

Projet de rénovation d'un bâtiment

1. Présentation du projet

2. Configuration de l'étude

2.1. Caractéristiques du bâtiment

2.2. Configuration du bâtiment

3. Phasage de l'étude

3.1. Phase 1 – Evaluation prévisionnelle du niveau sonore produit par la machine dans l'atelier

3.2. Phase 2 – Avant projet de traitement acoustique de l'atelier

3.3. Phase 3 – Travail acoustique sur la salle de réunion.

1. Présentation du projet

L'objet du projet est la rénovation d'un bâtiment annexe d'un établissement d'enseignement du type laboratoire C de l'ENTPE. Ce bâtiment est composé d'un atelier de maintenance technique, d'une salle de réunion et d'un bureau (voir Configuration du bâtiment).

Il s'agit du traitement acoustique d'une partie du bâtiment, constitué de l'atelier et de la salle de réunion.

2. Configuration de l'étude

2.1. Caractéristiques du bâtiment

Les caractéristiques du bâtiment et de la source sonore constituée soit de la machine outil, soit d'une source acoustique étalon, sont précisées dans le *tableau 1*, avec les paramètres suivant :

- L_{W0} : puissance acoustique de la source étalon, utilisée pour la mesure
- L_{P0} : mesure du niveau sonore produit par la source étalon dans l'atelier à une distance de 10 mètres.
- L_{W1} : puissance acoustique de la machine introduite dans l'atelier
- α_S : coefficient d'absorption des éléments types « baffles » suspendus
- Tr : durée de réverbération des différentes salles
- Q : directivité de la machine
- R : indice d'affaiblissement des matériaux constituant les parois de séparation

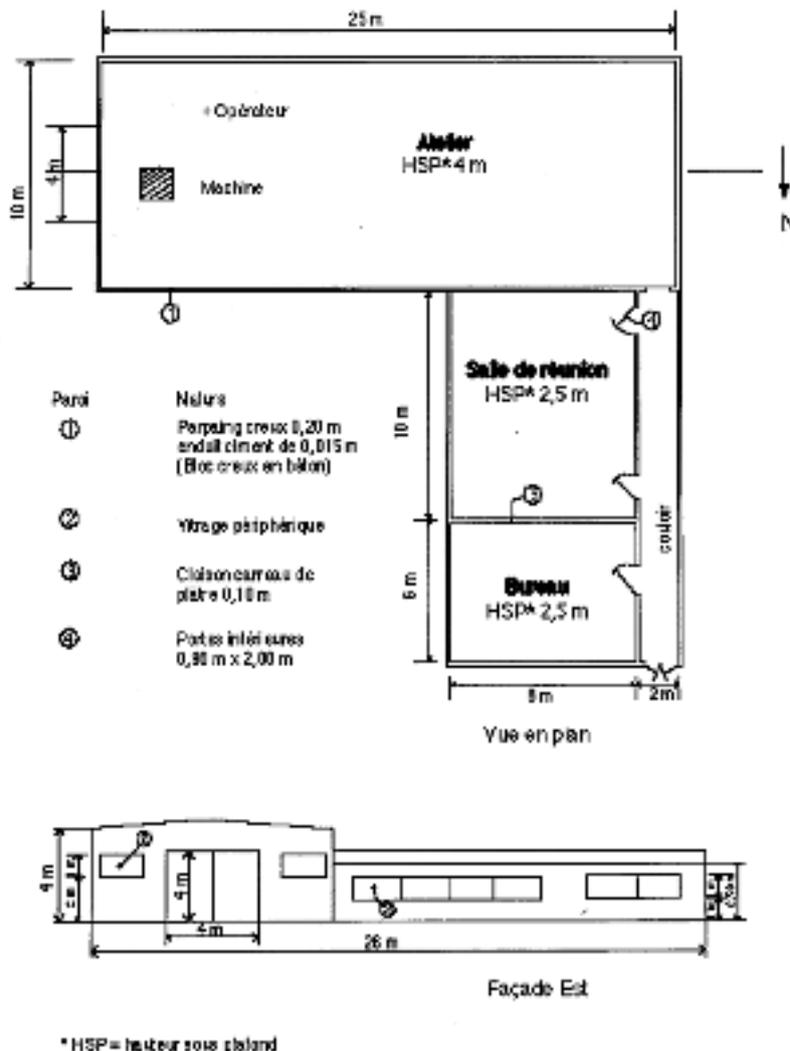
La source étalon est utilisée en substitution à la machine outil pour permettre les mesures acoustiques dans l'atelier, suivant un protocole de mesure classique pour déterminer la puissance d'une source par exemple.

Fréquences d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
L_{W0} , puissance de la source étalon, dB	76	79	79	80	79	78
L_{P0} , niveau sonore dans l'atelier à 10m de la source étalon, dB	67	67	67	67,5	66	65
L_{W1} , puissance de la machine, dB	99	99	94	94	92	92
Q , directivité de la machine dans la direction de l'opérateur	2	2	4	8	8	8
T_r , durée de réverbération de la salle de réunion, s	1,3	1,0	0,7	0,7	0,6	0,5
Indice d'affaiblissement acoustique du mur de parpaing avec enduit, dB	43	49	53	57	62	61
Indice d'affaiblissement acoustique de la cloison en carreau de plâtre, dB	36	32	31	39	47	54
Indice d'affaiblissement acoustique d'une porte, dB	18	24	27	29	31	31
Indice d'affaiblissement acoustique de la baie vitrée, dB	20	27	30	33	35	35
Coefficient d'absorption α_s des baffles	0,36	0,5	0,74	0,81	0,83	0,83

Tableau 1. Caractéristiques du bâtiment et de la source sonore

2.2. Configuration du bâtiment

La configuration du bâtiment est définie comme suit :



3. Phasage de l'étude

3.1.Phase 1 – Evaluation prévisionnelle du niveau sonore produit par la machine dans l'atelier

Cette phase consiste à déterminer le spectre par octave du niveau sonore produit par la machine dans l'atelier à l'aide d'une méthode basée sur l'utilisation d'une source acoustique étalon en substitution à la machine outil.

Pour calculer le niveau sonore produit par la machine dans l'atelier, on utilise la formule suivante :

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

Avec A : aire d'absorption équivalente de la salle

Q : directivité de la machine dans la direction de l'opérateur

Hypothèse 1 :

On suppose que le niveau sonore relatif au champ diffus est prépondérant :

$$L_{p \text{ diffus}} = L_W + 10 \log\left(\frac{4}{A}\right)$$

Pour calculer A, on va utiliser la formule donnant le niveau sonore produit par la source étalon.

$$L_{p0} = L_{W0} + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A}\right)$$

D'où :

$$A = \frac{4}{10^{\frac{L_{p0}-L_{W0}}{10}} - \frac{Q}{4\pi r^2}}$$

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
A (m ²)	32,18	65,04	65,04	73,20	82,43	82,43

On obtient alors les résultats suivants :

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{P1 \text{ diffus}}$, niveau sonore de la machine en champ diffus, dB	89,94	86,89	81,89	81,38	78,86	78,86
$L_{P1 \text{ diffus}}$ arrondi, dB	90	87	82	81,5	79	79

Hypothèse 2 :

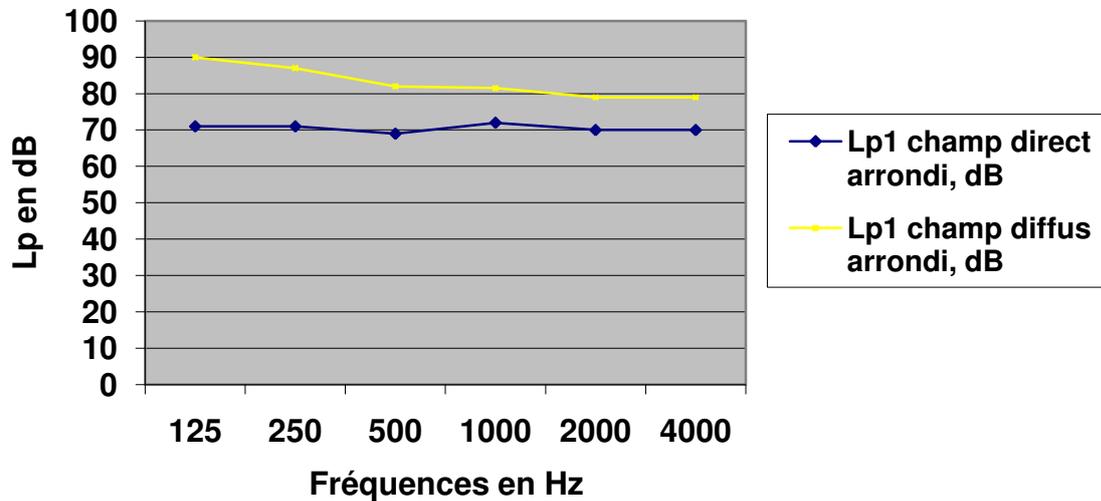
On suppose que le niveau sonore relatif au champ direct est prépondérant :

$$L_{p \text{ direct}} = L_W + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right)$$

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{P1 \text{ direct}}$, niveau sonore de la machine en	71,02	71,02	69,03	72,04	70,04	70,04

champ direct, dB						
$L_{p1\ direct}$ arrondi, dB	71	71	69	72	70	70

En comparant les deux spectres obtenus, en considérant une fois le champ diffus prépondérant et une fois le champ direct prépondérant, on obtient :



On remarque que la différence entre la contribution du champ direct et celle du champ diffus pour le calcul du niveau sonore est de l'ordre de 10 dB. Cela signifie que l'on peut négliger la contribution du champ direct par rapport au champ diffus dans le calcul du niveau sonore.

On a donc :

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
L_{p1} , niveau sonore de la machine en champ diffus, dB	89,94	86,89	81,89	81,38	78,86	78,86
L_{p1} arrondi, dB	90	87	82	81,5	79	79

Vérification des hypothèses :

Pour le calcul du niveau sonore de la source étalon, on a :

$$L_{p0} = L_{W0} + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

Pour le calcul du niveau sonore de la machine, on a :

$$L_{p1} = L_{W1} + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right)$$

On remarque donc que :

$$L_{p0} - L_{p1} = L_{W0} - L_{W1}$$

$$\Leftrightarrow L_{p1} = L_{p0} - L_{W0} + L_{W1}$$

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
L_{p1} , dB	90	87	82	81,5	79	79

On remarque que l'on retrouve les résultats obtenus en négligeant la contribution du champ direct par rapport au champ diffus dans le calcul du niveau sonore. L'hypothèse 1 était donc la bonne.

3.2.Phase 2 - Avant projet de traitement acoustique de l'atelier

L'opérateur est cette fois-ci placé à 3,5 m de la machine.

Vérifions alors si le niveau de bruit relatif au champ direct est toujours négligeable devant celui relatif au champ diffus.

Niveau sonore relatif au champ direct :

$$L_{p \text{ diffus}} = L_W + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right)$$

Avec R = 3.5m, on obtient les valeurs suivantes :

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{P1 \text{ direct}}$ niveau sonore de la machine en champ direct, dB	80	80	78	81	79	79
$L_{P1 \text{ diffus}}$ niveau sonore de la machine en champ diffus, dB	90	87	82	81,5	79	79
Différence : $L_{P1 \text{ diffus}} - L_{P1 \text{ direct}}$	10	7	4	0.5	0	0

On remarque que la différence entre la contribution du champ direct et celle du champ diffus pour le calcul du niveau sonore n'est plus de l'ordre de 10 dB. Cela signifie que l'on ne peut plus négliger la contribution du champ direct par rapport au champ diffus dans le calcul du niveau sonore.

Calculons donc le niveau sonore de la machine en considérant le champ direct et le champ diffus.

$$L_{p1} = L_{W1} + 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A}\right)$$

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{P1 \text{ global}}$ niveau sonore de la machine, dB	90	84	84	84	82	82
Pondération, dB	-16	-8.5	-3	0	+1	+1
$L_{P1 \text{ global}}$, dB(A)	84	79.5	81	84	83	83

Le niveau équivalent de bruit en dB(A) se calcule suivant la formule suivante :

$$L_{p1 \text{ global}, dB(A)} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi}}{10}}$$

D'où :

$$L_{p1 \text{ global}} = 90 \text{ dB(A)}$$

D'après le CIDB (Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit), la législation relative à la prévention du bruit en milieu de travail repose sur la directive européenne 86/188/CE, qui recommande, entre autre, de réduire le niveau équivalent de bruit à moins de 90 dB(A), ainsi que le Code du travail (articles R.232-8 et suivants), qui indique les dispositions à prendre en fonction des seuils atteints :

- A partir de 85 dB(A), mise à disposition de protections auditives,
- A partir de 90 dB(A), port de protection obligatoire et plan technique visant à réduire le bruit au niveau des machines, lorsque techniquement c'est possible.

Le texte rappelle les principes généraux de prévention : « *l'employeur est tenu de réduire le bruit au niveau le plus bas raisonnablement possible* », indépendamment des niveaux atteints.

Le niveau global en dB(A) étant supérieur à 85 dB(A), nous sommes dans l'obligation d'intervenir pour réduire le niveau de bruit dans l'atelier.

1) Mise en place de 150 baffles au niveau de l'atelier :

L'installation de baffles dans l'atelier va modifier la valeur de la surface d'absorption de l'atelier calculée lors de la phase 1. On a alors :

$$A = \frac{4}{10^{\frac{L_{P0}-L_{W0}}{10}} - \frac{Q}{4\pi r^2}} + 300 \cdot \alpha_s$$

Où α_s désigne le coefficient d'absorption des baffles.

Le nombre 300 est obtenue grâce au produit 150*1*2 où 150 correspond au nombre de baffles, 1 à la taille en mètres de chaque baffles et 2 correspond aux deux faces de chaque baffles.

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
A « sans baffles » (m ²)	32,18	65,04	65,04	73,20	82,43	82,43
A « avec baffles » (m ²)	140	213	285	314	329	329

Cela entraîne donc des modifications sur les valeurs du niveau de bruit relatif au champ diffus et donc également au niveau de bruit global.

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{P1 \text{ diffus}}$ niveau sonore de la machine en champ direct, dB	84	82	75	75	73	73
Pondération, dB	-16	-8.5	-3	0	+1	+1
$L_{P1 \text{ global}}$, dB(A)	68	73.5	72	75	74	74

On obtient donc un nouveau niveau équivalent de bruit en dB(A) :

$$L_{p1 \text{ global}, dB(A)} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi}}{10}}$$

D'où :

$$L_{p1 \text{ global}} = 81 \text{ dB(A)}$$

Pour un confort acoustique relatif nous donnerons pour valeur seuil acoustique en champs diffus 80dB(A). Le niveau global en dB(A) étant légèrement supérieur à 80 dB(A), la pose de 300 baffles n'a pas eu les effets escomptés même si des progrès sont à notés au niveau des faibles fréquences.

2) Enduit acoustique sur mur mitoyen entre la salle de réunion et l'atelier

On envisage d'améliorer encore l'acoustique de la salle en ajoutant un enduit acoustique sur le mur mitoyen de la salle de réunion (soit 20m².)

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Epaisseur de l'enduit env. ca. 10 mm	0.16	0.28	0.63	0.74	0.66	0.71
Maçonnerie en briques apparentes	0.16	0.13	0.15	0.11	0.13	0.14
A « avec baffles » (m ²)	140	213	285	314	329	329
A « avec baffles et enduit sur mur mitoyen salle de réunion» (m ²)	140	216	295	324	336	340
$L_{p1\ diffus}$ niveau sonore en champ diffus, dB	84	82	75	75	73	73
Avec pondération dB(A)	68	73	72	75	74	74

$$L_{p1\ global} = 81 \text{ dB(A)}$$

On remarque que cette modification n'influence pas le niveau global sonore de la pièce.

Devis :

Pour l'ajout d'enduit :

Couche de 2cm d'enduit soit $0.02 * 13 = 0.26 \text{ m}^3$

Poids masse sèche avec ciment : 450 kg/m³

Donc 117 Kg donc trois sac d'enduit à 40 euros total 120 euros

Main d'œuvre : 2pers une ½ journée soit environs 468 euros

Cout total de **588 euros**.

3) Mur complet

On se demande dans quel proportion l'isolation d'un mur complet influencerait l'isolation acoustique : après une réflexion rapide l'on voit que l'influence de α est trop importante pour influencer le calcul nous changerons alors le matériel isolant avec un fort coefficient.

4) Panneau perforé pour le mur mitoyen entier

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Panneaux perforés	0.35	0.40	0.50	0.75	0.95	0.85
A « avec baffles et enduit sur mur entier » (m ²)	150	230	300	333	359	357
$L_{p1 \text{ diffus}}$ niveau sonore en champ diffus, dB	83	81	75	74	72	73
Avec pondération dB(A)	67	73	72	74	73	74

$$L_{p1 \text{ global}} = 80 \text{ dB(A)}$$

Avec cette modification on arrive à un confort sonore acceptable pour l'atelier.
 Notons que l'efficacité des baffles est nettement supérieur à celle du mur modifier.

Devis :

Plaque percer 1.20/60 à 35 euros = 86 panneau donc 3040 euros
 Main d'œuvre : 2pers une 2 journée soit environs 1872 euros

Cout total de 4912 euros.

Cette solution n'est pas abordable, nous privilégierons éventuellement la fourniture de casque pour tout les employés. (Sinon le mouvement et l'activité de chacun au sein de l'entreprise donnera des résultats de bruit supérieur donc il faudrait calculer avec plus de finesse notre étude).

3.2 Phase 3 – Travail acoustique sur la salle de réunion.

1) Solution simple

Le niveau sonore est donné de façon suivante :

$$L_{pr} = L_{pa} + 10 \log \left(\text{TR} \left(\sum_{i=1}^n S_i * 10^{\frac{-R_i}{10}} \right) \frac{1}{0.16 * V} \right)$$

Le volume de la pièce $V = 200 \text{ m}^3$. Surface porte = 2 m^2 , des vitres = 5 m^2 et du mur = 13 m^2 .
 (on considère dans l'énoncé suivant qu'il existe une porte d'accès direct dans l'atelier depuis la salle de réunion.)

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{p1 \text{ diffus}}$ niveau sonore atelier en champ diffus, dB	84	82	75	75	73	73
$L_{pr \text{ global}}$ niveau sonore salle de réunion, dB	59	50	38	34	31	30
Avec pondération dB(A)	43	42	35	34	32	31

$$L_{p1 \text{ global}} = 46 \text{ dB(A)}$$

Le niveau de conversation est bon.

La transmission acoustique est essentiellement au niveau des vitrages et portes donc le doublage par un second mur n'est pas nécessaire, en revanche le changement du vitrage en vitrage acoustique ou de la porte en porte phonique pourrais avoir plus d'effet.

2) Solution avec le plâtre :

Fréquence d'octaves, Hz	125	250	500	1000	2000	4000
$L_{p1 \text{ diffus}}$ niveau sonore atelier en champ diffus, dB	84	82	75	75	73	73
$L_{pr \text{ global}}$ niveau sonore salle de réunion, dB	60	51	41	37	31	30
Avec pondération dB(A)	43	43	38	34	33	31

$$L_{p1 \text{ global}} = 47 \text{ dB(A)}$$

Devis :

Prix 30 euro par carreau de 55/60 donc un compte 52 carreaux soit un prix de 1560 euros.

Main d'œuvre : 2pers une ½ journée soit environ 468 euros

Cout total de **2028 euros**

Nous observons une diminution de la qualité sonore dans la salle de réunion avec le changement des parpaings en carreau de plâtre. De plus cette manipulation demande une main d'œuvre plus importante donc un prix plus élevé.

Nous constatons que la mise en place de carreaux de plâtre serait couteuse et diminuerait la qualité acoustique dans la salle de réunion par rapport au mur traité avec de l'enduit.