85
14	54.7	52.4	53.55	58.5	56.7	57.6
15	58.3	54.2	56.25	60.7	55.6	58.15
16	56.3	53.6	54.95	56.4	54.3	55.35
17	57.5	52.90	55.2	56.5	58.3	55.8
18	66.3	57	61.65	61	58.6	59.55
19	61.7	54.8	58.25	59.8	57.3	58.55
20	61.1	54.2	57.65	62.2	59.1	60.65
21	62.5	56.8	59.65	59.8	55.4	57.6
Li moy	58,38	54,31	56,54	59,44	55,63	57,58

Lors de la prise de mesures , nous avons enregistré des niveaux très hauts arrivant jusqu'à 65 et 66dB (A) dans les points 7,17 et 18 par exemple mais cela était dû au passage d'une moto, un cortège et une musique de voitures. ce accroissement soudain nous a obligé de reprendre les mesures.

c : *Cursive* :

Nous avons effectué deux campagnes de mesures durant deux périodes , pendant lesquelles, nous avons utilisé le même appareil de mesure et garder les mêmes points (fig. 43). Ceci dit , il n'existe par une grande différence entre les mesures du matin et celles de l'après-midi (Tab.20).

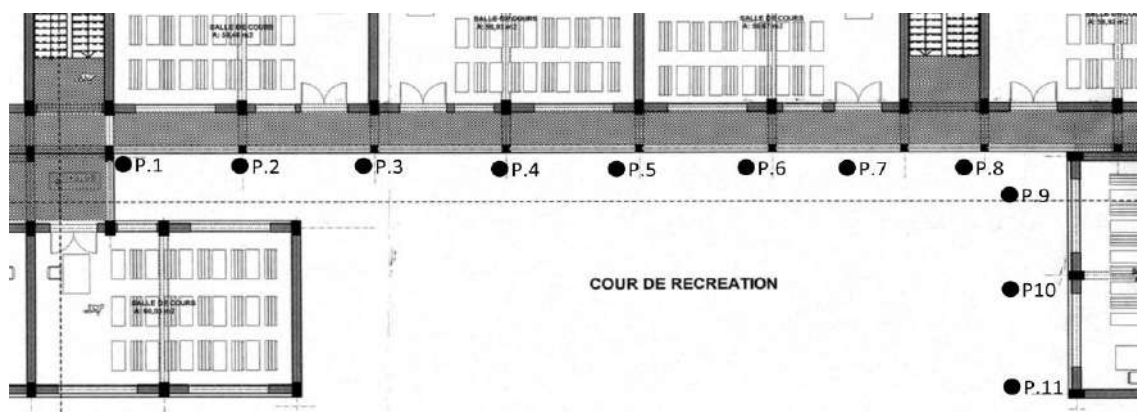


Figure 428 : Points de mesure de la coursive.

Tableau 19 : Synthèse des mesures de la coursive in situ, auteur.

Points	Matinée :			Après-midi		
	Li (max)	Li (min)	Li moyen	Li (max)	Li (min)	Li moyen
1	56	55.2	55.6	54.9	48.5	51.7
2	57.9	54.8	56.35	55.4	51.4	53.4
3	59.3	55.5	57.4	61.5	52.3	56.9
4	59.4	56.6	58	60	54.3	57.15
5	58.1	53.2	55.65	63	55	59
6	60.5	51.1	55.8	62	56.3	59.15
7	52.3	57.1	54.7	61.6	55.7	58.65
8	58.5	53.2	55.85	59.3	53.3	56.3
9	56.5	52.9	54.7	54.9	53.5	54.2
10	62.4	59.7	61.05	61.6	58.8	60.2
11	61.7	59.2	60.5	67.6	61	64.3
Li moyen	58.4	55.3		60.62	54.46	
	56.85			57.54		

Notons aussi que les points qui présentent un niveau élevé sont le 10 et 11, cela s'explique par leur proximité de la voie mécanique; principale source de nuisance de l'école. Plus l'on s'approche de la voie, plus le niveau s'accroît.

Les deux espaces en commun de l'école : la cour et la coursive ont pratiquement le même niveau sonore ambiant. En effet, pendant la période matinale, le niveau est de 56 dB(A) dans les deux et durant l'après-midi, il est de 57.5 dB(A). Ceci s'explique par le fait qu'ils soient soumis directement à la même nuisance qu'est la voie mécanique bruyante à quelques mètres près. La cour est séparée de la voie par un mur de clôture et la coursive est à l'étage mais n'est pas protégée.

III.3.2 : Calcul de la durée de réverbération :

a : Analyse des résultats :

Afin de calculer la durée de réverbération de la salle de classe, nous avons pris connaissance de la constitution de chaque paroi (matériau et revêtement) et nous leur avons attribuer leurs coefficients d'absorption. le résultat dépend aussi de la fréquence expliquant ainsi les quatre valeurs calculées. Nous avons calculer cet indicateur dans deux cas. Dans un premier temps en considérant la salle vide et dans un second temps, en prenant en considération les occupants (Tab. 21).

Tableau 20 : Détails de calcul de la durée de réverbération.

Paroi (matériau)	Surface (m ²)	Fréquence (Hz)							
		250 α	A (m ²)	500 α	A (m ²)	1000 α	A (m ²)	2000 α	A (m ²)
Plafond en plâtre	59.34	0.01	0.593	0.02	1.186	0.03	1.78	0.04	2.373
Sol (carrelage)	59.34	0.01	0.593	0.02	1.186	0.03	1.78	0.04	2.373
Murs avec enduit de plâtre	70.76	0.01	0.7	0.02	1.415	0.03	2.122	0.04	2.83
Portes vitrée a deux vantaux en bois isoplane.	Bois : 2,58	0.22	0.567	0.17	0.438	0.09	0.232	0.1	0.258
	Partie vitrée : 0,86	0.25	0.215	0.18	0.154	0.12	0.1	0.07	0.06
Fenêtres (vitrage ordinaire)	18.2	0.25	4.55	0.18	3.276	0.12	2.16	0.07	1.274
Mobilier	Chaises vides : 31	0.02	0.62	0.03	0.93	0.04	1.24	0.04	1.24
	Table d'écolier:16	A= 0.05/ table , A totale = 0.8m ²							
	Bureau d'enseignant	A= 0.05m ²							
Personnes	Personnes assises : 30 élèves.	0.25	7.5	0.3	9	0.35	10.5	0.33	9.9
	Personne debout 1 enseignante.	A= 0.3		A= 0.4		A= 0.5		A= 0.55	
Aire d'absorption de la salle vide.		8.688		9.435		10.26		11.258	
Aire d'absorption de la salle occupée.		16.48		18.835		21.264		21.708	
Durée de réverbération de la salle vide (s).		3.45		3.18		2.9		2.6	
Durée de réverbération de la salle occupée (s).		1.8		1.59		1.4		1.38	

Les occupants réduisent la durée à la moitié de la valeur initiale. Afin d'apporter des solutions correctes, nous prendrons les secondes valeurs qui sont nettement plus réalistes afin de comparer avec les normes.

b : Conformité vis à vis des normes :

La réglementation belge et anglaise ainsi que le "American speech language hearing association" préconise 0.4s de temps de réverbération. Quant à la France, l'organisation internationale de normalisation européenne ou encore la norme américaine ANSI S12.60¹²⁵ recommande une durée de réverbération allant de 0.4 à 0.8s au même titre que l'Algérie qui exige 0.8 s¹²⁶. Cependant, dans notre cas, la durée de réverbération de la salle de classe étudiée varie selon les fréquences de 1.29 à 1.7s, des valeurs nettement supérieures comparées aux normes en vigueur donnant ainsi naissance à un phénomène d'écho.

c : Mise à la norme de la salle de cours :

Afin de remettre à la norme et diminuer le temps de réverbération de la salle de classe, nous avons tenté d'augmenter l'aire équivalente d'absorption et cela à travers l'introduction de nouveaux revêtements et dispositifs absorbants. Nous allons étudier deux cas :

1- Introduction du plafond acoustique¹²⁷ sur 40m² avec les coefficients¹²⁸ suivants (tab. 22)

Tableau 21 : Coefficients d'absorption du plafond acoustique.

Conditions	Durée de réverbération			
	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz
C. d'absorption.	0.18	0.68	0.86	0.99
A. d'absorption.	23.68	46	55.66	61.3
T de réverbération.	1.26	0.65	0.54	0.49

¹²⁵ La norme ANSI S12.60 de 2002 American national standard acoustical performance criteria, design requirements and guidelines for schools.

¹²⁶ D'après le CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens, règles de calcul.* 2004.P22.

¹²⁷ La partie du fond du plafond car d'après Hamayon,Loic, il faut favoriser les premières réflexions surtout dans une salle qui développe en longueur.

¹²⁸ PARENT. P. Préau de l'école maternelle de moulis calcul du temps de réverbération et préconisations correctives. 2011.

2- Introduction du plafond acoustique sur 25.5 m² et des panneaux muraux absorbants sur le mur du fond (fig. 44) avec leurs coefficients (Tab. 23)

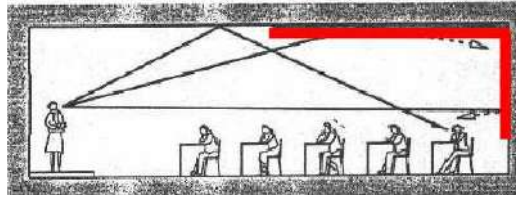


Figure 429 : Une salle de classe après traitement acoustique. (Hamayon,2012)

Tableau 22 : Coefficients d'absorption du plafond acoustique et panneaux muraux.

Conditions	Durée de réverbération			
	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz
α plafond acoustique A = 20 m ²	0.65	0.90	0.95	1
A panneaux muraux A = 6m ²	0.75	1	1	1
A. d'absorption.	33.98	42.84	46.26	47.71
T de réverbération.	0.8	0.69	0.64	0.62

A l'aide de la (fig.40), nous favorisons la position b avec une disposition périphérique des panneaux au plafond de (0.6m * 0.6m)¹²⁹ recouvrant une surface de 25.5m² et les panneaux muraux contre la paroi du fond couvrant une surface de 6m² (5 panneaux de 1.2m * 1m)¹³⁰



Figure 430 : Collage de panneaux absorbants avec une apparence légèrement inférieure.

(Parent, 2011).

¹²⁹ Produit ROCKFON : Panneau acoustique en laine de roche (20 ou 22 mm), son absorption acoustique est très élevé et a été mesuré selon la norme ISO 354. Sa résistance à l'humidité peut atteindre les 100%. Son entretien est facile et est 100% recyclable.

¹³⁰ Produit ROCKFON : Panneau acoustique mural en laine de roche (40 mm), son absorption acoustique est très élevé et a été mesuré selon la norme ISO 354. Il résiste dans des conditions d'humidité allant jusqu'à 100%. Il peut être mis en œuvre dans des conditions de température de 0 °C à 40 °C. Son entretien est facile et est 100% recyclable.

Les panneaux choisis sont en laine de roche¹³¹ et ont été choisis pour leur absorption élevée , leur résistance à l'humidité , la facilité de leur mise en œuvre (collage) et d'entretien ainsi que leur qualité esthétique. (Annexes VII : fiches techniques.)



Figure 431 : Salle de classe avec panneaux muraux. Figure 432 : Salle avec panneaux au plafond.
(www.rockfon.fr. 2010).

d : Synthèse des résultats :

L'introduction des panneaux absorbants a permis de réduire considérablement le temps de réverbération (Fig. 48). Ceci dit , un simple plafond acoustique n'a pas suffi pour le réduire à toutes les fréquences à l'exemple de la fréquence 250Hz :

- Dans le premier cas , la durée est passée de 1.7s à 1.26s , une valeur toujours au dessus des normes en vigueur en Algérie (0.8s).
- Dans le deuxième cas, la durée est passée de 1.7s à 0.8s , ce qui permet d'obtenir une salle conforme aux normes.

Quant à leur disposition , elle ne se fait pas aléatoirement. Elle doit suivre une logique , qui permet de libérer les parties du plafond se trouvant au dessus du tableau. En effet, cette dernière permet de favoriser les premières réflexions et cela est surtout applicable aux salles dont la longueur dépasse les 10m¹³².

¹³¹ La laine de roche ne contient aucun élément nutritif et ne permet pas le développement de micro-organismes.

¹³² HAMAYON, Loïc. *comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*. Editions du moniteur. 2ème édition. 2010.

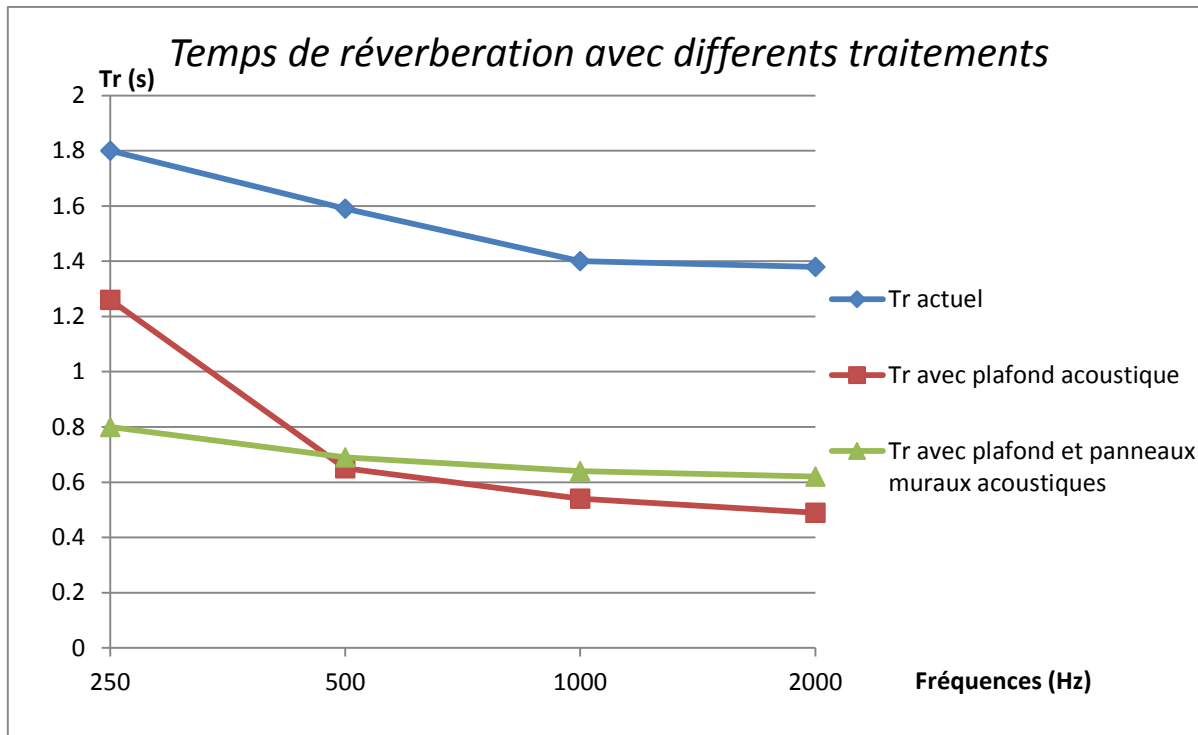


Figure 433 : L'évolution du temps de réverbération avec différents traitements, (Auteur, 2015)

III.3.3 : Calcul de l'isolement acoustique :

a- Résultats des calculs :

Le calcul de l'isolement acoustique des parois se fait selon les deux méthodes présentées dans le chapitre méthodologique page 56 :

Méthode 1 - Utilisation des mesures in situ :

A travers les mesures effectuées lors des deux campagnes¹³³, nous pouvons connaître les valeurs de l'isolement brut et standardisé in situ suivant les formules suivantes :

$$Db = Li \text{ emission} - Li \text{ reception}$$

$$Dn,T = Db + 10 \log \left(\frac{T}{T0} \right)$$

Le tableau (23) suivant résume les niveaux ambiants des locaux d'émission (Salle mitoyenne (détails en annexe VIII) et la coursive (tab.19) ainsi que le niveau ambiant du local de réception (Salle de classe étudiée (tab.15) :

¹³³ Les mesures ont été prises durant différentes périodes, pour le calcul de l'isolement, nous avons pris les résultats obtenus le matin.

Tableau 23 : Détails de calcul des isolements bruts et normalisés in situ des deux parois.

Paroi	Li (local d'émission)	Li (local de réception) ¹³⁴	Isolement brut	Isolement standardisé à 1000 Hz
Paroi entre les deux salles de classe	60.53	48.65	11.88	16.35
Paroi en la salle de classe et la coursive	57.01		8.36	12.83

En utilisant les valeurs du temps de réverbération selon les différentes fréquences , on calcule l'isolement standardisé des deux parois (Tab. 24)

Tableau 24 : Valeurs de l'isolement normalisé in situ des deux parois selon les différentes fréquences.

Fréquence (Hz)		250	500	1000	2000
Temps de réverbération (s)		1.8	1.59	1.4	1.38
Isolement standardisé (dB)	Paroi entre les classes mitoyennes.	17.44	16.9	16.35	16.29
	Parois entre la salle de classe et la coursive.	13.92	13.38	12.83	12.77

Méthode 2 - Utilisation des indices d'affaiblissement :

Afin de calculer correctement l'isolement standardisé , nous nous référons au Document Technique Réglementaire relatif à l'isolation acoustique des parois aux bruits aériens. En effet, ce dernier résume les règles de calcul permettant d'obtenir les isolements :

- **Première paroi** (entre les deux salles de classes mitoyennes) :

La première paroi est une paroi simple continue de 18.8m² , elle est composée de briques creuses de 15 cm avec enduit en plâtre sur les deux faces.

Calcul de l'indice d'affaiblissement : Selon l'abaque de la loi de masse (fig. 13) :

$$\sigma_{\text{brique creuse}} = 655 \text{ kg/m}^3 \text{ }^{135} \quad m_{\text{brique creuse}} = 98.25 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{\text{enduit plâtre}} = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ }^{136} \quad m_{\text{enduit plâtre}} = 20 \text{ kg/m}^2$$

$$\mathbf{m = 118.25 \text{ kg /m}^2}$$

¹³⁴ Pour le local de réception (salle de classe) , nous avons utilisé le niveau sonore mesuré sans les élèves.

¹³⁵ Selon le label QUALITEL.

¹³⁶ Idem.

- Calcul de R à la fréquence de 500Hz en utilisant l'abaque de la loi de masse (Fig.13) :

$$R(500) = 39.2 \text{ dB.}$$

-Suivant la loi de fréquence, le R (il augmente de 4dB à chaque doublement de fréquence) à toutes les fréquences (Fig. 49) est égal à :

Tableau 25 : Valeurs de R dans toutes les fréquence de la première paroi.

Fréquences	250	500	1000	2000
Indice d'affaiblissement R (dB)	35.2	39.2	43.2	47.2

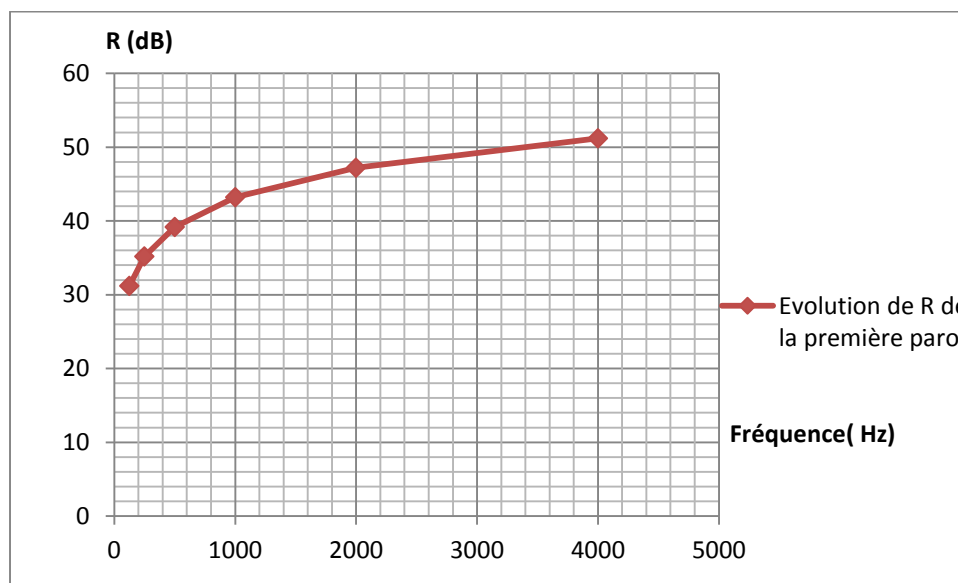


Figure 434 : Valeurs de R dans toutes les fréquences de la première paroi.

Calcul de la fréquence critique : à chaque paroi possède une fréquence critique f_c pour laquelle R chute , Concernant cette paroi qui est simple et continue , sa fréquence critique est égale à 274.4 Hz (Annexe IX) et la chute d'isolement à ce niveau est de l'ordre de 7dB¹³⁷.

Ainsi, les pentes au voisinage de la fréquence critiques sont prises égales (+-10dB) par octave. A l'aide de la figure 50, les nouvelles valeurs de l'indice d'affaiblissement se résument dans le tableau 26 :

Tableau 26 : Valeurs de R dans toutes les fréquence de la première paroi après la chute d'isolement.

Fréquences	250	500	1000	2000
Indice d'affaiblissement R (dB(A))	29	36	43.2	47.2

¹³⁷ D'après le CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.P22.

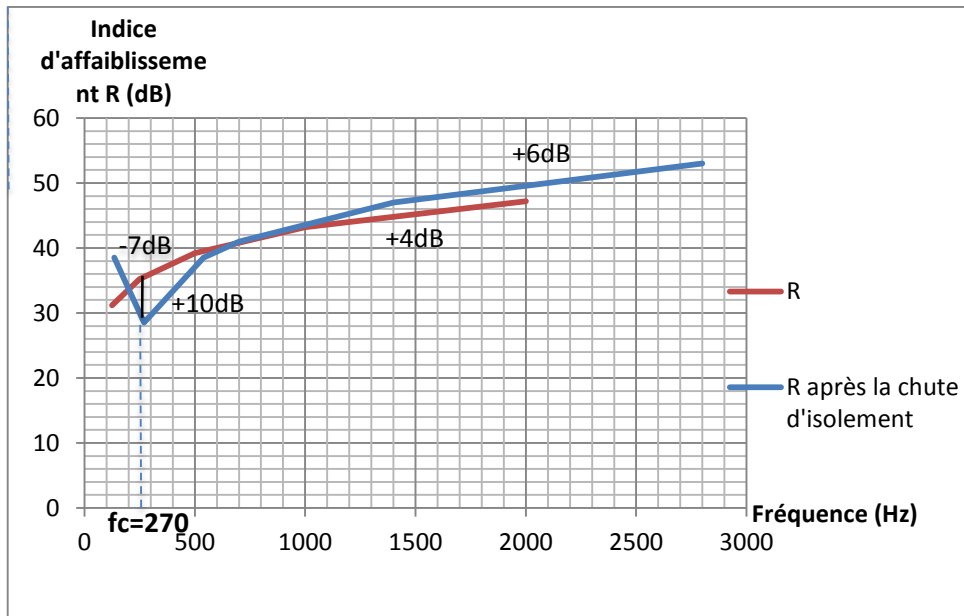


Figure 50 : Valeurs de R de la première paroi après la chute d'isolement

Calcul de l'isolement brut :

La relation liant l'indice d'affaiblissement **R** d'une paroi à l'isolement brut **Db** est donnée par :

$$Db = R + 10 \log\left(\frac{A}{S}\right)$$

$$Db(250) = 29 + 10 \log\left(\frac{16.48}{18.8}\right)$$

$$Db(250) = \mathbf{28.43 \text{ dB}}$$

L'isolement standardisé dépend de la durée de réverbération du local de réception:

$$D_{n,T} = Db + 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right)$$

$$D_{n,T}(250) = 28.43 + 10 \log\left(\frac{1.8}{0.5}\right)$$

$$D_{n,T}(250) = \mathbf{34 \text{ dB}}$$

Tableau 27 : Isolement brut et standardisé à différentes fréquences de la première paroi.

Isolement	Fréquences (Hz)			
	250	500	1000	2000
Temps de réverbération	1.8	1.59	1.4	1.38
Isolement brut (dB)	28.43	36	43.73	47.8
Isolement standardisé (dB)	34	41	48.2	52.23

- **Deuxième paroi** (entre la salle de classe et la coursive) :

La seconde paroi est une double paroi discontinue de 31.3m² avec lame d'air (tab. 28), la cloison intérieure est enduite au plâtre et celle de l'extérieur au ciment :

Tableau 28 : Données pour le calcul du Req (500) de la deuxième paroi.

Paroi	Surface	Masse surfacique (kg/m ²)	Indice d'affaiblissement R (500Hz)
Partie pleine : - Paroi extérieure 15cm. - Lambe d'aire 5cm. - Paroi intérieure 10cm.	20.06	232.75	44 ¹³⁸
Fenêtres (verre ordinaire)	7.8	5	22 ¹³⁹
Porte : Partie en bois isoplane.	2.58	15	28 ¹⁴⁰
Porte : Partie en verre.	0.86	5	22

Calcul de Req : la paroi est composée , son indice d'affaiblissement se calcule suivant la formule suivante , le tableau 29 présente les valeurs des Req des différentes fréquences dont les détails sont joints en annexe XI :

$$Req = 10 \log \left(S / \left(S_1 * 10^{-\left(\frac{R_1}{10}\right)} + \left(S_2 * 10^{-\left(\frac{R_2}{10}\right)} + \dots \dots S_n * 10^{-\left(\frac{R_n}{10}\right)} \right) \right)$$

$$Req (500) = 27.2 \text{ dB}$$

Tableau 29 : Valeurs de Req dans toutes les fréquence de la deuxième paroi

Fréquences	250	500	1000	2000
Indice d'affaiblissement R (dB(A))	23.2	27.2	31.2	35.2

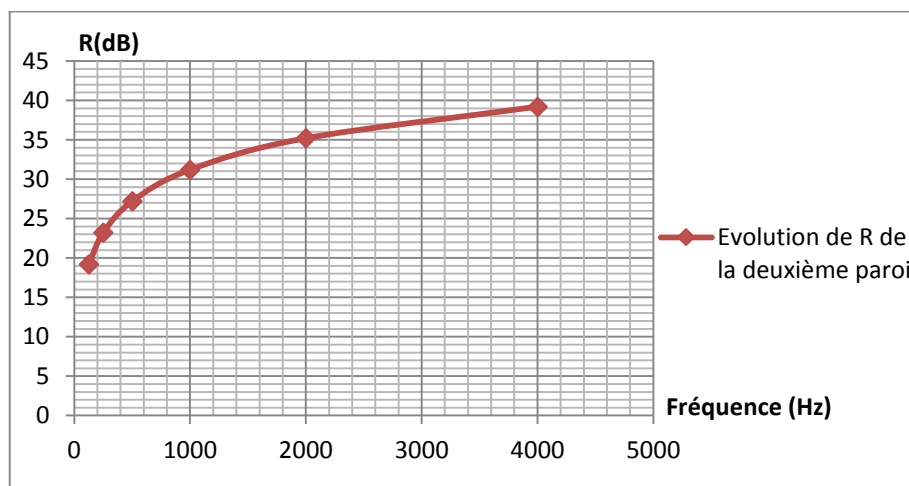


Figure 35 : Valeurs de R dans toutes les fréquence de la deuxième paroi.

¹³⁸ Les détails sur le calcul de l'indice d'affaiblissement de la surface pleine de la paroi est joint en (annexe X)

¹³⁹ CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.

¹⁴⁰ Idem.

Calcul de la fréquence critique : pour les parois doubles , on prend en charge les fréquences critiques de la paroi intérieure et extérieure qui sont égales respectivement à 467.46 et 274.4 Hz (Annexe XII) et la chute d'isolement au niveau de ses dernières est de 7dB (tab.30)

Calcul de la fréquence de résonance de la double paroi : elle est égale à 50.14 Hz (Annexe XIII) , une fréquence située en dehors de la bande d'octave (63-4000Hz) permettant ainsi d'ignorer le chute d'isolement à ce niveau.

Suite aux corrections apportées avec la prise en compte de la chute d'isolement suivant la même méthode que la première paroi (Fig. 52) , les nouvelles valeurs de **R** sont résumées dans le tableau 30 :

Tableau 30 : Valeurs de R dans toutes les fréquence de la première paroi après la chute d'isolement.

Fréquences	250	500	1000	2000
Indice d'affaiblissement R (dB(A))	17	19	28	35.2

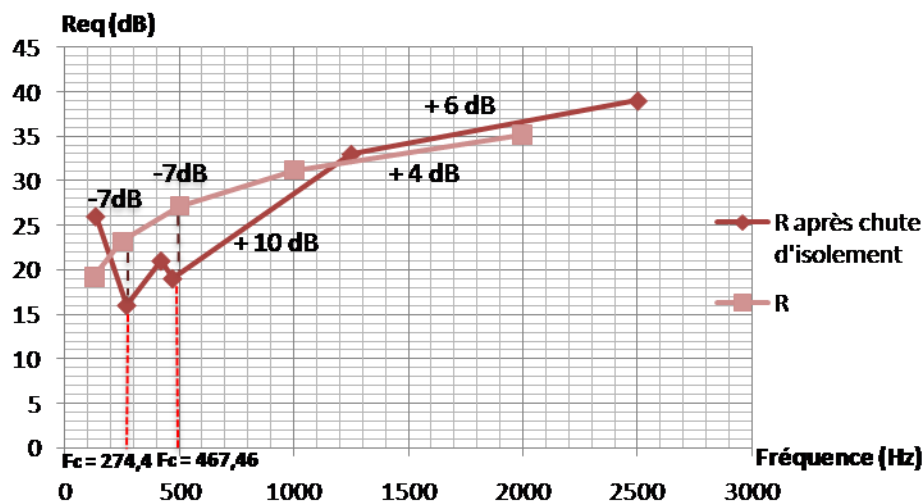


Figure 36 : Valeurs de R de la deuxième paroi après la chute d'isolement

Calcul de l'isolement :

L'isolement brut et standardisé dépendent de la surface de la paroi, l'aire d'absorption et le temps de réverbération du local de réception. Les deux isolements se calculent suivant la même méthode que la première paroi :

$$D_b(500) = 16.8 \text{ dB}$$

$$D_{n,T}(500) = 21.8 \text{ dB}$$

Tableau 31 : Valeurs de l'indice d'affaiblissement et isoléments de la deuxième paroi selon les fréquences.

Isolement	Fréquences (Hz)			
	250	500	1000	2000
Aire d'absorption	16.48	18.835	21.264	21.708
Temps de réverbération	1.8	1.59	1.4	1.38
Indice d'affaiblissement (dB)	17	19	28	35.2
Isolement brut (dB)	14.21	16.8	26.32	33.6
Isolement standardisé (dB)	19.8	21.8	30.8	38

b- Analyse des résultats :

Les deux méthodes proposées dans le chapitre méthodologique présentent une différence de résultats. Cela peut s'expliquer par :

- Le fait qu'in situ, toutes les parois du local de réception participent à la transmission acoustique¹⁴¹.

- En utilisant les mesures in situ, il faut prendre en considération les transmissions latérales¹⁴² car sur le site, les locaux sont solidarisés¹⁴³ Alors qu'en laboratoire, la paroi est totalement désolidarisée à sa périphérie, par conséquent :

$$L_{2 \text{ site}} > L_{2 \text{ labo}} \Rightarrow (L_2)_{\text{site}} > (L_2)_{\text{labo}} \text{ en raison des transmissions latérales.}$$

$$\text{Ceci conduit à : } (D_b)_{\text{labo}} > (D_b)_{\text{site}}^{144}$$

$$\text{On peut écrire aussi : } D_b)_{\text{labo}} = D_b)_{\text{site}} + \text{transmissions latérales.}$$

De même qu'un bâtiment ayant des structures de masses identiques, l'énergie qui passe par les parois latérales liées à la paroi séparative est plus importante que l'énergie passant directement à travers la paroi séparative.¹⁴⁵

¹⁴¹ ACNAW. Isolation acoustique.2007. Belgique. 17p.

¹⁴² Les transmissions indirectes (ou latérales) sont difficiles à appréhender. De ce fait, elles sont souvent estimées, mais sont très souvent loin d'être négligeables.

¹⁴³ La quantité d'énergie acoustique transmise entre deux locaux dépend : - de la nature de la paroi de séparation caractérisée par R, - de la nature des parois latérales, - de transmissions accidentelles éventuelles (trous ou fissures par exemple).

¹⁴⁴ D_b ne rend pas compte de l'isolation intrinsèque (propre) de la paroi.

- La différence des conditions de mesures in situ entre un local et un autre.¹⁴⁶

- Incertitude du sonomètre.

- Imprécision des données acoustiques des matériaux utilisés dans la deuxième méthode .

- La mise en œuvre , les parois n'atteignent pas leur performance maximale à la réalisation de la construction , ceci est peut être dû aux défauts d'exécution qui peuvent causer d'importantes transmissions parasites tels que les fuites , la mauvaise application d'un enduit, les fissures non rebouchées , une étanchéité à l'aire insuffisante entre la maçonnerie et la menuiserie ou encore des jonctions mal assurée entre la toiture et la façade.

Pour cela , il est difficile de connaître avec certitude l'isolement des parois d'un local , nous avons tout de même tenter de positionner l'isolement de la salle de cours vis à vis des normes.

En effet, la première paroi présente un indice d'affaiblissement assez élevé par rapport à la deuxième paroi , un résultat affirmant réponses du questionnaire et l'entretien en prouvant que les grandes nuisances sonores ne proviennent pas forcément de la classe mitoyenne.

Bien que la deuxième paroi soit double, cette dernière présente un indice d'affaiblissement faible et n'isole pas réellement la salle de cours des bruits provenant de la coursive. Ceci revient peut être au fait qu'elle soit discontinue et compte un nombre important d'ouvrants en l'occurrence une porte et (03) fenêtres. Surtout qu'une fenêtre composée d'un vitrage ordinaire ne procure pas en général l'isolement réglementaire requis à une façade et qu'elle est considérée comme étant le point faible de la façade en terme d'isolation.

Compte tenu de la différence enregistrée entre les deux méthodes , il est difficile d'apporter des modifications directes en terme d'isolation. A cet effet , nous nous contentons des recommandations générales. Cependant , nous étudions l'influence du traitement apporté à la salle de cours (Tab.22) au niveau de la deuxième partie du chapitre III :

En effet, suite à la correction apportée pour diminuer la durée de réverbération, nous recalculons l'isolement selon les nouvelles valeurs de l'aire d'absorption **A** et le temps de réverbération **Tr** du local de réception (tab.32).

¹⁴⁵ HAMAYON,L. Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments. Edition le moniteur. Paris.2008. p108.

¹⁴⁶ Les mesures n'ont pas été pris à la même période puisque, nous ne disposions que d'un seul sonomètre.

Tableau 32 : Isolement brut et normalisé de la deuxième paroi après correction acoustique.

Isolement	Fréquences (Hz)			
	250	500	1000	2000
Indice d'affaiblissement de la deuxième paroi (dB)	17	19	28	35.2
Aire d'absorption après correction (m ²).	33.98	42.84	46.26	47.71
Temps de réverbération après correction (s).	0.8	0.69	0.64	0.62
Isolement brut (dB).	17.36	20.32	29.7	37
Isolement standardisé (dB)	19.4	21.76	30.77	37.9

Le traitement acoustique apporté au local de réception à travers l'introduction des panneaux absorbants n'a pas eu beaucoup d'effet sur l'isolement du local vis à vis du local d'émission (Fig. 51) . On enregistre une hausse de **4dB** avant et après traitement pour l'isolement brut. En revanche, les courbes de l'isolement standardisé sont presque identiques.

Par conséquent, le traitement apporté pour régler les problèmes de correction ne règlent pas ceux de l'isolation. les deux indicateurs sont souvent traités indépendamment bien qu'il existe des solutions pour les deux.

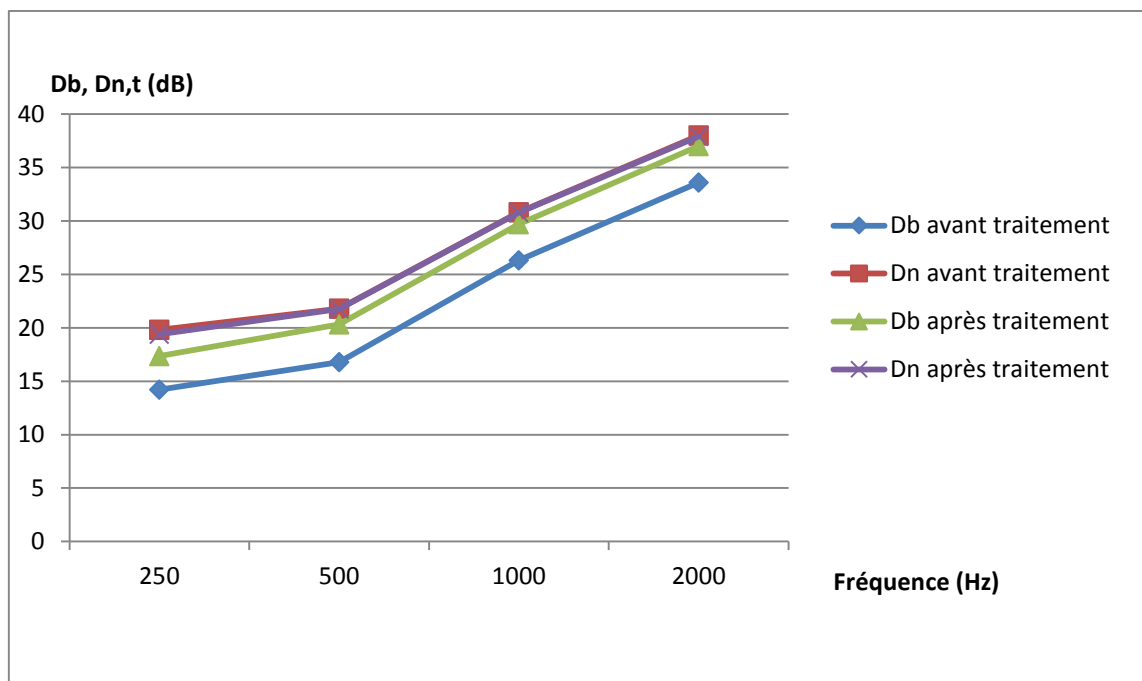


Figure 37: Comparaison entre les isolement avant et après traitement du local de réception

CONCLUSION :

Ce chapitre a permis d'abord d'interpréter les données recueillies à travers les moyens d'investigation (entretien et questionnaire), ces derniers démontrent que les nuisances sonores sont multiples et ont une influence directe sur le déroulement du cours.

Ensuite, il a été question d'analyser les résultats obtenus suite aux mesures et calculs acoustiques. Ces derniers montrent en premier lieu que notre cas d'étude ne respecte pas la réglementation algérienne quant à certains critères acoustiques et est loin d'être conforme aux normes internationales. En deuxième lieu, l'analyse effectuée démontre que le confort acoustique dépend de plusieurs indicateurs qu'il faut prendre en charge lors de la conception des écoles. A l'exemple de la durée de réverbération ; un critère indispensable pour une salle de cours conforme ainsi que des parois isolantes vis à vis des locaux mitoyens et surtout de l'extérieur.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE :

Ce travail de recherche avait comme objectif principal : la définition des sources de bruit qui empêchent le bon déroulement des cours pour ensuite réunir les différents paramètres permettant d'instaurer un niveau sonore propice à l'apprentissage. La démarche adoptée pour l'élaboration de ce dernier était basée sur :

- Une étude bibliographique : cela à travers une recherche étendue sur le domaine de l'acoustique que ce soit pour les notions de base (son , bruit , correction , isolation acoustique...etc.) , les effets du bruit sur les enfants ou encore le traitement particulier des écoles en terme d'acoustique. Aussi , une recherche réglementaire nationale et internationale a été effectuée et grâce à cette dernière , nous avons remarqué le manque d'intérêt de notre pays pour ce domaine. En effet, il existe peu de textes réglementaires et de lois traitant ce sujet surtout comparons aux normes en vigueur à l'étranger.

- Un travail expérimental : à travers différents outils à l'exemple de l'entretien destiné aux enfants qui nous a permis de connaître les sources de bruit qui les dérangent , ou encore le questionnaire qui nous a permis de connaître l'avis des enseignants quant au sujet du bruit et son impact sur le déroulement de leurs cours. En plus des moyens de communication , nous avons eu recours aux mesures in situ qui nous ont d'abord confirmé les résultats de l'entretien et du questionnaire , ces valeurs nous ont ensuite permis de positionner l'école algérienne par rapport à la réglementation étudiée. Toute cette analyse nous a aidé à proposer des solutions pour les écoles existantes et à établir des recommandations pour les futures écoles.

la recherche effectuée nous a permis de répondre à la problématique centrale qui concerne le bruit à l'école et sur laquelle était fondé tout le travail. En effet , les résultats obtenus confirment nos hypothèses de recherche car ils démontrent que les paramètres qui influent sur le confort sonore sont bien : la configuration des écoles, les matériaux utilisés , l'environnement extérieur et parfois même les occupants. Aussi , suite à cette analyse , nous avons pu connaître certains critères nous permettant d'atteindre la meilleure qualité acoustique dans les salles de cours.

A cet effet, nos recommandations se résument comme suit : L'environnement sonore extérieur est le premier paramètre à prendre en charge et cela par les instruments d'urbanisme. En effet , l'implantation des écoles primaires doit tenir compte du facteur d'éloignement par rapport aux sources de bruit.

Pour cela , les concepteurs doivent respecter les directives de l'article 3 du décret n° 93-184 du 27 Juillet 1993 (Annexe II) réglementant l'émission du bruit , ce dernier détermine les niveaux sonores maximums admis au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignement et les aires de repos et de détente sont de **45dB en période diurne**. Afin d'atteindre ce niveau , il va falloir implanter les établissements loin des voies à haut trafic routier , des rues commerçantes bruyantes , des rails de train , d'aéroport et des gares routières.

L'orientation des bâtiments est aussi importante et peut les isoler des sources de bruit extérieures , il est important d'implanter les espaces pédagogiques du coté calme comme les salles de cours et la bibliothèque et les éloigner des espaces bruyants à l'exemple de la cantine, les aires de jeux et le gymnase.

En cas d'implantation sur une voie mécanique bruyante , il faut éviter d'ouvrir directement vers l'extérieur et opter plutôt pour des espaces tampon qui donnent sur l'extérieur comme les locaux de circulation afin d'éclairer (Système de SAS acoustique).

Aussi , dans le cas de salles avec une largeur inférieure à 7 m , il faut éviter d'ouvrir de part et d'autre , l'éclairage unilatéral reste suffisant. Cependant , dans le cas d'une grande salle , il faut avoir recours au double vitrage qui peut faire office d'une solution acoustique mais aussi thermique.

Pour les salles de cours , il est important de concevoir des classes qui ne se développent pas en longueur et qui ont des volumes étudiés de manière à éviter la réverbération. Pour cela, il faut augmenter l'aire d'absorption du local en utilisant des matériaux absorbants ,des panneaux, un plafond acoustique ...etc. Cela afin de diminuer le temps de réverbération, assurer une intelligibilité de la parole et éviter le phénomène d'écho.

Il est aussi indispensable d'isoler les espaces pédagogiques entre eux , par rapport aux espaces bruyants de l'école et vis à vis de l'extérieur. Aussi ,afin d'obtenir des locaux isolés, il ne suffit pas de traiter les transmissions directes seulement , il faut aussi prendre en charge les transmissions latérales en traitant les liaisons et joints entres les différentes parois verticales et horizontales mais aussi les transmissions parasites en évitant d'avoir des fuites et les perforations et en rebouchant les fissures.

Cependant, dans le cas de l'utilisation des parois doubles pour l'isolation , il faut veiller à ce que les deux éléments soient de nature et d'épaisseurs différentes pour éviter le phénomène de

résonance et que l'espace entre les deux éléments soit rempli d'un matériau absorbant, à base de fibres végétales ou minérales.

Afin d'atteindre une bonne qualité sonore des espaces, l'essentiel est aussi de réussir la réalisation de ces derniers à travers une mise en oeuvre efficace des matériaux pour le un confort sonore optimal.

Par ailleurs , le confort acoustique ainsi que le confort thermique doivent être traités en parallèle et sont tous deux des facteurs importants pour arriver à concevoir des écoles de qualité.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques :

BENLKADI Kamel. Le bruit en Algérie, *les insupportables nuisances sonores*; El Watan Algérie. 13 Mars 2008.

BOUTTOUT, Abdelouahab. **AMARA**, Mohamed. **DJAKABE**, Saad. **REMRAM**, Yousef. *Evaluation of the acoustic performance of classrooms in Algerian teaching schools*. International Journal of Civil Science and Engineering Vol:7 No:11. 2013.

ATIENZA,R, **BALEZ**, S ;**REMY**, N. *Introduction à l'acoustique*. **CRESSON**, École Nationale Supérieure d'Architecture . Grenoble .2008.

CHARRE, S. **FABUREL**, G. *Effets des nuisances aériennes sur la scolarité et la santé des enfants*. Etude commanditée par le collectif santé et nuisances aériennes (CSNA). Le centre de recherche sur l'espace , les transports , l'environnement et les institutions locales. Université Paris 12. Août 2007.

COENCA, J. **SEJOURNE**, C. Isolements au bruit aérien in situ. *incertitudes quant aux méthodes prévisionnelles*. 10ème congrès français d'acoustique. Société française d'acoustique. Avril 2010. Lyon.

DELARUE, François. **FLAGEOLLET-SAADNA**, Christiane. **DELAGE**, Bernard. *Construire avec les sons*. Colloque européen. 17-18 mars 2005. France. PUCA (plan Urbanisme Construction Architecture). Ministère de l'écologie.

DEOUX,S. *Bâtir pour la santé des enfants*. Espagne. **MEDIECO** éditions. Octobre 2010.690p.

DESMONS,J. Acoustique pratique. *Chauffage - Climatisation - Froid - Sanitaire*. Editions Parisiennes. 2003. 152p.

DONTENWILLE, F. **HOUCHOT**, A. **ORGANISATION**, S. Concevoir et construire une école primaire, *du projet à la réalisation*. Editions du Moniteur. 2013. 368p.

DUCARME, Marie-Françoise & **SIMONS**, Jean-Laurent. *Projet pilote en Région de Bruxelles-capitale. isolation acoustique dans les écoles*. Etude de 6 cas. Département bruit. Bruxelles. Juillet 2010.

DUMAURIET, E. *Les effets du bruit sur les enfants à l'école*. Etude concernant l'environnement sonore de l'enfant. Université de Paris X. Nanterre.

GAMBA, René. Qualité sonore, confort auditif pour tous dans le secteur tertiaire – Normes et référentiels. *Les méthodes d'évaluation de la qualité acoustique des bâtiments tertiaires.* Paris. Octobre 2011.

GEHU, Maud. Le confort acoustique dans les établissements scolaires. Cas pratiques : analyse des résultats et constatations. CSTC. Division Acoustique. Décembre 2014.

GINGER, CATED, Centre d'Assistance Technique et de Documentation. Catalogue des produits du bâtiment. *Bâtiments scolaires, conception et réglementation.*

GRAMEZ, A. Introduction à la réglementation acoustique Algérienne et la réhabilitation acoustique des façades. 10^{ème} congrès français d'acoustique. Société française d'acoustique. 12-16 Avril 2010. Lyon.

HAMAYON, Loïc. Réussir l'acoustique du bâtiment. Editions du moniteur. 2^{ème} édition. 2006. 234p.

HAMAYON, L. Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments. France. Editions du moniteur. Novembre 2010. 286p.

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

Laboratoire **MRTE,** IUT de Cergy pontoise. Laboratoire langages cognitions pratique ergonomie. Colloque européen "*Construire avec le son*". 17/18 Mars 2005. Qualité des ambiances sonores liées aux usages des établissements d'enseignement. Paris.

LARBI, Nouredine. *Une acoustique contrôlée dans des bâtiments sains.* Conférence AGPI Boucherville. Octobre 2012.

MEISSER : *La pratique de l'acoustique dans le bâtiment* Paris, Cated-Eyrolles. 1971. 130p

MOURET, Jacques. VALLET , Michel. *Les effets du bruit sur la santé.* 1998. 113p.

PARENT. P. Préau de l'école maternelle de moulis, *calcul du temps de réverbération et préconisations correctives.* 2011.

PASCAL, J.C. *Vibrations et acoustique.* Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Mans. Université de du Maine. 2007/2008.

PIETQUIN, D. Techniques du son, *Notions fondamentales d'acoustique.* 2008.

ROULET, J.C. Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments, 1ère édition. ingénierie de l'environnement. 2004. 362p.

SIMONIN-ADAM, C. Acoustique et réhabilitations, *Améliorer le confort sonore dans l'habitant existant*. Edition Eyrolles. 03/01/2002. 392p.

STANSFELD Stephen et al., etude RANCH, Children's reading and memory affected by exposure to aircraft noise, 2005, The Lancet.

VAN DAMME M. Bruxelles environnement. NBN S 01-400-2, *Le confort acoustique au sein des établissements scolaires*. Bruxelles. 1ère édition. Décembre 2012.

VAN DAMME.M. Acoustique : conception et mise en œuvre. *Isolation aux bruits aériens : principes et matériaux*. Bruxelles. Mars 2015.

VAN DAMME.M. Les normes acoustiques relatives aux bâtiments scolaires : *Quelles implications pour les constructions ?*. CSTC - Division Acoustique. Octobre 2009.

VEDEILHIE, R. l'acoustique élémentaire dans le bâtiment. DUNOD. Paris. 1967. 172p.

VICENT, B . GISSENGER, V. *Les effets du bruit sur la santé*. Bruit et santé, synthèse documentaire. Lyon. Mai 2011. Révision 2.

Thèses et mémoires :

ARHAB Fatma, *Evaluation du confort thermique dans les établissements scolaires : étude comparative des ambiances thermiques des salles de cours du plan type des écoles primaires -Alger et Biskra*. Mémoire de magistère. EPAU. Alger. 2014.

BOUKADOUM, Amina. *Evaluation du confort acoustique dans les Salles de cours des établissements scolaires "Cas des lycées de Constantine"*. Mémoire de magistère. Architecture. Université Mentouri. Constantine. 2012.

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.

TEBBOUCHE, H. *L'impact de la qualité environnementale des établissements scolaires sur la performance du système éducatif en Algérie*. Mémoire de magistère. Architecture. université Mohamed Seddik Benyahia de Jijel. 2010.

Références normatives :

AMERICAN NATIONAL STANDARD. Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. Melville. New York. 2002.

BUREAU DE NORMALISATION BELGE. NBN S 01-400-1 , *Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation.* Bruxelles. 1ere édition , janvier 2008.

CERTU. Mémento technique du bâtiment. *Confort acoustique.* Juillet 2012.

CIDB : centre d'information et de documentation sur le bruit , *Vulnérabilité des enfants.*2013.

CNERIB. DTR C 3.1.1. *Isolation acoustiques des parois aux bruits aériens , règles de calcul.* 2004.

CNERIB. DTR C2-45. Règles de conception et de calcul de maçonnerie. 2ème édition. 2005.

CNIDEP. Protection contre le bruit dans l'artisanat. *Les matériaux absorbants.*2007.

Etude CSTB et ARS. Bien concevoir l'acoustique des locaux accueillant les enfants pour préserver leur santé. 010.

FLORENTINE, Mary. Richard, R et POPPER, Fay , *Loudness,* Springer Science & Business Media, 2010.

GUIDE DE MESURES ACOUSTIQUES. France. Version août 2014.

IBGE Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement. Bruit. Vade-mecum du bruit dans les écoles, *Combattre le bruit dans les écoles, pourquoi et comment ?.* Janvier 2014.

IBGE, Bruxelles Environnement. Guide pratique pour la construction et la rénovation durable de petits bâtiments. *Matériaux d'isolation acoustique: Choisir des matériaux sains, avec un écobilan favorable,* Octobre 2008,

L'ESPERANCE ,André. BOUDREAU, Alex. GARIEPY, François. BACON ,Philippe. Réduction du bruit dans les centres de la petite enfance par la réduction du temps de réverbération, *analyses et études de cas.* Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail. Octobre 2005.

LECOCQ ,Jean Luc. Métrologie et expertise judiciaire en acoustique. *L'utilisation de la Norme NFS 31- 010 lors d'une expertise judiciaire afin d'évaluer une situation présentée comme gênante.* Versailles. 14 mars 2003.

Les guides du CNB (Conseil National du Bruit) N°5, qualité acoustique des établissements d'accueil d'enfants de moins de 6 ans. France. Juin 2015.

LYON, Anne-Catherine. Directives et recommandations concernant les constructions scolaires. Edition Juillet 2012.

MERSCH,S. IBGE. Bruxelles environnement. *Indice d'affaiblissement acoustique des matériaux.* Avril 2015.

SOUBRIER, Daniel. La normalisation européenne en acoustique du bâtiment . *Evaluation de l'isolement aux bruits aériens et aux bruits d'impact.* CSTC. Belgique.1999.

SSA. (Société Suisse d'acoustique) Recommandation relative à l'acoustique des salles de classe et autres locaux destinés à la parole. 2004.

Références réglementaires :

JOURNAL OFFICIEL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES. Directive 2002/49/ce du parlement européen et du conseil relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. 25 Juin 2012.

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE. Arrêté du 25 Avril 2003 relatif à la limitation dans les établissements d'enseignement.

Webographie :

EPSIC (Ecole Professionnelle de Lausanne). *Introduction à l'acoustique.*2001.

[http ://www.epsic.ch/branches/electronique/techn99/acous/AQSOMM.html](http://www.epsic.ch/branches/electronique/techn99/acous/AQSOMM.html).

L'acoustique dans les établissements d'enseignement.2008.**Www.eurocoustic.com.**

Les grands principes de traitement acoustique d'un local, **Www.bruit.fr.**

MERIDA,E. Performances acoustiques en construction bois. Emacoustic (acoustique architecturale).2 novembre 2012.

Made in acoustic. Traitement et isolations acoustiques. Glossaire.**Www.madeinacoustic.com.**

Notre-planete.info. **<http://www.notre-planete.info/environnement/bruit.php#sante>.**



ANNEXES

ANNEXE I

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES ET DE L'INDUSTRIE

INDUSTRIE

Arrêté du 9 mai 2003 autorisant une société à exploiter une installation de production d'électricité

NOR: IND0301437A

Par arrêté de la ministre déléguée à l'industrie en date du 9 mai 2003, la société à responsabilité limitée Hydélec, dont le siège social est situé Les Bois de Maisonne, 38160 Chevrères, est autorisée à exploiter un parc éolien d'une capacité de production de 7,5 MW, localisé à l'Espace entreprise Méditerranée, zone industrielle, Rivesaltes (Pyénées-Orientales).

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement

NOR: DEY0320066A

Le ministre de l'intérieur, de la sécurité intérieure et des libertés locales, le ministre de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, le ministre de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer, le ministre de l'écologie et du développement durable et le ministre de la santé, de la famille et des personnes handicapées.

Vu la directive 98/34/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques et des règles relatives aux services de la société de l'information, et notamment la notification n° 2001/524/F ;

Vu le code de la construction et de l'habitation, et notamment ses articles R. 111-23-1, R. 111-23-2 et R. 111-23-3 ;

Vu le code de l'urbanisme, et notamment son article L. 147-3 ;

Vu le code du travail, et notamment son article R. 235-2-11 ;

Vu le code de l'environnement, et notamment ses articles L. 571-1 à L. 571-25 ;

Vu le décret n° 95-10 du 9 janvier 1995 pris pour l'application de l'article L. 111-11-1 du code de la construction et de l'habitation et relatif aux caractéristiques acoustiques de certains bâtiments autres que d'habitation et de leurs équipements ;

Vu le décret n° 95-408 du 18 avril 1995 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique ;

Vu l'arrêté du 30 mai 1996 relatif au classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit ;

Vu les avis du Conseil national du bruit en date du 25 mai 2000 et du 17 avril 2003,

Arrêtent :

Art. 1^{er}. – Conformément aux dispositions des articles R. 111-23-2 du code de la construction et de l'habitation et L. 147-3 du code de l'urbanisme, le présent arrêté fixe les seuils de bruit et les exigences techniques applicables aux établissements d'enseignement. Il s'applique aux bâtiments neufs ou parties nouvelles de bâtiments existants.

On entend par établissement d'enseignement les écoles maternelles, les écoles élémentaires, les collèges, les lycées, les établissements régionaux d'enseignement adapté, les universités et établissements d'enseignement supérieur, général, technique ou professionnel, publics ou privés.

Les logements de l'établissement sont soumis à la réglementation concernant les bâtiments à usage d'habitation, au regard de laquelle les autres locaux de l'établissement d'enseignement sont considérés comme des locaux d'activité.

Art. 2. – Pour les établissements d'enseignement autres que les écoles maternelles, l'isolement acoustique standardisé pondéré $D_{r,A}$ entre locaux doit être égal ou supérieur aux valeurs (exprimées en décibels) indiquées dans le tableau ci-après :

LOCAL D'ÉMISSION →	LOCAL d'enseignement, d'activités pratiques, administration	LOCAL MÉDICAL, infirmerie, atelier peu bruyant, cuisine, local de rassemblement fermé, salle de réunions, sanitaires	CAGE d'escalier	CIRCULATION horizontale, vestiaire fermé	SALLE de musique, salle polyvalente, salle de sports	SALLE de restauration	ATELIER bruyant (au sens de l'article 8 du présent arrêté)
LOCAL DE RÉCEPTION ↓							
Local d'enseignement, d'activités pratiques, administration, bibliothèque, CDI, salle de musique, salle de réunions, salle des 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.

Les internats relèvent d'une réglementation spécifique.

Pour les écoles maternelles, l'isolement acoustique standardisé pondéré $D_{r,A}$ entre locaux doit être égal ou supérieur aux valeurs (exprimées en décibels) indiquées dans le tableau ci-après :

LOCAL D'ÉMISSION →	LOCAL DE RÉCEPTION ↓					
	SALLE de repos	SALLE d'exercice ou local d'enseignement (5)	ADMINISTRATION	LOCAL MÉDICAL, infirmerie	ESPACE D'ACTIVITÉS, salle d'évolution, salle de jeux, local de rassemblement fermé, salle d'accueil, salle de réunions, sanitaires (4), salle de restauration, cuisine, office	CIRCULATION horizontale, vestiaire
Salle de repos.	43 (1)	50 (2)	50	50	55	35 (3)
Local d'enseignement, salle d'exercice.	50 (2)	43	43	50	53	30 (3)
Administration, salle des professeurs.	43	43	43	50	53	30
Local médical, infirmerie	50	50	43	43	53	40

(1) Un isolement de 40 dB est admis en cas de porte de communication, de 25 dB si la porte est anti-pince-doigts.
(2) 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.
(3) Un isolement de 25 dB est admis en présence de porte anti-pince-doigts.
(4) Dans le cas de sanitaires affectés à un local, il n'est pas exigé d'isolement minimal.
(5) Notamment dans le cas d'un autre établissement d'enseignement voisin d'une école maternelle.

Art. 3. – La constitution des parois horizontales, y compris les revêtements de sols, et des parois verticales doit être telle que le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé $L'_{A,TW}$ du bruit perçu dans les locaux de réception énumérés dans les tableaux de l'article 2 ne dépasse pas 60 dB lorsque des chocs sont produits par la machine à chocs normalisée sur le sol des locaux normalement accessibles, extérieurs au local de réception considéré.

Si les chocs sont produits dans un atelier bruyant, une salle de sports, les valeurs de niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé, $L'_{A,TW}$, doivent être inférieures à 45 dB dans les locaux de réception visés ci-dessus.

Si les chocs sont produits dans une salle d'exercice d'une école maternelle, les valeurs de niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé, $L'_{A,TW}$, doivent être inférieures à 55 dB dans les salles de repos non affectées à la salle d'exercice.

Art. 4. – La valeur du niveau de pression acoustique normalisé $L_{A,T}$ du bruit engendré dans les bibliothèques, centres de documentation et d'information, locaux médicaux, infirmeries et salles de repos, les salles de musique par un équipement du bâtiment ne doit pas dépasser 33 dB(A) si l'équipement fonctionne de manière continue et 38 dB(A) s'il fonctionne de manière intermittente.

Ces niveaux sont portés à 38 et 43 dB(A) respectivement pour tous les autres locaux de réception visés à l'article 2.

Art. 5. – Les valeurs des durées de réverbération, exprimées en secondes à respecter dans les locaux sont données dans le tableau ci-après. Elles correspondent à la moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1 000, et 2 000 Hz. Ces valeurs s'entendent pour des locaux normalement meublés et non occupés.

LOCAUX MEUBLÉS NON OCCUPÉS	DURÉE DE RÉVERBÉRATION MOYENNE (exprimée en secondes)
Salle de repos des écoles maternelles; salle d'exercice des écoles maternelles; salle de jeux des écoles maternelles. Local d'enseignement; de musique; d'études; d'activités pratiques; salle de restauration et salle polyvalente de volume ≤ 250 m ³ . Local médical ou social, infirmerie; sanitaires; administration; foyer; salle de réunion; bibliothèque; centre de documentation et d'information.	$0,4 \leq Tr \leq 0,8$ s
Local d'enseignement, de musique, d'études ou d'activités pratiques d'un volume > 250 m ³ , sauf atelier bruyant (3).	$0,6 \leq Tr \leq 1,2$ s
Salle de restauration d'un volume > 250 m ³ .	$Tr \leq 1,2$ s
Salle polyvalente d'un volume > 250 m ³ (1).	$0,6 \leq Tr \leq 1,2$ s et étude particulière obligatoire (2)
Autres locaux et circulations accessibles aux élèves d'un volume > 250 m ³ .	$Tr \leq 1,2$ s si $250 \text{ m}^3 < V \leq 512 \text{ m}^3$ $Tr \leq 0,15 \sqrt[3]{V}$ s si $V > 512 \text{ m}^3$
Salle de sports.	Définie dans l'arrêté relatif à la limitation du bruit dans les établissements de loisirs et de sports pris en application de l'article L. 111-11-1 du code de la construction et de l'habitation.

(1) En cas d'usage de la salle de restauration comme salle polyvalente, les valeurs à prendre en compte sont celles données pour la salle de restauration.
(2) L'étude particulière est destinée à définir le traitement acoustique de la salle permettant d'avoir une bonne intelligibilité en tout point de celle-ci.
(3) Cf. article B.

Art. 6. – L'aire d'absorption équivalente des revêtements absorbants disposés dans les circulations horizontales et halls dont le volume est inférieur à 250 m³ et dans les préaux doit représenter au moins la moitié de la surface au sol des locaux considérés.

L'aire d'absorption équivalente A d'un revêtement absorbant est donnée par la formule :

$$A = S \times \alpha_w$$

où S désigne la surface du revêtement absorbant et α_w son indice d'évaluation de l'absorption.

On prendra l'indice α_w des surfaces à l'air libre des circulations horizontales, halls et préaux, égal à 0,8.

Les escaliers enclouonnés et les ascenseurs ne sont pas visés par le présent article.

Art. 7. – La valeur de l'isolement acoustique standardisé pondéré, D_{nTAC} , des locaux de réception cités dans l'article 2 vis-à-vis des bruits des infrastructures de transports terrestres est la même que celle imposée aux bâtiments d'habitation aux articles 5, 6, 7 et 8 de l'arrêté du 30 mai 1996 susvisé. Elle ne peut en aucun cas être inférieure à 30 dB.

Dans les zones définies par le plan d'exposition au bruit des aérodrômes, au sens de l'article L. 147-3 du code de l'urbanisme, l'isolement acoustique standardisé pondéré D_{nTA} des locaux de réception visés à l'article 2 est le suivant :

- en zone A : 47 dB ;
- en zone B : 40 dB ;
- en zone C : 35 dB.

Art. 8. – Les ateliers bruyants sont caractérisés par un niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, défini par la norme NFS 31-084, supérieur à 85 dB(A) au sens de l'article R. 235-11 du code du travail.

Ces locaux devront être conformes aux prescriptions de la réglementation relative à la correction acoustique des locaux de travail (arrêté du 30 août 1990 pris pour l'application de l'article R. 235-11 du code du travail et relatif à la correction acoustique des locaux de travail). Les résultats prévisionnels devront être justifiés par une étude spécifique aux locaux.

Art. 9. – Les limites énoncées dans les articles 2 à 5 s'entendent pour des locaux ayant une durée de réverbération de référence de 0,5 seconde à toutes les fréquences.

L'isolement acoustique standardisé pondéré au bruit aérien D_{nTA} entre deux locaux est évalué selon la norme NF EN ISO 717-1 (indice de classement S 31-032-1) comme étant égal à la somme de l'isolement acoustique standardisé pondéré D_{nTn} et du terme d'adaptation C.

L'isolement acoustique standardisé pondéré, D_{nTAC} , contre les bruits de l'espace extérieur est évalué selon la norme NF EN ISO 717-1 (indice de classement S 31-032-1) comme étant égal à la somme de l'isolement acoustique standardisé pondéré, D_{nTn} , et du terme d'adaptation C.

Le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé, L'_{nTn} , est évalué selon la norme NF EN ISO 717-2 (indice de classement S 31-032-2).

En ce qui concerne les bruits d'équipement, le niveau de pression acoustique normalisé, L_{CAIT} , est évalué selon la norme NFS 31-057.

L'indice d'évaluation de l'absorption, α_w , d'un revêtement absorbant est défini dans la norme NF EN ISO 11654 (indice de classement S 31-064) portant sur l'évaluation de l'absorption acoustique des matériaux utilisés dans le bâtiment.

La durée de réverbération d'un local, T_r , est mesurée selon la norme NFS 31-057.

Art. 10. – Les dispositions du présent arrêté sont applicables à tout établissement d'enseignement ayant fait l'objet d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration de travaux relatifs aux surélévations de bâtiments d'établissements d'enseignement existants et aux additions à de tels bâtiments, déposée à compter de six mois après la publication au *Journal officiel* de la République française du présent arrêté.

Art. 11. – L'arrêté du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement est abrogé.

Art. 12. – Le directeur général des collectivités locales, le directeur de l'enseignement scolaire, le directeur de l'enseignement supérieur, le directeur de la prévention des pollutions et des risques et le directeur général de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 25 avril 2003.

*Le ministre de l'écologie
et du développement durable,*
Pour la ministre et par délégation :
*Le directeur de la prévention
des pollutions et des risques,*
P. VESSIERON

*Le ministre de l'intérieur,
de la sécurité intérieure
et des libertés locales,*
Pour la ministre et par délégation :
*Le directeur général
des collectivités locales,*
D. BUR

*Le ministre de la jeunesse,
de l'éducation nationale et de la recherche,*
Pour la ministre et par délégation :
Le directeur du cabinet,
A. BOISSINOT

*Le ministre de l'équipement, des transports,
du logement, du tourisme et de la mer,*
Pour la ministre et par délégation :
*Le directeur général de l'urbanisme,
de l'habitat et de la construction,*
F. DELARUE

*Le ministre de la santé, de la famille
et des personnes handicapées,*
Pour la ministre et par délégation :
Par empêchement du directeur général
de la santé :
Le chef de service,
Y. COQUIN

Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements de santé

NOR : DEVP0320057A

Le ministre de l'intérieur, de la sécurité intérieure et des libertés locales, le ministre de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer, le ministre de l'écologie et du développement durable et le ministre de la santé, de la famille et des personnes handicapées,

Vu la directive 98/34/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques et des règles relatives aux services de la société de l'information, et notamment la notification n° 2001/523/F ;

Vu le code de la construction et de l'habitat, et notamment ses articles R. 111-23-1, R. 111-23-2 et R. 111-23-3 ;

Vu le code de l'urbanisme, et notamment son article L. 147-3 ;

Vu le code du travail, et notamment son article R. 235-2-11 ;

Vu le code de la santé publique ;

Vu le code de l'environnement, et notamment ses articles L. 571-1 à L. 571-25 ;

Vu le décret n° 95-20 du 9 janvier 1995 pris pour l'application de l'article L. 111-11-4 du code de la construction et de l'habitat et relatif aux caractéristiques acoustiques de certains bâtiments autres que d'habitation et de leurs équipements ;

Vu le décret n° 95-408 du 18 avril 1995 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage ;

Vu l'arrêté du 30 mai 1996 relatif au classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit ;

Vu l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France en date du 20 novembre 2001 ;

Vu l'avis du Conseil national du bruit en date du 25 mai 2000 et du 17 avril 2003,

Arrêtent :

Art. 1^{er}. – Conformément aux dispositions des articles R. 111-23-2 du code de la construction et de l'habitat et L. 147-3 du code de l'urbanisme, le présent arrêté fixe les seuils de bruit et les exigences techniques applicables aux établissements de santé régis par le livre I^{er} de la partie VI du code de la santé publique.

Il s'applique aux bâtiments neufs ou parties nouvelles de bâtiments existants.

Art. 2. – L'isolement acoustique standardisé pondéré, D_{nTn} , exprimé en dB, entre les différents types de locaux doit être égal ou supérieur aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après.

ANNEXE II

Décret exécutif n°93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits

Le Chef du Gouvernement,

Sur le rapport du ministre de l'éducation nationale,

Vu la Constitution, notamment ses articles 81 et 116;

Vu la loi n°82-02 du 6 février 1982 relative au permis de construire et de lotir;

Vu la loi n°83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement;

Vu la loi n°85-05 du 16 février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé, modifiée et complétée;

Vu la loi n°87-03 du 27 janvier 1987 relative à l'aménagement du territoire;

Vu la loi n°87-09 du 10 février 1987 relative à l'organisation, la sécurité et à la police de la circulation routière;

Vu le décret n°87-91 du 21 avril 1987 relatif à l'étude d'impact d'aménagement du territoire;

Vu le décret n°88-149 du 26 juillet 1988 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature;

Vu le décret présidentiel n°92-304 du 8 juillet 1992 portant nomination du Chef du Gouvernement;

Vu le décret présidentiel n°92-307 du 19 juillet 1992, modifié et complété, portant nomination des membres du Gouvernement;

Vu le décret exécutif n°90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement;

Décrète:

Article 1er. - Le présent décret a pour objet de réglementer l'émission des bruits et ce 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. 5. - Les méthodes de caractérisation et de mesurage des bruits sont effectuées conformément aux normes algériennes en vigueur.

Art. 6. - Toute personne physique ou morale exploitant des activités exigeant l'emploi de moteurs, d'outils, de machines, d'équipements ou d'appareils générateurs de bruits de niveaux supérieurs aux valeurs limites telles que définies par le présent décret est tenue de mettre en place des dispositifs d'insonorisation ou des aménagements appropriés de nature à éviter d'incommoder la population ou de nuire à sa santé.

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.

Un arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat et du ministre chargé de l'environnement définit les modalités d'application du présent article.

Art. 9. - Les engins de chantier dotés de moteurs à explosion ou à combustion interne, les brises béton, les marteaux piqueurs, les groupes électrogènes de puissance, les groupes moto compresseurs, les compresseurs et les supprimeurs doivent être munis d'un dispositif d'insonorisation ou d'atténuation de bruit lorsqu'ils sont utilisés à moins de 50 m des locaux à usage d'habitation ou des lieux de travail.

Un arrêté conjoint du ministre chargé de la normalisation et du ministre chargé de l'environnement précisera les limites des niveaux sonores émis par chaque type de matériel et d'équipement.

Art. 10. - Sont interdites les réparations et mises au point des véhicules à moteurs et motocyclettes sur tous les lieux publics ou privés lorsqu'elles sont de nature à gêner ou à nuire à la santé du voisinage.

Art. 11. - Est interdit tout bruit d'animal susceptible de troubler la tranquillité du voisinage lorsqu'il est causé entre 22 h et 06 h 00.

Les propriétaires et possesseurs d'animaux sont responsables du bruit que ces animaux peuvent causer.

Art. 12. - Les dispositions prévues aux articles 6, 7, 8, 9 et 10 ci-dessus doivent être satisfaites au plus tard, deux années à compter de la date de publication du présent décret au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Art. 13. - Toutes infractions au présent décret sont sanctionnées conformément aux dispositions de l'article 129 de la loi n°83-03 du 5 février 1983 susvisée.

Art. 14. - Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 27 juillet 1993.

Bélaid ABDESSELAM.

ANNEXE III

La loi 03-10 du 19 Juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable formule dans son. Chapitre II.

20 Joumada El Oula 1424 20 juillet 2003	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 43	15
<p style="text-align: center;">Chapitre 6</p> <p style="text-align: center;">De la protection du cadre de vie</p> <p>Art. 65. — Sans préjudice des dispositions législatives en vigueur relatives à l'urbanisme, et sous réserve des considérations de protection de l'environnement, les bosquets, les jardins publics, les espaces de loisirs et tout espace d'intérêt collectif concourant à l'amélioration du cadre de vie, sont classés.</p> <p>Les modalités de ce classement sont fixées par voie réglementaire.</p> <p>Art. 66. — Toute publicité est interdite :</p> <ol style="list-style-type: none">1) sur les immeubles classés parmi les monuments historiques,2) sur les monuments naturels et les sites classés,3) dans les aires protégées,4) sur les édifices des administrations publiques,5) sur les arbres. <p>La publicité sur les immeubles présentant un caractère esthétique ou historique, peut être interdite selon des modalités définies par voie réglementaire.</p> <p>Art. 67. — Sous réserve des dispositions de l'article 66 ci-dessus, la publicité est admise dans les agglomérations; elle doit toutefois satisfaire, notamment en matière d'emplacement, de surface, de hauteur et d'entretien aux prescriptions fixées par la réglementation en vigueur.</p> <p>Art. 68. — L'installation des préenseignes est soumise aux dispositions qui régissent la publicité.</p> <p>Les prescriptions générales relatives à l'installation des enseignes et des préenseignes et à leur entretien sont fixées par voie réglementaire.</p>	<ol style="list-style-type: none">2) aux substances chimiques pour leur utilisation dans les médicaments, les produits cosmétiques et d'hygiène corporelle, les matériaux au contact de denrées alimentaires, les produits phytosanitaires à usage agricole, les matières fertilisantes et supports de culture, les matières utilisées à titre d'additifs dans les aliments, les explosifs et d'une manière générale, aux substances qui font l'objet d'une autre procédure de déclaration, d'homologation ou d'autorisation préalable à la mise sur le marché, visant à protéger l'homme et son environnement ;3) aux substances radioactives. <p>Art. 70. — La mise sur le marché de substances chimiques est soumise à des conditions, critères et modalités déterminés.</p> <p>Est fixée la liste des produits dangereux ainsi que toutes les mesures s'y rapportant y compris les interdictions totales ou partielles ainsi que toutes les limitations requises et les mesures de destruction, de naturalisation ou de réexportation.</p> <p>Les modalités d'application de cet article sont fixées par voie réglementaire.</p> <p>Art. 71. — Eu égard aux dangers que présentent les substances chimiques, l'autorité compétente peut subordonner la mise sur le marché de substances chimiques, inscrites ou non sur la liste prévue à l'article 70 ci-dessus, à la fourniture, par le producteur ou l'importateur, de l'un ou de plusieurs des éléments suivants :</p> <ol style="list-style-type: none">1) la composition des préparations mises sur le marché et contenant la substance ;2) les échantillons de la substance ou les préparations en contenant ;3) les données chiffrées précises sur les quantités de substances pures ou en préparation qui ont été mises sur le marché ou diffusées, ventilées suivant les différents usages ;4) toutes les informations complémentaires sur les effets vis-à-vis de l'homme et de l'environnement.	
<p style="text-align: center;">TITRE IV</p> <p style="text-align: center;">PROTECTION CONTRE LES NUISANCES</p> <p style="text-align: center;">Chapitre 1</p> <p style="text-align: center;">Des prescriptions de protection contre les substances chimiques</p> <p>Art. 69. — Les prescriptions de protection contre les substances chimiques ont pour objet de protéger l'homme et son environnement contre les risques qui peuvent résulter des substances, préparations et produits chimiques, tels qu'ils se présentent à l'état naturel ou qu'ils sont produits par l'industrie tant en l'état qu'incorporés dans les préparations.</p> <p>Les dispositions du présent chapitre ne s'appliquent pas :</p> <ol style="list-style-type: none">1) aux substances chimiques pour leur utilisation à des fins de recherche ou d'analyse ;	<p style="text-align: center;">Chapitre 2</p> <p style="text-align: center;">Des prescriptions de protection contre les nuisances acoustiques</p> <p>Art. 72. — Les prescriptions de protection contre les nuisances acoustiques ont pour objet, de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers nuisibles à la santé des personnes, à leur causer un trouble excessif ou à porter atteinte à l'environnement.</p> <p>Art. 73. — Sans préjudice des dispositions législatives en vigueur, les activités bruyantes exercées dans les entreprises, les établissements, les centres d'activités ou les installations publiques ou privées établis à titre permanent ou temporaire et ne figurant pas dans la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi que les activités bruyantes sportives et de plein air susceptibles de causer des nuisances sonores, sont soumises à des prescriptions générales.</p>	

Art. 74. — Lorsque les activités visées à l'article 73 ci-dessus sont susceptibles, par le bruit qu'elles provoquent, de présenter les dangers ou causer les troubles mentionnés à l'article 72 ci-dessus, elles sont soumises à autorisation.

La délivrance de cette autorisation est soumise à la réalisation de l'étude d'impact et de la consultation du public conformément aux conditions déterminées.

Sont fixées par voie réglementaire la liste des activités soumises à autorisation, les modalités de délivrance de l'autorisation, les prescriptions générales de protection, les prescriptions imposées à ces activités, les mesures de prévention, d'aménagement et d'isolation phonique, les conditions d'éloignement de ces activités des habitations ainsi que les méthodes selon lesquelles sont effectués les contrôles.

Art. 75. — Les dispositions de l'article 74 ci-dessus ne sont pas applicables aux activités et installations relevant de la défense nationale, des services publics de protection civile et de lutte contre l'incendie, ainsi qu'aux aménagements et infrastructures de transports terrestres soumis aux dispositions de textes législatifs spécifiques.

TITRE V

DISPOSITIONS PARTICULIERES

Art. 76. — Les entreprises industrielles qui importent des équipements leur permettant d'éliminer ou de réduire dans leur processus de fabrication ou dans leurs produits les gaz à effet de serre ou de réduire toute forme de pollution, bénéficient d'incitations financières et douanières qui seront précisées par la loi des finances.

Art. 77. — Les personnes physiques ou morales qui entreprennent des actions de promotion de l'environnement bénéficient d'une déduction sur le bénéfice imposable.

Cette déduction est fixée par la loi de finances.

Art. 78. — Il est créé un prix national en matière de protection de l'environnement.

Les modalités d'application de cet article sont fixées par voie réglementaire.

Art. 79. — L'enseignement de l'environnement est introduit dans les programmes d'enseignement.

Art. 80. — En matière de protection contre les risques majeurs, sont définies :

- les procédures d'évaluation des risques au niveau des zones et des pôles industriels, ainsi qu'au niveau des grands ouvrages ;

- les procédures de développement d'espaces verts dans les grands centres urbains.

Les modalités d'application de cet article sont fixées par voie réglementaire.

TITRE VI

DISPOSITIONS PENALES

Chapitre 1

Des sanctions relatives à la protection de la diversité biologique

Art. 81. — Quiconque a, sans nécessité, abandonné et, publiquement ou non, exercé des sévices graves ou commis un acte de cruauté envers un animal domestique ou apprivoisé ou tenu en captivité, est puni d'un emprisonnement de dix (10) jours à trois (3) mois et d'une amende de cinq mille dinars (5.000 DA) à cinquante mille dinars (50.000 DA) ou de l'une de ces deux peines seulement.

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Art. 82. — Sont punies d'une amende de dix mille dinars (10.000 DA) à cent mille dinars (100.000 DA), les infractions aux dispositions de l'article 40 de la présente loi.

Sera punie de la même peine toute personne qui :

- exploite un établissement d'élevage d'animaux d'espèces non domestiques, et procède à leur vente, leur location, leur transit ou un établissement destiné à la présentation au public de spécimens vivants de la faune locale ou étrangère sans l'obtention de l'autorisation requise en vertu de l'article 43 ci-dessus ;

- détient un animal domestique, un animal sauvage ou apprivoisé sans respecter les règles de détention mentionnées à l'article 42 ci-dessus.

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Chapitre 2

Des sanctions relatives aux aires protégées

Art. 83. — Sont punies d'un emprisonnement de dix (10) jours à deux (2) mois et d'une amende de dix mille dinars (10.000 DA) à cent mille dinars (100.000 DA) ou de l'une de ces deux peines seulement, les infractions à l'article 34 de la présente loi .

En cas de récidive, la peine est portée au double.

Chapitre 3

Des sanctions relatives à la protection de l'air et de l'atmosphère

Art. 84. — Est punie d'une amende de cinq mille dinars (5000 DA) à quinze mille dinars (15.000 DA), toute personne dont le comportement contrevenant aux prescriptions visées à l'article 47 de la présente loi, engendre une pollution atmosphérique.

En cas de récidive d'une peine d'emprisonnement de deux (2) mois à six (6) mois et d'une amende de cinquante mille dinars (50.000 DA) à cent cinquante mille dinars (150.000DA) ou de l'une de ces deux peines seulement.

ANNEXE IV

République Démocratique Populaire Algérienne
Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger
EPAU
Laboratoire : Architecture, construction et environnement.

ENTRETIEN pour les enfants

Cet entretien est réalisé dans le cadre d'une recherche de master intitulée " Confort acoustique des établissements scolaire ", il se fera entre les élèves et leur enseignant qui est notre interlocuteur auprès de ces derniers et nous permettra d'obtenir la confiance des enfants plus facilement , de vulgariser le thème et de l'adapter. Il est destiné aux élèves des cas d'étude.

Les questions y sont simples et en langue arabe permettant aux enfants de comprendre et de répondre en toute liberté.

1- Que signifie le bruit pour vous ?

1 - ما معنى الضجيج ؟

.....

2- Qu'est ce qui vous dérange dans votre salle de classe ?

2- ما يزعجك في قسّمك؟

.....

3- Est ce que le bruit du mobilier (chaises et tables) vous dérange ?

- Oui
- Non

3- هل صوت الأثاث (الكراسي والطاولات) يزعجك

.....

4-Y'a -t- il un bruit quelconque qui perturbe le déroulement du cours ?

- Si oui , lequel ?

4- هل يوجد نوع خاص من الضجيج يزعج الدرس ؟

.....

5- Vous arrive t-il de ne pas entendre les propos de votre enseignante ?

- Oui
 Non

6- Vous arrive -t- il d'entendre le bruit (enseignante et élèves) de la classe mitoyenne ou celle d'en face ?

- Oui
 Non

5- هل تسمعون أصوات قادمة من القسم المجاور أو ؟ المقابل

.....

7- Est ce que arrivez a vous concentrer quand d'autres enfants pratiquent du sport au niveau de la cour d'école ?

- Oui
 Non

6- هل يمكنكم التركيز عندما التلاميذ الاخرون يمارسون الرياضة في الساحة ؟

.....

8- Est ce que vous entendez le bruit des voitures qui passent ?

- Oui
 Non

7- هل تسمعون أصوات السيارات ؟ المارة

.....

ANNEXE V

République Démocratique Populaire Algérienne
Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger
EPAU

Laboratoire : Architecture, construction et environnement.

QUESTIONNAIRE :

Ce questionnaire est réalisé dans le cadre d'une recherche de master intitulée " Confort acoustique des établissements scolaire " dont l'objectif est de définir toutes les sources de bruit et de gêne qui empêchent le bon déroulement de la vie à l'école en général et celui des cours en particulier pour arriver à instaurer un niveau de confort sonore propice à l'apprentissage et des espaces en harmonie avec l'environnement au niveau des écoles Algériennes.

Matière enseignée :

Etablissement :

Classe :

Nombre d'élèves :

1. Etes vous généralement satisfait de votre environnement acoustique ?

هل أنت راضي عموما بالبيئة الصوتية للمدرسة؟

.....

2. Comment définissez-vous le confort acoustique ?

كيف تعرف الراحة الصوتية ؟

.....

.....

3. Comment définissez-vous l'inconfort acoustique ?

كيف تعرف الإزعاج الصوتي ؟

.....

.....

4. Quelle est la source de bruit qui vous gène le plus ?

ما هو مصدر للضجيج الذي يزعجكم الاكثر ؟

.....
.....

5. Est ce que les nuisances sont plus importantes à une période particulière de la journée ?

Si oui , a quel moment ?

هل يزداد الضجيج في وقت خاص من اليوم ؟

إذا كان ،نعم ما هو الوقت؟

.....
.....

6. Vous arrive-t- il de répéter une phrase plusieurs fois pour que les élèves vous entendent ?

- Oui
 Non

هل سبق لك تكرار جملة عدة مرات حتى أن يسمع التلاميذ؟

- نعم
 لا

7. Vous arrive-t- il d'arrêter le cours à cause d'un bruit provenant de l'extérieur ?

- Oui
 Non

هل سبق لك أن تقف الدرس بسبب الضوضاء الصادرة من الخارج ؟

- نعم
 لا

8.Est ce que vous perdez l'attention des enfants à cause de ce qui se passe à l'extérieur de la classe ?

هل تفقد انتباه الأطفال بسبب ما يحدث خارج القسم؟

نعم

لا

9.Vous arrive-t- il de ne pas ouvrir les fenêtres à cause du bruit ?

Oui

Non

هل سبق لك عدم فتح النوافذ بسبب الضوضاء ؟

نعم

لا

10.Est-ce que vous pensez que l'inconfort acoustique provienne des salles mitoyennes ou celles d'en face ?

هل تعتقد أن الازعاج الصوتي صادر من القسم المجاور او المقابل ؟

.....
.....

11. Est ce que l'inconfort acoustique au niveau de la salle de cours est lié : Au mobilier (chaise, table et estrade) ?

Oui

Non

هل الازعاج الصوتي قادم من صوت الاثاث ؟

نعم

لا

12. Avoir u bon niveau acoustique, vous servira-t- il à obtenir une meilleure concentration des enfants ?

- Oui
 Non

هل يمكنكم الحصول على احسن تركيز من طرف الاطفال بمستوى صوتي جيد ؟

- نعم
 لا

13. D'après vous quels sont les problèmes relatifs à cet environnement et que suggérez-vous pour l'améliorer ? Indiquez le changement que vous souhaiteriez ?

بالنسبة لكم , ماهي المشاكل المتعلقة بهذه البيئة و ماذا تقترحون لتحسينها ؟

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

Merci pour votre collaboration.

شكرا لكم على مساعدتكم .

Annexe VI

Quelques exemplaires des questionnaires contenant les réponses des enseignants

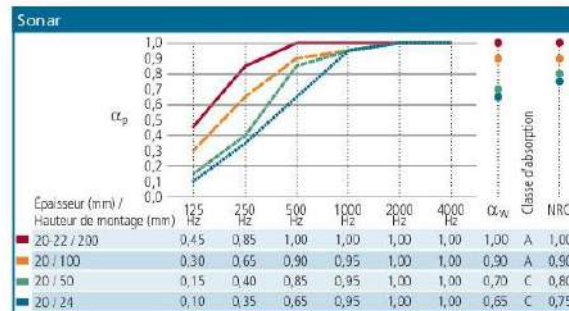
Annexe VII

Fiche technique du plafond acoustique choisi pour la mise à la norme



ABSORPTION ACOUSTIQUE

L'absorption acoustique a été mesurée selon la norme ISO 354. Les diverses données relatives à l'absorption acoustique (α_p , α_w et classe d'absorption) ont été calculées dans le respect de la norme ISO 11654.



PROTECTION INCENDIE

Généralités : Les produits ROCKFON sont essentiellement composés de laine de roche. La laine de roche est un matériau incombustible dont le point de fusion dépasse les 1000 °C.

Réaction au feu : Euroclasse A1 selon la norme EN 13501-1.



RÉSISTANCE À L'HUMIDITÉ ET RÉSISTANCE À LA FLEXION

Les produits ROCKFON sont stables au niveau dimensionnel même dans des conditions d'humidité allant jusqu'à 100 %. Ils peuvent être mis en œuvre dans des conditions de température de 0 °C à 40 °C. Aucune acclimatation n'est nécessaire.

Sonar a été testé 1/C/0N selon la norme NF EN 13964. Cependant, certains formats de modules (largeur supérieure à 700 mm) sont classés 2/C/0N.

(Essai CSTB selon la norme NF EN 13964 sous des conditions 95(+/-5)% RH, 20(+/-2) °C).



RÉFLEXION À LA LUMIÈRE

La finition blanche offre un taux de réflexion à la lumière de 85 % selon la norme ISO 7724-2.



CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

Les produits d'une épaisseur supérieure ou égale à 30 mm ont été mesurés selon la norme EN 12657 et ont obtenu la valeur : $\lambda_{0,02} = 40$ mW/mK.

Résistance thermique : $R = 0,50$ m²·K/W



HYGIÈNE

La laine de roche ne contient aucun élément nutritif et ne permet pas le développement de micro-organismes.



ÉMISSION PARTICULAIRE

Rapport CERA LABO 6.04.040. L'émission particulaire de Sonar est classée ISO 5 selon la norme ISO 14644-1.



ENTRETIEN

La surface Sonar peut être aspirée à l'aide d'une brosse souple. Elle peut également être nettoyée à l'eau tiède (max. 40 °C) avec une éponge ou un chiffon, à l'aide d'un détergent légèrement alcalin (pH compris entre 7 et 9), sans alcool, ni ammoniac, ni chlorure. Nous recommandons le nettoyage de la totalité de la surface du panneau afin de conserver un aspect uniforme.



ENVIRONNEMENT

Une sélection représentative de plafonds ROCKFON bénéficie des labels Indoor Climate danois et Indoor Climate finlandais (M1) qui évaluent l'innocuité des produits de construction sur la qualité de l'air intérieur.

Sonar est recyclable. La laine de roche bénéficie de la classification EUCEB.

F.D.E.S.

Sonar dispose d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (F.D.E.S.) disponible sur www.inies.fr

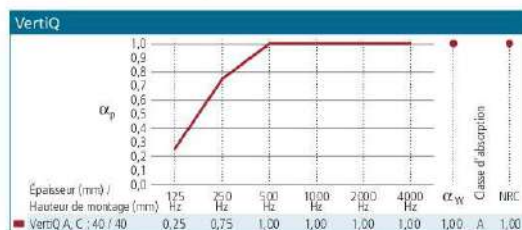
Fiche technique des panneaux muraux acoustiques choisis pour la mise à la norme

VertiQ®



ABSORPTION ACOUSTIQUE

L'absorption acoustique a été mesurée selon la norme ISO 354. Les diverses données relatives à l'absorption acoustique (α_p , α_w et classe d'absorption) ont été calculées dans le respect de la norme ISO 11654.



PROTECTION INCENDIE

Généralités : Les produits ROCKFON sont essentiellement composés de laine de roche. La laine de roche est un matériau incombustible dont le point de fusion dépasse les 1000 °C.

Réaction au feu : Euroclasse A2-s1,d0 selon la norme EN 13501-1.



RÉSISTANCE AUX CHOCS

Les performances de résistance aux chocs des panneaux VertiQ montés en système HAT ont été testées en laboratoire officiel, selon la norme DIN 18032 Part 3. Les classifications de résistance aux chocs confirment que le système est durable, sûr et fonctionnel lorsqu'il est soumis à plusieurs impacts de balles de handball (vitesse de 85km/h) et de balles de hockey (vitesse de 65km/h).

Les panneaux VertiQ A ont également subi des tests de résistance à la perforation et aux impacts mécaniques, selon la norme NFP 08-301. Les résultats de ces tests confirment que les petits objets de diamètre supérieur à 12 mm et les différents types de balles (vitesse jusqu'à 180km/h) ne causent aucune dégradation apparente et que l'aspect visuel des panneaux reste intact.

VertiQ A et C sont parfaitement adaptés aux locaux sportifs, dans des conditions normales d'utilisation. En revanche, ils ne résistent pas aux dégradations volontaires.



RÉSISTANCE À L'HUMIDITÉ ET RÉSISTANCE À LA FLEXION

Les produits ROCKFON sont stables au niveau dimensionnel même dans des conditions d'humidité allant jusqu'à 100%. Ils peuvent être mis en œuvre dans des conditions de température de 0 °C à 40 °C. Aucune acclimation n'est nécessaire.

Résistance à la corrosion : VertiQ C installé en Système Q convient à une utilisation en piscine si les panneaux ne sont pas directement soumis à la condensation et aux projections d'eau. Nous contacter pour plus d'informations.



RÉFLEXION À LA LUMIÈRE

Blanc : 72 %
Gris foncé : 33 %
Noir : 5 %
Réflexion à la lumière mesurée selon la norme ISO 7724-2.



HYGIÈNE

La laine de roche ne contient aucun élément nutritif et ne permet pas le développement de micro-organismes.



ENTRETIEN

La surface VertiQ peut être aspirée à l'aide d'une brosse souple.



ENVIRONNEMENT

Une sélection représentative de plafonds ROCKFON bénéficie des labels Indoor Climate danois et Indoor Climate finlandais (M1) qui évaluent l'innocuité des produits de construction sur la qualité de l'air intérieur.

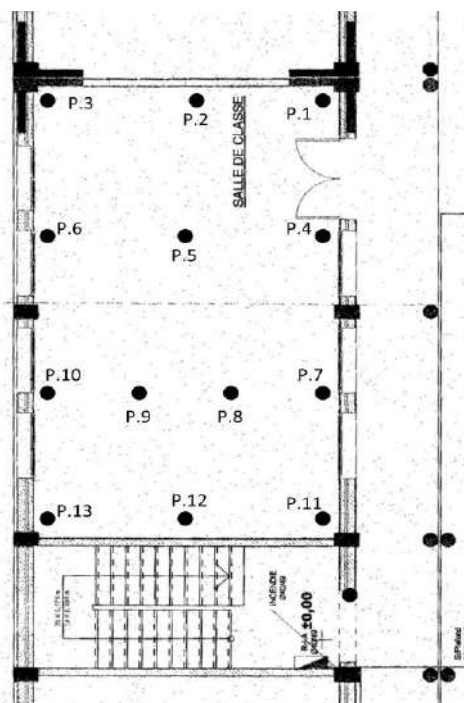
VertiQ est recyclable. La laine de roche bénéficie de la classification EUCEB.

Annexe VIII

Elle représente la synthèse des mesures prises dans la deuxième salle de classe pendant la première campagne à différents points. ces derniers ont été utilisés afin de calculer l'isolement entre les deux classes mitoyennes :

Tableau 8 : Valeurs des niveaux de bruit de la salle de classe selon les fréquences.

Points	Li max	Li min	Li moy
Point 1	66	61.5	63.75
Point 2	64.8	59.4	62.2
Point 3	60.7	55.3	58
Point 4	60.1	57.4	58.75
Point 5	65.2	61.5	63.35
Point 6	57.2	53.3	55.25
Point 7	68.3	63.8	66.03
Point 8	63.9	59.5	61.7
Point 9	60.3	55.1	57.7
Point 10	68.3	63.9	66.1
Point 11	57.1	52.2	54.65
Point 12	61.2	55.7	58.45
Point 13	60.7	54.5	57.6
Li moyen	62.6	57.93	60.53



Présentation de la salle de cours (2) :

Surface : 59.42 m²

Orientation : Nord / Sud

Capacité d'accueil : 26 élèves.

Emplacement : 1er étage , accessible depuis une coursive. Elle est mitoyenne a une salle de cours à l'ouest et à la cage d'escalier à l'est.

Annexe IX

Calcul de la fréquence critique de la première paroi

$$f_c = \frac{c^2}{1.9e} \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

Fréquences	c	e	Masse volumique	E
Indice d'affaiblissement R (dB(A)) Brique creuse.	344	0.15	655	$1.5 \cdot 10^9$

$$f_c = 274.37 \text{ Hz}$$

Annexe X

Détail de l'indice d'affaiblissement de la surface pleine de la double paroi.

Calcul du de l'indice d'affaiblissement de la paroi double :

1- Masses volumiques :

$$\sigma \text{ brique creuse (10cm)} = 845 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma \text{ brique creuse (15cm)} = 655 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma \text{ enduit plâtre} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\sigma \text{ enduit ciment} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

2- Masses surfaciques :

$$\text{- Paroi extérieure 15cm + Enduit ciment 2cm : } m_{\text{paroi extérieure}} = 138.25 \text{ kg/m}^2$$

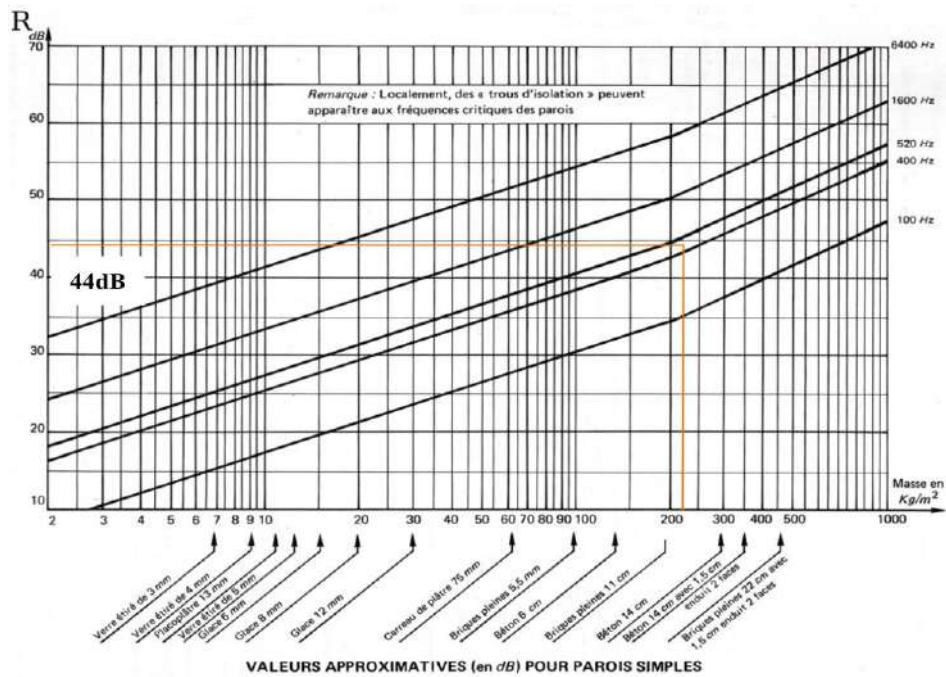
$$\text{- Paroi intérieure 10 cm + Enduit plâtre 1cm : } m_{\text{paroi intérieure}} = 94.5 \text{ kg/m}^2$$

$$m_{\text{totale}} = 232.75 \text{ kg/m}^2$$

3- Indice d'affaiblissement :

Selon l'abaque de la loi de masse :

$$R(500) = 44 \text{ dB}$$



Annexe XI

Calcul de l'indice d'affaiblissement Req de la paroi double avec différentes fréquences :

$$Req(500) = 10 \log \left(31.3 (20.06 \cdot 10^{-\frac{44}{10}}) + (7.8 \cdot 10^{-\frac{22}{10}}) + (2.58 \cdot 10^{-\frac{28}{10}}) + (0.86 \cdot 10^{-\frac{22}{10}}) \right)$$

15		(Radians / Real Numbers)
Input	$10 \log \left(\frac{31.3}{(20.06 \cdot 10^{-4.4}) + (7.8 \cdot 10^{-2.2}) + (2.58 \cdot 10^{-2.8}) + (0.86 \cdot 10^{-2.2})} \right)$	
Output	$-10 \log \left(\frac{129}{1565 \cdot 10^{2.8}} + \frac{433}{1565 \cdot 10^{2.2}} + \frac{1003}{1565 \cdot 10^{4.4}} \right)$	
Decimal Output	27.2081915415916	

L'indice d'affaiblissement Req des autres fréquences :

Req (250)

16		(Radians / Real Numbers)
Input	$10 \log \left(\frac{31.3}{(20.06 \cdot 10^{-4}) + (7.8 \cdot 10^{-1.8}) + (2.58 \cdot 10^{-2.4}) + (0.86 \cdot 10^{-1.8})} \right)$	
Output	$-10 \log \left(\frac{129}{1565 \cdot 10^{2.4}} + \frac{433}{1565 \cdot 10^{1.8}} + \frac{1003}{15650000} \right)$	
Decimal Output	23.2081915415916	

Req (1000)

17		(Radians / Real Numbers)
Input	$10 \log \left(\frac{31.3}{(20.06 \cdot 10^{-4.8}) + (7.8 \cdot 10^{-2.6}) + (2.58 \cdot 10^{-3.2}) + (0.86 \cdot 10^{-2.6})} \right)$	
Output	$-10 \log \left(\frac{129}{1565 \cdot 10^{3.2}} + \frac{433}{1565 \cdot 10^{2.6}} + \frac{1003}{1565 \cdot 10^{4.8}} \right)$	
Decimal Output	31.2081915415916	

Req (2000)

18		(Radians / Real Numbers)
Input	$10 \log \left(\frac{31.3}{(20.06 \cdot 10^{-5.2}) + (7.8 \cdot 10^{-3}) + (2.58 \cdot 10^{-3.6}) + (0.86 \cdot 10^{-3})} \right)$	
Output	$-10 \log \left(\frac{129}{1565 \cdot 10^{3.6}} + \frac{1003}{1565 \cdot 10^{5.2}} + \frac{433}{1565000} \right)$	
Decimal Output	35.2081915415916	

Annexe XII

Calcul de la fréquence critique de la deuxième paroi

$$f_c = \frac{c^2}{1.9e} \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

Fréquences	c	e	Masse volumique	Module de young E
Indice d'affaiblissement R (dB(A)) Brique creuse de la paroi intérieure	344	0.1	845	1.5*10 ⁹
Indice d'affaiblissement R (dB(A)) Brique creuse de la paroi extérieure (15cm)	344	0.15	655	1.5*10 ⁹

$$f_{c \text{ inter.}} = 467.46 \text{ Hz}$$

$$f_{c \text{ ext.}} = 274.4 \text{ Hz}$$

Annexe XIII

Calcul de la fréquence de résonance de la deuxième paroi

$$f_0 = 84 \sqrt{\left(\frac{1}{ms_1} + \frac{1}{ms_2}\right)} \sqrt{\frac{1}{d}}$$

$$f_0 = 84 \sqrt{\left(\frac{1}{138.25} + \frac{1}{94.5}\right)} \sqrt{\frac{1}{0.05}}$$

$$f_0 = 50.14 \text{ Hz}$$