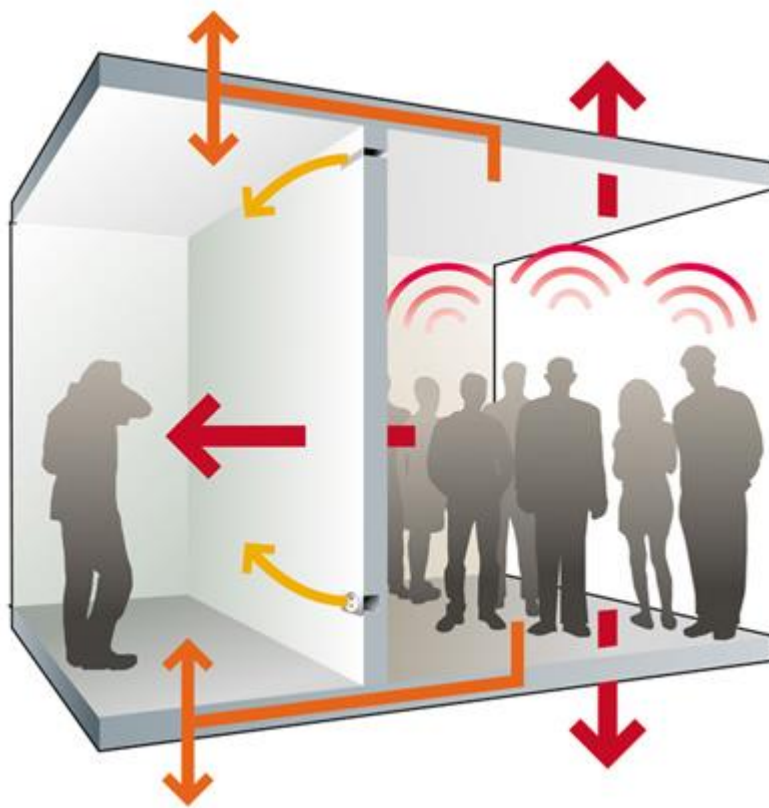


## TRAITEMENT ACOUSTIQUE DANS UNE SALLE DES FETES



**Dorian Campbell**

**Manuela Rodriguez**

**Elise Tran**



Dans le cadre de l'aménagement de la salle des fêtes de la mairie de Pernodet pour l'adapter aux représentations théâtrales, le conseil municipal nous a demandé de réaliser le traitement acoustique de la salle. Le projet se divise en trois parties : la première qui concerne le traitement acoustique, la deuxième qui concerne l'inauguration et la troisième qui concerne les nuisances sonores à l'hôpital de Pernodet. Les plans de la salle ainsi que de la localisation de l'hôpital par rapport à la salle sont montrés ci-après.

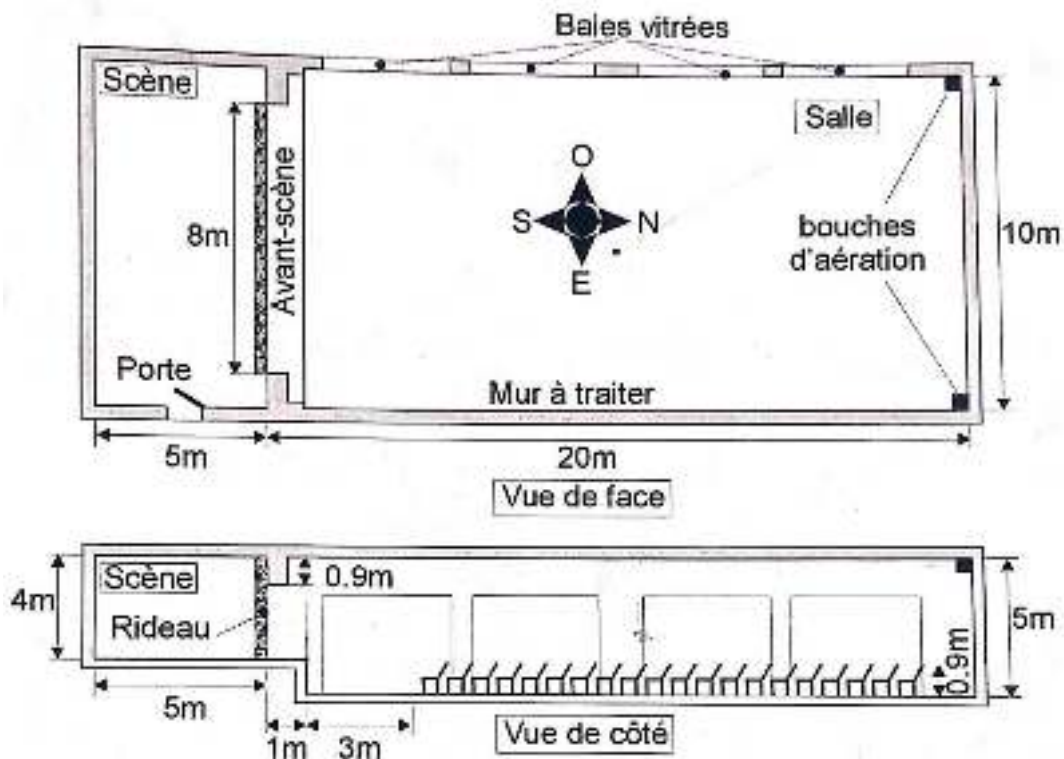


Figure 1. Configuration de la salle des fêtes

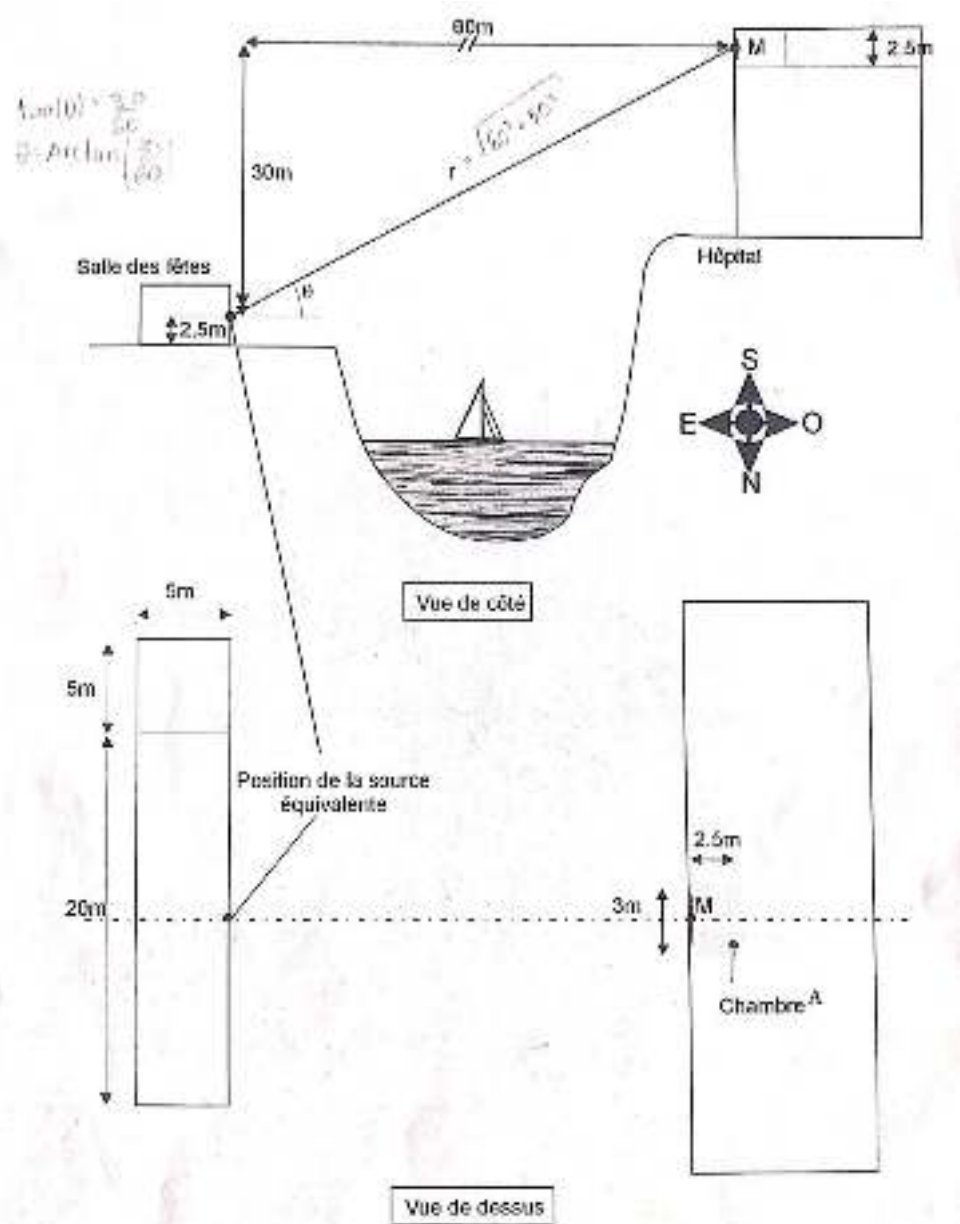


Figure 2. Positions respectives de la salle des fêtes et de l'hôpital

## Première partie : traitement acoustique

1. Pour calculer l'aire d'absorption équivalente de la salle vide on prend en compte tous les matériaux de la salle et on considère le rideau fermé.

$$A = \sum_i \alpha_i S_i$$

Puis le temps de réverbération est donné par :

$$T_R = \frac{0,16V}{A}$$

	Bande d'octave						Surface (m2)
	125	250	500	1000	2000	4000	
<b>α béton (sauf murs Nord et Est)</b>	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028	25
<b>α mur nord</b>	0,10	0,07	0,06	0,08	0,09	0,11	50
<b>α plafond</b>	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028	200
<b>α plancher</b>	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09	0,07	200
<b>α baie vitrée</b>	0,40	0,28	0,20	0,17	0,15	0,12	35,6
<b>α bois</b>	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	14,4
<b>α rideau</b>	0,20	0,32	0,52	0,72	0,68	0,60	25
<b>α béton (mur Est)</b>	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028	100

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>A (m2)</b>	63,65	52,952	51,76	55,56	53,504	48,88
<b>TR (s)</b>	2,514	3,022	3,091	2,880	2,990	3,273

2. Pour ce calcul, on prend la surface d'occupation des personnes comme 100 m<sup>2</sup> (le plancher fait 200 m<sup>2</sup> donc le 50% est 100 m<sup>2</sup>) et donc on assume que la surface qui apporte le plancher pour l'aire équivalente (A) est égale à l'aire qui reste sans occupation, c'est-à-dire 100 m<sup>2</sup>.

	Bande d'octave						Surface (m2)
	125	250	500	1000	2000	4000	
<b>α béton (sauf murs Nord et Est)</b>	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028	25
<b>α mur nord</b>	0,10	0,07	0,06	0,08	0,09	0,11	50
<b>α plafond</b>	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028	200
<b>α plancher</b>	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09	0,07	100
<b>α baie vitrée</b>	0,40	0,28	0,20	0,17	0,15	0,12	35,6
<b>α bois</b>	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	14,4
<b>α rideau</b>	0,20	0,32	0,52	0,72	0,68	0,60	25
<b>α béton (mur Est)</b>	0,01	0,012	0,016	0,02	0,024	0,028	100
<b>α auditoire</b>	0,57	0,72	0,82	0,92	0,95	0,90	100

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>A (m2)</b>	103,65	111,952	122,76	137,56	139,504	131,88
<b>TR (s)</b>	1,544	1,429	1,303	1,163	1,147	1,213

3. Pour réaliser le calcul, on prend en compte le cahier de charges que la municipalité nous a fourni :

- $T_R$  de 0,9 pour la totalité du spectre. On considère que le  $T_R$  du spectre est égal à la moyenne arithmétique des octaves.

$$T_{R(total)} = \frac{T_{R(125\text{ Hz})} + T_{R(250\text{ Hz})} + \dots + T_{R(4000\text{ Hz})}}{6}$$

- $T_R$  de 1,035 ( $T_R$  de 0,9 + 15%) dans l'octave 125 Hz.

De plus, on nous demande que le  $T_R$  de chaque octave soit compris entre 0,7 et 1,1 s.

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b><math>\alpha</math> béton (mur Est)</b>	0,519	0,347	0,243	0,901	0,901	0,838
<b>TR (s)</b>	1,035	1,100	1,100	0,709	0,704	0,752
<b>TR (s) total</b>	0,900					

Si on traite le mur Est qu'avec du béton perforé on ne peut pas aboutir aux mêmes résultats.

On trouve que les résultats obtenus ne respectent pas le cahier de charges donné.

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b><math>\alpha</math> béton perforé (mur Est)</b>	0,40	0,42	0,32	0,32	0,38	0,28
<b>TR (s)</b>	1,122	1,047	1,045	0,955	0,914	1,019
<b>TR (s) total</b>	1,017					

De la même manière, si on traite le mur Est qu'avec du béton alvéolé on ne peut pas respecter le cahier de charges donné. Cependant, on observe que les résultats obtenus sont plus proches de ceux demandés dans le cahier de charges sauf pour le  $T_R$  dans l'octave 125 Hz qui est complètement en dehors des limites.

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b><math>\alpha</math> béton alvéolé (mur Est)</b>	0,20	0,86	0,55	0,48	0,45	0,40
<b>TR (s)</b>	1,305	0,813	0,908	0,872	0,879	0,946
<b>TR (s) total</b>	0,954					

Pour obtenir un  $T_R$  de 0,9 s dans l'octave 1000 Hz on placerait 36 m<sup>2</sup> de béton perforé et 64 m<sup>2</sup> de béton alvéolé selon les résultats montrés ci-après. De même d'après ces proportions on présente les valeurs de  $T_R$  dans les autres octaves et pour la totalité du spectre.

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
Surface béton perforé (m2)	36,139	36,139	36,139	36,139	36,139	36,139
Surface béton alvéolé (m2)	63,861	63,861	63,861	63,861	63,861	63,861
$\alpha$ mur Est béton perforé	0,40	0,42	0,32	0,32	0,38	0,28
$\alpha$ mur Est béton alvéolé	0,20	0,86	0,55	0,48	0,45	0,40
TR (s)	1,232	0,885	0,953	0,900	0,891	0,971
TR (s) total	0,972					

## Seconde partie : l'inauguration

1. D'après les valeurs fournies dans le tableau 2, on a pu vérifier qu'ils sont d'accord avec ce qu'on connaît d'un bruit blanc. On appelle un bruit blanc un processus aléatoire dont la densité spectrale de puissance (DSP) est constante. D'après la théorie on sait que pour les bandes d'octaves :

$$p^2_{i,eff} = \int_{f_i}^{f_{i+1}} DSP(f) df$$

$$f_c = \frac{f_i + f_{i+1}}{2}$$

$$f_{i+1} = 2f_i$$

Comme DSP (f) est constante on a  $p^2_{i,eff} = DSP(f_{i+1} - f_i)$

$$\text{Ainsi } DSP = \frac{\left(10^{\frac{L_p}{10}} \times p_0^2\right)}{(f_{i+1} - f_i)} = \frac{\left(10^{\frac{L_p}{10}} \times (2 \times 10^{-5})^2\right)}{(f_{i+1} - f_i)}$$

D'où on trouve le tableau suivant

	Bande d'octave (Hz)											
	125		250		500		1000		2000		4000	
Limites de l'intégral	88,388	176,777	176,777	353,553	353,553	707,107	707,107	1414,214	1414,214	2828,427	2828,427	5656,854
DSP (Pa <sup>2</sup> /Hz)	4,525E-08		4,515E-08		4,504E-08		4,493E-08		4,483E-08		4,472E-08	
P2eff (Pa)	4,000E-06		7,981E-06		1,592E-05		3,177E-05		6,340E-05		1,265E-04	
Lp (dB)	40		43		46		49		52		55	

En effet, pour chaque bande de fréquence on trouve un DSP qui, même s'il change légèrement, on peut dire qu'il est constant car la différence est négligeable. De cette manière on peut affirmer que les valeurs de  $L_p$  du tableau correspondent à un bruit blanc. Le DSP serait donc de 4,5E-08 (Pa<sup>2</sup>/Hz). De plus, les niveaux de pression augmentent de 3 dB par octave, ce qui est typique d'un bruit blanc dont la densité spectrale de puissance est constante en fréquence.

2. Pour calculer le niveau de puissance de chacun des deux aérateurs, on utilise le coefficient de directivité  $Q=8$  puisque les aérateurs se trouvent dans un angle (entre 3 parois) et on assume que les deux aérateurs sont égaux. Également on suppose  $r=1$  m car les mesures du niveau de pression dans la salle se sont faites au centre de la salle. On utilise donc la formule suivante :

$$L_W = L_p - 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

Ensuite on calcule le niveau de puissance totale des deux aérateurs avec la formule de composition des niveaux :

$$L_{W,tot} = 10 \log_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{Wi}}{10}}$$

Enfin, on utilise la même formule pour trouver le niveau de puissance de chaque aérateur en supposant qu'ils sont égaux. On a donc :

$$L_{W,tot} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{L_W}{10}} + 10^{\frac{L_W}{10}} \right)$$

$$\log_{10} \left( 10^{\frac{L_{W,tot}}{10}} \right) = \log_{10} \left( 10^{\frac{L_W}{10}} + 10^{\frac{L_W}{10}} \right)$$

$$10^{\frac{L_W}{10}} = 2^{\frac{L_{W,tot}-10}{10}} \times 5^{\frac{L_{W,tot}}{10}}$$

$$\frac{\ln(10) L_W}{10} = \ln \left( 2^{\frac{L_{W,tot}-10}{10}} \times 5^{\frac{L_{W,tot}}{10}} \right)$$

$$L_W = \frac{\ln(5)L_{W,tot} + \ln(2)(L_{W,tot} - 10)}{\ln(10)}$$

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Aire d'absorption équivalente mesurée salle vide (m2)</b>	67	58	53	57	55	50
<b>Lp (dB)</b>	40	43	46	49	52	55
<b>Lw (dB)</b>	51,873	54,294	56,929	60,224	63,080	65,692
<b>Lw total deux aérateurs (dB)</b>	68,871					
<b>Lw total de chaque aérateur (dB)</b>	65,860					

3. Pour calculer le niveau de bruit global dû aux aérateurs après le traitement du local, on calcule d'abord le niveau de bruit dans chaque bande d'octave après le traitement.

$$L_{pi,après t} = L_W + 10 \log_{10} \left( \frac{4}{\frac{0,16V}{T_r}} \right)$$

Puis on a utilisé la formule de composition des niveaux pour trouver le niveau global. Avant le traitement de la salle le niveau de bruit était d'environ 58 dB et après le traitement il est de 53 dB. Il a donc changé de 5 dB.

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Aire d'absorption équivalente mesurée salle vide (m2)</b>	67	58	53	57	55	50
<b>Lp (dB)</b>	40	43	46	49	52	55
<b>Lp global (dB)</b>	57,951					
<b>Lw (dB)</b>	51,873	54,294	56,929	60,224	63,080	65,692
<b>Lp après traitement (dB)</b>	35,853	38,274	40,909	44,204	47,059	49,672
<b>Lp global après traitement (dB)</b>	52,850					

4. Pour calculer les dB que la voix a de plus par rapport au bruit de fond réverbéré une fois que le local aura été traité, calcule d'abord le niveau de puissance de la voix avec la formule suivante :

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{w}{w_0}$$

Puis on calcule le niveau de pression pour chaque bande d'octave en prenant  $Q=1$  et  $r=10m$  en supposant que le maire se trouve dans l'avant-scène et qu'on mesure au centre de la salle avec :

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

Finalement, on calcule le niveau global avec la formule des compositions des niveaux.

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>W (μW)</b>	2	3	5	3	2	1
<b>Lw voix (dB)</b>	63,010	64,771	66,990	64,771	63,010	60,000
<b>Lp (dB)</b>	47,126	48,887	51,105	48,887	47,126	44,115
<b>Lp global (dB)</b>	56,157					

Ainsi on trouve que le niveau réverbéré de la voix sera approximativement 3 dB supérieur par rapport au niveau global de bruit de fond réverbéré une fois que le local aura été traité, ce qui est faible pour que la voix du maire émerge du bruit de fond.

5. Pour démontrer que le niveau sonore aux oreilles du public ne sera pas modifié même si le maire s'approche du public, on assume que la source est omnidirectionnelle et le coefficient de directivité de la source serait donc 1. Ainsi on aurait la formule suivante pour le calcul du niveau sonore :

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left( \frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

De plus, on sait que  $r$  peut varier entre 3 et 4 m par rapport aux premières chaises.

Ainsi on remarque que la différence qui inflige  $r$  par rapport au niveau sonore est minimale d'après l'équation du niveau sonore puisque la valeur additionnée à l'intérieur du logarithme est très petite. En effet, avec  $r$  qui varie entre 3 et 4 m, la différence maximale qui peut avoir le logarithme est de l'ordre de 0,02. Cette valeur représente beaucoup moins de 1 dB pour le niveau sonore et on peut considérer donc qu'il ne sera pas modifié.



Finalement, il est aussi possible de déterminer la distance à partir de laquelle le champ réverbéré est prépondérant par rapport au champ direct. Cette distance est donc :

$$r = \sqrt{\frac{A}{16\pi}} = 1,78 \text{ m}$$

Comme le public est placé au moins à 3 m de distance de l'avant-scène, il se trouve dans le champ réverbéré et il n'y a pas donc de changement dans le niveau sonore aux oreilles du public.

## Troisième partie : nuisances sonores à l'hôpital

1. Pour calculer l'intensité sonore dans chacune des 4 baies vitrées, on fait l'hypothèse du champ diffus et on a donc que l'intensité réverbérée est la même dans toute la salle. On utilise ainsi la formule de Sabine avec  $W=300 \text{ mW}$  (0,3 W) :

$$I_R = \frac{4W}{A} = \frac{4W}{A_1 + kA_2} = \frac{4W}{A_1 + \frac{S_{ouverture}}{(A_2 + S_{ouverture})} A_2}$$

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
I réverbérée incidente sur chacune des 4 baies vitrées [W/m2]	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007

2. Pour déterminer la puissance transmise à travers la façade ouest, on trouve d'abord la part de puissance transmise par chaque élément par bande d'octave avec :

$$\tau_j = \frac{S_j}{S} 10^{\frac{-R_j}{10}} \quad \text{Pour le béton 15cm, les châssis en bois et la partie vitrée}$$

$$\tau_s = \frac{I_{ref} \times I_s}{S} 10^{\frac{-R_s}{10}} \quad \text{Pour les joints d'étanchéité}$$

$$\tau_j = \frac{A_0}{S} 10^{\frac{-D_{ne,situ}}{10}} \quad \text{Pour les entrées d'air où } D_{ne,situ} = D_{ne,lab} - 10 \log_{10} \frac{3,5}{1}$$

Puis on trouve le facteur de transmission global et avec la puissance incidente on trouve la puissance transmise pour chaque bande d'octave.

$$\tau = \sum_j \tau_j = \frac{W_t}{W_i}$$

Finalement, on trouve les niveaux de puissance par bande d'octave pour ensuite trouver le niveau global avec la formule de composition des niveaux et enfin la puissance totale transmise à travers la façade ouest.

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>R vitrage (dB)</b>	23	19	27	34	35	35
<b>R chassis en bois (dB)</b>	31	34	34	39	41	42
<b>Isolement normalisé des entrées d'air déterminé en labo. Dn,e,lab (dB) (longueur 1 m)</b>	33	28	30	43	49	52
<b>R béton 15 cm</b>	38	43	52	59	67	72
<b>Indice d'affaiblissement acoustique du joint Rs (dB/m)</b>	45	45	45	45	45	45
<b><math>\tau</math> vitrage</b>	1,50E-03	3,77E-03	5,97E-04	1,19E-04	9,46E-05	9,46E-05
<b><math>\tau</math> chassis en bois</b>	9,61E-05	4,82E-05	4,82E-05	1,52E-05	9,61E-06	7,64E-06
<b><math>\tau</math> entrée d'air</b>	1,47E-04	1,33E-04	8,40E-05	4,21E-06	1,06E-06	5,30E-07
<b><math>\tau</math> béton</b>	9,19E-05	2,91E-05	3,66E-06	7,30E-07	1,16E-07	3,66E-08
<b><math>\tau</math> béton joint</b>	1,49E-05	1,49E-05	1,49E-05	1,49E-05	1,49E-05	1,49E-05
<b><math>\tau</math> total</b>	1,85E-03	3,99E-03	7,48E-04	1,54E-04	1,20E-04	1,18E-04
<b>W transmise (W)</b>	5,55E-04	1,20E-03	2,24E-04	4,62E-05	3,61E-05	3,53E-05
<b>Lw (dB)</b>	87,442	90,783	83,508	76,651	75,573	75,478
<b>Lw total (dB)</b>	93,210					
<b>W total (W)</b>	2,09E-03					

3. Pour calculer le niveau sonore global en dB(A) au point M en façade de la chambre A, on prend le niveau de puissance de la source comme le niveau de puissance transmise par la façade ouest calculé précédemment et on calcule le niveau de pression par bande d'octave en faisant l'hypothèse de champ libre avec la formule suivante :

$$L_p = L_W - 10 \log_{10} 4\pi(60^2 + 30^2) + 10 \log_{10} \left( 4 \cos \left( \tan^{-1} \frac{30}{60} \right) \right)$$

Puis on calcule le niveau global pondéré par A avec :

$$L_p(A) = 10 \log_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{pi} + \alpha_i}{10}}$$

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Pondération (dB)</b>	-16	-8,5	-3	0	1	1
<b>Lp (dB)</b>	45,454	48,794	41,520	34,663	33,585	33,490
<b>Lp (dB(A))</b>	29,454	40,294	38,520	34,663	34,585	34,490
<b>Lp total (dB(A))</b>	44,363					

4. Pour calculer l'indice d'affaiblissement acoustique apparent de la façade de la chambre A, on a d'abord trouvé le facteur de transmission total en faisant la somme des parts transmises par le béton 15 cm, la fenêtre et l'entrée d'air et ensuite on a calculé l'indice d'affaiblissement par bandes d'octave.

$$\tau = \sum_j \tau_j = \frac{S_{\text{béton}}}{S} 10^{\frac{-R_{\text{béton}}}{10}} + \frac{S_{\text{fenêtre}}}{S} 10^{\frac{-R_{\text{fenêtre}}}{10}} + \frac{A_0}{S} 10^{\frac{-D_{ne}}{10}}$$

$$R = -10 \log_{10} \tau$$

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>R fenêtre (dB)</b>	24	20	28	35	36	36
<b>D n,e (dB)</b>	39	36	34	31	33	36
<b>R carreau de plâtre</b>	18	25	27	25	25	21
<b>R béton 15 cm</b>	38	43	52	59	67	72
<b><math>\tau</math> total</b>	1,35E-03	3,04E-03	9,58E-04	1,14E-03	7,35E-04	4,02E-04
<b>R total (dB)</b>	28,711	25,174	30,186	29,414	31,335	33,958

5. Pour calculer la puissance acoustique incidente sur la façade de la chambre A, on prend le niveau sonore par bandes d'octaves qu'on avait trouvé dans la question 3 et on trouve la pression au carré pour ensuite trouver la puissance incidente.

$$W_{inc} \approx \frac{p^2}{\rho_0 C} S$$

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Lp (dB)</b>	45,454	48,794	41,520	34,663	33,585	33,490
<b>W (W)</b>	2,63E-07	5,68E-07	1,06E-07	2,19E-08	1,71E-08	1,68E-08

6. Pour calculer la puissance acoustique transmise par la façade, on utilise la puissance acoustique incidente sur la façade et son facteur de transmission. On utilise donc la formule suivante :

$$w_t = \tau w_i$$

	Bande d'octave					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Wi (W)</b>	2,63E-07	5,68E-07	1,06E-07	2,19E-08	1,71E-08	1,68E-08
<b><math>\tau</math></b>	1,35E-03	3,04E-03	9,58E-04	1,14E-03	7,35E-04	4,02E-04
<b>Wt (W)</b>	3,54E-10	1,73E-09	1,02E-10	2,51E-11	1,26E-11	6,73E-12

7. Pour déterminer le niveau sonore global réverbéré en dB(A) dans la chambre A fenêtre fermée, on utilise la puissance incidente et le facteur de transmission calculé précédemment pour calculer le niveau de chaque bande d'octave. Puis on fait la pondération A et ensuite on calcule le niveau global avec la formule de composition des niveaux.

Enfin pour déterminer le niveau sonore global réverbéré en dB(A) dans la chambre A fenêtre ouverte, on utilise la puissance incidente et on calcule le facteur de transmission en prenant R=0 pour la surface ouverte pour trouver la puissance transmise et calculer le niveau de chaque bande d'octave. Puis on fait la pondération A et ensuite on calcule le niveau global avec la formule de composition des niveaux.

	Bande d'octave (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Wi (W)</b>	2,63E-07	5,68E-07	1,06E-07	2,19E-08	1,71E-08	1,68E-08
<b><math>\tau</math> fenêtre fermée</b>	1,35E-03	3,04E-03	9,58E-04	1,14E-03	7,35E-04	4,02E-04
<b>Lp fenêtre fermée (dB)</b>	25,231	32,108	19,821	13,736	10,737	8,019
<b>Lp fenêtre fermée (dB(A))</b>	9,231	23,608	16,821	13,736	11,737	9,019
<b>Lp global fenêtre fermée (dB(A))</b>	25,218					
<b><math>\tau</math> fenêtre ouverte</b>	0,267	0,267	0,267	0,268	0,267	0,267
<b>Lp fenêtre ouverte (dB)</b>	48,206	51,547	44,276	37,427	36,342	36,243
<b>Lp fenêtre ouverte (dB(A))</b>	32,206	43,047	41,276	37,427	37,342	37,243
<b>Lp global fenêtre ouverte (dB(A))</b>	47,118					