



Projet d'acoustique

Florian Golivet
Adèle Merlier
Gaëlle-Anne Beyet



1 Première partie : traitement acoustique

Déterminer la durée de réverbération de la salle vide non traitée (rideau fermé) par bande d'octave. On négligera la variation de volume de la salle au décrochement de l'avant-scène. On utilisera les valeurs des surfaces données dans le tableau 1.

Dans premier temps, il est nécessaire de calculer les surfaces de chaque élément composants les parois, le sol et le plafond.

Désignation	Surface (m ²)
Mur Nord	50
Mur Ouest	50
Parois vitrées Ouest	35,6
Châssis Ouest	14,4
Mur Est	100
Rideau	25
Mur Sud	15
Plafond	200
Sol	200

Tableau 1.1 – Surface par élément

On rappelle le temps de réverbération est déterminé à partir de la formule de Sabine :

$$Tr = \frac{0,16 V}{A} \text{ avec } A = \sum_i \alpha_i S_i \quad (1)$$

Avec Tr [s] : le temps de réverbération

V [m³] : le volume de la pièce ;

A [m²] : aire d'absorption équivalente ;

α_i : le coefficient d'absorption ;

S_i [m²] : la surface.

Dans un second temps, on détermine l'aire d'absorption équivalente par bande d'octave (Hz).

Bande d'octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mur Nord	0,1	0,07	0,06	0,08	0,09	0,11
Mur Ouest	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028
Parois vitrées Ouest	0,4	0,28	0,2	0,17	0,15	0,12
Châssis Ouest	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
Mur Est	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028
Rideau	0,2	0,32	0,52	0,72	0,68	0,6
Mur Sud	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028
Plafond	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028
Sol	0,17	0,13	0,11	0,1	0,09	0,07
Aire d'absorption équivalente mesurée salle vide (m ²)	64,05	53,43	52,4	56,36	54,46	50

Tableau 1.2 – Aire d’absorption équivalente par bande d’octave

Dans un troisième temps, puisque l’on connaît les aires équivalentes par bande d’octave, on peut déterminer le temps de réverbération par bande d’octave.

Bande d’octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Tr Temps de réverbération (s)	2,5	3,0	3,1	2,8	2,9	3,2

Tableau 1.3 – Temps de réverbération par bande d’octave

On prévoit en moyenne la présence de 200 personnes, ce qui correspond à un coefficient d’occupation au sol de 50% de la surface du plancher. Déterminer Tr par bande d’octave de la salle correspondant à ce pourcentage d’occupation.

La surface du plancher est de 200 m². Il est maintenant occupé à 50% par l’auditoire. Il faut donc recalculer l’aire d’absorption avec une surface de 100 m² de plancher et de 100 m² d’auditoire.

Bande d’octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Mur Nord	0,1	0,07	0,06	0,08	0,09	0,11
Mur Ouest	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028
Parois vitrées Ouest	0,4	0,28	0,2	0,17	0,15	0,12
Châssis Ouest	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
Mur Est	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028
Rideau	0,2	0,32	0,52	0,72	0,68	0,6
Mur Sud	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028
Plafond	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028
Sol	0,17	0,13	0,11	0,1	0,09	0,07
Auditoire	0,57	0,72	0,82	0,92	0,95	0,90
Aire d’absorption équivalente mesurée salle vide (m ²)	104,05	112,43	123,4	138,36	140,46	133

Tableau 1.4 – Aire d’absorption équivalente par bande d’octave

On peut ainsi calculer le temps de réverbération avec l’auditoire à partir de l’équation (1).

Bande d’octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Tr Temps de réverbération (s)	1,54	1,42	1,30	1,16	1,14	1,20

Tableau 1.5 – Temps de réverbération par bande d’octave

Calculer le coefficient d’absorption par octave que doit avoir le mur Est pour qu’en présence de l’auditoire attendu (50%), le Tr soit de $0,9 \pm 0,2$ s. Peut-on obtenir ce résultat si on traite tout le mur Est qu’avec du béton perforé ? du béton alvéolé ? Quelle proportion de chacune des deux formes de béton disponibles placeriez-vous sur le mur Est pour obtenir un Tr de 0,9 s dans l’octave 1000 Hz. Quelles seraient alors les valeurs du Tr des autres fréquences ?

Dans un premier temps, il faut trouver le coefficient d'absorption de Sabine nécessaire pour obtenir un Tr de $0,9 \pm 0,2$ s.

$$A = \frac{0,16 V}{Tr} \quad (2)$$

$$A = \sum \alpha_i S_i \quad (3)$$

Avec α_i : coefficient d'absorption de Sabine ;
 S_i : surface de l'élément.

$$A = \frac{0,16 * 1000}{0,9 \pm 0,2}$$

L'aire d'absorption équivalente varie de $145,45 \text{ m}^2$ à $228,6 \text{ m}^2$, avec $A(Tr=0,9s) = 177,8 \text{ m}^2$.

On connaît l'aire d'absorption équivalente, on peut ainsi déterminer le coefficient d'absorption que le mur Est doit avoir.

$$\alpha_{mur\ est} = \frac{A_{global} - \sum \alpha_{i-1} S_{i-1}}{S_{mur\ est}}$$

Bande d'octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Coefficient d'absorption cible (Tr=0,9s)	0,77	0,69	0,59	0,45	0,45	0,53
Coefficient d'absorption (Tr=0,7s)	1,28	1,20	1,10	0,96	0,95	1,04
Coefficient d'absorption (Tr=1,1s)	0,44	0,37	0,27	0,13	0,12	0,21

Tableau 1.6 – Coefficient d'absorption souhaité

On remarque qu'aucun des matériaux proposés ne satisfait ces conditions.

Bande d'octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Coefficient d'absorption du béton perforé	0,4	0,42	0,32	0,32	0,38	0,28
Coefficient d'absorption du béton alvéolé	0,2	0,86	0,55	0,48	0,45	0,4

Tableau 1.7 – Coefficient d'absorption du béton perforé & alvéolé

On peut vérifier les valeurs du temps de réverbération avec les matériaux listés. On remplace l'aire d'absorption équivalente du mur est par une nouvelle aire calculée avec les coefficients des matériaux ci-dessous.

Bande d'octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Tr avec le béton perforé (s)	1,12	1,04	1,04	0,95	0,91	1,01
Tr avec le béton alvéolé (s)	1,30	0,81	0,90	0,87	0,87	0,94

Tableau 1.8 – Temps de réverbération équivalent

Les valeurs de T_r ne respectent pas le cahier des charges comme présenté précédemment.

Pour satisfaire un T_r de 0,9 s dans l'octave 1000 Hz, la proportion des deux surfaces doit satisfaire le système suivant :

$$[\alpha_{\text{béton perf.}} \times S_{\text{béton perf.}} + \alpha_{\text{béton alvéolaire}} \times S_{\text{béton alvéolaire}}]_{1000 \text{ Hz}} = \frac{0,16 V}{0,9} A_{\text{salle pleine}} - \text{Mur est en béton ()}$$

$$S_{\text{béton perf.}} + S_{\text{béton alvéolaire}} = S_{\text{mur est}} = 100 \text{ m}^2 \leftrightarrow S_{\text{béton perf.}} = 100 - S_{\text{béton alvéolaire}}$$

$$S_{\text{béton alvéolaire}} =$$

2 Seconde partie : l'inauguration

Est-ce que les valeurs données dans le tableau 2 sont en accord avec ce que vous connaissez d'un bruit blanc ?

Un bruit blanc est composé de toutes les fréquences audibles, chaque fréquence ayant la même énergie. Le nombre de fréquence doublant d'une octave à l'autre, l'énergie croît linéairement d'une octave à l'autre de 3 dB par octave.

Bande d'octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	40	43	46	49	52	55

Tableau 2.1 – Niveau de pression acoustique en dB par octave mesuré au centre de la pièce

Le niveau de pression acoustique mesuré augmente de 3 dB par bande d'octave. De plus, le bruit de fond a une densité spectrale sur la bande 100Hz-5000Hz, soit sur toutes les fréquences du domaine audible. Les valeurs sont donc en accord avec un bruit blanc.

Calculer le niveau de puissance acoustique de chacun des deux aérateurs.

Le niveau de puissance dans la salle est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$L_w = L_p - 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4(1-\alpha)}{A} \right) \text{ (1)}$$

Avec L_w [dB] : niveau de puissance enregistré

L_p [dB] : niveau de puissance de la source

Q : directivité de la source (Q=1 pour une source de champ libre ; Q=2 pour une source proche d'une paroi ; Q=8 pour source dans un coin)

r [m] : distance entre la source et le point de mesure

A [m²] : aire d'absorption équivalente du local

α : coefficient d'absorption

Dans une salle réverbérante, on néglige le champ direct. Ainsi le terme faisant intervenir la directivité Q de la source et le rayon r, la distance entre l'aérateur et le pont de mesure, est négligé. Le second terme peut être simplifié en négligeant α devant 1 : (1-α) ≈ 1.

Puisque les deux aérateurs émettent à la même puissance et n'interfèrent pas entre eux, il est possible de réduire de 3dB la mesure faite, 10 log 2 = 3 dB.

Le niveau de puissance d'un seul aérateur est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$L_w = L_p - 10 \log \left(\frac{4}{A} \right) - 3$$

Bande d'octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	49,24	51,61	54,22	57,54	60,38	62,97

Tableau 2.1 – Niveau de pression acoustique en dB par octave mesuré au centre de la pièce

On peut maintenant déduire le niveau de puissance moyen d'un aérateur.

$$= 10 \log\left(\sum_i 10^{\frac{L_{wi}}{10}}\right)$$

Ainsi dans la salle, on mesure un niveau de puissance moyen de 66,16 dB.

De combien aura varié le niveau de bruit global en dB dû aux aérateurs lorsque le local aura été traité (Tr=1s sur l'ensemble du spectre) ?

Après traitement, l'aire d'absorption équivalente est égale à, d'après la formule (1) :

3 Troisième partie : nuisances sonores à l'hôpital

1) Calculer l'intensité réverbérée incidente sur chacune des 4 baies vitrées par bande d'octave

Soit A l'aire d'absorption équivalente

$$A = A_1 + \left(\frac{S_{ouverture}}{A_2 + S_{ouverture}} \right) * A_2$$

Ainsi, $A=174.3 \text{ m}^2$

Puisque l'aire d'absorption équivalente et la puissance de la source sont constantes quelle que soit la fréquence, I_r est la même pour chaque bande d'octave.

$$I_r = \frac{W_{abs}}{A} * 4 \text{ car il y a 4 baies vitrées}$$

$I_r = 6.88 * 10^{-3} \text{ W/m}^2$ pour chaque octave

2) Déterminer la puissance transmise à travers la surface ouest, les quatre baies vitrées étant supposées fermées. On tiendra compte des joints d'étanchéité et des entrées d'air

Puissance transmise

- Pour la paroi : $\tau_{b\acute{e}ton} = 10^{\frac{-R_{b\acute{e}ton}}{10}}$
- Pour le vitrage : $\tau_{vitrage} = 10^{\frac{-R_{vitrage}}{10}}$
- Pour le châssis : $\tau_{ch\hat{a}ssis} = 10^{\frac{-R_{ch\hat{a}ssis}}{10}}$
- Pour un joint, on utilise la formule donnée en annexe : $\tau_{joint} = \frac{I_{ref} * I_S}{S} * 10^{\frac{-R_S}{10}}$
- Pour une fente d'air : $\tau_e = \frac{10}{S} * 10^{\frac{-D_{n,e,situ}}{10}}$ avec S la surface de la façade

Après avoir calculé ces valeurs pour chaque octave, on calcule τ_{global} grâce à la formule

$$\tau_{global} = \frac{\sum_i \tau_i * S_i}{\sum_i S_i}$$

Avec $S(\text{vitrage})=35.6 \text{ m}^2$ (4 vitres)

$S(\text{ch\hat{a}ssis})=14.4 \text{ m}^2$ (4 châssis)

$S(\text{béton})=50 \text{ m}^2$

Et on prend $S=100 \text{ m}^2$ pour les joints et les fentes (4 de chaque)

octaves	125	250	500	1000	2000	4000
tau_global_sf	0,002648331	0,006218983	0,001105081	0,000219472	0,000175426	0,000174566

Puis $I_t = \tau_{global} * I_r$

octaves	125	250	500	1000	2000	4000
I_transmise	1,82205E-05	4,27866E-05	7,60296E-06	1,50997E-06	1,20693E-06	1,20102E-06

Enfin, $W_t = S_{fa\grave{c}ade} * I_t$

octaves	125	250	500	1000	2000	4000
---------	-----	-----	-----	------	------	------

W transmise	0,001822052	0,00427866	0,000760296	0,000150997	0,000120693	0,000120102
-------------	-------------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------

3) Calculer le niveau sonore global en dB(A) au point M en façade de la chambre A. On ne prendra pas en compte la réflexion sur la façade. On considérera que la façade ouest de la salle des fêtes se comporte comme une source équivalente de facteur de directivité $Q=4 \cos(\theta)$ et centrée sur le mur ouest de la salle.

$$\text{Soit } \frac{P_{eff}^2}{\rho_0 * c_0} = \frac{Q * W}{4 * \pi * r^2}$$

$$\text{Or } Q = 4 * \cos(\theta) = 4 * \cos(\arctan(30/60)) = 26.6^\circ$$

$$\text{D'où } P_{eff}^2 = Q * W_{transmise} * \frac{\rho_0 * c_0}{4 * \pi * r^2} \text{ avec } r^2 = \sqrt{30^2 + 60^2} = 67.1 \text{ m}$$

octaves	125	250	500	1000	2000	4000
p^2	4,77914E-05	0,000112227	1,99421E-05	3,96056E-06	3,16572E-06	3,1502E-06

$$\text{On a } Lp \text{ (dBA)} = 10 * \log\left(\frac{P_{eff}^2}{P_0^2}\right) - \text{pondération}$$

octaves	125	250	500	1000	2000	4000
Lp (dBA)	34,77289585	45,98036657	43,97711432	39,95696781	39,98411915	39,96277546

$$\text{Enfin, } Lp_{global} = 10 * \log\left(\sum_i 10^{\frac{Lp_i}{10}}\right) = 49.8 \text{ dBA}$$

4) Calculer l'indice d'affaiblissement acoustique apparent de la façade de la chambre A, fenêtre fermée, par bande d'octave.

$$\text{Soit } \tau_{b\acute{e}ton} = 10^{\frac{-R_{b\acute{e}ton}}{10}} \quad \tau_{fen\acute{e}tre} = 10^{\frac{-R_{fen\acute{e}tre}}{10}} \quad \text{et } \tau_{fente} = \frac{10}{S_{fa\acute{c}ade}} * 10^{\frac{-D_{n,e}}{10}}$$

$$\text{Puis } \tau_{global} = \frac{\sum_i \tau_i * S_i}{\sum_i S_i}$$

$$\text{Avec } S(\text{fa\acute{c}ade}) = 7.5 \text{ m}^2 \quad S(\text{b\acute{e}ton}) = 5.5 \text{ m}^2 \quad \text{et } S(\text{vitrage}) = 2 \text{ m}^2$$

octaves	125	250	500	1000	2000	4000
Tau_global h	0,001345701	0,003038339	0,000958075	0,001144355	0,00073538	0,000401948

$$\text{Et enfin, } R = -10 * \log(\tau)$$

octaves	125	250	500	1000	2000	4000
R_global	28,71051314	25,17363831	30,18600598	29,41439255	31,33488421	33,95830021