

UNIVERSITÉ D'ALGER

30/75
27

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRICITE



PROJET DE FIN D'ÉTUDES

ACOUSTIQUE

DES SALLES

المدرسة الوطنية للعلوم التطبيقية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

Les pages 1 à 7
manquent

Text. complet existe

PROPOSÉ PAR :

ETUDIÉ PAR :

PORÉ

MEKKI MOULOU



--:oO\$ **R**EMERCIEMENTS \$Oo:--

Rn Abordant ce projet, je tiens à exprimer mes remerciements à tous les professeurs de l'École Nationale Polytechnique d'Algérie, que j'avais fréquenté durant mes années d'études et en particulier, Monsieur DUPIN, qui a bien voulu se charger de la révision du texte.

À mes proches et amis.

II-)ACOUSTIQUE DES SALLES
-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-

THEORIE
-O-O-O-O-O-O-

- On distinguera en première partie, la protection contre les bruits extérieurs et intérieurs, l'étude de quelques absorbants acoustiques et la conception acoustique d'une salle (moyens d'étude existants, courbes universelles, données acoustiques des constructeurs), en dégagant les objectifs prioritaires d'une telle conception.
- On distinguera par la suite, la modification d'une salle suivant sa destination (cinéma, salle de conférence).
- On analysera la transmission sonore d'un milieu à l'autre, séparés par une cloison (isolement sonore).
- Conclusion générale.

-----:oOoOo:-----

I - Généralités =	
I - 1 - Définition du son.....	4
I - 2 - Vitesse du son.....	5
I - 3 - Puissance Acoustique.....	5
I - 4 - Réflexion du son.....	6
I - 5 - Réverbération acoustique.....	8
II - Protection contre les bruits extérieurs & intérieurs d'une salle	
II - 1 - Réduction de bruits dans un local.....	10
II - 2 - Calcul de réduction de bruit suivant un nomogramme.....	10
II - 3 - Niveau de bruit moyen.....	13
III - Matériaux Acoustiques =	
III - 1 - Catégories de matériaux acoustiques.....	18
III - 2 - Conclusion partielle.....	22
IV - Conception Acoustique d'une salle	
IV - 1 - Problèmes fondamentaux.....	28
IV - 2 - Etude de la forme de la salle.....	29
V - Etudes des salles suivant la destination =	
V - 1 - Salle de conférence.....	46
V - 2 - Salle de cinéma.....	51
VI - Isolation sonore =	
VI - 1 - Intencité des sources.....	54
VI - 2 - Isolement acoustique brute entre deux locaux.....	55
VI - 3 - Mesure de l'isolement sonore moyen.....	56
VI - 4 - Cloisons simples.....	57
VI - 5 - Cloisons multiples.....	59

XXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXX
X

Au fur et à mesure que se développent les techniques modernes, les niveaux de bruit vont en s'amplifiant et les sources de bruit en se multipliant.

En basant les projets architecturaux sur des principes opérationnels, on assurera la construction des salles exempts de bruits gênants et qui apportent les conditions aptima.

Obtenir pour un auditorium la meilleure qualité acoustique, c'est assurément fondamental; encore faut-il que cet avantage ne soit pas gâché par des insuffisances d'esthétique et de confort.

Pour l'acousticien, la liberté de l'amélioration d'un auditorium est loin d'être totale. Il lui faut respecter un certain nombre de règles de sécurité et de rentabilité qui lui sont imposées.

Cependant l'acousticien pourra interpréter les résultats qui sont fournis par les laboratoires d'essai des matériaux (coefficient d'absorption, facteurs d'isolation phonique etc...) pour les appliquer correctement sur chantier.

Après avoir rappelé, dans la première partie les généralités, nous entrons dans la deuxième partie le problème de conception d'une salle et la protection contre les bruits extérieurs et intérieurs de la salle. Ensuite nous analyserons la modification d'une salle suivant sa destination, enfin nous étudierons la question de l'isolation sonore entre deux locaux.

I - (7) GENERALITES -

I - 1 Définition du son :

L'expérience montre que le son est dû à des ondes de pression qui se propagent dans l'air et arrivent à l'oreille.

Le mot son est utilisé pour dénoter une perturbation physique, une altération ou une pulsation de la pression susceptible d'être décelée par une oreille : une chute d'un arbre dans une forêt ne produit pas un son, mais c'est en voyageant dans l'air qu'une telle perturbation atteint l'oreille.

Cependant le son ne se propage pas dans le vide, ce qui est normal puisqu'il s'agit d'un phénomène dû à des pressions, lesquelles ne se conçoivent pas sans l'intermédiaire d'un appui matériel.

Le son est défini par trois facteurs :

- a) - l'intensité
- b) - la hauteur ou fréquence
- c) - le timbre

I - 1 - 1 - Fréquence : La fréquence ou hauteur s'exprime en cycles par seconde ou hertzs.

C'est le nombre de périodes en une seconde d'un mouvement vibratoire.

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

λ = la longueur d'onde en mètre

v = la vitesse du son ou célérité dans le milieu en m/s

I - 1 - 2 - Intensité du son : l'intensité du son est proportionnelle au carré de la pression acoustique.

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot c} \quad \text{W/cm}^2$$

I = intensité W/cm^2

P = pression efficace (exprimée en baryes)

ρ = densité du milieu dans lequel s'effectue la propagation g/cm^3

c = vitesse de propagation du son dans ce milieu cm/s

I - 2 - Vitesse du son :

Si le son se propageait avec la vitesse de la lumière soit 310^8 Km/s, la plupart des causes de la mauvaise acoustique des auditoriums n'existeraient pas, mais se propage à une vitesse bien plus faible soit de l'ordre de 340 m/s dans l'air. Il en résulte quelques défauts dans de nombreuses salles.

Vitesse du son dans un milieu matériel dépend de la pression et de la densité du milieu.

$$v = \sqrt{\frac{P}{d}}$$

Vitesse du son dans l'air à une température donnée

$$v = 330 \pm 0,6 t$$

t = en degré centigrade °C

v = en m/s

- Air sec à 0°C.....	331 m/s
- Air sec à 20°C.....	343 m/s
- Eau à 15°C.....	1447 m/s
- Cuivre.....	env. 3500 m/s
- Verre.....	env. 4000 à 6000 m/s
- Bois.....	4000 m/s
- Fer, acier.....	5000 m/s

I - 3 - Puissance acoustique :

La puissance acoustique caractérise toute source sonore émettrice d'énergie vibrante totale en une fraction de temps déterminée.

La puissance acoustique sera :

$$Pa = \frac{1.600 I V}{T} \text{ (en watts)}$$

I = Intensité sonore $\frac{W}{cm^2}$

V = Volume de la salle en m^3

T = Temps de réverbération en seconde (voir loin)

I - 3 - 1 - Niveau de puissance acoustique

Soit à l'air libre, pour une source non directionnelle (propagation sphérique des ondes), le niveau de puissance acoustique se calcule à partir des mesures de pression effectuées sur la surface sphérique dont la source est le centre.

$$N_w = N_p + 10 \log S$$

N_w = Niveau de puissance acoustique en décibels (dB)

N_p = Niveau de pression correspondant à la moyenne quadratique des pressions relevées sur le contour de mesure

$$N_p \text{ (dB)} = 20 \log \frac{P}{P_0} \text{ (niveau de référence } P_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ baryes)}$$

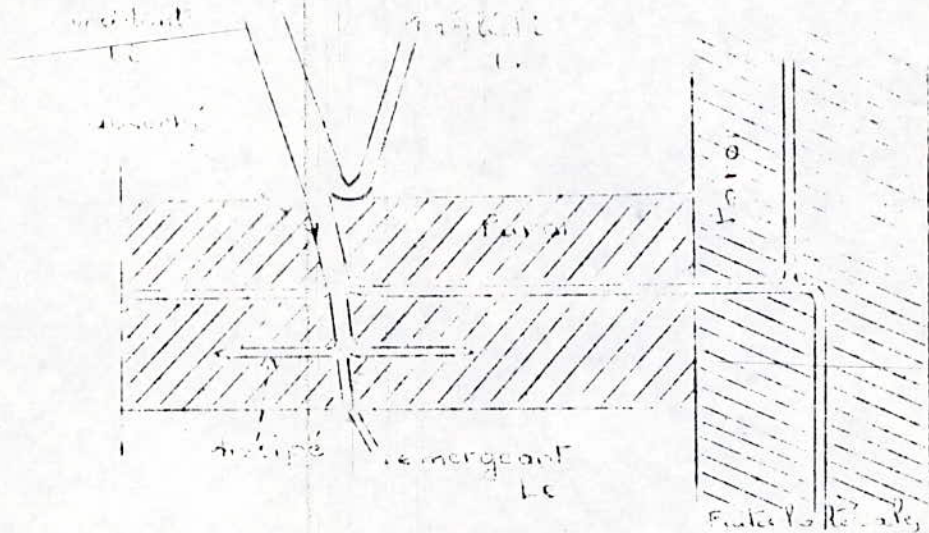
S = Surface de la sphère matérialisant le contour de mesure (m^2)

Puissance sonore approximative

<u>Source</u>	<u>Puissance de pointe (watts)</u>
Voix féminine	0,02
Voix masculine	0,04
Tambour	25
Orchestre de 75 exécutants	10 à 70

I - 4 - Réflexion du son :

Quand une onde sonore frappe un mur, une partie du son incident est réfléchi sur lui-même, une autre transmise dans le mur, une petite partie est dissipée sous forme de chaleur, enfin le reste est transmis à travers le mur.

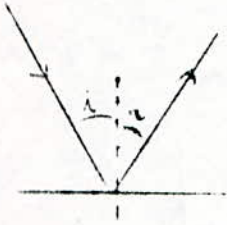


- Les ondes incidentes, qui frappent la paroi, leur niveau de pression acoustique L_i exprimé en dB.
- Les sons réfléchis, que la paroi renvoie : niveau L_r
- Les sons émergents, sortant de la paroi par la face opposée à la première face rencontrée : niveau L_e .
- Les fuites latérales.

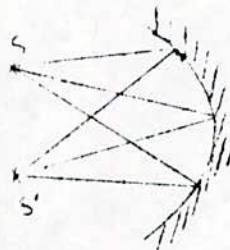
En prenant le cas d'une onde sonore "libre", c'est-à-dire libre de l'influence de surfaces réfléchissantes, rencontre une surface unie de grandes dimensions par rapport à la longueur d'onde, la réflexion de l'onde est similaire à la réflexion de la lumière.

Loi de réflexion :

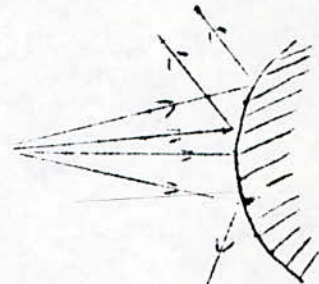
- 1°) - l'angle de réflexion de ce rayon est égal à l'angle d'incidence
- 2°) - le rayon réfléchi reste dans le plan d'incidence.



Réflexion sur une surface plane



Réflexion sur une surface sphérique concave

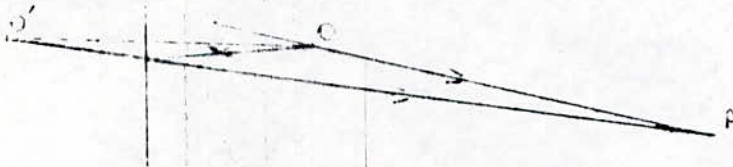


Réflexion sur une surface sphérique convexe

I - 4 - 1 - Réflecteur postérieur :

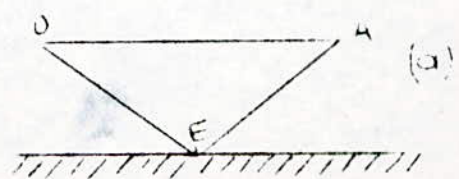
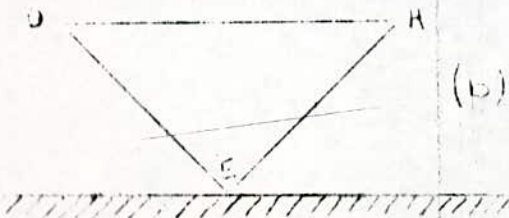
Plaçons à un ou deux mètres derrière O un grand panneau de bois rigide, un mur bien compact. Des ondes acoustiques frappent ce mur en E et sont réfléchies vers A. A reçoit donc des sons suivant deux voies OA (directe) et OEA (indirecte) qui ont à peu près même longueur.

Tout ce passe alors comme s'il y avait une seconde source de son O'.



I - 4 - 2 - Réflecteur latéral :

Plaçons le réflecteur comme l'indique la figure ci-dessous. Lorsque le réflecteur est proche de Ao, la trajectoire OEA n'est pas beaucoup plus longue que OA. Le retard est imperceptible, il y a renforcement (fig.a). Dans le cas contraire il y a multiplication des auditions et brouillage (fig.b).



I - 5 - Réverbération acoustique :

C'est ainsi qu'un son peut durer plusieurs secondes après que la source émettrice s'est tue. Elle apparaît comme une sorte de halo sonore au milieu duquel s'estompent et se perdent les notes ou les syllabes d'un discours.

Or comme le phénomène se répète avec chaque note émise il arrive, si la durée de réverbération dépasse une certaine limite, que l'auditeur entend encore la note déjà prononcée. L'atmosphère sonore de la salle est alors bourdonnante.

I - 5 - 1 - Temps de réverbération :

C'est l'intervalle de temps nécessaire à la diminution du niveau sonore de 60 dB, lorsque la source émettrice est brusquement arrêtée. Le niveau de pression sonore passe, durant cet intervalle à 1/1000000 de sa valeur. Le temps de réverbération d'un local peut varier selon le volume de ce local et la constitution des parois, d'un chiffre fraction de seconde, à un chiffre supérieur à 10 secondes.

Le temps de réverbération d'une salle de spectacle doit être étudié avec précision à toutes les fréquences.

Pour un local d'un volume inférieur à 500 m³ et de dimensions relativement proportionnées.

$$T = \frac{0,16 V}{A} \quad (\text{Formule de Sabine})$$

T : temps de réverbération en secondes

V : volume en m³

A : Nombre d'unités absorbantes situées à l'intérieur du local (parois, objets ou individus).

$$A = a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S_n = a S$$

S₁, S₂, S₃ = surfaces élémentaires en m².

a₁, a₂... = coefficients d'absorption des surfaces élémentaires correspondantes.

Pour les fenêtres ou portes s'ouvrant à l'air libre et dont les dimensions ne sont pas inférieures à 2m², on peut prendre : a = 1.

Pour plus de rigueur, si les matériaux employés dans la salle n'ont pas d'irrégularités d'absorption. On calculera les temps de réverbération à 128, 512, 2048 et 4096 Hz qui suffisent pour à peu près tous les besoins pratiques du projet.

$$\text{Formule de Eyring : } T = 0,16 \frac{V}{- S 2,3 \log (1-a)}$$
$$a = \frac{a_1 S_1 + a_2 S_2 + \dots + a_n S_n}{S}$$

V : Volume m³

S : Surface totale des parois

a₁, a₂, a_n... coefficients d'absorption des surfaces élémentaires précédentes lorsqu'une étude est effectuée avec la formule d'Eyring le temps de réverbération obtenu est en général inférieur à celui qui serait trouvé par la formule de Sabine.

II - PROTECTION CONTRE LES BRUITS EXTERIEURS ET INTERIEURS D'UNE SALLE.

II - 1- Réduction de bruits dans un local

Il s'agit de réduire le niveau de bruit dans un local donné. Or ces bruits sont produits dans le local lui-même, donc faire absorber les bruits par les parois. Lorsqu'une certaine énergie sonore a réussi à traverser partiellement les murs d'un local, elle engendre un certain niveau sonore N_0 exprimable en décibels. Il est possible de diminuer ce chiffre jusqu'à une valeur N_1 en ajoutant dans le local des absorbants muraux, des absorbeurs suspendus etc...

Réduction donnée par :

$$\text{Réduction (dB)} = 10 \log \frac{A_1}{A_0}$$

A_0 : nombre d'unités d'absorptions dans la salle avant traitement
 A_1 : nombre d'unités d'absorptions dans la salle après traitement.

Autre formule analogue :

$$\text{Réduction (dB)} = 10 \log \frac{T_0}{T_1}$$

T_1 : temps de réverbération après traitement
 T_0 : temps de réverbération avant traitement

II - 2- Calcul de réduction de bruit suivant un nomogramme

Pour une salle donnée, un niveau de pression acoustique de 80 dB avant traitement, ce niveau tombe à 75 dB après traitement, soit une réduction de 5 dB.

- Méthode :

- Calculons l'aire d'absorption équivalente du local avant traitement, on ajoutera aux absorptions des parois et des meubles, celle des personnes qui se trouvent dans le local (0,44 m² par personne) soit A_p en m².
- Choisissons les surfaces que nous allons traiter. Souvent le plafond, ainsi que le revêtement que vous voudrons appliquer.
- Le produit des superficies par le facteur de Sabine, nous donne une absorption additionnelle que nous ajoutons à A_p pour obtenir l'aire d'absorption A_t (en m²), local traité.

. D'après le nomogramme, joignons par une ligne droite les points correspondants aux absorptions avant et après traitement. Cette droite prolongée coupe l'échelle des réductions à la valeur cherchée.

- Remarque : Méthode convenant que pour les locaux de petites et moyennes dimensions.

- Exemple :

Soit un bureau de $4 \times 5\text{m}$ et $h = 2,5\text{m}$

Plafonnage, parquet, tapisserie de papier, portes et fenêtres :
aire équivalent = $3,4\text{m}^2$ avec un facteur moyen d'absorption: $0,04$

Quatre chaises, machines et quelques classeurs : absorption
équivalente = 2m^2 avec quatre personnes = 2m^2 .

$$A_p = 3,4 + 2 + 2 = 7,4 \text{ m}^2$$

Le plafond : $4 \times 5 = 20 \text{ m}^2$, couvrons-le de panneaux absorbants (ouate couverte de tôle perforée), facteur de Sabine $0,9$.

Puisque le plafond a déjà un facteur de $0,04$ on aura une augmentation de $0,86$ par m^2 soit au total :

$$20 \text{ m}^2 \times 0,86 = 17,2 \text{ m}^2 \quad \text{d'où } A_t = 7,4 + 17,2 = 24,6 \text{ m}^2.$$

Ainsi l'emploi du monogramme nous donne une réduction de bruit de $5,2 \text{ dB}$ à 1.000 Hz .

Par le même calcul à 125 Hz , facteur de Sabine du revêtement égal à $0,3$, nous trouverons $2,4 \text{ dB}$.

Si on suppose que le bureau occupé seulement par une seule personne et ayant 1 m^2 de fenêtre ouverte ($a = 1$ correspond à une surface de 1m^2 de fenêtre ouverte).

A_p aura les $3,4\text{m}^2$ précédents en y ajoutant 1m^2 par personne et 1m^2 pour la fenêtre. Soit $A_p = 5,4\text{m}^2$.

$$\text{d'où } A_t = 5,4 + 17,2 = 22,6\text{m}^2$$

(réduction améliorée à $6,2\text{dB}$)

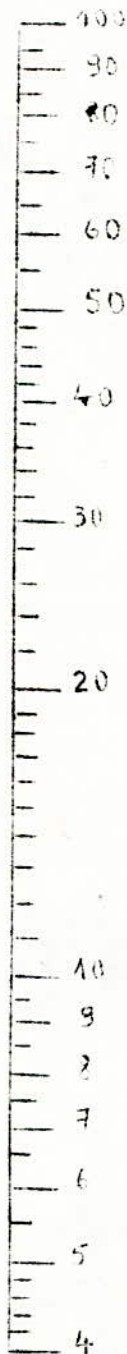
Pour un projet sérieux, le calcul complet doit être établi pour toutes les fréquences de 125 Hz à 4000 Hz .

Nomogramme pour calcul de réduction de bruit
(salles de petites et moyennes dimensions)

Petites salles: 1000m³

Moyennes salles: 5000m³

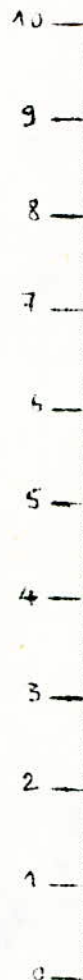
Aire d'absorption équivalente avant traitement (m²)



Aire d'absorption équivalente après traitement (m²)



Réduction en décibels



II - 3 - Niveau de bruit moyen :

Le niveau de bruit moyen dépend de la situation du local à l'intérieur d'un bâtiment ainsi que l'intensité du bruit à l'intérieur et à l'extérieur du local.

Les structures des parois et des plafonds devant fournir cette isolation peuvent être déterminées par l'abaque pour le calcul du niveau de bruit résultant de l'addition de deux bruits.

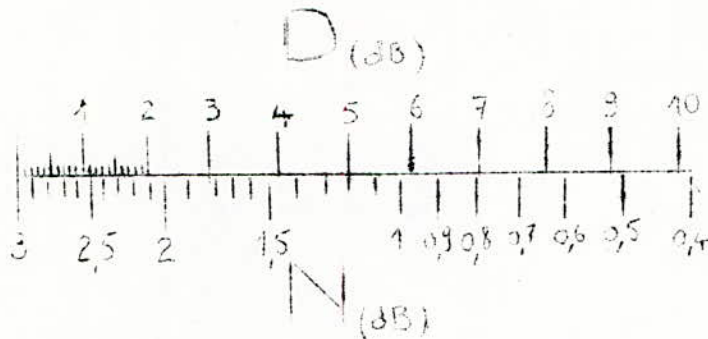
- Exemple :-

- . soit un niveau moyen de bruit intérieur de la salle: 35dB
 - . niveau de bruit à l'extérieur transmis par les murs: 25dB
- Niveau total à l'intérieur de la salle sera :

$$\text{différence de niveau de bruit (D)} = 35 - 25 = 10\text{dB}$$

On reporte 10 dB sur l'abaque, ce qui correspond à $N = 0,4$

d'où le niveau total de bruit à l'intérieur = $35 + 0,4 = 35,4$ dB



D : différence de niveau de bruit en décibels (dB)

N : doit être ajouté au niveau supérieur de bruit pour obtenir le niveau total de bruit à l'intérieur.

Le niveau de bruit admissible est le niveau le plus élevé qu'on peut atteindre dans une salle sans perturber ses occupants. Il est donc utile de connaître l'ordre de grandeur des niveaux de bruit moyen admissibles dans des conditions moyennes.

Niveaux de bruit moyens admissibles recommandés dans des salles inoccupées :

- Cinémas.....	35 - 40	dB
- Théâtres.....	30 - 35	"
- Appartements.....	35 - 45	"
- Salles de conférence.....	35 - 40	"
- Bibliothèques.....	40 - 45	"
- Bureaux privés.....	40 - 45	"

Par conséquent pour réduire relativement le niveau de bruit on fait appel à un traitement absorbant; donc ce traitement permet de :

- a) - réduire la durée de réverbération.
- b) - réduire le niveau de bruit total.

Ainsi le taux d'absorption dans un local est un des facteurs de la réduction du bruit et du contrôle de la réverbération. Tous les matériaux utilisés dans une salle absorbent plus ou moins le bruit. Ces matériaux sont généralement appelés "matériaux acoustiques". Au cours du prochain chapitre nous étudierons les propriétés acoustiques de quelques matériaux avec leurs applications.

* * * * *
*
*

III - ///) ATERIAUX ///-) COUSTIQUES -

Pour un matériau donné, l'efficacité d'absorption de l'énergie sonore, à une fréquence donnée est indiquée par son coefficient d'absorption "a" à cette fréquence. C'est la fraction d'énergie incidente qui est absorbée par le matériau.

Les absorbants devront remplir les fonctions suivantes :

- Eliminer les échos nuisibles
- Donner le temps de réverbération requis pour chaque fréquence envisagée.
- La diffusion croît avec le degré de désordre de la disposition des matériaux absorbants.

Le choix d'un matériau doit aussi tenir compte des facteurs tels :

- Constitution de l'absorbant
- Dimensions
- Coefficient d'absorption
- Qualités de durée et facilités d'entretien
- Possibilités de dépose et repose.

Exemple de mesure du coefficient d'absorption :

La formule de Sabine, pour une salle réverbérante servant de mesure, est :

$$T_0 = \frac{0,16V}{a_{\text{moy}} S}$$

S : surface totale des parois de la salle (m²)

a_{moy} : défini comme étant la moyenne des absorptions "a_i" des absorbants de la salle.

Pour une salle revêtue d'une surface S₁ de matériau absorbant :

$$T_1 = \frac{0,16V}{(S-S_1) a_{\text{moy}} + a S_1}$$

d'où le coefficient d'absorption "a" du matériau mesuré

$$a = \frac{0,16V}{S T_0} + \frac{0,16V}{S_1} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Il sera donc possible d'utiliser les abaques (étudiées expérimentalement) pour un traitement acoustique de la salle.

- Utilisation des abaques :

- . Abaques en traits pleins : influence de la surface traitée sur le coefficient d'absorption "a".
- . Abaques en traits pointillés : influence du morcellement de traitement sur le coefficient "a".

1°/- Soit un matériau donné et supposons que son coefficient "a" ait été mesuré dans une salle réverbérante de 260 m² de surface totale, à l'aide d'une surface S₁ de 10 m².

2°/- Supposons que nous voulions l'utiliser dans une salle de 1000 m² avec un morcellement en dix panneaux et utiliser environ 200 m² de ce matériau.

A une certaine fréquence "a" = 0,5 par exemple.

Ainsi pour passer de S₁ = 10 m² dans une salle de S₂ = 260 m² aux S₁ = 200 m² dans la salle de S₂ = 1000 m²

$$\left(\frac{S_1}{S} = 4 \% \text{ à } \frac{S_1}{S} = 20 \% \right)$$

Sur la figure, on considère le point B : a = 0,5 et $\frac{S_1}{S} = 4 \%$. B se trouve au dessus d'une courbe en trait plein. On glisse alors le long de celle-ci jusqu'à l'abscisse $\frac{S_1}{S} = 20 \%$ et on lit a = 0,43 d'où le point C.

Pour passer de S₁ en un seul panneau à S en dix panneaux, on se sert des courbes en pointillés.

Point de départ "a" = à 0,43 et M = 1 ==> point D

A partir de D on glisse le long de la courbe pointillée jusqu'au point E pour M = 10 d'où "a" = 0,72 (chiffre utilisé pour le calcul du temps de réverbération de la salle de 1000 m² que l'on désire traiter.

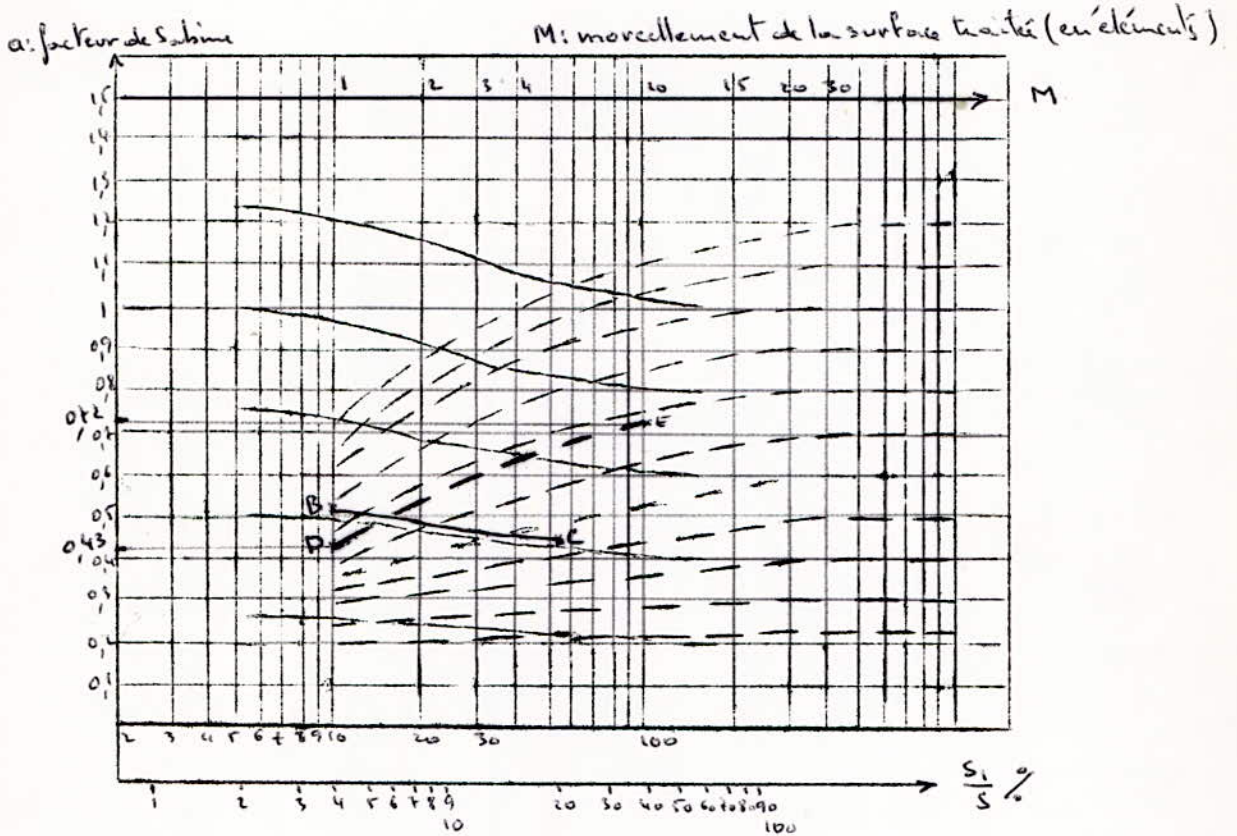
REMARQUE -

Les mesures effectuées par abaques permettent de limiter les erreurs à quelques %.

Abaques utilisées lors d'un projet

des traitements de salles

-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-O-

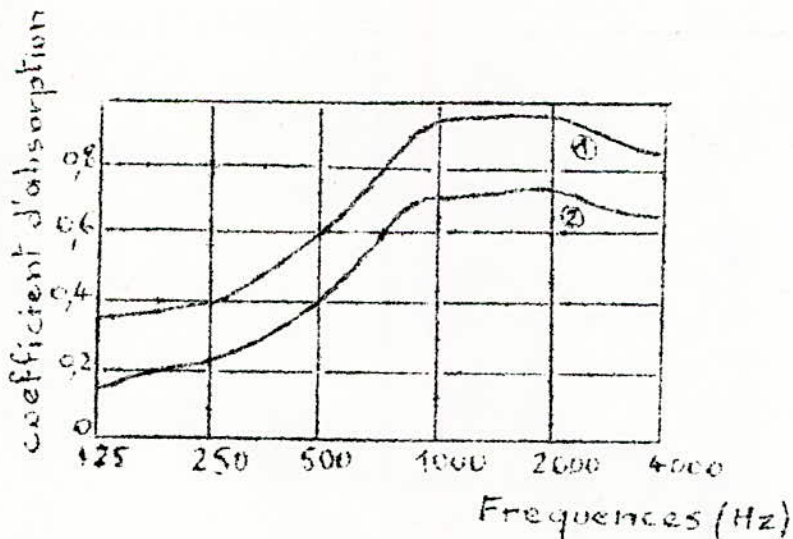
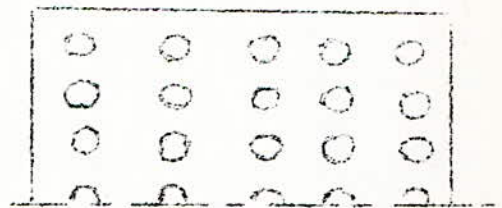
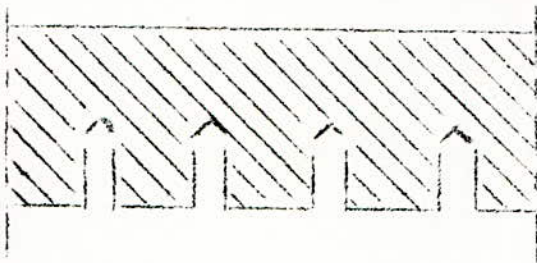


III - 1 - Catégories de matériaux acoustiques

- 1°/ - Éléments préfabriqués : comprennent les carreaux acoustiques, les éléments perforés constitués par un matériau absorbant.
Les plus connus sont les carreaux acoustiques, à cause de leur forte absorption, il est particulièrement intéressant pour des petites salles où l'on dispose d'une surface relativement faible pour le traitement acoustique.
- 2°/ - Enduits acoustiques et matériaux projetés : se sont les matériaux plastiques et poreux, ou fibreux combinés à des liants.
- 3°/ - Matelas acoustiques : constitués de laine minérale, de fibre de verre.

Caractéristiques de variation du facteur d'absorption en fonction de la fréquence pour différents absorbants.

a) - Panneaux acoustiques perforés



Les coefficients d'absorptions augmentent avec les épaisseurs des panneaux. Les ondes acoustiques pénètrent dans les pores des perforations de ces panneaux, les mouvements des molécules d'air y sont freinés par frottement jusqu'à un arrêt plus ou moins complet.

Pour un panneau perforé d'une certaine épaisseur et situé à une certaine distance de la paroi, la fréquence propre donnée par :

$$f = \frac{c}{2\pi D} \left(\frac{\gamma}{D \times E} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- f : fréquence propre au hertz
- c : vitesse du son dans l'air (343m/s)
- γ : quotient de la somme des sections des trous par la surface totale.
- D : distance du panneau à la paroi
- E : épaisseur du panneau

L'absorption est maximum à la fréquence propre et étalée aux autres fréquences s'il y a amortissement par des éléments absorbants tels que laine minérale ou isorel mou....

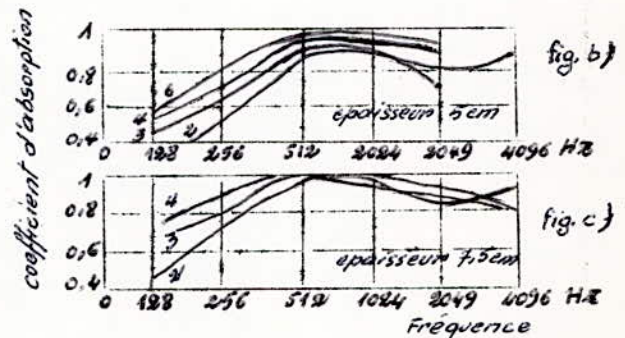
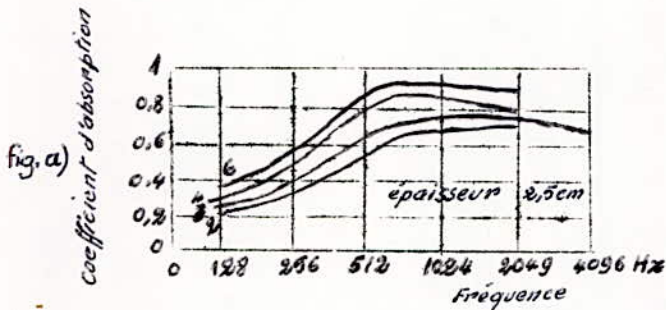
b) - Matelas acoustiques (laine de verre)

Le coefficient d'absorption d'un matelas appliqué contre le mur dépend de sa densité, de son épaisseur et de la fréquence du son incident.

Une augmentation de l'épaisseur implique une augmentation de l'absorption, autrement dit plus l'épaisseur d'un matelas acoustique est grande plus l'absorption augmente.

- Graphe donnant la variation du coefficient d'absorption en fonction de la fréquence pour un matelas en laine de verre.

La densité de la laine (Kg/m³) est donnée pour chaque courbe.



Ainsi la comparaison du coefficient d'absorption pour les trois épaisseurs du matelas montre qu'à 128 Hz l'absorption du matelas augmente avec son épaisseur. Donc meilleure absorption pour les fréquences basses, alors qu'à 2048 Hz la variation de l'absorption en fonction de l'épaisseur du matelas n'est pas significative, du moins pour les épaisseurs 2,5 cm et 7,5 cm.

Le fait de prévoir un vide d'air derrière le matelas, augmente l'absorption par cette lame d'air atténuée encore plus les vibrations transmises de l'intérieur du local.

Les tissus peuvent être constitués d'excellents éléments d'absorption tels les tissus lourds plissés: velours, tissus d'amiante etc...

Donc pour être absorbant au maximum, les rideaux doivent être en velours épais doublé.

Dans le but d'augmenter leur absorption aux fréquences basses, les rideaux utilisés pour couvrir des surfaces très réfléchissantes seront suspendus au moins 15cm du mur et froncés en plis profonds.

c/ Résonateur d'Helmholtz

La forme la plus simple du résonateur d'Helmholtz est une bouteille. Si V est son volume, V' celui de son goulot (en cm³) S la section transversale (cm²) du goulot, la fréquence propre sera :

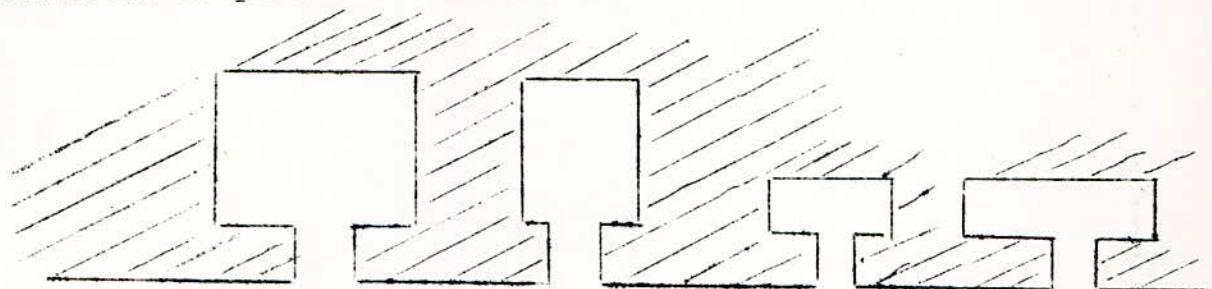
$$f_r \text{ (Hz)} = 5500 \frac{S}{(\overline{V'V})^{\frac{1}{2}}}$$

Lorsqu'on emplie la bouteille, la fréquence de résonance diminue. L'air dans le col du résonateur vibre un peu comme une seule masse, et le volume d'air supérieur agit comme un ressort ou une force de rétablissement. De tels systèmes sont appelés résonateurs d'Helmholtz.

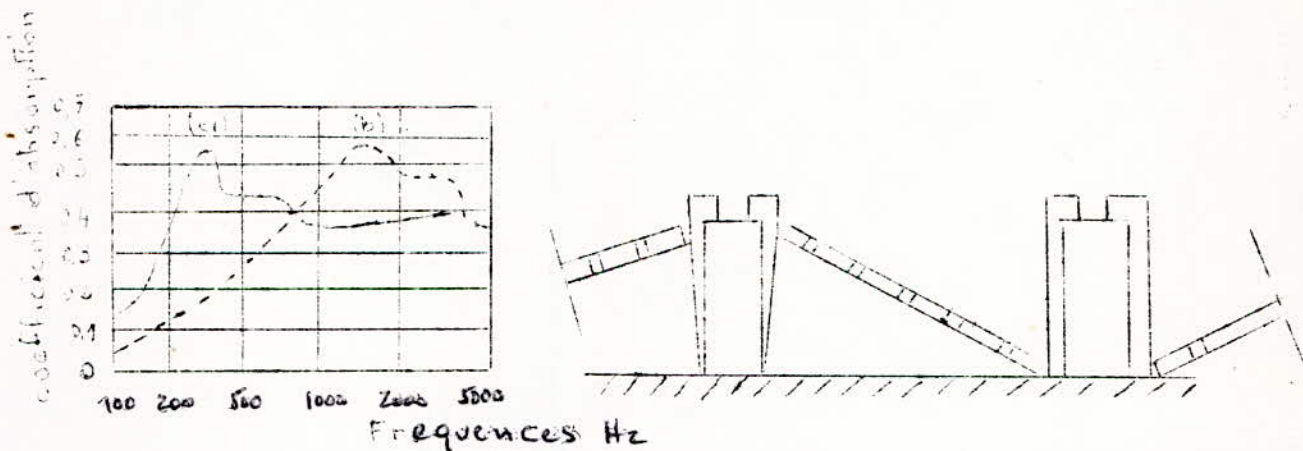
Autrement dit, un résonateur est un système oscillant qui peut entrer en résonance sur une fréquence déterminée sous l'action d'ondes incidentes.

La solution pratique est d'encasturer ces bouteilles dans la paroi. On peut encore les réaliser sous formes de cavités dans les maçonneries, en employant des blocs creux percés d'un trou reliant la cavité à l'extérieur.

Ces résonateurs ont le défaut (qui est une qualité dans certains cas) de n'agir qu'au voisinage de leur fréquence de résonance. On peut cependant étaler leur action en les remplissant partiellement d'ouate, ou encore en employant, pour la même paroi, des résonateurs de plusieurs dimensions.



Il existe d'autres sortes de résonateur, soit le résonateur d'Helmholtz combiné à d'autres structures absorbantes, en particulier les panneaux. En faisant varier le volume d'air derrière un panneau perforé, on modifie la fréquence de résonance du système vibrant. C'est ce que montre la fig. ci-dessous.



Panneaux perforés sur charnières, doublés d'un vide d'air de volume variable. Les courbes donnent l'absorption de la fréquence par cette structure

- (a) lorsque le panneau est à la position représentée
- (b) lorsque le panneau mobile est fermé.

III - 2 - CONCLUSION PARTIELLE :

Le taux d'absorption dans un local est un des facteurs essentiel de la réduction du bruit et du contrôle de la réverbération.

L'intérêt des traitements de ces matériaux acoustiques améliore les conditions acoustiques dans les locaux.

Néanmoins il n'y a pas de matériaux parfaitement adapté à toutes les installations. Chaque cas oblige à une étude particulière.

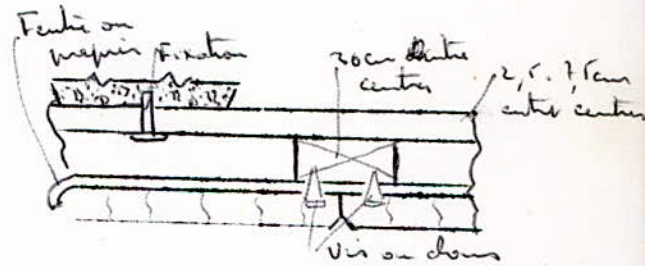
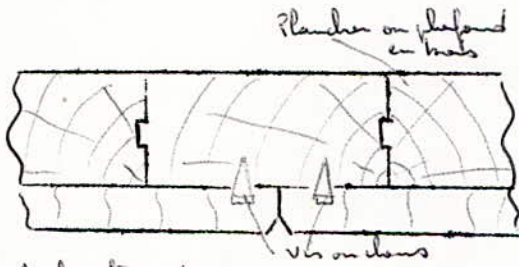
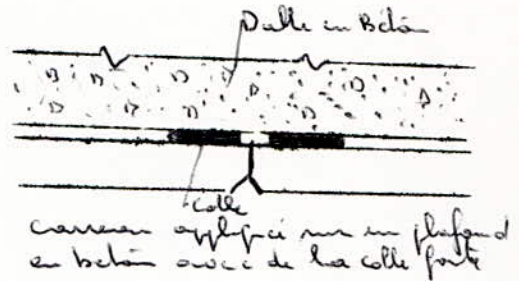
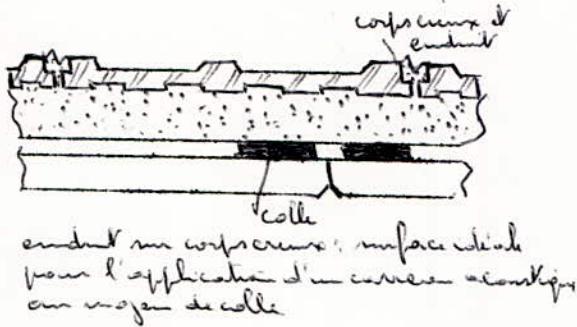
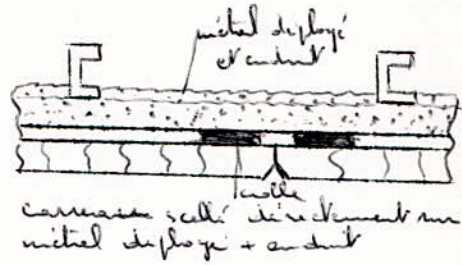
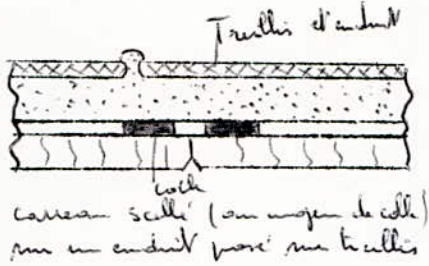
Cependant le constructeur devra tenir compte des qualités techniques, esthétiques des matériaux acoustiques (et ceux-ci devant résister à la chaleur et l'humidité). De même une mise en oeuvre soignée est indispensable car l'expérience obtenu au laboratoire, montre que les caractéristiques acoustiques d'un matériau peuvent changer considérablement une fois celui-ci mis en place.

Le coefficient d'absorption de nombreux matériaux dépend de la façon dont ils sont posés. Certains, qui ne donnent pas satisfaction lorsqu'on les applique directement contre une paroi rigide peuvent se révéler satisfaisants quand ils sont montés d'une autre façon, soit avec vide d'air qui sert à augmenter l'absorption aux basses fréquences, en partie à cause de la vibration de flexion des panneaux du matériau.

Le choix de procédé de montage dépend des propriétés physiques du matériau acoustique, du support sur lequel il est appliqué.

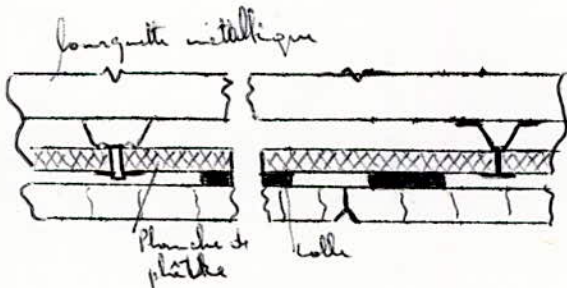
La méthode de montage collé est intéressante dans les cas où les bruits occasionnés par l'installation doivent être limités.

Les différents montages des éléments acoustiques sont illustrés à la page suivante.



Application de carreaux acoustiques sur une construction en bois (au moyen de vis à bois) -

Le montage de carreaux acoustiques sur des structures en bois - L'utilisation de vis à bois permet une meilleure fixation -



Carreaux acoustiques scellés sur un plafond suspendu à planches de plâtre - cette méthode a l'avantage d'utiliser des matériaux légers -

Méthodes de montage des éléments acoustiques préfabriqués -

TYPE DU MATERIAU	Coefficients d'absorption aux fréquences ci-dessous					
	125	250	500	1000	2000	4000
Laine minérale densité 100kg/m ³ épaisseur 50 mm	0,27	0,62	0,88	0,93	0,81	0,76
Mousse de polyuréthane floquée, épaisseur 15 mm	0,13	0,13	0,24	0,70	0,77	0,68
Mousse plastique d'urée formol, den- sité 6kg/m ³ - épaisseur 20 mm	0,14	0,19	0,31	0,62	0,81	0,72
Fibres de bois compressées - densi- té 230kg/m ³ - épaisseur 20 mm	0,15	0,44	0,45	0,44	0,53	0,59
Plâtre perforé régulièrement diamè- tre de perforation 6 m/m, épaisseur 12mm sur laine minérale d'épaisseur 18mm	0,10	0,19	0,42	0,74	0,57	0,34
Plâtre perforé irrégulièrement (trous de 20, 11 et 16mm de diamètre, épais- seur 7mm) sur laine minérale d'épais- seur 13mm.	0,05	0,18	0,61	0,68	0,39	0,30
Tôle 20/10 perforée à 15% sur laine minérale d'épaisseur 30 mm	0,26	0,33	0,56	0,79	0,65	0,45
Métal déployé (perforation à 20% sur laine minérale d'épaisseur 30 mm.	0,61	0,75	0,73	0,70	0,76	0,67
Bac de polystyrène expansé avec per- forations carrées de 15x15mm sur laine minérale de 50mm et vide d'air de 10 cm.	0,38	0,64	0,68	0,63	0,69	0,53
Bois verni X	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Chaux sur lattis bois	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
Crépi	0,01	0,03	0,04	0,05	0,08	0,17
Marbre	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Plâtre X	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
Briques pointes	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Briques brutes	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Vitre	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
Crin de jute	0,05	0,07	0,18	0,65	0,75	0,71
Linoléum	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04

TYPE DU MATERIAU	Coefficients d'absorption aux fréquences ci-dessous					
	125	250	500	1000	2000	4000
Linoléum sur isorel	0,04	0,06	0,08	0,12	0,04	0,04
Parquet	0,03	0,04	0,08	0,12	0,12	0,17
Tapis caoutchouc 6,5 mm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,10	0,10
Tapis liège 20mm ciré et poli	0,04	0,03	0,05	0,11	0,07	0,02
Tapis liège brut 20 mm	0,04	0,03	0,08	0,18	0,21	0,22
Tapis moquette sur thibaude	0,14	0,32	0,45	0,45	0,40	0,35
Draperie coton contre mur	0,04	0,05	0,11	0,18	0,30	0,44
Draperie coton plis serrés	0,10	0,38	0,50	0,85	0,82	0,67
Tissu amiante à 20 cm du mur	0,15	0,20	0,30	0,30	0,33	0,35
Feutre 12 mm flottant	0,17	0,24	0,35	0,50	0,65	0,65
Velours à 10 cm du mur	0,09	0,33	0,45	0,52	0,50	0,44
Velours à 20 cm du mur	0,12	0,36	0,45	0,52	0,50	0,44
Aggloméré de liège	0,15	0,26	0,22	0,22	0,20	0,20
Amiante projetée 25 mm	0,20	0,55	0,58	0,59	0,59	0,59
Contreplaqué 5 mm à 20 mm du mur*	0,07	0,12	0,28	0,11	0,08	0,08
Contreplaqué 5 mm à 50 mm du mur	0,47	0,34	0,30	0,11	0,08	0,08
Feutre 25 mm collé	0,12	0,25	0,49	0,63	0,65	0,60
Laine minérale 40mm agglomérée	0,30	0,70	0,88	0,85	0,65	0,60
-idem- recouverte papier kraft	0,74	0,54	0,36	0,32	0,30	0,17
Laine de verre 25 mm	0,15	0,38	0,60	0,64	0,62	0,62
-idem- sur treillage métallique flottant.	0,45	0,45	0,45	0,50	0,52	0,52
Laine de verre 50mm recouverte de toile poreuse.	0,39	0,45	0,56	0,59	0,61	0,55
Laine de lin	0,09	0,18	0,48	0,73	0,50	0,33
Moleskine tendue	0,51	0,57	0,48	0,35	0,28	0,20
3 couches de toile cirée à 30 mm d'intervalle	0,33	0,48	0,26	0,14	0,08	0,11
Acouslicelotex 12 mm	0,22	0,28	0,47	0,53	0,62	0,62

TYPE DU MATERIAU	Coefficients d'absorption aux fréquences ci-dessous					
	125	250	500	1000	2000	4000
Heraclith à 8cm du mur (25mm)	0,44	0,61	0,61	0,64	0,63	0,77
Isorel mou 12 mm	0,06	0,11	0,33	0,40	0,40	0,43
Isorel dur en diaphragme à 50mm du mur	0,32	1,15	0,09	0,09	0,09	0,09
Isover 25 mm	0,43	0,51	0,57	0,62	0,65	0,67
Laine de verre projetée 10 mm	0,06	0,09	0,13	0,19	0,25	0,31
Panneaux bakélisés de laine de verre	0,19	0,27	0,37	0,54	0,44	0,40
Surface occupée par des spectateurs assis.	0,60	0,74	0,88	0,96	0,93	0,85
Surface occupée par des sièges de tissus (rembourrage épais)	0,49	0,66	0,80	0,88	0,82	0,70
Surface occupée par des sièges de simili cuir (rembourrage épais)	0,44	0,54	0,60	0,62	0,58	0,50
Peau de Klegecell non perforée à 8cm du mur avec laine de verre, éléments de 40 x 40 cm	0,53	0,68	0,38	0,35	0,27	0,22
Peau de Klegecell, trous de 2mm tous les 20mm, à 1cm du mur avec la laine de verre, éléments 40 x 40 cm	0,19	0,24	0,85	0,82	0,82	0,54
Staff perforé commercial sur laine de verre.	0,20	0,33	0,50	0,65	0,60	0,50
Spontex 10 mm	0,10	0,25	0,40	0,45	0,60	0,90
Panneaux agglomérés de lin en diaphragme 50 mm du mur	0,75	0,80	0,50	0,40	0,38	0,33
Laine de verre sous pegamoïd perforé	0,12	0,27	0,48	0,70	0,70	0,60
Flockage rayonne mince	0,04	0,04	0,05	0,07	0,12	0,11
Flockage rayonne moyen 5mm	0,07	0,15	0,13	0,23	0,25	0,35
Flockage rayonne épais 8,9 mm	0,20	0,36	0,30	0,49	0,53	0,60
Linex 230 en 40 mm	0,25	0,38	0,42	0,38	0,44	0,50
Linex 250 en 22 mm	0,02	0,05	0,03	0,04	0,06	0,10
Projection de vermiculite 15mm non peinte.	0,20	0,15	0,18	0,26	0,40	0,62
-idem- avec peinture caseine très mince.	0,20	0,13	0,15	0,20	0,32	0,50
Polyvinyle perforé sur 5cm de laine de verre.	0,16	0,36	0,76	0,90	0,80	0,77
-idem- avec 1cm de laine de verre	0,04	0,08	0,25	0,56	0,73	0,65

	125	250	500	1000	2000	4000
Personne isolée debout	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,55
Personne isolée assise	0,10	0,15	0,32	0,42	0,55	0,55
Personne isolée assise sur une chaise (homme)	0,10	0,19	0,38	0,51	0,69	0,69
Personne isolée assise sur une chaise (femme)	0,06	0,12	0,21	0,33	0,42	0,42
Personne assise sur un siège de théâtre	0,20	0,30	0,36	0,44	0,45	0,45
Siège de théâtre tissu (rembourré) baissé.	0,15	0,30	0,32	0,35	0,35	0,30
idem - levé	0,15	0,26	0,26	0,28	0,30	0,30
Siège bois très simple	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06

IV - CONCEPTION /-) COUSTIQUE D'UNE SALLE

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

IV - 1 - Problèmes fondamentaux

a)- Force d'audition correcte

Il faut que l'on entende sans devoir tendre l'oreille. Il faudrait que partout dans la salle, on perçoive tout avec la même intensité sonore.

En général, il est matériellement impossible de satisfaire de façon parfaite à cette condition. Les spectateurs des fauteuils près du podium entendront toujours plus fort que ceux du fond.

c)- Compréhension de la parole

Dans une salle bien conçue et exécutée, grande ou petite, on doit comprendre l'orateur sans difficulté.

Cette qualité s'exprime et se mesure par le coefficient d'articulation.

d)- Sens de la direction et de la distance

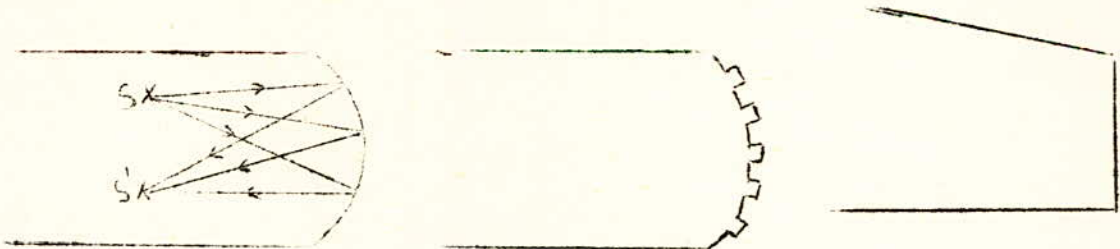
Il est surtout important au théâtre. Il faut que le spectateur ait l'impression que la voix de l'acteur lui vient de la direction dans laquelle il voit cet artiste.

IV-2- Etude de la forme de la salle :

Un local doit avoir une forme favorable. C'est d'elle que dépend l'homogénéité du champ sonore et du son réverbéré. Et ce qui est déterminant, l'absence ou non d'échos.

Le problème de la forme d'une salle se fait nécessairement sur maquette suivant la méthode à utiliser. Il faut que la forme soit élaborée consciencieusement pour avoir une répartition uniforme des niveaux de pression à toutes les places, car une mauvaise étude de cette forme peut impliquer des défauts tels que :

- a) - Taches sourdes : on trouve des places où l'on entend moins fort que dans le restant de la salle. On le localise sous les balcons (mauvaise forme), devant les balcons dont le front n'a pas une bonne pente. Toutes les loges sont des taches sourdes, elles ne reçoivent que le son direct.
La cause de ce défaut est la mauvaise répartition des échos utiles. On les évite par une orientation correcte des éléments de surface de la salle. Un autre genre de points sourds, résulte des interférences entre deux ondes sonores, ou plus, qui se superposent. Ceci a lieu quand la condensation provenant d'une onde (l'onde directe) se conjugue avec la raréfaction de l'autre (l'onde réfléchié).
- b) - Focalisation : les parois courbes concentrent les réflexions émises de S en S'. Tout se passe comme s'il y avait en S' un **second orateur répétant tout ce que dit S et ce avec un certain retard**. Ce n'est qu'une question de forme.

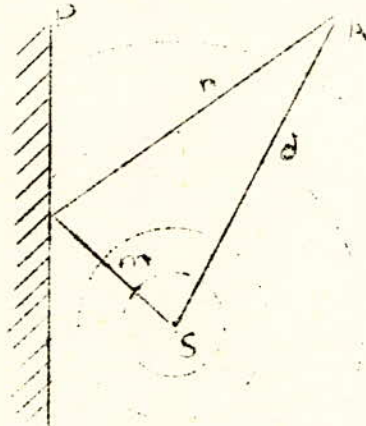


*disposition de chaise brisant
les échos, énergie répartie uniformément entre les spectateurs des
deuxièrs rangs.*

- c) - Echos : Quand une salle a de longs murs parallèles ou concaves l'un vers l'autre, et peu absorbants, ces derniers se renvoient un son, un nombre élevé de fois avant son extinction. Tout auditeur placé entre ces murs entendra une répétition du son à chaque réflexion. Aussi l'échos a lieu dans les salles sans tapis, où sols et plafonds sont fortement réfléchissants.
Un léger écart de parallélisme entre les deux murs suffira à rompre l'échos gênant, ou bien que ces murs parallèles soient rompus par des portes, fenêtres, tableaux etc...

II) DIFFERENCE DE MARCHE :

Soit une source S, un auditeur A situé à une distance "d" de S. Le son émis par la source atteindra "A" soit directement (SA = d), soit après s'être réfléchi sur P en M (SM = m; onde incidente), puis MA = n (onde réfléchie)



Comme le trajet de S à A sera parcouru par des ondes S A et S M A, l'auditeur A entendra deux sons; celui suivant "d" d'abord, ensuite suivant m + n puisque m + n est plus grand que "d".

D'où la différence de marche $D = (m+n) - d$

Si celle-ci dépasse 343/10 (10 impressions sonores se succédant au cours d'une seconde), l'auditeur entend deux sons séparés par un intervalle de 1/10 de seconde, car $D = 34$ mètres. D'où le phénomène d'échos.

a) A est au delà de S, par rapport à P : $m < n$

$$D = (m+n) - d = (m+m+d) - d = 2m$$

Il y aura écho si $m = D/2$ est $> 34/2$ ou 17 mètres

b) A se confond avec S : $m = n$

$$D = (m+m) - d = 2m - d \quad \text{il y aura écho si } D/2 = 17 \text{ mètres}$$

c) A est entre la source S et le plan P : $m > n$

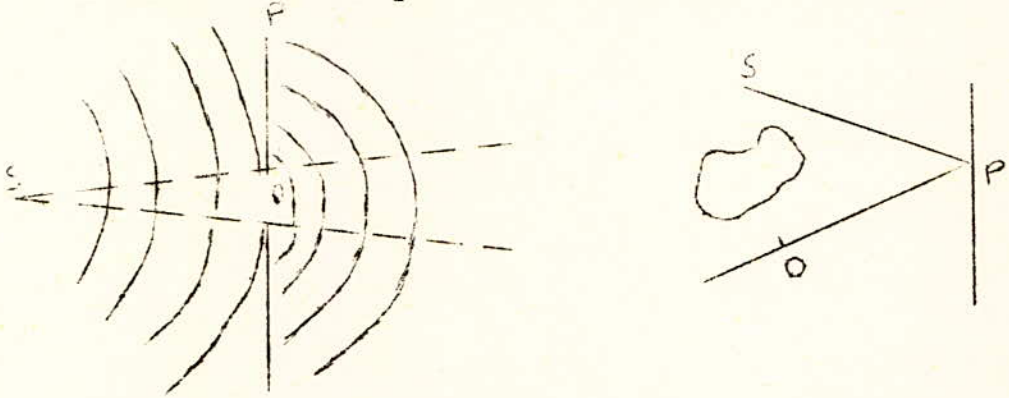
$$D = (m+n) - d = (m+n-d) - d$$

Il y aura écho si $MA > \frac{34}{2} > 17$ mètres

Donc, il suffit que la distance entre une source sonore et un écran réfléchissant atteigne ou dépasse 17 mètres pour qu'un écho puisse se former. Si ces distances sont dépassées, les deux sons (direct et réfléchi), se distinguent de plus en plus nettement d'où la netteté de nombreux échos par suite de l'éloignement considérable des murs.

d) - Diffraction : Soit une paroi comprenant une légère ouverture et que les ondes issues d'une source rencontre cette paroi; la plus grande partie des ondes est réfléchiée et une certaine partie se propage à travers le trou.

On dit en ce cas que le son a été diffracté.



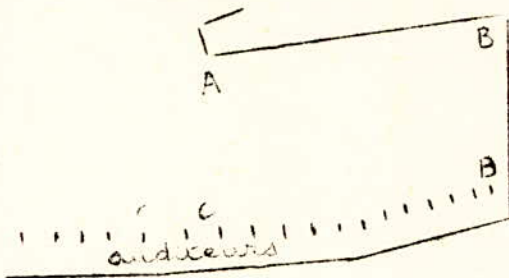
Soit un autre obstacle de grande dimensions vis à vis de la longueur d'onde et un observateur séparé d'une source S (fig b). Le son contourne l'obstacle, mais il est très affaibli pour un observateur en O . Si l'on dispose d'une plaque métallique P , le son sera renforcé pour une orientation convenable de l'écran.

Donc, un tel obstacle est susceptible d'empêcher le son d'atteindre O . Ce son doit alors contourner cet obstacle. Ce fait est dû à la diffraction autour de l'obstacle.

L'importance de la diffraction dépend du rapport entre la longueur d'onde et les dimensions de l'obstacle.

--- Salles comportant des balcons et des loges :

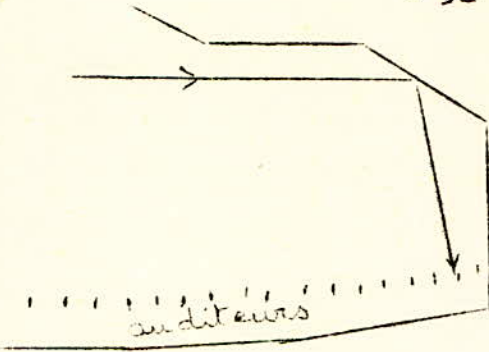
Balcons :



l'espace sous un balcon est un local annexe de la salle principale.

Ainsi l'espace $ABCD$ est un petit local bas de plafond dans lequel les sons pénètrent par l'étroite ouverture AC .

La face CD étant absorbante, les sons se propageant dans la partie $ABCD$ de faible hauteur sont rapidement étouffés. De cette façon au rang D , on n'entend plus grand chose.



Cette disposition est le type qui s'impose. La partie inclinée permet de réfléchir le son provenant de la source vers les auditeurs P.

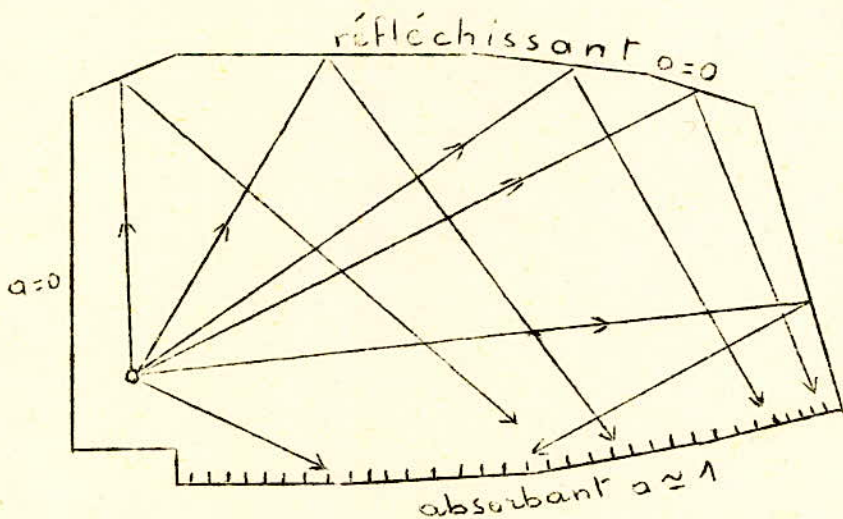
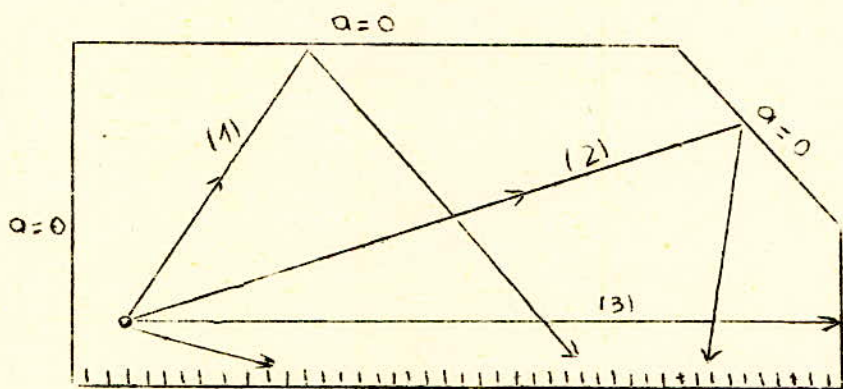
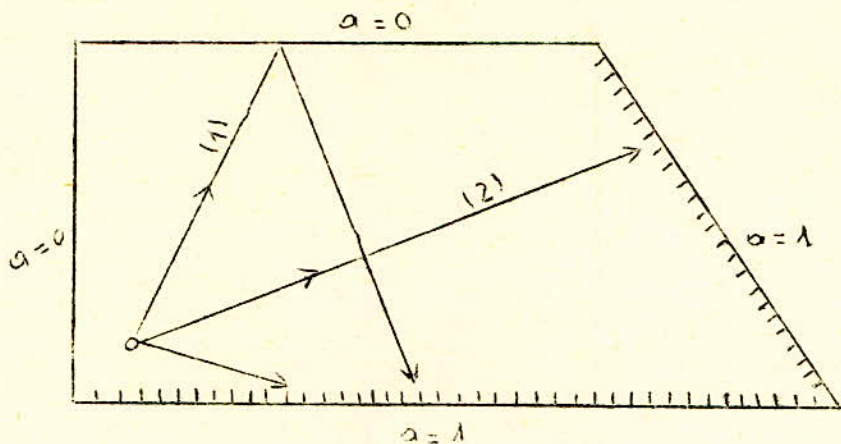
Les balcons latéraux longeant les deux côtés des salles peuvent avoir l'utilité de rompre les échos transversaux, mais peuvent aussi créer des zones sourdes d'écoute.

--- Loges :

Les auditeurs de premier rang de la loge ne reçoivent que les sons provenant d'une seule direction. ils n'auront pas l'impression d'être dans la salle, mais entassés dans un très petit local très absorbant.

Exemple de forme d'une salle :

- En (a) le son est réfléchi vers le public (2) est perdu, (3) est le son direct.
- Modifions (a) en (b) pour éviter les pertes de son, (1) ne change pas, (2) est renvoyé vers le public, (3) reste inchangé.
- Donc, en donnant aux planches la forme la plus favorable et en modifiant un peu le plafond, soit (c), on pourrait obtenir une bonne audition.



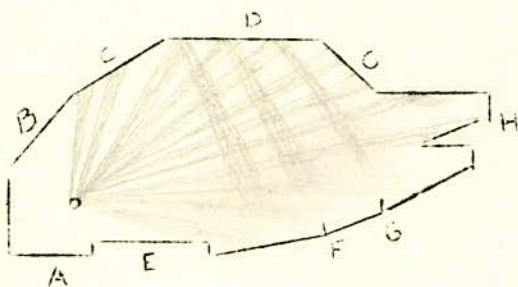
Essais sur modèle réduit

Il est préférable de vérifier la forme projetée pour une grande salle si l'on veut déterminer les améliorations possibles avant la construction et éviter des défauts acoustiques de base. Les modèles réduits apportent un procédé simple pour une telle recherche.

1) Méthodes des ondes lumineuses

- Principes : On substitue la lumière au son. On suppose que les ondes sonores sont réfléchies comme les ondes lumineuses. On néglige donc les effets de diffraction. La maquette des parois réfléchissant bien la lumière. Le générateur est une lampe.
- Détail d'exécution : Méthode de boîte à fumée.

La lampe est entourée d'une grille opaque ne laissant passer que des pinceaux lumineux. Le modèle est serré entre deux feuilles de verre. Au moment de l'essai, on le remplit de fumée. Cette dernière permet de voir distinctement les pinceaux lumineux et leur réflexion.



Le trajet des rayons sonores est indiqué par les faisceaux lumineux dans le modèle rempli de fumée. Source de lumière placée en A entourée d'un réflecteur sonore B. L'auditoire assis en E, F, G et H.

La partie C acoustiquement absorbant (en modèle réduit d'un matériau optiquement absorbant). Les réflexions très retardées venant du mur arrière donneront lieu à des échos.

- Commentaire : les méthodes d'essai sur modèles sont connues pour parer aux déficiences des méthodes graphiques qui ne permettent pas de tenir compte des diffractions. Or, les méthodes des ondes lumineuses n'en tiennent pas compte non plus. Elles sont commodes pour dégrossir rapidement un profil de salle avant de construire un modèle approprié à une autre méthode.

2) Méthodes de la cuve à rides

- Principes : On a pu démontrer que les rides à la surface d'une nappe de liquide se propagent comme les ondes sonores dans un plan de l'espace, si certaines conditions sont observées.

- Détail d'exécution : On peut prendre de l'eau. Dans ce cas, la cuve est transparente et éclairée par une source puissante et petite. Les rides à la surface de l'eau concentrent la lumière en traits brillants sur un verre dépoli placé à hauteur convenable.

- Commentaire : la cuve à rides reproduit les diffractions. Elle ne permet que les études à deux dimensions et ne décèle que les deux premières réflexions du son.

IV - 3 - Etude des salles suivant leur volume

Cas des petites salles : (Volume : 1000 m³)

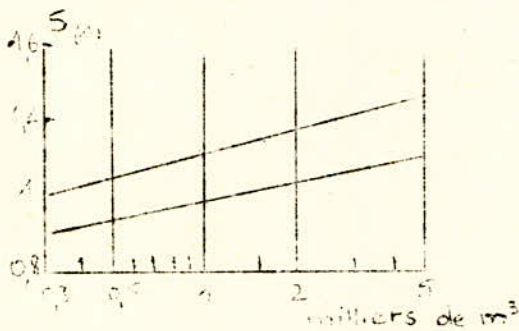
Nous classons comme telles celles dont le volume ne dépasse pas 1000m³. Leurs formes sont relativement simples, et leurs études ne présentent généralement aucune difficulté pour l'obtention d'une bonne acoustique, la forme d'un prisme parallélipipédique droit est toujours favorable.

Cependant, pour les petites salles dans lesquelles les distances entre deux éléments de surfaces réfléchissantes ne dépassent pas 11 mètres (ou au maximum 17 mètres), les risques d'échos sont pratiquement nuls.

Temps de réverbération :

Si nous étudions une salle de forme simple, nous ne rencontrons pratiquement pas de difficultés.

On choisit T connaissant son volume en partant de la fg. suivante.



A partir de T, le processus le plus simple et pratique est de commencer par appliquer la formule de Sabine pour déterminer A. On

$$T = \frac{0,16 V}{A} \qquad A = \frac{0,16V}{T}$$

On calcule ensuite la somme des termes S_a (A = S_a) pour toutes les parties des salles

- Calcul par nomogramme : (valable pour petites salles)

Soit une salle de volume V

1°/ - Calculer "a" à partir de :
$$a = \frac{S_1 a_1 + a_2 S_2 + \dots}{S}$$

2°/ - Déterminer la valeur de $- 2,3 \log (1-a)$ sur le diagramme. (Fig. 4)

3°/ - Multiplier la valeur obtenue en 2ème, par l'air S : soit A ce produit. Ainsi :

$$A = - S 2,3 \log (1-a).$$

4°/ - Poser une règle sur l'abaque convenable de façon qu'elle coupe :

- a) - la droite des V pour le volume de la salle calculé et,
- b) - la ligne des A pour la valeur calculée en 3ème.

L'intersection sur la ligne T est le temps de réverbération correspondant à l'équation

$$T = \frac{0,16 V}{- S 2,3 \log (1-a)}$$

(voir nomogramme page 38)

↳ Ainsi pour des salles simples, nous pouvons accroître la diffusion (répartition des ondes sonores dans toute la salle) par :

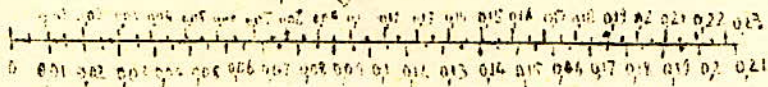
- a) - les objets continus dans la pièce qui dispersent les ondes sonores.
- b) - les irrégularités des murs qui dispersent également les ondes incidentes. Celles-ci sont obtenues par des colonnes, moulures, embrasures de fenêtres etc...

Une autre façon d'accroître la diffusion du son dans une salle consiste à réaliser une distribution irrégulière des matériaux absorbants.

La quantité de matériaux absorbants à ajouter dans la salle pour obtenir la caractéristique de réverbération optimum dépend des dimensions de la salle et son utilisation. Dans certaines conditions il est souvent possible de satisfaire les besoins acoustiques en traitant seulement deux ou trois ensembles, murs-plancher-plafond.

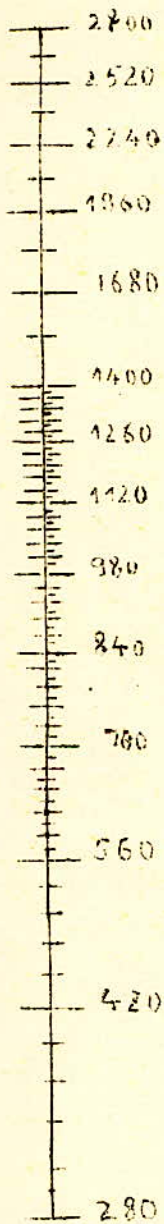
Le niveau moyen de bruit dans la salle vide ne doit pas dépasser 35 dB si l'on veut atteindre une qualité vraiment souhaitable.

-2,38 (1-σ)

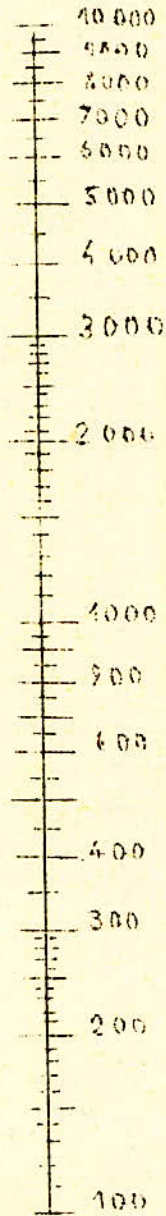


13

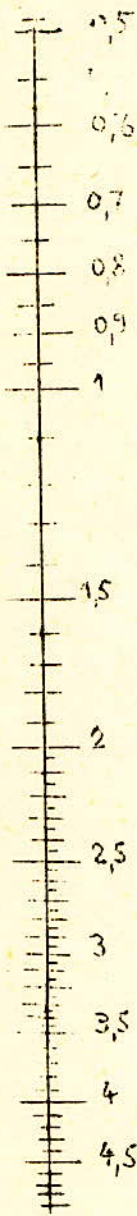
VOLUME (m³)



UNITES D'ABSORPTION



TEMPS DE REVERBERATION (secondes)



Dans certains locaux, par exemple une bibliothèque, le problème acoustique se limite à un contrôle soigné des bruits et de la réverbération. Il est cependant nécessaire d'y maintenir un niveau de bruit suffisamment bas. On obtient normalement en conditions satisfaisantes en employant une grande quantité de matériau absorbant. Il suffit généralement de traiter tout le plafond d'un matériau fort absorbant.

Ainsi la réduction de bruit requiert l'examen des conditions de bruit à l'emplacement considéré et conduit à effectuer un calcul du type de celui décrit au chapitre II.

Cas des grandes salles

En générale la distance entre la source et la paroi dépasse les 17 mètres d'où il y a formation d'échos. Quand les régions gênantes ont été déterminées, nous les corrigeons en les rendant absorbantes (soit de prévoir des fauteuils en gradins ou en amphithéâtres).

Dans ce cas ce sont les auditeurs qui constituent l'écran absorbant.

Pour l'étude nous employeront la formule empirique de Sabine, s'avérant satisfaisante après plusieurs expériences.

$$T = \frac{\xi}{10} (V)^{1/3}$$

V : volume de la salle en m³
ξ : facteur d'absorption.

Une fois la durée de réverbération T est connu (valeur théorique), on déterminera le nombre S d'unités absorbantes.

$$S = \frac{0,16V}{T}$$

0,16 : coefficient déterminé expérimentalement

Ensuite on calculera le nombre d'unités absorbantes de la salle telle qu'elle pourrait résulter de l'avant projet.

Si nous tenons compte de l'intensité des sources d'émission la relation de Sabine sera complétée par un facteur d'intensité, celle correspondant à la voix humaine moyenne : 40 dB.

$$T = 0,16 \frac{V}{S} \left(1 + \log \frac{I}{40} \right)$$

$$S = 0,16 \frac{V}{T} \left(1 + \log \frac{I}{40} \right)$$

I : facteur d'intensité est choisi comme valeur moyenne selon l'utilisation de la salle, on modifiera si nécessaire, les valeurs d'absorption des éléments intérieur (sol, paroi, plafond...), de manière que S se rapproche aussi près que possibles de la valeur théorique demandée.

Le niveau de bruit moyen par exemple, dans une salle de conférence ne doit dépasser 40 dB. Le coefficient d'isolement correspondant à ce degré de calme dépend de la situation du local à l'intérieur d'un bâtiment, ainsi que l'intensité et de la nature du bruit à l'intérieur et à l'extérieur de la salle (voir chap.II)

REMARQUE : Les temps de réverbération d'une salle peuvent varier dans des proportions appréciables selon le nombre d'auditeurs, et le temps calculé ne se trouve vérifié que pour un auditoire préalablement fixé.

- Etude du temps de réverbération par diagramme

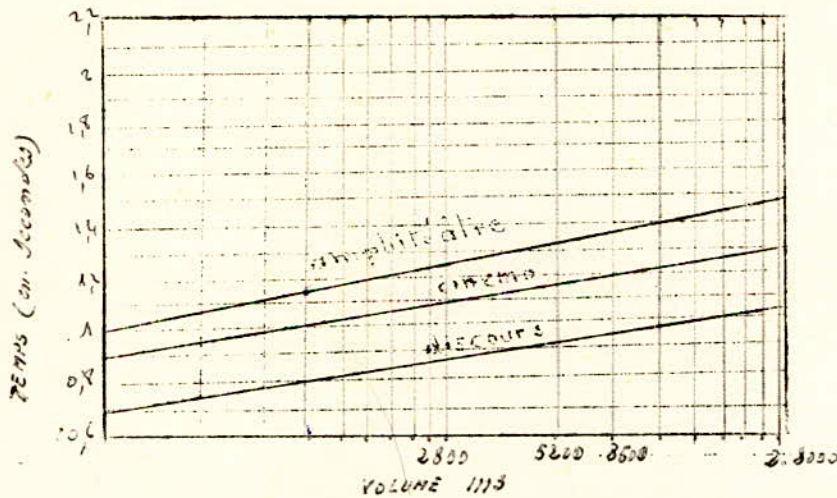


Fig I

Temps de réverbération optimum à 512 hz pour différentes sortes de salle en fonction du volume.

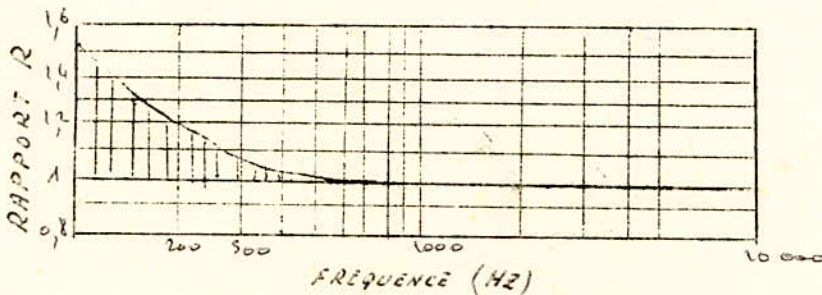


Fig II

Diagramme pour le calcul du temps de réverbération en fonction de la fréquence. Le temps à la fréquence "f" est donné par un rapport "R" qu'il convient de multiplier par le temps optimum à 512 hz, donné par la fig. I pour avoir le temps optimum à la fréquence "f".

Connaissant son volume, on relève sur la fig. I, le temps de réverbération optimum à 512 hz.

Pour avoir ce temps à une fréquence quelconque on le multiplie par le coefficient relatif à cette fréquence relevé sur la fig. II.

Soit : R ce rapport

$$T_f = R \times T_{512 \text{ hz}}$$

Par la suite on déterminera le nombre total d'unités absorbantes requises.

Remarque - En tenant compte de l'absorption de l'air : Quand les dimensions de la salle sont grandes et les sons aigus, la pression acoustique décroît plus rapidement, car les sons ne sont plus absorbés exclusivement par les parois. L'air de la salle les absorbe également.

Plus explicitement on a :

$$A + mV = \frac{V}{6T} \quad (\text{Sabine})$$

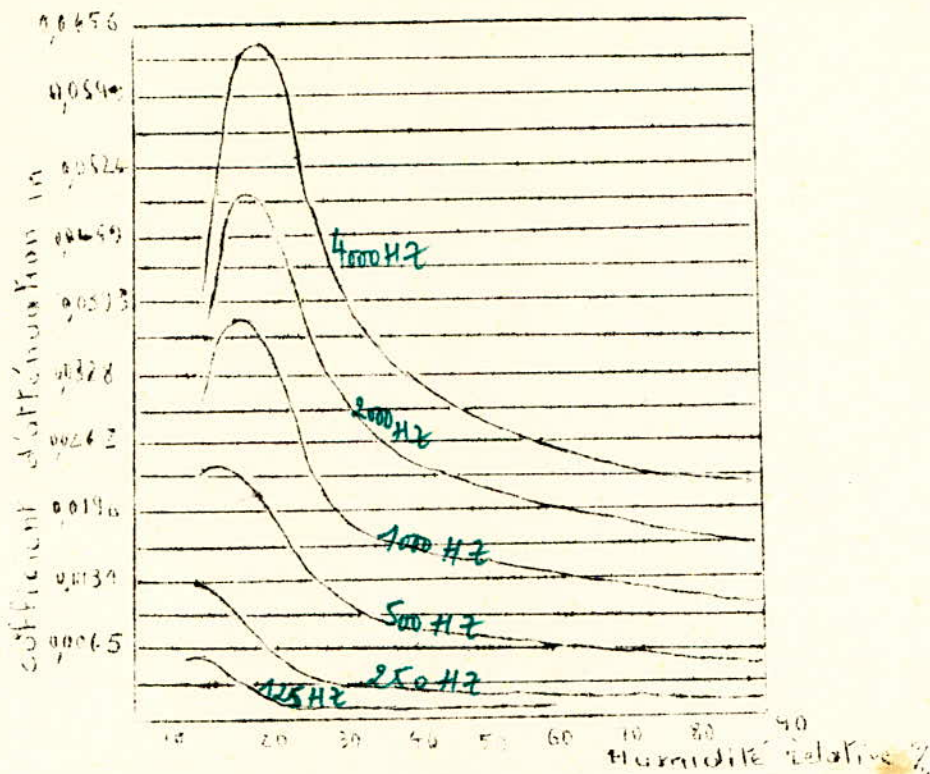
$$- S \log (1-a) + mV = -\frac{V}{6T} \quad (\text{Eyring})$$

T : temps de réverbération en seconde

m : coefficient d'atténuation dans l'air

Le coefficient d'atténuation "m" à chaque fréquence dépend de l'humidité et de la température de l'air. Cette figure montre les valeurs de "m" à la température de 20°C en fonction de l'humidité pour différentes fréquences.

Pour des températures entre 15°C et 25°C, "m" croît d'environ 4% par degré d'élévation de Température. Dans les grandes auditoriums il est nécessaire d'inclure l'absorption de l'air dans le calcul à toutes les fréquences supérieures à 1000 Hz, surtout si l'humidité est inférieure à 10 %.



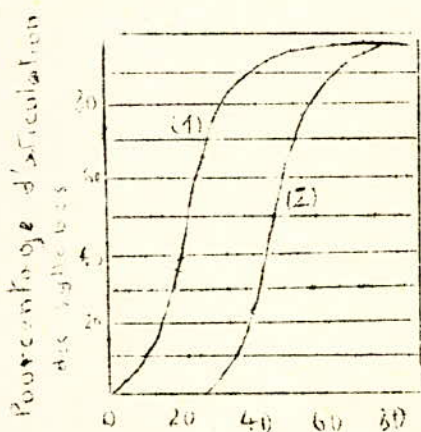
Coefficient d'intelligibilité :

ESSAI : Un individu prononce une liste de son de discours monosyllabiques dépourvus de sens. Un observateur note, aussi précisément que possible, les sons qu'il a entendu.

Le pourcentage de syllabes correctement perçues est appelé pourcentage d'articulation ou pourcentage d'intelligibilité.

Si l'auteur prononce 1000 syllabes et que l'observateur en entende 850 correctement, le pourcentage d'articulation est de 85% (condition très satisfaisantes car 15 % des mots sur 100 seront incompréhensibles).

A 65 % les conditions d'écoute sont juste acceptables soit 35 % des mots seront mal compris, car en dessous de 65 % la compréhension du discours devient difficile.



- (1) Bruit ambiant nul, l'articulation atteindra 88 % pour un niveau sonore du discours de 40dB et 96 % à 70 dB
- (2) Pour un bruit ambiant de salle type atteignant 43dB, l'articulation serait de 17 % pour un niveau du discours de 40 dB et d'environ 93 % pour 70dB.

Niveau au dessus du seuil (dB)

Graphes déterminant l'intelligibilité en % d'articulation des syllabes en fonction du niveau du discours au-dessus du seuil d'audibilité dans deux conditions de bruits :

- (1) - Ambiance très calme, niveau de bruit 0 dB
- (2) - Niveau de bruit 43 dB : bruit typique d'une salle.

- L'intelligibilité N est fonction de 4 paramètres :

K_1 intensité de la source

K_2 temps de réverbération

K_3 bruit d'ambiance

K_4 forme architecturale de la salle

$$N = 100 K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \text{ (exprimé en \%)}$$

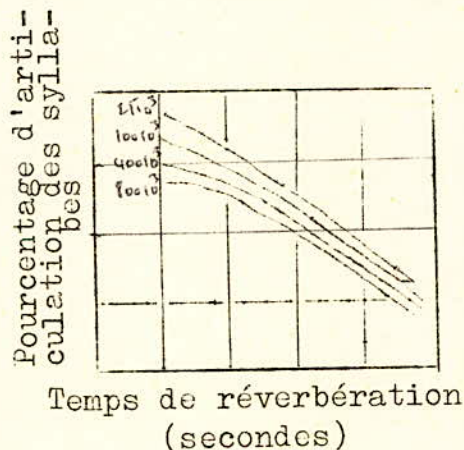
K_1 : doit être compris entre 0,9 à 60dB et 0,85 à 80dB. Au dessous de 60dB, K_1 diminue soit à 40dB $K_1 = 0,75$.

donc K_1 : 0,75 à 40 dB
0,9 à 60 dB
0,85 à 80 dB

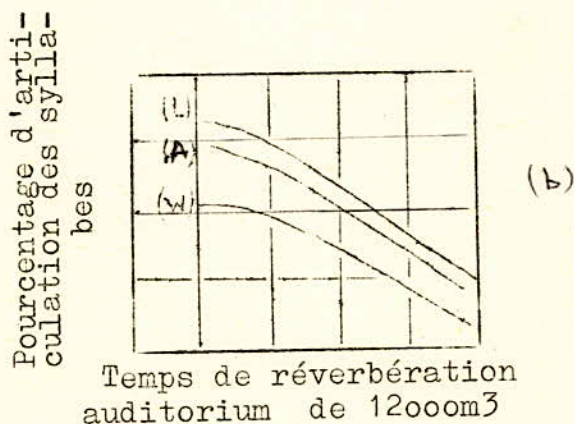
K_2 : fonction des temps de réverbération. Quand ce temps est correct K_2 voisin de 0,9.

K_3 : égale à 1 lorsqu'il n'existe pas de source perturbatrice, doit être voisin de 0,9 pour ne pas perturber l'audition.

K_4 : est un coefficient dû à la forme de la salle, peut être égale à 1 pour les petites salles 0,9 à 0,95 pour les grandes salles.



(a)



(b)

(a) - Les courbes ont été calculées à partir des résultats d'essais d'articulation obtenus dans une petite salle dans laquelle on réglait le temps de réverbération et dans une série de grands auditoriums ayant divers temps de réverbération.

(b) - La courbe (A) est la moyenne d'un groupe de 14 orateurs. La courbe (L) est relative à l'orateur du groupe ayant la voix la plus forte.

La courbe (W) à celui ayant la voix la plus faible.

///LISTE DE LOGATOMES POUR ESSAIS D'ARTICULATION
-o-

dsé	DaK	leuz	gén	zir	fik	deuj	tinc	dép	danz
feum	fut	danv	zud	monv	vaf	keuv	tion	pro	pev
kné	kif	pêm	tav	tran	ksen	dep	glo	rél	jam
géd	rane	sanz	fag	gve	gouch	kid	feuz	bouch	leuv
seur	ronv	klé	lug	neuz	juk	sing	meut	sta	bes
ami	pèg	dinz	nanj	gif	len	kouch	ris	bong	néd
pink	zanv	zok	neul	gêt	ranp	nir	réf	vop	vaut
vré	Jeuj	chap	donl	tanm	vik	viz	nam	peut	minf
vud	ket	lanch	neuch	gous	sok	zeun	tuz	zer	mab
foch	gik	mur	sanv	réch	jav	chez	dér	mins	chot

CONCLUSION : Il ne suffit pas pour comprendre un orateur de l'entendre avec une force suffisante. Dans une salle bien conçue et exécutée, grande ou petite, on doit comprendre l'orateur sans difficulté. Ainsi le coefficient d'articulation est l'une des qualités de l'acoustique des salles.

Quand on a des raisons de craindre une mauvaise audition du discours en certaines parties d'une salle, il faut effectuer des essais d'articulation et vérifier en particulier les régions auxquelles on attribue des défauts, (par mod. réduit).

Après ces essais, la moyenne des pourcentages des syllabes perçues fournira une estimation de la qualité de la salle relativement à l'intelligibilité de la parole.

Autrement dit, quand l'acoustique d'une salle a été étudiée et vérifiée par des essais d'articulation et que les résultats se sont avérés satisfaisants, l'acousticien peut être sûr que la salle n'a pas de défauts acoustiques, tant pour la parole que pour la musique.

- //) PROCEDES DE CONCEPTION D'UNE SALLE

1) - Forme et dimension de la salle :

L'étude des formes se ramène à éviter les échos brouillant l'audition, il faudra donc tracer les parois de façon à grouper tous les échos importants.

Ensuite nous entreprendrons l'étude des détails : voûte sous-balcons, piliers etc...

2) - Etude de la durée de réverbération:

Nous pourrons, d'après la destination principale de la salle, déterminer les durées de réverbération optimum.

3) - Etude des absorbants :

Choix et distribution des matériaux absorbants. Une répartition irrégulière des absorbants fait crôître la diffusion du son Calcul.

4) - Contrôle de la salle achevée :

Contrôle du point de vue des échos : un essai simple consiste à faire un claquement de main sec et à écouter attentivement l'écho qui peut provenir des surfaces suspectes. A chaque claquement un assistant écouterà de divers emplacements.

Autre procédé, c'est de se munir d'un appareil (source à fréquence élevée 4000Hz). En dirigeant le faisceau sonore successivement vers toutes les surfaces susceptibles de donner des échos, et en écoutant le faisceau réfléchi on peut localiser les surfaces nuisibles.

V - ETUDE DES SALLES SUIVANT LA DESTINATION : (Cinéma, conférence.)
-o-

Dans l'acoustique architecturale, la correction acoustique doit être suffisamment précise pour que les locaux correspondent aux conditions d'utilisation.

Ainsi chaque catégorie de locaux doit faire l'objet d'une étude particulière. Les salles peuvent être classées par ordre de difficulté, soit en deux catégories : d'abord, celles où la source des sons est humain, c'est à dire de puissance limitée et sujette à la fatigue.

En second lieu, celles où la source des sons est électronique : cinéma sonore, de puissance illimitée.

Ces salles sont plus faciles à mettre au point car le facteur "fatigué" n'intervient pas. Un excès d'absorbant peut toujours être compensé par une augmentation de la puissance diffusée par les hauts parleurs.

En effet, l'acoustique d'une salle ne peut être considérée comme bonne que si elle répond au genre de manifestations auxquelles elle est destinée. Or, cette acoustique variera chaque fois qu'il s'agisse d'une salle de conférences ou de cinéma. Autant de cas, autant de problèmes, lesquels feront l'objet du chapitre suivant.

V - 1 - Salle de conférence :

Salle rectangulaire, prismatique 25 × 10m de surface hauteur = 5m plafond plat et plancher horizontal.

5 fenêtres de 2 × 4m, 3 portes de 2 × 2,50m.

Podium de 5m de profondeur et surelevé de 1m du sol.

Salle contenant 300 auditeurs

Sol : linoléum
Mur : ribage fin, peint à l'huile
Face proscenium : lambris bois dur
Plancher de podium : Sapin
plafond : fibres perforées
mobilier : chaises, bois.

Calculons d'après la formule empirique, la valeur de la durée de réverbération

$$T = \frac{a}{10} (V)^{1/3}$$

Soit $V' = 20 \times 10 \times 5 = 1000\text{m}^3$ = salle sans podium
 $V'' = 10 \times 5 \times 4 = 200\text{m}^3$ = podium seul

Volume total $V = 1000 + 200 = 1200M^3$
 d'où $T = \frac{V}{10} (1200)^{1/3} = 1 \text{seconde pour } \alpha = 1$ (parole)

Si la salle est destinée aussi à des concerts de musique
 ($\alpha=1,3$), on adoptera 1,2 pour soit $T = 1,27 \text{secondes}$.

Comme il y aura aussi des séances de conférence pour lesquelles
 $\alpha = 1$, on adoptera finalement une valeur moyenne de 1,15 s environ

Ainsi pour y parvenir, les éléments intérieurs devront réaliser un nombre S :

$$S = 0,16 \frac{1200}{1,15} (1 + \log \frac{I}{40})$$

$I = 40 \text{ db}$ pour la parole
 $I = 60 \text{ à } 80 \text{ db}$ pour la musique

soit $I = 40 \text{db}$, $(1 + \log 1) = 1 \implies S = 0,16 \frac{1200}{1,15} = 196 \text{ u.a}$

(u.a = unités absorbantes).

- Sol.....	200m ²	delino, coef.(512Hz) $\alpha = 0,1; 0,1 \times 200 =$	20u.a
- Mur.....	240m ²	ribage fin peint.....	0,02 4,8 "
- Portes.....	30m ²	bois dur.....	0,03 0,9 "
- Fenêtres.....	40m ²	verre.....	0,027 1,08 "
- Poscenium.....	70m ²	bois.....	0,03 0,3 "
- Podium.....	50m ²	bois sapin.....	0,06 3
- Plafond.....	250m ²	fibres.....	0,15 37,50 "
			68,50 "
- Mobiliers.....	300 chaises-bois.....	0,008	2,40 "
		Total.....	= 70,90 "

Aux 70,90 u.a, on pourrait ajouter pour les éléments di-
 (radiateur, moulures etc...) non calculables environ 10% soit :

$$\frac{70 \times 10}{100} = 7,10 \text{ u.a}$$

d'où le total $S = 70,90 + 7,10 = 78 \text{ u.a}$.

Comme la valeur théorique est de $S = 196 \text{u.a}$, la différence nous donne :

$$196 - 78 = 108 \text{ u.a}.$$

Seulement ce calcul est fait pour la salle vide.
 Puisque chaque auditeur a un pouvoir absorbant moyen de 0,44;

le nombre des unités absorbantes variera avec le nombre d'auditeur.

soit pour 50 auditeurs, nous aurons :

$$S' = 78 + 50 \times 0,44 = 100 \text{ u.a.}$$

pour 300 auditeurs :

$$S' = 78 + 300 \times 0,44 = 210 \text{ u.a.}$$

Nbre de personnes	0	50	100	150	200	250	300
Unités absorbantes	78	100	122	144	166	180	210
Temps de réverbération	2,55	1,96	1,6	1,38	1,20	1,05	0,96

Cas ou la salle est à moitié pleine : 150 auditeurs

Nous obtenons : $196 - 144 = 52 \text{ u.a.}$

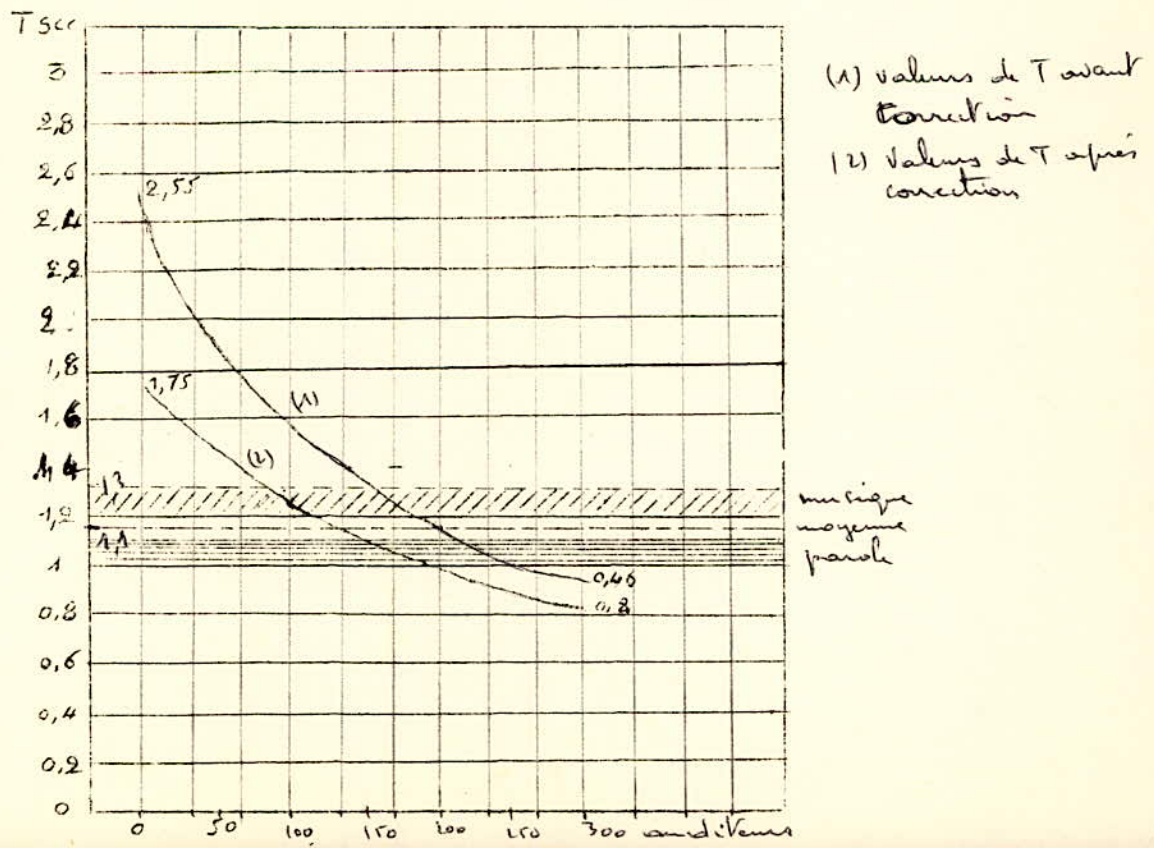
Selon les surfaces disponibles à l'intérieur de la salle, aptes au traitement on répartira des surfaces de matériaux de coefficient d'absorption valables pour réaliser les 50 unités absorbantes.

Mais nous choisirons l'absorbant en fonction de son coefficient d'absorption et de ses caractéristiques techniques et financière.

Si l'on veut corriger le plafond :

$$250 \text{ m}^2 \times 0,20 = 50 \text{ u.a.}$$

Il faudra donc choisir un absorbant de coefficient = 0,2, réalisé par exemple au moyen de panneaux fibreux type Pavatex aux environs de 512hz



Intensité de la voix à son arrivée à la place la plus éloignée :

Distance supposée entre auditeur A et la source F, FA = L(m)

Si "p" = pression à l'arrivée en A

"P" = pression à la source F

$$p = \frac{P}{(L/10)^2} \text{ exprimée en dyne/cm}^2$$

Si la salle soit telle que les fauteuils les plus éloignés de la table du conférencier se trouvent à une distance de 30mètres.

L'intensité de la voix d'un orateur peut atteindre 50dB. Correspondant à une pression acoustique d'environ

$$6,3 \cdot 10^{-2} \text{ baryes soit : } \log P = \frac{1+6}{20} \cdot 10^{-4}$$

à 30 mètres, cette pression tombera de :

$$p = 0,063 / (3/10)^2 = 0,007 \text{ dyne/cm}^2$$

soit en décibels :

$$I = 20 \log 0,007 \cdot 10^4 - 6 = 36,9 \text{ dB.}$$

Comme l'intensité minimum d'une audition normale dont au moins atteindra 40 dB, les auditeurs placés à cette distance entendront mal. On améliore ce défaut en :

- supprimant les places trop éloignées
- les rapprochant de l'estrade

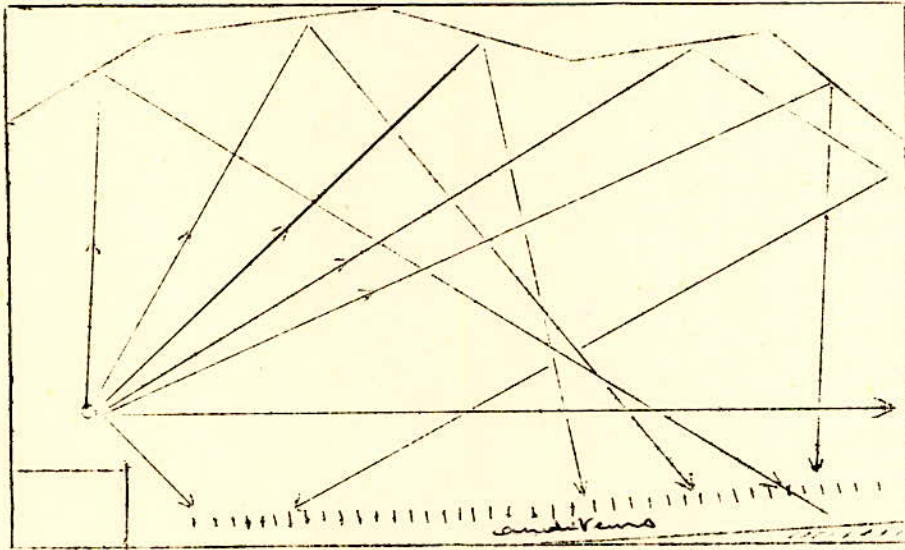
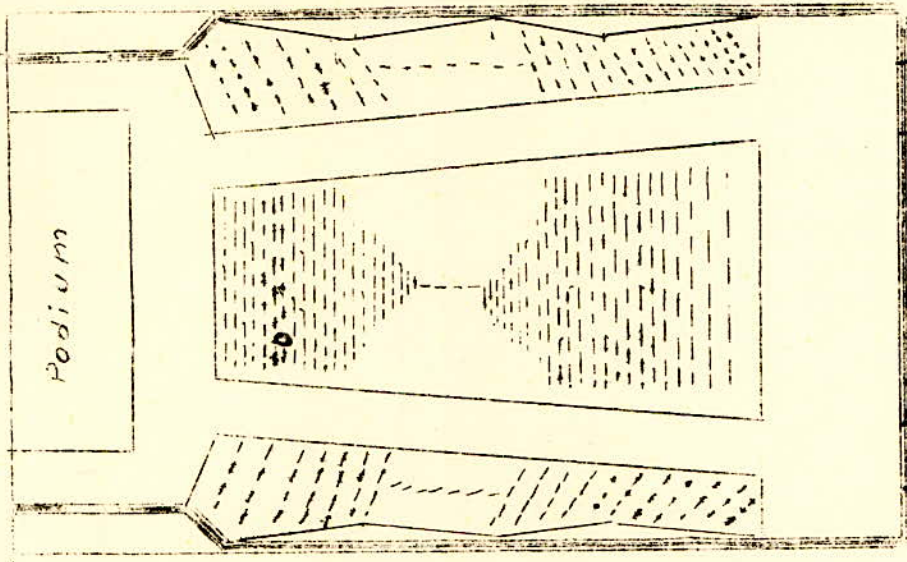
D'une façon générale, on applique le matériau absorbant sur le mur du fond et sous forme de panneaux, de bande ou de plaques sur les murs latéraux plutôt que sur le plafond, en évitant les réflexions de longue durée sur le mur du fond.

Aussi les parties près du podium des murs latéraux et du plafond devant être recouvert de matériaux réfléchissants de façon à augmenter la quantité de son réfléchi. On peut placer certains panneaux perforés et doublés de matelas en laine minérale pour assurer, suivant leurs formes et dimensions :

- les durées de réverbération optimum pour la parole
- une bonne diffusion

Pour de très grande salle, on peut toutefois augmenter le niveau de la parole et avoir une intelligibilité élevée en utilisant un amplificateur.

La disposition des haut-parleurs est importante en effet il faut que les auditeurs aient l'impression que les sons viennent de leur source initiale.



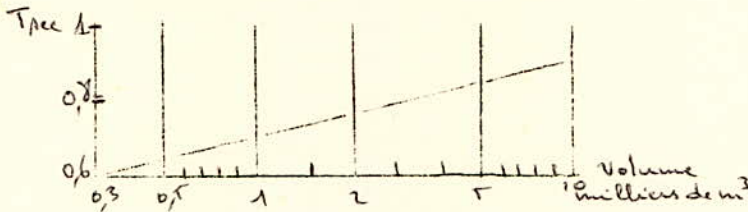
Type de Salle de conférence

SALLE DE CINEMA :

Un cinéma se définit acoustiquement comme une salle de conférence ou l'orateur demeure en permanence au même endroit, et est doté d'un organe de puissance illimité et infatigable.

Le temps de réverbération optimal intervient lors de l'enregistrement ; ce que l'on diffuse dans la salle a été enregistré avec une certaine réverbération qui peut à la rigueur suffire à elle seule.

Valeur à recommander :



Pour avoir un temps de réverbération constant, on peut placer des fauteuils très capitonnés. Il s'obtient en garnissant d'absorbant le dos et le dessus d'un siège basculant. Quand le siège est occupé, l'absorbant est face au sol et n'intervient plus dans la réverbération de la salle.

Par conséquent les réverbérations de la salle, vide ou pleine, reste la même.

- Calcul du temps de réverbération: On choisit T en partant de la figure si-dessus. Puis on applique la formule de Sabine pour avoir S soit :

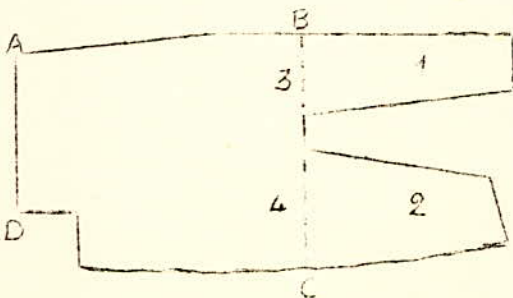
$$S = \frac{0,16V}{T}$$

Calcul se faisant pour le public, podium, parois, portes, fenêtres etc...

Pour le public on prendra les 2/3 de spectateurs et 1/3 de sièges vides.

Cas d'une salle avec balcon, loges : l'étude devient un peu compliquée.

Dans ce cas nous commencerons par la simplifier. Nous remplacerons ces baies (1) et (2) par des surfaces planes (3) et (4) supposées avoir la même absorption que deux baies. Nous pourrions ensuite considérer ces loges et sous-balcons comme des enceintes indépendantes pour lesquelles le temps de réverbération doit être équivalent à celui de la salle A,B,C,D.



Pour éviter les échos, rendre absorbant toutes les parois situées au delà de 11,50m par rapport à la position des hauts-parleurs.

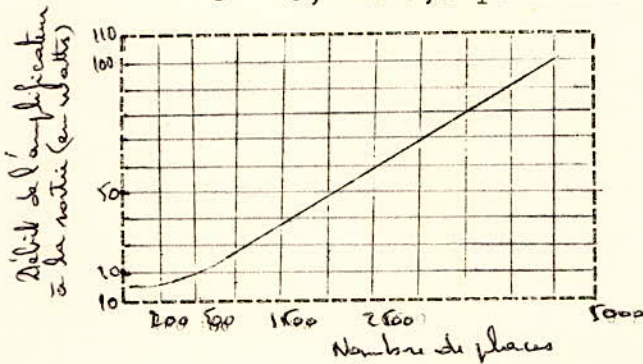
Vu que l'intensité peut être amplifiée électroniquement à volonté, de même risque d'ondes stationnaire et d'interférences.

Au cours d'une séance de projection, une bande sonore émet toute sorte de bruits : musique, parole, bruits de fonds etc... d'où l'incompréhension du dialogue.

Ainsi la durée de réverbération dépend de l'intensité des émetteurs, d'où choix de la valeur du facteur "ε" dans la formule empirique de Sabine.

$$T = \frac{\epsilon}{10} (V)^{1/3}$$

ε = 0,8 à 0,9 pour les salles de cinéma sonores.



Puissance électrique minimum d'un amplificateur sonore pour cinémas en fonction du nombre de spectateurs.

Or, certains propriétaires exigent souvent que cette salle soit aussi appelée à d'autres manifestations : activités sociales, artistiques etc...

Le but à atteindre est de chercher à obtenir une résonance assez courte pour que le discours articulé soit bien compréhensible mais assez réverbérant pour que la musique y conne agréablement.

Il s'agit alors de valeurs moyennes.

soit :

	ε	I
Orateur.....	1	50
Musique.....	1,1	70
Cinéma.....	0,85	50
Chant local.....	1,2	60

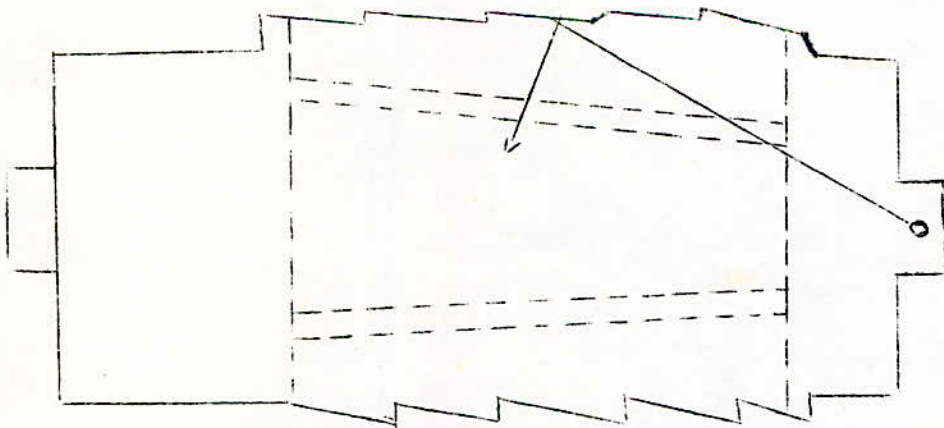
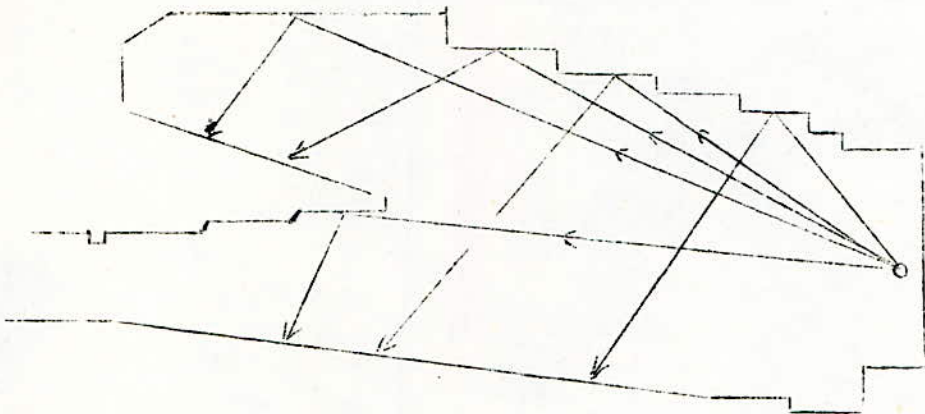
Moyennes acceptables :

$$\frac{1+1,1+0,85+1,2}{4} = 1,1 \quad \frac{50+70+50+60}{4} = 57 \text{ dB}$$

Par la suite on détermine T et S en remplaçant "ε" et "i" par ces valeurs et le calcul s'effectuera comme pour la salle de conférence.

Derrière l'écran du cinéma, il faut recouvrir les murs de matériau très absorbant pour éviter que la radiation arrière du haut parleur ne soit renvoyée vers l'audience (laine minérale en feutre ou en toile).

Le premier rang de fauteuil doit être également très absorbant pour éviter que les réflexions parasites du son n'atteignent les auditeurs des premiers rangs (couvert en tapis recouvrent 3cm de feutre).



TYPE DE SALLE DE CINEMA

VI - // ^{*}SOLATION SONORE :
-0-0-0-0-0-0-0-

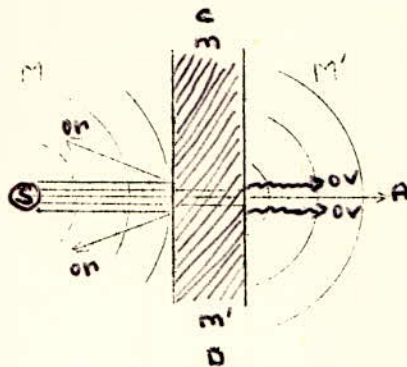
VI - 1 - Intensité des sources : Elles peuvent prendre toutes les valeurs comprises entre 1 et 130 dB :

- l'échelle d'audibilité s'étend du seuil fixé à 0dB jusqu'à la limite supérieure 130 dB correspondant à des bruits : (voir tableau ci-après).

	Pression	Nature des bruits "sonorité"	Divisions urbaines en		Exemples valeurs diverses
			Zones	Quartier	
30dB	$6,3 \cdot 10^2$	limite supérieure d'audibilité.			sensation douloureuse
20 "	$2 \cdot 10^2$	assourdissants			réacteurs
10 "	$6,3 \cdot 10^1$	insupportables			chaudronnerie
00 "	$2 \cdot 10^1$	Intenses			compresseurs
90 "	$6,3 \cdot 10^0$	Très forts			motos, camions
80 "	$2 \cdot 10^0$	Forts	industrie	grosse industrie	usines, gares
70 "	$6,3 \cdot 10^{-1}$	Assez forts		petite industrie	radios, autos
60 "	$2 \cdot 10^{-1}$	Déjà gênants	commerce	affaire rue passante, ordre contigu	bruits d'eaux voix forte
50 "	$6,3 \cdot 10^{-2}$	Modérés			
40 "	$2 \cdot 10^{-2}$	Très modérés	habitation	résidence ordre dispersé - villas	voix normale voix basse
30 "	$6,3 \cdot 10^{-3}$	Faibles			
20 "	$2 \cdot 10^{-3}$	Très faibles			jardin tranquille
10 "	$6,3 \cdot 10^{-4}$	Imperceptibles			bruissement
0 "	$2 \cdot 10^{-4}$	seuil d'audibilité			silence

VI - 2 - Isolement acoustique brute entre deux locaux :

Quand on émet de l'énergie acoustique dans un local, le local voisin en reçoit une partie mais de celle-ci, une certaine proportion se dissipe dans les absorbants des murs. Supposons deux locaux M et M' séparés par une paroi m m' épaisse de E cm et pesant K kilog/cm².



Dans le local M se trouve une source sonore quelconque S, laquelle est écoutée par un auditeur A situé dans la pièce M', derrière l'écran m m'.

Puisque l'air est élastique, les oscillations périodiques émises par S se transmettent de proche en proche sous forme d'ondes sphériques jusqu'à leur contact avec m m', mais ne pourra atteindre A qu'en passant au travers de l'écran.

Soit I intensité sonore de S, une partie seulement de l'énergie acoustique correspondante sera perçue par A pour qui l'intensité de S sera réduite à "i".

- les ondes "a" et "r" n'atteignent pas l'auditeur
- les ondes "d" passent au travers des molécules constitutives de la matière de l'écran soit par parasite acoustique et sont ainsi perçue par A.

Il en résulte :

$$I = (r + a) + (d + v)$$

$$i = d + v = I - (r + a)$$

Le pouvoir isolant phonique de CD sera : $\bar{\alpha} = I - i = I - (d + v)$.

sera maximum : si $d + v = 0$ et $r + a = I$

minimum : si $d + v = I$ et $r + a = 0$

Pratiquement, ces conditions ne pourront être réalisées car si S est grand "a" sera petit et la paroi peu absorbante. Elle vibrera donc facilement, mais laissera peu passer d'ondes aériennes

Isolement sonore brut : $D = L_1 - L_2$ (exprimé en décibels)

L_1 : niveau de pression acoustique moyen (mesuré en différent point dans le local où on émet un son.

L_2 : niveau de pression acoustique moyen dans le local où l'on reçoit le son.

Isolement sonore normalisé :

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{A_0}{A} \quad (\text{formule internationale})$$

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T_0}{T} \quad (\text{formule française})$$

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

A₀ : aire de référence d'absorption équivalente d'un local considéré comme normalement absorbant (A₀ = 10 m²)

T, T₀ : Temps de réverbération du local de réception des bruits et d'un local normalement absorbant (T₀ = 0,5 s).

Indice d'affaiblissement :

$$\bar{D} = L_1 - L_2 - 10 \log \frac{A}{S} \quad (\text{exprimé en décibels})$$

VI - 3 - Mesure de l'isolement sonore moyen (brut ou normalisé) :

En pratique, on mesure l'isolement acoustique pour les 16 fréquences dites fréquences d'analyse.

100 - 125 - 160 - 200 - 250 - 320
400 - 500 - 640 - 800 - 1000 - 1250
1600 - 2000 - 2500 - 3200 Hz.

Les six premiers sont de la bande des fréquences graves.
Les six suivantes : fréquences moyennes
les quatre dernières : fréquences aiguës

Donc l'isolement moyen :

$$D_{\text{graves}} = \frac{D(100) + D(125) + D(160) + D(200) + D(250) + D(320)}{6}$$

$$D_{\text{moyennes}} = \frac{D(400) + D(500) + D(640) + D(800) + D(1000) + D(1250)}{6}$$

$$D_{\text{aiguës}} = \frac{D(1600) + D(2000) + D(2500) + D(3200)}{4}$$

--- L'indice d'affaiblissement moyen ne se mesure qu'en laboratoire.

Tandis que là on a affaire à l'isolement moyen.

Le bruit est produit par un ou plusieurs haut-parleurs placés dans le local d'émission.

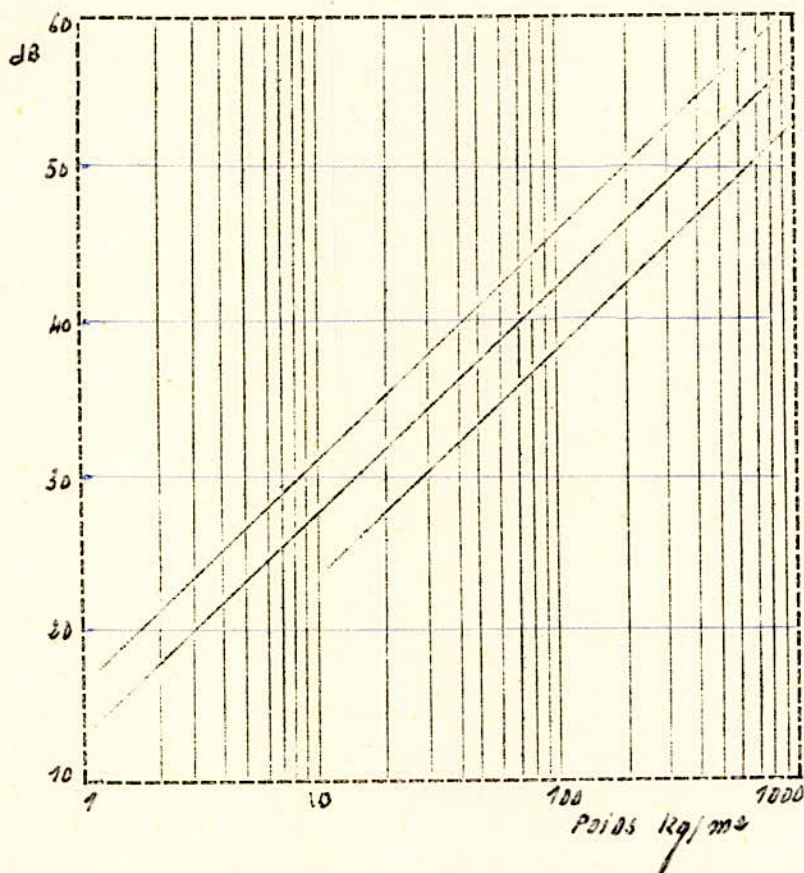
Les sources de son sont réglées de façon que le niveau de pression acoustique utile dans le local de réception dépasse de 10dB au moins le niveau de bruit de fond.

Le niveau de pression acoustique moyenne dans chaque local est déterminé grâce à un micro placé successivement en trois positions différentes dans le local. Les positions sont éloignées de 1m au moins de toute paroi du local et de 1,5m au moins des H.P.

VI - 4 - Cloisons simples :

Les cloisons homogène et rigides ont les propriétés suivantes :

L'indice d'affaiblissement dépend de la fréquence du son, aussi du poids du matériau et croît avec celui-ci.



-- Indice d'affaiblissement moyen pour les fréquences de 125 à 4000Hz en fonction du poids par m² de paroi.

exemple : paroi de 100Kg/m² en matériaux sonores, aura un indice moyen de 38dB.

En utilisant de bons isolants, on peut espérer atteindre 45 dB avec une paroi de même poids.

VI - 4 - 1 - Cloisons percées de portes ou de fenêtres :

Le calcul peut être déterminé par diagramme.
Soit un mur de 20m² est percé d'une porte de 2m² (S₀=20m², S₁=2m²; S₀/S₁ = 10).

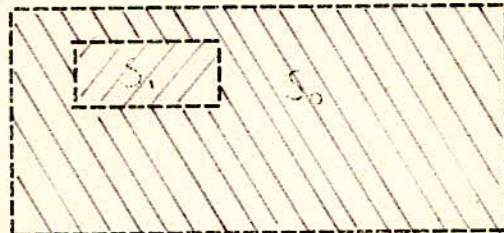
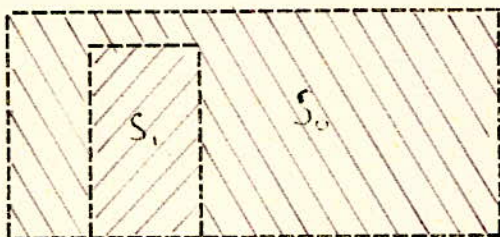
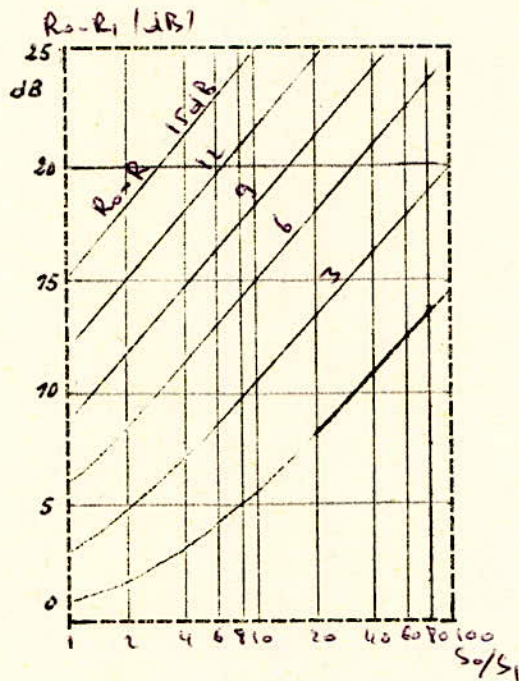
Le mur a un indice d'affaiblissement R_0 de 30 dB et la porte 15dB.

donc: $R_0 - R_1 = 15\text{dB}$

l'abaque nous donne $R_0 - R = 6\text{dB}$

L'indice d'affaiblissement de la cloison combinée sera :

$$30 - 6 = 24 \text{ dB}$$



VI - 5 - Cloisons multiples :

Prenons une cloison de $\frac{1}{2}$ brique, indice moyen de 40dB et pèse 100Kg/m², nous ajoutons un supplément de poids de 100Kg/m², ce qui augmente le poids à 200Kg/m².

Utilisons ce supplément de poids :

- si nous augmentons l'épaisseur de la cloison, on obtiendra 43dB.
- mais utilisons nos 100Kg pour une seconde cloison à 1m de la première. Ainsi les sons ayant traversé la première cloison seront une fois encore réduits de 40dB par la seconde paroi.

d'où l'indice d'affaiblissement sera :

$$40+40 = 80dB \text{ pour } 200 \text{ Kg/m}^2$$

- Maintenant réduisons la distance entre les deux cloisons, plus cette distance diminue plus l'isolement diminue également, il faudra admettre une épaisseur minimum de 5cm. En dessous, le tout se comportera comme une paroi simple de 200 kg.

Ceci s'explique que l'air en lames minces acquiert de la raideur et se comporte comme une couche de matériaux durs, d'où liaison rigide entre les deux cloisons.

Nous pouvons y remédier en plaçant entre les deux cloisons un matériau absorbant les sons.

Ainsi le strict minimum sera de 5cm (entre cloison de 100 kg/m², matelas de 1 à 3 kg/m²)

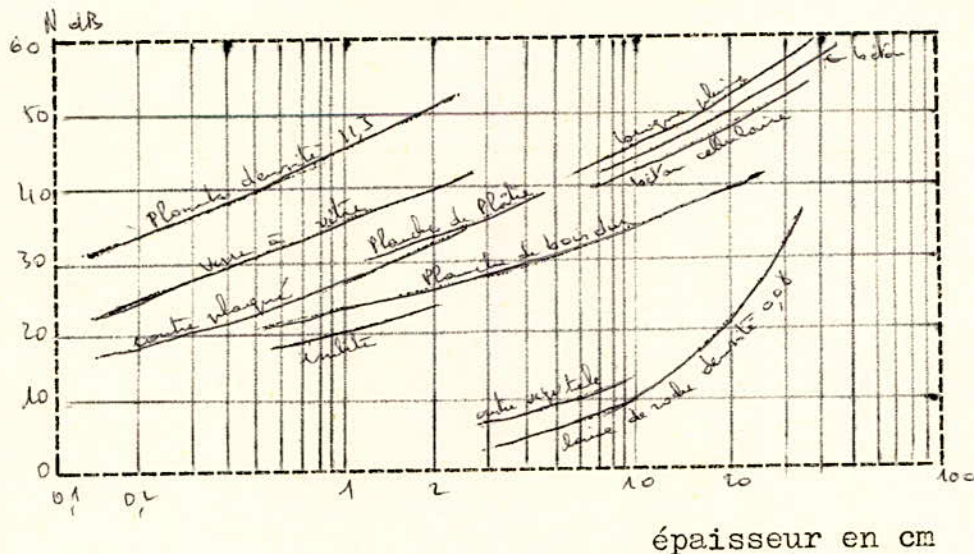
- Procédés pour une double cloison :

- o Emploi d'éléments de matière différente ; sinon, ils entreront en résonance, tout son faisant vibrer l'un fera vibrer l'autre.
- o Ou bien employer des éléments de matières semblables, mais avec des mortiers différents.

Remarques : pour l'amélioration de l'isolement d'une cloison, nous couvrirons le mur de matelas d'ouate minérale, devant ce matelas, nous placerons une paroi continue en panneaux flexibles (agglomérés de fibre de bois). Ainsi nous pourrions obtenir une bonne amélioration (environ de 15dB).

Type de cloison	isolement moyen en décibels sans enduit	isolement moyen en décibels avec enduit
Fibragglo 7 cm épaisseur	4 matériau très poreux	35,5 enduit plâtre
Parpaings Durisol 20cm épaisseur	20 matériau assez poreux	53 enduit ciment
Parpaings pleins de ciment 10 cm épaisseur	30 matériau classique	43,5 enduit plâtre 45 enduit ciment
Briques pleines 11 cm épaisseur	38 matériau classique	42,5 enduit plâtre 43 enduit ciment

-- Isolement de quelques matériaux courants



VI - 6 - Dispositif de mesure :

La pression sonore varie dans la salle d'émission du bruit et dans la salle de réception, selon le réseau des ondes stationnaires se créant automatiquement dans ces deux locaux. Ces variations de niveau sont énormes aux fréquences basses (20dB à 100Hz) et encore importantes aux aigus. Devant ce fait il est indispensable de procéder à des changements de position des microphones, d'en avoir plusieurs en parallèle ou encore d'avoir recours au microphone tournant.

VI - 7 - Projets pour cloison :

-- cloisons simples : choisir les matériaux. Briques de campagnes si leur poids est admissible. Sinon, briques éponges ou parpaings ou dalles de bonne qualité. Mortier gras pour les briques.

-- cloisons préfabriquées : pour les immeubles, l'emploi est très utile. Le choix sera basé sur des considérations de poids, de facilité de pose, de stabilité etc...

-- cloisons doubles : choix de matériaux un peu plus complexes que pour les cloisons simples. Pour l'un des éléments, on pourra prendre le type adopté pour les cloisons simples. On choisira ensuite l'élément de dédoublement un peu plus lourd que le premier.

Exigence pour parois multiples :

-- Une lame d'air suffisante doit constituer une coupure entre les parois (minimum 3 cm).

-- La lame d'air doit être garnie d'un matériau absorbant pour éviter des phénomènes de résonance possible.

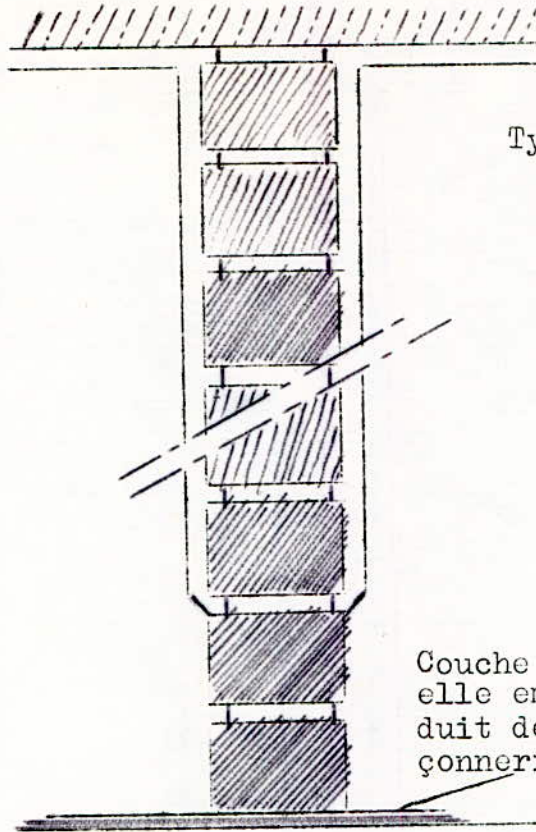
Pour avoir un bon résultat pour des parois doubles, il faut que la fréquence propre de l'ensemble soit très basse et inférieure à 75 Hz.

$$\text{Soit } f_{\text{Hz}} = 615 \frac{(m_1+m_2)}{(m_1+m_2)d} \quad (\text{donnée expérimentalement})$$

m_1, m_2 : masse de chaque paroi constituant l'écran double en kg/m²

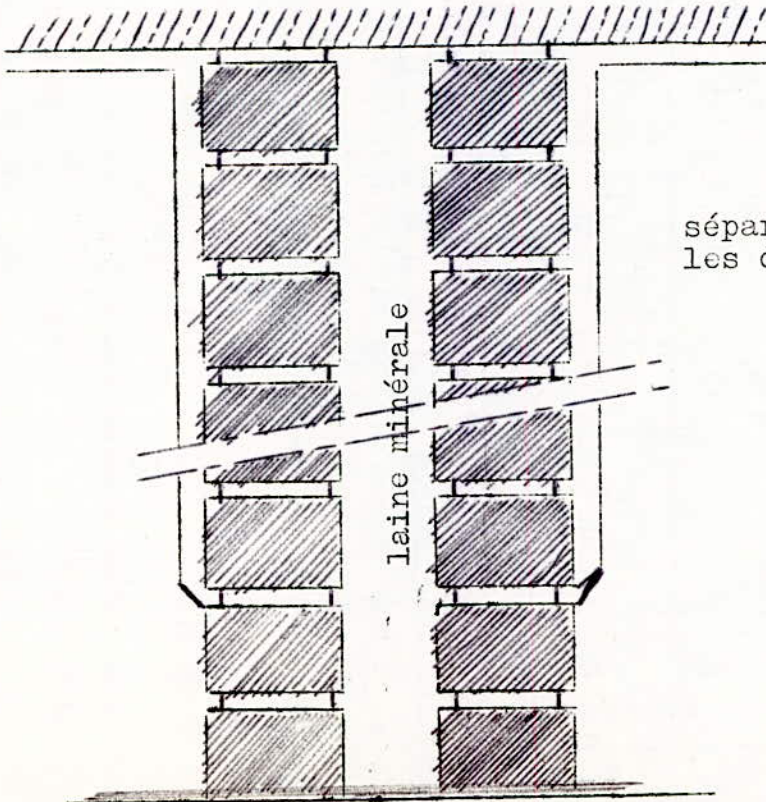
d : distance entre les 2 parois en cm.

$$\text{d'où } d_{\text{cm}} > 67 \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)$$



Type de cloison simple :
cloison de $\frac{1}{2}$ brique

Couche isolante : roofing à 5 plis
elle empêchera le mortier et l'en-
duit de la cloison de lier la ma-
çonnerie au plancher.



cloison double :
séparation minimum entre
les deux cloison : 6 cm.

1ère cloison

2ème cloison

INFLUENCE DE LA LAISON DES MURS SUR LEUR ISOLEMENT

Schéma de la structure	Isolement moyen
<p style="text-align: center;">15 6,5 9</p>	74,2 dB
<p style="text-align: center;">7 6,5 2,5</p>	57,6 dB
<p style="text-align: center;">2,5 6,5 7</p>	74,9 dB
<p style="text-align: center;">7 6,5 15</p> <p style="text-align: center;">dimension en cm.</p>	61,4 dB
<p style="text-align: center;">6,5</p> <p style="text-align: center;">vide</p>	74,4 dB

Description de la cloison et Description de la séparation	Atténuation par transmission (dB)						
	Moyenne 128 à 4096 Hz	128 Hz	256 Hz	512 Hz	1024 Hz	2048 Hz	4096 Hz
Cloisons en plâtre sans montants							
Plâtre plein de 5 cm avec noyau en métal déployé.....	38	37	29	36	38	48	55
Plâtre plein de 5 cm avec noyau en latte à plâtre de 0,9 cm	37	38	27	35	36	47	54
Cloison à double armature de 5 cm.....	38	35	29	33	38	43	57
Double armature de planche plâtrée de 12 cm et 0,9cm maintenues aux joints verticaux.....	40	31	32	38	40	50	62
Cloison simple							
	Moy. 200 à 2000Hz	128 Hz	256 Hz	768 Hz	1800 Hz	3500 Hz	-
Planche de construction rabotée 9,5 mm sur cadre bois.....	22	12	16	22	28	30	
Planche de 12 mm sur cadre bois.....	22	12	15	22	28	29	
Planche agglomérée au mortier d'amiante de 6mm sur cadre d'acier.....	26	12	18	27	33	36	
Planche plâtrée de 5mm sur cadre bois.....	27	16	20	27	34	31	
Planche d'acier de groupe 16sur cadre acier.....	29	16	21	30	37	43	
Planche de déchets agglomérés par produit plastique.....	35	20	28	37	39	43	
Planche de plâtre, 5 couches chacune de 9 mm.....	32	25	30	32	34	39	
Planche de plâtre 1,9 cm avec revêtement de plâtre de 15 mm de chaque côté.....	34	29	32	31	42	50	
Doubles cloisons de panneaux légers							
Deux feuilles constituées de pulpe de bois comprises entre deux feuillets de 1,2cm contreplaqué espacés de 2,5cm.....	34	14	19	35	46	46	
Deux feuillets chacune de deux feuillets de contreplaqué de 6 mm.....	26	14	19	24	36	43	
Deux feuilles chacune constituées de deux	31	16	20	31	40	45	

CONCLUSION

+e+e+e+e+e+e+e+e+

Le désir d'arriver à une excellente acoustique a toujours été le soucis de l'acousticien. Seulement chaque salle demande une étude particulière (suivant ses dimensions, sa destination et le lieu où elle devrait être construite.

De même il est préférable de tenir compte des exigences acoustiques lors de l'élaboration du projet car une fois la salle en cours d'exécution, il est souvent difficile, et toujours coûteux, d'y apporter les correctifs acoustiques nécessaires ; il devra aussi, satisfaire les auditeurs puisque cela lui est imposé par le programme et, en même temps, tenir compte des données pratiques et financières du problème, données complexes entre lesquelles il lui faudra savoir choisir les meilleures.

Du côté finances, l'acousticien doit connaître en premier lieu l'emplacement de la salle car dans un endroit bruyant cette dite salle exigera une isolation acoustique coûteuse pour réduire le bruit à des niveaux admissibles.

Par contre s'il importe que cette salle soit protégée le mieux possible contre les bruits extérieurs, ses qualités propres internes (temps de réverbération, bonne répartition de matériaux absorbants etc...), son absence d'échos gênants, seront certainement encore plus appréciables.

Encore faut-il étudier minutieusement l'application pratique des principes acoustiques de la salle, et de savoir surtout la destination (pour la parole, musique ou autres manifestations). Parfois, il est exigé à l'acousticien, des salles prévues pour plusieurs manifestations ; c'est alors que le problème se complique, et ainsi il doit se soumettre à certaines conditions pour avoir une acoustique moyenne souvent satisfaisantes.

Cependant, pour la construction des salles d'audition, avec ou sans spectacles, la collaboration entre architecte et acousticien est nécessairement plus intime. On ne conçoit plus actuellement, qu'un architecte dessine une salle en se souciant de la remettre des propositions de traitement acoustique, faut-il que l'un et l'autre n'attendent le but pour un rendement maximal, que lorsqu'ils se comprendront mutuellement, et ainsi cette collaboration peut conduire aux meilleurs résultats.

-o- **B** I B L I O G R A P H I E -o-

- Traité pratique de l'acoustique appliquée
par LOUIS VILLARD
 - Problèmes d'acoustiques des salles et des Studios
par R. LAMORAL
 - Acoustique Architecturale
par AC. RAES
 - Acoustique Elémentaire
par R. VEDEILHIE
 - Acoustique Tome III
par JEAN MERCIER
-
-
-