

LA REHABILITATION ACOUSTIQUE DURABLE DES SALLES DE CONFERENCES : IMPACT DE LA PAILLE SUR LA CORRECTION ACOUSTIQUE DE LA SALLE DE CONFERENCE DU CENTRE CULTUREL MALEK HADDAD A CONSTANTINE.

Dalal Farid-Ibrir, Samira Debache-Benzagouta

Université Salah BOUBNIDER, Constantine 3

Reçu le 11/10/2016 – Accepté le 07/12/2017

Résumé

La présente recherche s'articule autour d'une étude critique sur la caractérisation acoustique de la salle de conférence du centre culturel Malek Haddad. La modélisation et la simulation acoustique sur le logiciel Olive Tree Lab SUITE a permis de définir les performances des matériaux utilisés dans la réhabilitation acoustique. Les réponses impulsionnelles intégrées ont été mesurées pour déterminer les paramètres objectifs acoustiques : le temps de réverbération (TR), la clarté (C80), la force sonore (G), l'indice (D50) et l'intelligibilité de la parole (STI) selon les normes internationales ISO/DIS 3382-1 [1]. Suite à ces résultats, une recherche approfondie sur les matériaux écologiques disponibles a été entamée dans le but d'apporter des améliorations au cas étudié et la possibilité de généraliser les résultats. Notre choix a été fait sur les panneaux de paille épais 0,10 m recouvert par des panneaux MDF (Medium Density Fiber board ; qui sont des panneaux composites de fibres de bois à densité moyenne) perforés, et qui présentent deux objectifs ; protéger les matériaux absorbants contre les dommages et améliorer dans une large mesure leur apparence. Le rôle de la paille en tant que matériau absorbant s'est avéré capital dans l'optimisation du temps de réverbération et les autres indices de la qualité acoustique de la salle.

Mots clés : réhabilitation-acoustique des salles-correction- paille- matériau écologique- temps de réverbération - intelligibilité de la parole.

Abstract

The present research is based on a critical study on the acoustic characterization of the conference room of the Malek Haddad Cultural Center. Modeling and acoustic simulation on the Olive Tree Lab SUITE software enabled to define the performances of the materials used in acoustic rehabilitation. Integral impulse responses were measured to determine the acoustic objective parameters: reverberation time (TR), clarity (C80), sound force (G), index (D50) and speech intelligibility (STI) According to international standards ISO / DIS 3382-1. Following these results, an in-depth research on the available ecological materials was initiated with the aim of making improvements to the case studied and the possibility of generalizing the results. Our choice was made on 0.10 m thick straw board covered with perforated MDF (Medium Density Fiber Board) panels with two lenses; Protect absorbent materials from damage and improve their appearance to a large extent. The role of the straw as an absorbing material proved to be crucial in the optimization of the reverberation time and other indices of the acoustic quality of the room.

Keywords: rehabilitation - room acoustics - correction - straw - ecological material - reverberation time - speech intelligibility.

ملخص

يدور هذا البحث حول دراسة نقدية على التوصيف الصوتي لقاعة المؤتمرات في المركز الثقافي مالك حداد. حيث حددت النمذجة والمحاكاة الصوتية على برنامج Olive-Tree-Lab-SUITE الذي أتاح لنا معرفة أداء المواد المستخدمة في إعادة التأهيل الصوتي. تم قياس ردود دفعة متكاملة لتحديد المعايير الموضوعية الصوتية: وقت الصدى (RT)، الوضوح (C80)، البريق (L) المؤشر (D50) و وضوح الكلام (STI) وفقا للمعايير الدولية [1]. بعد هذه النتائج، تم الشروع في بحث معمق على المواد الصديقة للبيئة والمتاحة من أجل إدخال تحسينات على دراسة الحالة وإمكانية تعميم النتائج. وجاء خيارنا على ألواح من القش 0.10 متر مغطاة بألواح ليفية متوسطة الكثافة مثقبة، والتي لها غرضين. كمادة ماصة للصوت، حماية ضد التلف وتحسين إلى حد كبير المظهر. وقد ثبت دور القش كمادة امتصاص حاسمة في تحقيق الاستفادة المثلى من وقت الصدى وغيرها من مؤشرات الجودة الصوتية للقاعة.

الكلمات المفتاحية : إعادة التأهيل - صوتيات القاعات - تصحيح - القش - المواد الصديقة للبيئة - وقت الصدى - وضوح الكلام.

Introduction :

L'acoustique des salles de conférences est une discipline très spécifique, mais qui toutefois a fait l'objet d'études standards et plutôt générales. Les anciennes et les nouvelles conceptions de ces salles ne prennent pas en compte les principes acoustiques qui privilégient une intelligibilité optimisée et un temps de réverbération adéquat. C'est pourquoi, nous nous intéressons dans cet article, à travers une enquête expérimentale, à l'étude de la performance acoustique de la salle de conférence de MALEK HADDAD. L'objectif étant de caractériser la répartition de l'énergie sonore et la qualité acoustique, avant et après sa réhabilitation à l'aide d'une simulation du logiciel Olive Tree Lab SUITE et proposer des interventions adaptées aux corrections acoustiques en intégrant des matériaux durables.

II. MÉTHODOLOGIE ADOPTÉE :

Dans le cadre de ce travail, une analyse acoustique de la salle de conférence du centre culturel MALEK HADDAD a été établie à l'aide du logiciel Olive Tree Lab SUITE ce qui nous a permis de définir le temps de réverbération TR60 et les indices d'intelligibilité (C80, G, D50 et STI) avant et après réhabilitation. Les résultats obtenus ont été utilisés pour faire une comparaison entre les différents indices et leurs valeurs optimales selon les normes ISO/DIS 3382-1 [1]. Le temps de réverbération optimal de la salle a été calculé en utilisant la formule (2005a, 2005b, William et Joseph, 1999) : $T_{OPT-500} = 0.3 \log_{10} \frac{V}{s}$ [2].

Cette analyse nous a permis de définir, les défaillances acoustiques et les problèmes sonores de la salle. En conséquence, des propositions ont été suggérées pour améliorer la qualité acoustique et atteindre les valeurs optimales (Figure 1).

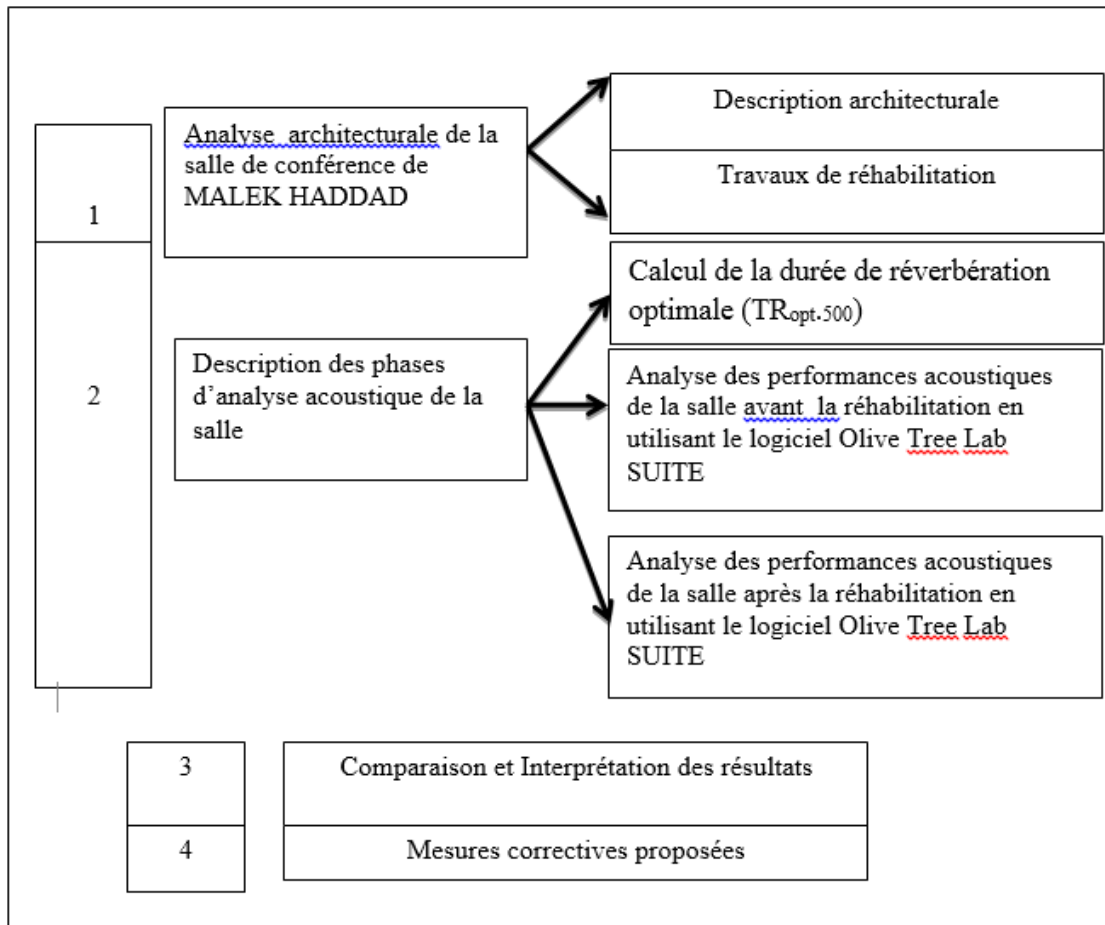


Figure 1 - Méthodologie adoptée. Source : auteur

III. MATERIELS UTILISE

Les outils utilisés lors de ce travail d'investigation sont :

- **Olive TreeLab Suite** : un logiciel couvrant un large éventail de domaines en acoustique: terrain, salles, bureau, il est un environnement unique, pratique, exact et précis de simulation acoustique basée sur l'état des méthodes de l'art. Il offre aux utilisateurs un laboratoire virtuel où ils peuvent expérimenter et étudier les effets des paramètres acoustiques et leurs conceptions.
- **AutoCAD** : un logiciel de dessin assisté par ordinateur (DAO) créé en décembre 1982 par Autodesk¹.
- **TrimbleSketchUp** : un logiciel de modélisation 3D, d'animation et de cartographie orienté vers l'architecture. Initialement édité par la société @Last Software (racheté ensuite par Google), ce logiciel se caractérise par des outils simples (rotation, extrusion, déplacement, etc.), qui en font un logiciel de 3D très différent des modeleurs 3D classiques. Il a été racheté en 2012 par la société Trimble².

IV. Analyse architecturale de la salle de conférence du centre culturel MALEK HADDAD :

IV.1.Présentation du centre culturel :

Le centre culturel MALEK HADDAD est considéré comme l'un des plus importants équipements culturels à Constantine ; il est situé dans la cité urbaine des combattants au sud du centre-ville de Constantine, Algérie (Figure 2). Le projet est entouré par des équipements résidentiels, pédagogiques et militaires. Il a été conçu par le bureau d'étude de la wilaya de Constantine (SAU), et inauguré le 16 avril 1996. Il a connu une opération de réhabilitation en 2014 par l'architecte Med Yzid Cheribet en collaboration avec l'architecte espagnole Marc Vidal.

Cet édifice comprend plusieurs ateliers (informatique, art plastique, musique, théâtre, etc...), une salle de conférence et un immense hall d'exposition ouvert au public.

IV.2.Description architecturale de la salle de conférence :

La salle de conférence de Malek Haddad est en forme d'éventail (Figure 3). Elle se compose de trois parties; scène, salle et balcon (Figure 4). La superficie totale des trois parties est de 785,25 m². Le volume total de la salle (y compris la scène et le volume au-dessus du plafond suspendu) est d'environ 5583,05 m³. La capacité totale de la salle est d'environ 620 spectateurs répartis entre le sol

(environ 74%) et le balcon (environ 26%). Avec cette capacité, la salle peut être considérée comme l'une des plus grandes salles de conférence de la ville de Constantine. Le tableau N°1 présente les données architecturales et géométriques les plus importantes de la salle.



Figure 2 - Plan de situation .Source : googleEarth 2017

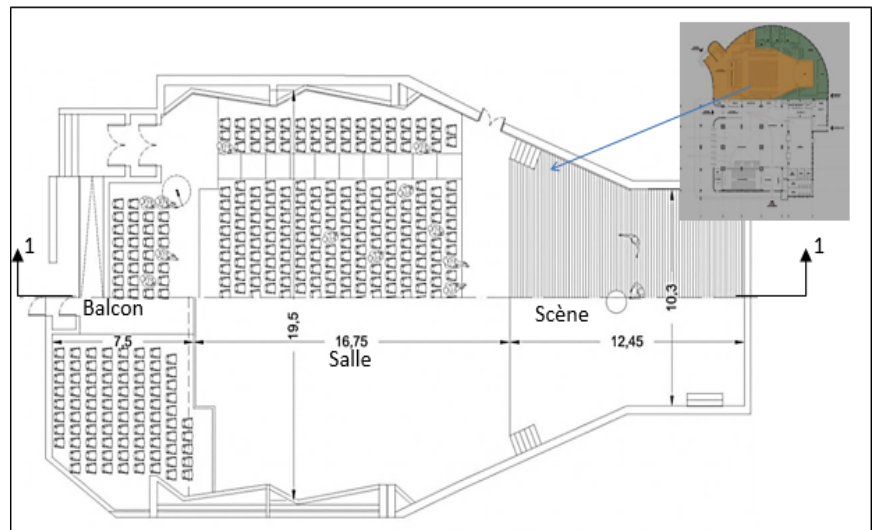


Figure 3 -Plan des deux niveaux de la salle. Source : auteur

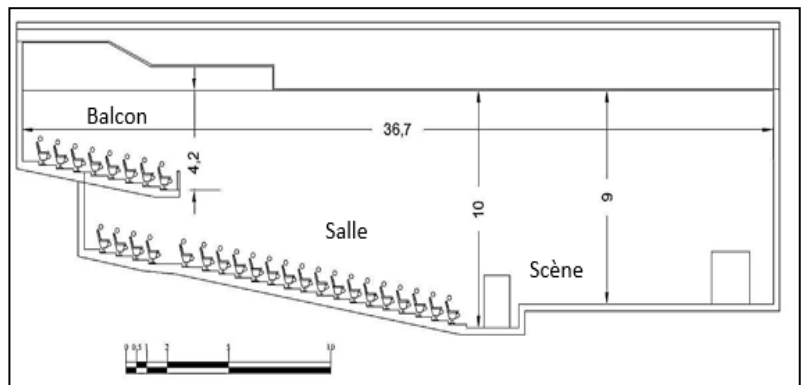


Figure 4 : Coup longitudinal 1.1. Source : auteur.

¹www.autodesk.fr/products/autocad-lt/overview

²<https://www.sketchup.com/fr>

Tableau 1. Données architecturales et géométriques de la salle de conférence [3]

Surface et périmètre							
Scène	Salle	Balcon	Total (sol + balcon)	Superficie nette d'audience		périmètre	Sh _r ^a m ⁻¹
				Salle	Balcon		
143	494,55	147,7	642,25	214,15	80,25	107,8	0,15
Volumes ^b (m ³)				Capacité max de. pers.		D _{MAX} ^d (m)	
Scène	Salle	Total	F _r ^c %	Sol	Balcon	Sol	Balcon
1716	3867,05	5583,05	1,27	460	160	14,8	25
Données géométriques							
Surface/personne (m ²)				Volume/personne (m ³)			
Net		Brut					
Sol	Balcon	Sol	Balcon	Sol	Sous le balcon	Balcon	
0,47	0,50	1,08	0,92	9,8	4,62	6,46	

^a Facteur de forme (principalement, c'est le rapport périmètre / surface)

^b Sous le plafond suspendu

^c Pour la pièce considérée, la hauteur de la salle est prise comme la hauteur moyenne, calculée comme suite : le volume total de la pièce / surface nette = 7.82 m

^d La distance entre la source sonore (située au milieu de l'étage) et l'auditeur distant

^e Calcul (surface brute / personne x hauteur moyenne de la salle, sous le balcon ou le balcon)

IV.2. Réhabilitation acoustique de la salle de conférence de MALEK HADDAD:

Les travaux de réhabilitation ont consisté à l'habillage de tous les murs et du plafond de la salle par les panneaux de **Placoplatre (BA13) perforé et la laine de roche** afin d'améliorer et renforcer la qualité acoustique sans modifier la forme. (Figure 5) et (Figure 6).



Figure 5 : La salle avant réhabilitation. (Source : Auteur)



Figure 6 : La salle après réhabilitation. (Source : Auteur)

V. Détermination des valeurs optimales des indices de la qualité acoustique :

V.1. Temps de réverbération- TR: le critère acoustique le plus important dans n'importe quelle salle de conférence. La meilleure conception phonique est celle qui assure aux oreilles une réception non distordue des sons de la parole. Cela nécessite de maintenir TR_{OPT-500} à sa limite inférieure acceptée. Une bonne approximation pour l'optimum TR_{OPT-500} dans une salle de parole (de volume V, m³) peut être obtenue à partir de la formule : TR_{OPT-500} = 0.3 log₁₀^V(s) [2]. Après le calcul nous avons obtenu un temps de réverbération optimal TR_{OPT-500} de 0,85 s.

V.2. Clarté sonore (C80) : elle représente le rapport de l'énergie parvenant à l'auditeur durant les 80 premières millisecondes à l'énergie arrivant après ces 80 ms jusqu'à l'extinction du signal exprimée en dB [4].

V.3. Force sonore G : est l'écart entre le niveau de pression acoustique L_p observé en un emplacement donné et le niveau de puissance acoustique de l'émission L_w elle est exprimée en dB [4].

V.4. Indice D50 : La clarté de la parole peut être évaluée objectivement par la mesure d'un paramètre dérivé de la réponse impulsionnelle de la salle, appelée «Deutlichkeit» D50 est défini comme le rapport de l'énergie sonore, directe et réfléchi, contenu dans les 50 premières minutes de la courbe de décroissance et de l'énergie totale de l'impulsion sonore exprimée en points de pourcentage. Le paramètre est calculé séparément par Olive TreeLab Suite pour chaque bande de fréquences de 63 Hz à 8000 Hz. La valeur obtenue à partir de la moyenne des bandes à 500 et 1000 Hz.

V.5. Intelligibilité la parole: dont l'indicateur est STI (Indices de Transmission de la Parole): La méthode du STI permet d'obtenir des mesures objectives de l'intelligibilité de la parole en pourcentage [4].

LA REHABILITATION ACOUSTIQUE DURABLE DES SALLES DE CONFERENCES : IMPACT DE LA PAILLE SUR LA CORRECTION ACOUSTIQUE DE LA SALLE DE CONFERENCE DU CENTRE CULTUREL MALEK HADDAD A CONSTANTINE.

Tableau 2. Les valeurs optimales sont obtenues selon ISO/DIS 3382-1 [1]

L'indice	Valeurs optimales selon ISO 3382-1[1]					
C80	-1dB<C80 _{opt} <+3dB En fréquence 500Hz et 1000 Hz					
G	1<G _{opt} <10 En fréquence 500Hz et 1000 Hz					
D80	-0,3<D50 _{opt} <+0,7					
STI	0	0,30	0,45	0,60	0,75	1
	Très mauvaise	mauvaise	satisfaisante	bonne	Très bonne	

VI. Analyse des performances acoustiques avant et après réhabilitation :

En utilisant le logiciel de SKETCHUP, un modèle 3D a été construit (Figure 7). Ce modèle contient tous les détails architecturaux et les différents matériaux de finition. Il comprend également les positions suggérées pour deux haut-parleurs en plus de la source sonore principale située au milieu de la scène à la position du locuteur. Le modèle a été analysé acoustiquement en utilisant le logiciel Olive Tree Lab SUITE pour calculer les indicateurs acoustiques considérés ; relatifs à l'intelligibilité de la parole et pour vérifier leur compatibilité avec leurs valeurs optimales, (Figure 8). En simulation, la salle était considérée comme étant occupée. Les coefficients d'absorption «α» pour les différentes faces des modèles ont été choisis dans le tableau standard donné par Olive Tree Lab SUITE, sauf pour la paille dont le «α» a été introduit au programme du logiciel (Tableau 3), [3]. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 3 : Coefficient d'absorption acoustique de la paille

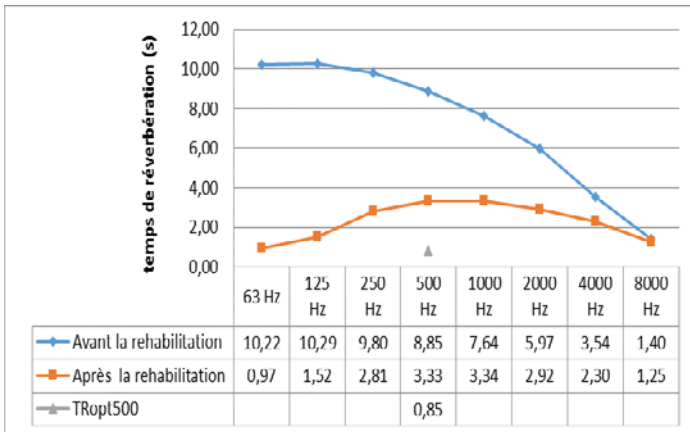
Matériau	Fréquences(Hz)							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Panneau de paille ep.10cm	-	0,21	0,25	0,63	0,96	0,92	-	-

Tableau 4 : Comparaison entre les différentes caractéristiques acoustiques de la salle avant et après réhabilitation et leurs valeurs optimales.

Indication	avant réhabilitation	après réhabilitation	Valeurs optimales
T60	temps réverbération haut, en particulier dans les bandes basses (125Hz) 10,29s et moyennes (1000Hz) 7,65 s.	TR60 a atteint 3.34s en moyenne fréquence et basse fréquence 0,97 s et en haute fréquence 1,25 s.	TR _{opt500} =0,85 s
C80	C80 en augmentation de- 6,51(63Hz) jusqu'au- 0,87(800Hz)	C80 en diminution de basse et moyenne fréquence de 2,06(63Hz) jusqu'au - 5,81(1000Hz) au minimum et après la courbe s'inverse a 1,32(8000Hz).	- 1dB<C80<+3 dB En fréquence 500Hz et 1000 Hz
G	G varie entre 25,05 dB en 8000Hz et 33,48 dB en 250 Hz	G varie entre 20,78 dB en 63Hz et 29,42 dB en 500 Hz	1<C80<10 En fréquence 500Hz et 1000 Hz
D50	indice D50 est de 0,10 de 63Hz au 2000Hz il augmente jusqu'à 0,26(8000Hz).	indice D50 est de 0,08 en moyenne fréquence et 0,18 en basse et haute fréquences.	- 0,3<C80<+0,7 En fréquence 500Hz et 1000 Hz
Indication	avant réhabilitation	après réhabilitation	Valeurs optimales
STI	0,19 Sur l'échelle de la qualité est très mauvais	0,39 Sur l'échelle de la qualité est très mauvais.	0 à 0,30 Très mauvais 0,30 à 0,45 mauvais 0,45 à 0,60 satisfaisant 0,60 à 0,75 bon 0,75 à 1 Très bon

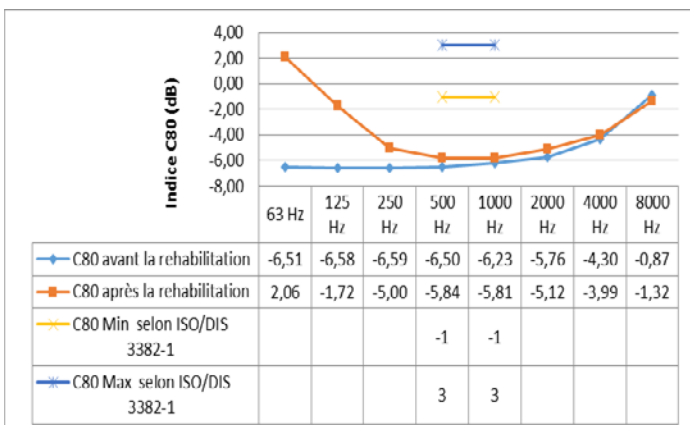
VII. Interprétation des résultats

- Les résultats ont montré que la réhabilitation a modifié en grande partie l'environnement acoustique de la salle de conférence, grâce à l'élimination des motifs de réflexion indésirables. La diminution représente jusqu'au -85% (125Hz), -62% (500Hz) et -35 (4000Hz) après les travaux de réhabilitation. Graphe 1.



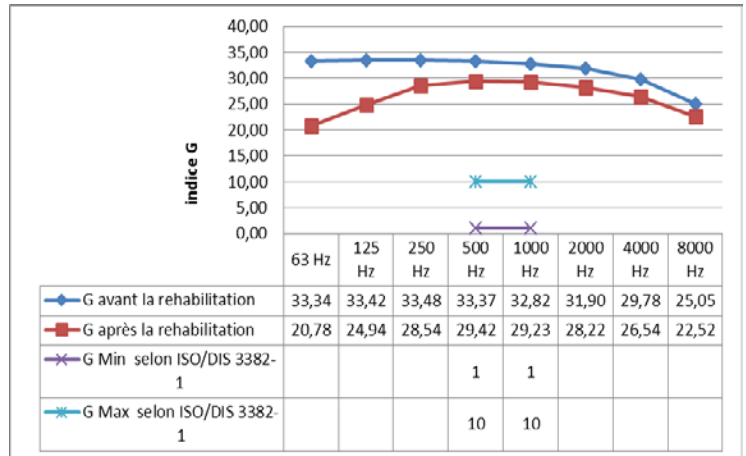
Graphe 1. Comparaison du temps de réverbération Avant et après la réhabilitation et TR_{opt500}

- Indice C80, les changements sont apparus entre 63 Hz et 500 Hz le reste des résultats sont presque identiques, Graphe 2.



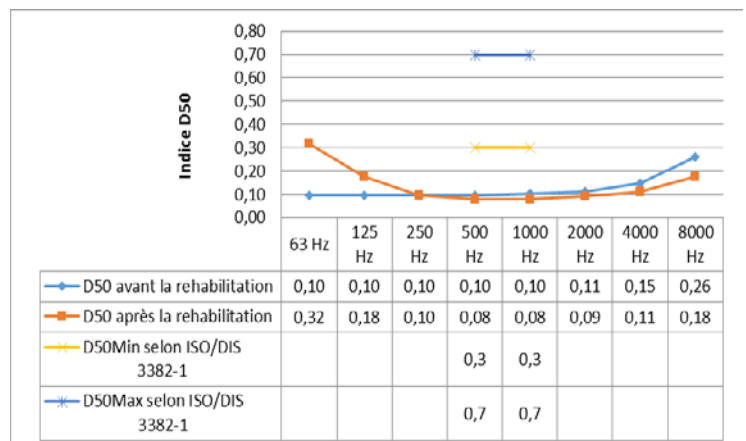
Graphe 2. IndiceC80 avant et après réhabilitation et les valeurs optimales

- Indice de G a eu une amélioration de 10% après les travaux Graphe 3.



Graphe 3. Indice G : avant et après la réhabilitation et les valeurs optimales.

-La réhabilitation n'a pas eu un impact sur l'indice D50 sauf une légère amélioration entre 63 Hz et 250 Hz Graphe 4.



Graphe 4. Indiced50 : avant et après la réhabilitation et les valeurs optimales.

Le dernier indice de l'intelligibilité STI est passé d'un état très mauvais à mauvais (voir Tableau 4). L'estimation préliminaire de l'absorption requise par Olive Tree Lab SUITE après la réhabilitation a dévoilé une amélioration de la qualité phonique de la salle mais elle n'a pas atteint les valeurs optimale TR_{opt500} et les recommandations de ISO/DIS 3382-1 [1] concernant le confort acoustique à l'intérieur de la salle.

VII. Mesures correctives proposées :

Afin d'améliorer le comportement acoustique de la salle Malek Haddad, l'introduction d'une série de mesures correctives est proposée dans deux conditions: écologique et économique.

La proposition de réhabilitation acoustique est basée sur l'introduction d'un revêtement absorbant dans des zones acoustiquement stratégiques (Figure 6), qui réduit le

LA REHABILITATION ACOUSTIQUE DURABLE DES SALLES DE CONFERENCES : IMPACT DE LA PAILLE SUR LA CORRECTION ACOUSTIQUE DE LA SALLE DE CONFERENCE DU CENTRE CULTUREL MALEK HADDAD A CONSTANTINE.

temps de réverbération actuel et à celui jugé optimal. Ce revêtement cherche également à améliorer d'autres paramètres tels que l'intelligibilité de la parole et la clarté, la réduction de l'énergie des longues réflexions et l'augmentation du rapport signal sur bruit aux différents points de réception. L'agencement des matériaux proposés pour le conditionnement acoustique de la salle est représenté sur la figure7 et figure8.

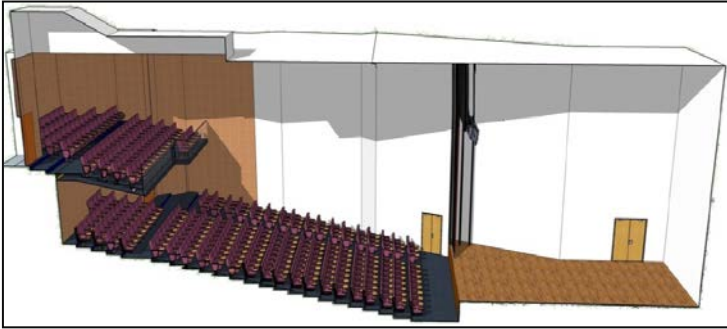


Figure 7. Coupe 3D longitudinale. Source : auteur

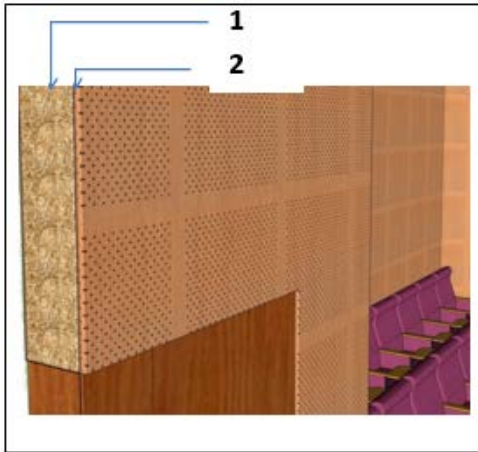
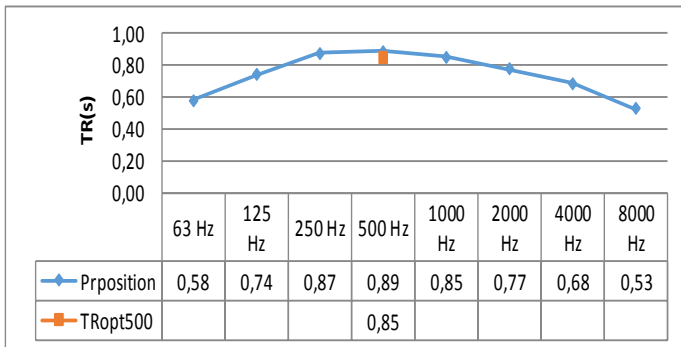
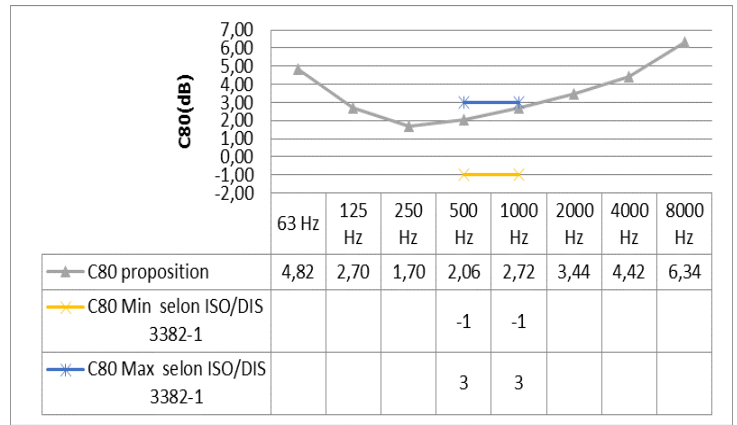


Figure 8.Détail du revêtement mural. Source : auteur

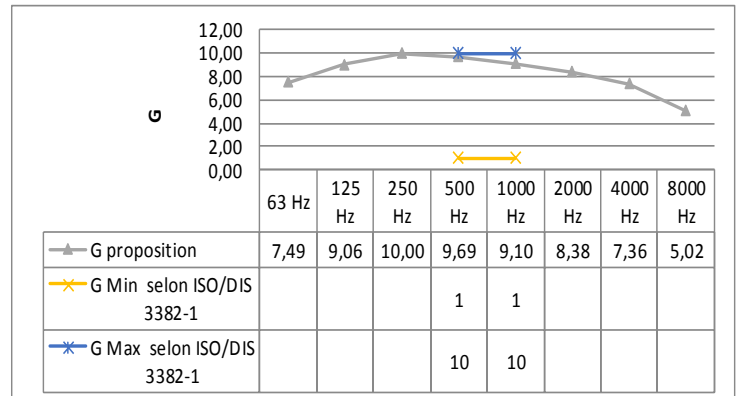
1-Panneau mural en paille Ep 10 cm densité 6 kg /m²
 2-panneau perforé en MDF, de 12 mm d'épaisseur soutenus par des crampons à 60 cm d'écart, Le pourcentage de perforation à 15% de la surface totale du panneau.



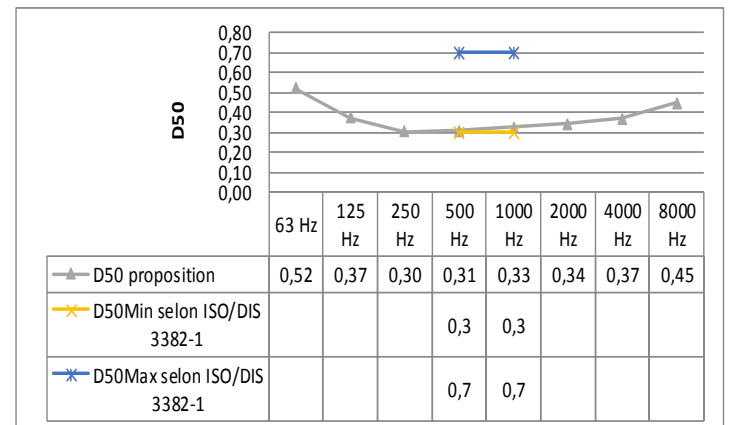
Graph 5. Le temps de réverbération de la proposition et TRopt500



Graph 6. Indice C80 de la proposition et les valeurs optimales



Graph 7. Indice G de la proposition et les valeurs optimales



Graph 8. Indice D50 de la proposition et les valeurs optimales

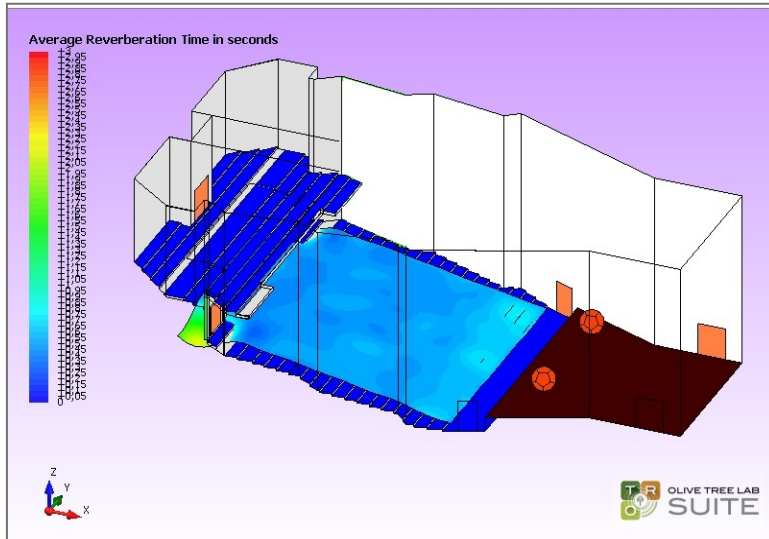


Figure 9. Les mesures de TR60 indiquent l'uniformité du champ acoustique dans la salle Source : auteur

Les résultats ont montré que les modifications proposées ont été couronnées de succès, (Graphe 5, Graphe 6, Graphe 7, Graphe 8 et Figure 9), grâce à l'intégration des panneaux composites de paille et de MDF perforé dans les zones stratégiques.

Conclusion

Les mesures enregistrées en utilisant le logiciel OTL SUITE ont prouvé l'importance des matériaux écologiques (la paille), utilisés dans la création de bonnes conditions auditives comme on peut en conclure à partir des résultats présentés sur les tableaux. Le temps de réverbération T60 était très proche de l'optimale TR60 : 0,89 s, notamment les autres indices. C80, G et D50 se sont avérées dans leur plage acceptable selon ISO/DIS 3382-1 [1].

La valeur mesurée de STI était de 0,62 qui présente une « bonne » intelligibilité acoustique.

Ce travail, en plus de démontrer la validité de la méthode expérimentale et la proposition de réhabilitation acoustique et écologique, ambitionne de donner une solution valable à un problème acoustique réel des salles de conférences.

La grande disponibilité de la paille résultant de sous-produits agricoles et ces performances acoustiques notamment les coefficients d'absorption acoustique supérieurs à 0,80 constamment supérieurs à 630 Hz [3], nous permet d'adopter cette fibre comme matériau principal dans la correction acoustique. Cette méthode pourrait aussi être mise en œuvre et généralisée pour améliorer les conditions acoustiques des salles de conférences.

REFERENCES

1. ELDAKDOKY, S.ELKHATEEB, A, « Acoustic improvement on two lecture auditoria: Simulation and experiment », *Frontiers of Architectural Research* (2017).
2. Umberto Berardi, Gino Iannace. « Predicting the sound absorption of natural materials: Best-fit inverselaws for the acoustic impedance and the propagation constant », *Applied Acoustics* 115 (2017) 131–138.
3. LOÏC Hamayon, *Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments*, Editions le moniteur, France, 2008, 237p.
4. LAURENT Galbrun, KIVANC Kitapci, « Speech intelligibility of English, Polish, Arabic and Mandarin under different room acoustic conditions », *Applied Acoustics* 114 (2016) 79–91
5. BUENO, Ana Maria. LEÓN, Angel Luis. GALINDO, Miguel « Acoustic Rehabilitation of the Church of Santa Ana in Moratalaz, Madrid » *ARCHIVES OF ACOUSTICS* Vol. 37, No. 4, pp. 435–446 (2012).
6. V. Gómez Escobar, J.M. Barrigón Morillas, « Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms », *Applied Acoustics* 96 (2015) 1–10.
7. MADBOULY, Ayman I. NOAMAN, Amin Y. RAGAB, Abdul Hamid M. KHEDRA, Ahmed M. FAYOUMI, Ayman G. « Assessment model of class room acoustics criteria for enhancing speech intelligibility and learning quality », *Applied Acoustics* 114 (2016) 147–158.
8. Panagiotis Charalampous¹, Despina Michael¹. « Tree Traversal Algorithms for Real Time Sound Propagation Calculation », *AES 55TH INTERNATIONAL CONFERENCE*, Helsinki, Finland, 2014 August 27–29.
9. Panos Economou, Panagiotis Charalampous. « Improved room acoustics calculations using complex impedance and spherical wave reflection & diffraction coefficients », *ICSV23*, Athens (Greece), 10-14 July 2016
10. Jin Yong Jeon, Jong Kwan Ryu, Yong Hee Kim, Shin-ichi Sato. « Influence of absorption properties of materials on the accuracy of simulated acoustical measures in 1:10 scale model test ». *Applied Acoustics* 70 (2009) 615–625.
11. Bui Van Tran, *Acoustique architecturale*, Office des publications universitaires, Alger, 1996, 169p.
12. LOÏC Hamayon, *Réussir l'acoustique d'un bâtiment Conception architecturale-isolation et correction acoustique*, Editions le moniteur, France, 2013, 281p.
13. CHRISTINE Simonin-Adam, *Acoustique et réhabilitation Améliorer le confort sonore dans l'habitat existant*, Editions EYROLLES, France, 2003, 381p.
14. MICHEL & CHRISTOPHE Branchu, *Isolation thermique et acoustique*, Editions EYROLLES, France, 2003, 381p.

LA REHABILITATION ACOUSTIQUE DURABLE DES SALLES DE CONFERENCES : IMPACT DE LA PAILLE SUR LA CORRECTION ACOUSTIQUE DE LA SALLE DE CONFERENCE DU CENTRE CULTUREL MALEK HADDAD A CONSTANTINE.

15. LOÏC Hamayon, Réussir l'acoustique d'un bâtiment Conception architecturale-isolation et correction acoustique, Editions le moniteur, France, 2013,281p.
16. YVES Couasnet, Propriétés et caractéristiques des matériaux de construction, Editions le moniteur, France, 2005,248p.
Olive Tree Lab,URL <http://www.otlterrain.com/>.