Noémie GARDE

Elève ingénieur

RAPPORT DE STAGE DE 3ème ANNÉE

Stage réalisé au sein de :

Groupe Gamba

Bureau d'études acoustiques et vibratoires

163 rue du Colombier 31670 Labège

Du 03/01 au 25/02/2022

Maître de stage en entreprise : Monsieur Emmanuel SOULIE

Enseignant référent à l'ISA BTP : Monsieur Olivier MAUREL

Mots clefs : Acoustique – Découvertes – Bureau d'Etude – Mesures – Normes – Temps de réverbération

Table des matières

Remerciements **3**

Introduction **4**

Présentation de l'organisme d'accueil **5**

Audit, mesure et diagnostic **7**

Présentation des activités réalisées et des acquis professionnels .. **13**

1. **Activités réalisées** **13**
2. **Acquis personnels et professionnels** **17**

Temps de réverbération **18**

1. **Point théorique** **13**
2. **Point pratique** **22**

Conclusion **39**

Glossaire **40**

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance envers Monsieur Emmanuel SOULIE, chef de projet, mon tuteur de stage, pour m'avoir permis d'effectuer ses huit semaines de stage dans de très bonnes conditions malgré un contexte sanitaire difficile. Je le remercie particulièrement pour son encadrement, et l'intérêt qu'il a porté à mon travail. Il m'a permis d'acquérir des compétences et des savoir-faire utiles à un ingénieur.

Je tiens ensuite à exprimer ma gratitude à Monsieur Tony LETHUILLIER, Responsable R&D à Gamba et Responsable de l'agence de Marseille pour m'avoir permis d'effectuer ce stage au sein du siège social du groupe situé à Labège, aux portes de Toulouse.

Je veux également remercier l'ensemble du personnel de chez Gamba, notamment les ingénieurs avec qui j'ai été en contact, pour leur aide précieuse et enrichissante. Ils se sont montrés accueillants, bienveillants et ont contribué à la réussite de mon stage.

Enfin, je remercie l'ISA BTP pour sa formation de qualité et tout particulièrement Monsieur Olivier MAUREL, pour son accompagnement lors de ce stage. Je souhaite que le travail réalisé soit à la hauteur des attentes de mon encadrant.

Introduction

Au cours de ma Troisième année d'étude à l'Institut Supérieur Aquitain du Bâtiment et des Travaux Public, j'ai eu l'opportunité de faire un stage de huit semaines, pour assistance aux ingénieurs dans une entreprise. Ce stage avait pour but la découverte d'autres intervenants dans l'acte de construire, les bases de l'ingénierie acoustique et vibratoire, l'acquisition des compétences techniques et l'exécution des tâches demandées.

La musique est une de mes passions depuis l'âge de huit ans et notamment la pratique de la flûte traversière. Lors des répétitions, un élément extérieur à mon jeu et perturbant me choquait : la mauvaise acoustique des salles de conservatoire, de spectacles. Seulement 30% des usagers considèrent la qualité de l'environnement sonore comme un critère essentiel. A l'évidence, il manquait le dialogue entre musiciens et concepteurs de bâtiments. Quand l'acoustique d'un lieu est réussie, c'est la valeur générale de l'ouvrage qui est mise en avant.

Aussi, j'ai souhaité effectuer mon stage chez Gamba, un bureau d'études acoustiques, basée à Labège en région Occitanie. Je voulais découvrir comment et avec quels appareils de mesures, peut-on surveiller et mesurer le bruit de certaines zones ? Comment utilise-t-on ces instruments de mesure spécifiques ? Y-a-t-il des normes pour comparer et quelles sont-elles ? Comment réduire l'exposition aux bruits ? Et quelles sont les méthodes employées ?

Je commencerai ce rapport par la présentation de l'entreprise. Ensuite je parlerai des activités que j'ai réalisées et de mes acquis. Pour terminer, je développerai un point technique : le temps de réverbération.

Ce rapport de stage a été rédigé à l'aide d'informations extraites des documents suivants :

- (1) *Gamba*, Groupe Gamba, Disponible sur : https://gamba.fr
- (2) Pascale MAES, *Acoustique et bâtiments - Définitions et réglementations*, Construction et travaux publics | Techniques du bâtiment : le second œuvre et les lots techniques, 10 août 2015, p 3-4
- (3) Jean-Paul VIAN, *Introduction à l'acoustique des auditoriums*, Environnement - Sécurité | Bruit et vibrations, 10 octobre 2005, p 18-19
- (4) Hamayon Loïc, *L'acoustique des bâtiments*, Paris : Éd. le Moniteur, impr. 2010, cop. 2010
- *(5) « L'isolation thermique et acoustique », « Les façades », « Les toitures », « Les Menuiseries extérieures »,* Technologie second œuvre, cours ISA BTP, 2ème année

Les numéros insérés dans la suite du rapport renvoient aux sources ci-dessus.

Note : Les normes (NFS31-057; NF EN ISO 14257; ISO 11654) cités dans mon rapport ne peuvent être divulguées car elles font l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues.

Présentation de l'organisme d'accueil

(1) Depuis 1976, le Groupe GAMBA développe ses activités de bureau d'études en acoustique et vibrations, de recherche & développement et de formation, trouvant une application dans le bâtiment, l'industrie, l'environnement et l'éolien.





J'ai effectué mon stage dans le secteur **ingénierie en acoustique du bâtiment.**
Gamba Acoustique propose un ensemble de solutions venant s'intégrer dans les différentes phases de la maîtrise d'œuvre. Les périmètres d'interventions sont :

- l'isolement acoustique, toutes les problématiques liées au bruit aérien ou au bruit d'impact, entre locaux ou vis-à-vis de l'extérieur ;
- la gestion des vibrations et basses fréquences, de l'identification de la source jusqu'à la gestion des propagations et la proposition de solutions correctives ;
- la qualité du champ sonore, travail sur le confort acoustique, la gestion de la réverbération et des bruits de fond des grands volumes.

Les 4 compétences clés du Groupe Gamba sont :

Anticiper les risques

Intégrer l'aspect acoustique pour impacter positivement le confort et les budgets d'exploitation.

- Étude de conception ou d'exécution ;
- Assistance maîtrise d'ouvrage ;
- Calculs prévisionnels et dimensionnement.

Constater et contrôler

Identifier un risque ou trouver de la réassurance.

- Audit, mesure et diagnostic ;
- Réalisation d'Attestation Acoustique Logement au sens de l'arrêté du 27 novembre 2012.

Améliorer

S'appuyer sur notre expertise en R&D pour traiter les cas particuliers.

Progresser

Gamba Acoustique propose un grand nombre de modules de formation, appliqués au domaine du bâtiment.

Aussi, la politique de Recherche & Développement de la société se concrétise par le développement de logiciels de modélisation permettant la prévision et l'analyse acoustique : prévision de la propagation acoustique à l'intérieur et à l'extérieur des locaux (AcouS Propa ®) ; prévision d'indice d'affaiblissement acoustique des matériaux et systèmes (AcouS Stiff ®)…

Audit, mesure et diagnostic

(2) Les bruits perçus à l'intérieur d'un bâtiment ont différentes origines. Ils sont transmis par l'air et/ou par la structure même du bâtiment.



Les **bruits aériens** sont ceux propagés dans l'air ambiant. Les bruits aériens extérieurs proviennent d'un aéroport, du trafic routier. Ils pénètrent principalement par les fenêtres par les bouches d'entrée d'air et la toiture. Les bruits aériens intérieurs proviennent d'une télévision, des conversations des voisins... Ils se propagent principalement par les parois qui séparent les pièces ou encore indirectement par les cloisons latérales.

On distingue les bruits « routes » et les bruits « roses ». Les bruits « routes » représentent ceux émis par le trafic routier et ferroviaire. Leur niveau sonore est plus riche dans les fréquences graves que dans les fréquences aiguës. La référence « bruit route » est utilisée pour mesurer le niveau d'isolement acoustique nécessaire aux façades. Les autres bruits aériens, qualifiés de bruits « roses », présentent un niveau sonore constant dans les bandes d'octave de 125 à 4 000 Hz. La référence normalisée « bruit rose » est utilisée pour mesurer le niveau d'isolement acoustique nécessaire pour une protection aux bruits aériens intérieurs, ainsi que vis-à-vis des bruits de trafic aérien.

Les **bruits d'impact ou de chocs** sont les bruits de pas, de chute d'objet … transmis à la fois par le plafond et par la vibration des parois verticales. Ils peuvent même se propager dans toute la structure du bâtiment. Ils sont alors qualifiés de bruits solidiens.

Les **bruits d'équipements** peuvent se transmettre à la fois via l'air ambiant et par une mise en vibrations de l'équipement. Ils peuvent provenir du système de ventilation, des tuyauteries… Contrairement aux autres bruits mesurés en dB, l'échelle de référence des bruits d'équipements est en dB(A).

Les bruits peuvent se transmettre sous plusieurs modes (d'après la loi des masses) :

- transmission directe (TD) : par les parois de séparation ;
- transmission indirecte ou latérale (TL) : par les parois adjacentes ;
- transmission parasite (TP) : par divers accidents dus par exemple, au passage de canalisations ou à des défauts d'exécution.

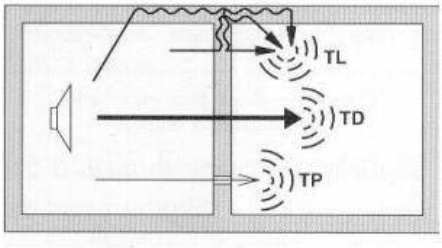
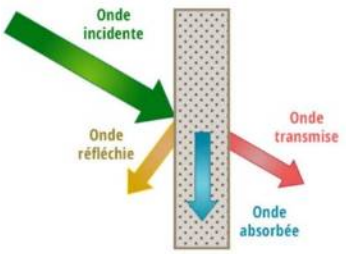


Figure 1 : Chemins de transmission du bruit

La propagation de ces bruits se fait principalement :

- par dispersion de l'énergie acoustique dans un espace libre. Le niveau de bruit est alors décroissant en fonction de la distance ;
- par réflexion et absorption sur un obstacle, générant une réverbération d'une partie de la vibration sur les parois et l'obstacle rencontré ;
- par transmission de la vibration aux solides et aux matériaux.



Certains clients se plaignent de désordres relatifs à l'isolation phonique. L'entreprise doit donc effectuer différentes mesures et doit comparer ces résultats avec les normes.

Mesures

Le client a fait appel à Gamba car il se plaint d'entendre tout ce que fait le voisin. En effet, c'est un mur mitoyen.

A savoir : En pratique, un bruit s'analyse par bandes de fréquences, au moyen de filtres acoustiques qui permettent de mesurer le niveau de pression en bandes d'octaves ou, pour une étude plus fine, de tiers d'octaves. Ces bandes ont été normalisées. Elles sont centrées sur les fréquences suivantes :

Bandes de tiers d'octave (Hz)																	
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000

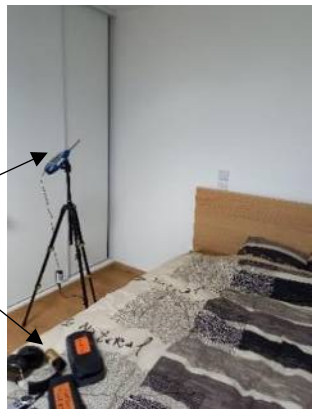
Bandes d'octave (Hz)					
125	250	500	1 000	2 000	4 000

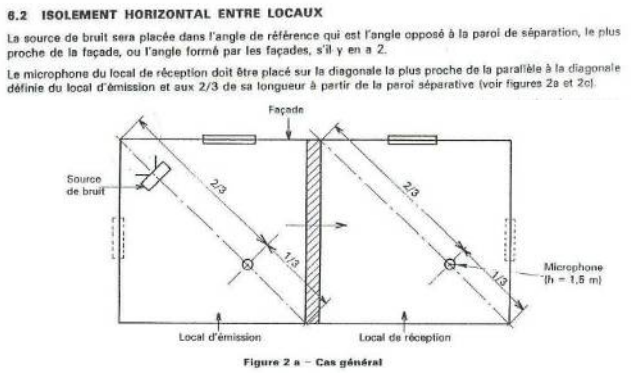
Dans le secteur de la construction, les études sont généralement limitées entre 100 Hz et 5 000 Hz.

En se référant à la norme NF S 31-057 (vérification de la qualité acoustique des bâtiments), on a effectué différentes mesures préconisées :

1. Le mesurage de l'isolement au bruit aérien

Il permet de mesurer la différence des niveaux de pression acoustique produits dans deux locaux par une source de bruit située dans l'un deux (chambre client).





2. Le mesurage du niveau du bruit choc.

C'est le niveau de pression acoustique dans le local de réception lorsque le plancher en essai est excité par la machine.



Figure 2 : Machine à choc acoustique

3. La mesure du temps de réverbération.

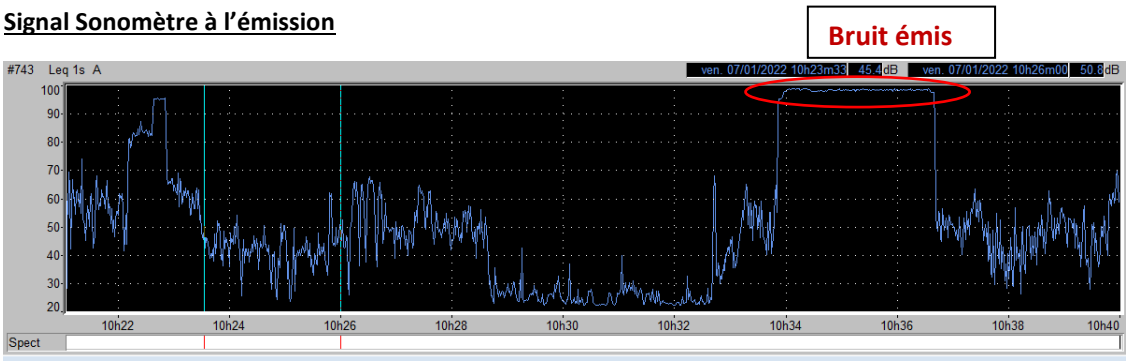
C'est un bruit impulsif (faire éclater un ballon). La durée de réverbération T est extrapolée à partir du temps nécessaire pour que le niveau de pression acoustique passe de L-5 dB à L-20 dB.

4. La mesure d'isolation de façade à la demande du client.

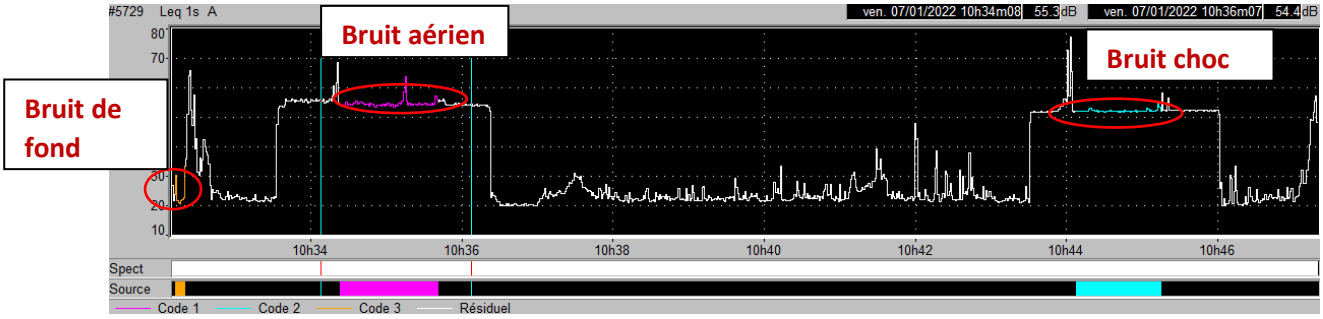
C'est un essai de temps de réverbération (ballon éclaté) suivi d'un essai de bruit aérien. Ce dernier représente l'émission d'un bruit rose (la même intensité pour toutes les bandes de fréquence).

Deux logiciels sont utilisés pour l'analyse des mesures relevées. Le logiciel dB Trait analyse les données, les isolements acoustiques et différentes sources de bruit (machine à bloc, sources directionnelles). DB Bati mesure le temps de réverbération.

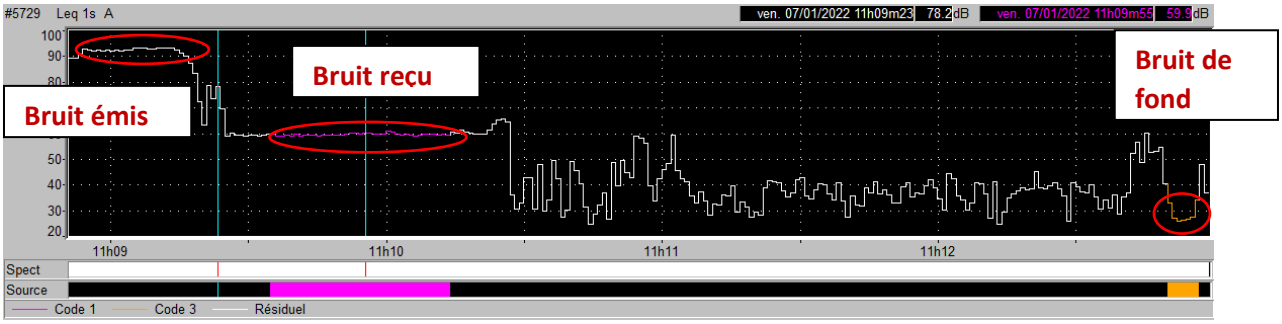
Signal Sonomètre à l'émission



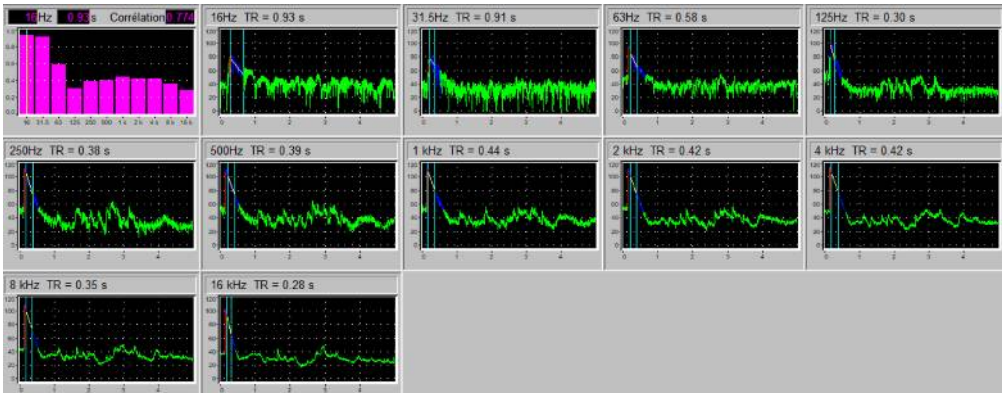
Signal Sonomètre à la réception



Signal pour l'Isolement de Façade



Signal Temps de réverbération



Nous utilisons une feuille de calcul pour caractériser par une seule valeur le bruit de choc ainsi que l'isolement acoustique au bruit **aérien** entre deux chambres : DnAT (exprimé en dBA).

(5) A savoir :

Isolement brut : D

Il prend en compte la totalité de l'énergie qui parvient dans le local de réception. C'est la différence entre le niveau de bruit dans un local d'émission (Le) et le niveau de bruit dans un local de réception (Lr).

$$D = Le - Lr$$

L'isolement brut est mesuré in situ et dépend du temps de réverbération du local de réception.

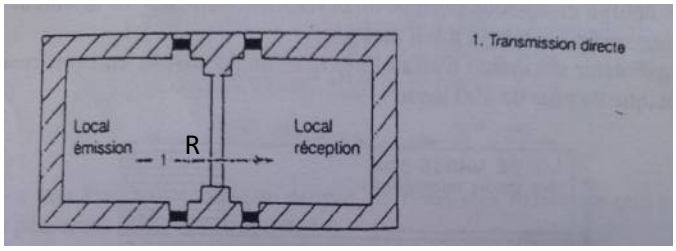
Isolement normalisé : Dn

C'est l'isolement brut corrigé en fonction du rapport entre la durée de réverbération réelle mesurée dans le local de réception et 0,5 seconde (pour les locaux d'habitation).

$$Dn = Le - Lr + 10 \text{ Log } (T/0,5)$$

Avec T : *temps de réverbération* du local de réception (en secondes).

Dn est toujours inférieur à l'indice d'affaiblissement acoustique : R (caractérise la qualité d'une barrière acoustique. Plus R est grand, plus la paroi est isolante)



Isolement normalisé exprimé en dB(A) : $D_{n,AT}$

L'Isolement normalisé exprimé en dB(A) permet de caractériser, par une seule valeur, l'isolement acoustique au bruit aérien en réponse à un bruit du spectre donné.

On renseigne donc les niveaux sonores à l'émission, à la réception, le bruit de fond et le Tr (temps de réverbération) à l'aide du logiciel dBTrait pour afficher les mesures du chronogramme et dB Bati qui permet de récupérer les Tr.

Calcul bruit aérien

Émission

Fichier	emission GAAU2.CMG			
Début	07/01/2022 10:35:03			
Fin	07/01/2022 10:36:18			
Voie	Type	Pond.	Unité	Leq
#743	Leq	A	dB	**98.4**
#743	Oct 63Hz	Lin	dB	105.7
#743	Oct 125Hz	Lin	dB	103.1
#743	Oct 250Hz	Lin	dB	99.7
#743	Oct 500Hz	Lin	dB	96.5
#743	Oct 1kHz	Lin	dB	92
#743	Oct 2kHz	Lin	dB	89
#743	Oct 4kHz	Lin	dB	87.2
#743	Oct 8kHz	Lin	dB	80.3

Bruit de fond

Fichier	receptio ngaau 9.CMG			
Début	07/01/2022 10:33:09			
Fin	07/01/2022 10:33:27			
Voie	Type	Pond.	Unité	Leq
#5729	Leq	A	dB	**21.8**
#5729	Oct 63Hz	Lin	dB	35.6
#5729	Oct 125Hz	Lin	dB	28
#5729	Oct 250Hz	Lin	dB	23.9
#5729	Oct 500Hz	Lin	dB	18.6
#5729	Oct 1kHz	Lin	dB	13.3
#5729	Oct 2kHz	Lin	dB	11.4
#5729	Oct 4kHz	Lin	dB	10.9
#5729	Oct 8kHz	Lin	dB	12

Réception

Fichier	receptio ngaau 9.CMG			
Début	07/01/2022 10:34:30			
Fin	07/01/2022 10:35:10			
Voie	Type	Pond.	Unité	Leq
#5729	Leq	A	dB	**54.2**
#5729	Oct 63Hz	Lin	dB	69.9
#5729	Oct 125Hz	Lin	dB	62.4
#5729	Oct 250Hz	Lin	dB	59.5
#5729	Oct 500Hz	Lin	dB	51.9
#5729	Oct 1kHz	Lin	dB	42.9
#5729	Oct 2kHz	Lin	dB	29.9
#5729	Oct 4kHz	Lin	dB	28.3
#5729	Oct 8kHz	Lin	dB	25.4

Temps de réverbération

Z:\...\M Georges\Tr.CMG		D:\...\TR_(GAAU2).CMG		
ID	5	7		31
Famille	TR	TR	TR	
Type	Salle	Salle	Salle	
Résolution	1/1	1/1	1/1	
Date	07/01/22 10	07/01/22 10	28/01/15 11:32:38	
Lieu	Salle 1	Salle 1	Séjour 1	
Commentair	Bureau 5 - T	Commentair	Bureau 5 - TR2 octave	
Voie	1	1	1	moy
Hz	s	s	s	**s**
63	0.58	0.49		**0.54**
125	0.3	0.33		**0.32**
250	0.38	0.44		**0.41**
500	0.39	0.43		**0.41**
1 k	0.44	0.48		**0.46**
2 k	0.42	0.45		**0.44**
4 k	0.42	0.42		**0.42**
8 k				-

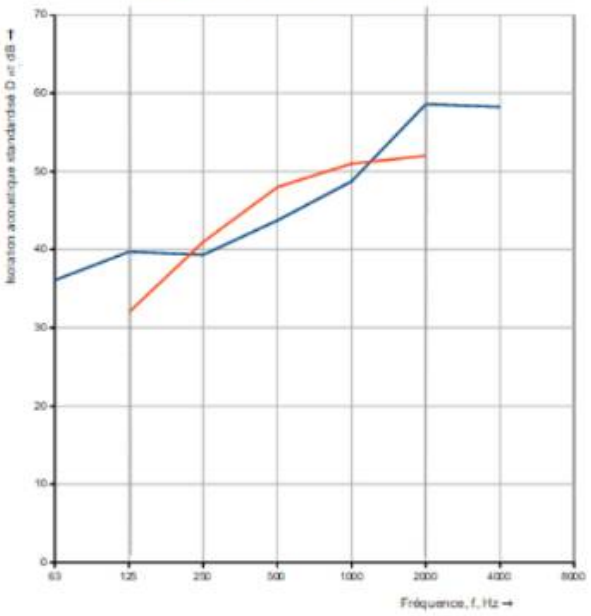
Affaire : Mesures logements M GEORGES — Date de mesure : 07/01/2022

Type de source : EON JBL

Local d'émission : Chambre Client

Local de réception : Chambre appartement mitoyen

Fréquence f Hz	Dnt (octave) dB
63	36.1
125	39.7
250	39.3
500	43.7
1000	48.7
2000	58.6
4000	58.2
8000	-



Évaluation selon ISO 717-1 :

DnT,w (C,Ctr) = 48 (0,-3) dB ;

DnT,A = 48 dB ;

DnT,A,tr = 45 dB ;

Évaluation basée sur des résultats de mesure *in situ*

C63-2000 = 0 dB; C63-4000 = +1 dB; C63-8000 = -43 dB; C125-4000 = +1 dB;

Ctr63-2000= -3 dB; Ctr63-4000= -3 dB; Ctr63-8000= -33 dB; Ctr125-4000= -3 dB;

On trouve $D_{nT,A}$ = 48 Db. D'après l'arrêté du 30 juin 1999, l'objectif d'isolement acoustique est $D_{nT,A} \geq 53$ dB. L'objectif peut être : Atteint / Atteint avec incertitude de mesure de 3dB / Non atteint. Ici l'objectif n'est pas atteint.

1.1. BÂTIMENTS D'HABITATION (article 2 de l'arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation)

LOCAL D'ÉMISSION		LOCAL DE RÉCEPTION D'UN AUTRE LOGEMENT	
		Pièce principale	Cuisine et salle d'eau
Local d'un logement à l'exclusion des garages individuels		53 dB	50 dB
Circulation commune intérieure au bâtiment	Lorsque le local d'émission et le local de réception ne sont séparés que par une porte palière ou par une porte palière et une porte de distribution.	40 dB	37 dB
	Dans les autres cas	53 dB	50 dB
Garage individuel d'un logement ou garage collectif		55 dB	52 dB
Local d'activité, à l'exclusion des garages collectifs		58 dB	55 dB

L'isolement de façade *(local d'émission : extérieur et local de réception : chambre rdc M Georges)*

Affaire : Mesures logements M GEORGES — Date de mesure : 07/01/2022

Type de source : EON JBL

Local d'émission : Extérieur

Local de réception : Chambre RDC

Fréquence f Hz	D_{nT} (octave) dB
63	22.4
125	27.3
250	25.4
500	34.4
1000	39.8
2000	41.3
4000	43.5
8000	-

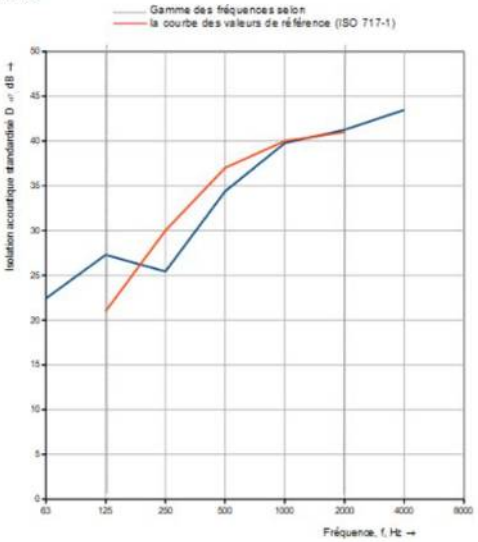


Tableau de classement des infrastructures de transports terrestres et des largeurs maximales des secteurs affectés par le bruit

Niveau sonore de référence L_{Aeq}(6h-22h) en dB(A)	Niveau sonore de référence L_{Aeq}(22h-6h) en dB(A)	Catégorie de l'infrastructure	Largeur maximale des secteurs affectés par le bruit de part et d'autre de l'infrastructure
L > 81	L > 76	Catégorie 1	300 m
76 < L 81	71 < L 76	Catégorie 2	250 m
70 < L 76	65 < L 71	Catégorie 3	100 m
65 < L 70	60 < L 65	Catégorie 4	30 m
60 < L 65	55 < L 60	Catégorie 5	10 m

Tableau des valeurs d'isolement minimal $D_{nT,A,tr}$ en dB

Distance horizontale (m)		0	10	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125	160	200	250	300
Catégorie de l'infrastructure	1	45	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	
	2	42	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30		
	3	38	38	37	36	35	34	33	32	31	30						
	4	35	33	32	31	30											
	5	30															

Vis-à-vis de l'extérieur, la valeur est correcte (DnA,tr = 33 dB). En effet, la valeur normalisée est de 30 dB. L'objectif d'isolement de façade est atteint

Évaluation selon ISO 717-1 : Évaluation basée sur des résultats de mesure *in situ*

DnT,w (C,Ctr) = 37 (-1,-4) dB ; C63-2000 = -1 dB; C63-4000 = 0 dB; C63-8000 = -32 dB; C125-4000 = 0 dB;

DnT,A = 36 dB ; Ctr63-2000= -5 dB; Ctr63-4000= -5 dB; Ctr63-8000= -22 dB; Ctr125-4000= -4 dB;

DnT,A,tr = 33 dB ;

Mesures bruits de chocs

On renseigne donc les niveaux sonores à la réception, le bruit de fond et le Tr.

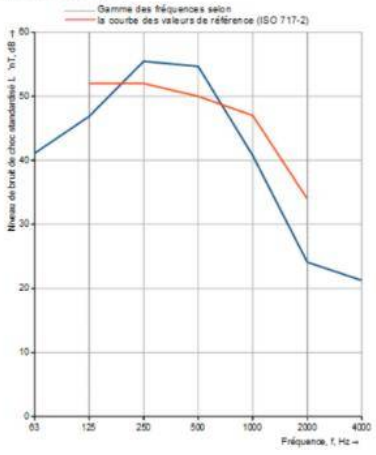
Affaire : Mesures logements M GEORGES — Date de l'essai: 07/01/2022

Type de source : Machine à chocs normalisée BEK

Local d'émission : Chambre Client

Local de réception : Chambre appartement mitoyen

Fréquence f Hz	L_{nT} (octave) dB
63	41.1
125	46.9
250	55.5
500	54.7
1000	40.8
2000	24.1
4000	21.3



TYPE DE BÂTIMENT	LOCAL D'ÉMISSION	$L'_{nT,w}$ EN dB DANS LE LOCAL DE RÉCEPTION
Bâtiments d'habitation (article 4 de l'arrêté du 30 juin 1999)	Locaux du bâtiment extérieurs au logement de réception, à l'exception des balcons et loggias non situés immédiatement au-dessus d'une pièce principale, des escaliers dans le cas où un ascenseur dessert le bâtiment, des locaux techniques	58 dB dans les pièces principales d'un logement

Par rapport aux objectifs, la mesure 45 dB est correcte.
L'objectif de niveau de bruit de chocs est atteint

Évaluation selon ISO 717-2 : Évaluation basée sur des résultats de mesure *in situ*

L'nT,w (CI) = 45 (-2) dB ; CI63-2000 = -1 dB ;

Résultat : L'objectif d'isolement acoustique n'est pas atteint.
Hypothèses ? Problèmes parois : parpaings enduits avec des plaques de plâtre. A certains endroits, ça sonne creux, il y a du vide ?

Présentation des activités réalisées et des acquis professionnels

1. Activités réalisées

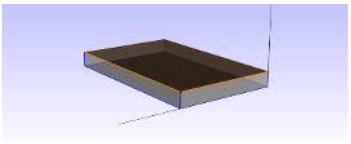
- Travail sur la mise en commun d'une feuille de TR unique utilisable par toutes les agences GAMBA

- Calcul de la surface de dalle acoustique en laine de bois à mettre dans les différentes pièces

- Création d'un mémo sur l'utilisation du logiciel AcouSPROPA (voir annexe 1)

- Calculs :

Calculs des taux de décroissance spatiale du niveau de pression acoustique par doublement de la distance (suivant NF EN ISO 14257) sur AcouSPROPA. La présente norme internationale spécifie une méthode de mesurage de la (des) courbe(s) de décroissance sonore spatiale d'un local de travail donné.



Tout d'abord, on modélise la pièce sur le logiciel. Après avoir affecté des coefficients d'absorptions aux parois, défini la position de la source et renseigné les points de mesure, on peut calculer la décroissance sonore par doublement distance.

Le projet vise une certification HQE (haute qualité environnementale). Pour atteindre cette certification, il y a certaines exigences à respecter comme le confort acoustique par exemple. Il y a 3 niveaux HQE :

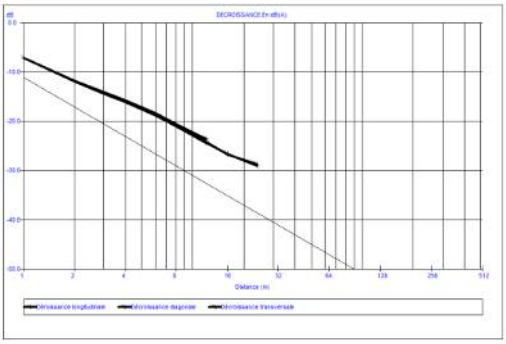
Tableau 3 — Espaces ouverts

Descripteur	Niveau «Courant»	Niveau «Performant»	Niveau «Très Performant»
Niveau Sonore Global dont :	$L_{50} \leq 55$ dB(A)	$40 < L_{50} < 45$ dB(A)	$40 < L_{50} < 45$ dB(A)
— bruits extérieurs	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB et $L_{50} \leq 35$ dB(A)	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB et $L_{50} \leq 30$ dB(A)
— bruits des équipements	$L_{Aeq} \leq 45$ dB(A)	NR 35 ≤ Lp ≤ NR 40	Lp ≤ NR 33 (permanent) et $L_{max} \leq 35$ dB(A) (intermittent)
Bruits de chocs	$L'_{nTw} \leq 62$ dB	$L'_{nTW} \leq 60$ dB	$L'_{nTW} \leq 58$ dB
Réverbération (Vol < 250 m³)	Tr ≤ 0,8 s	0,6 < Tr < 0,8 s	Tr ≤ 0,6 s
Décroissance spatiale (Vol > 250 m³)	2 dB(A)/doublement si décroissanoe non applicable : Tr ≤ 1,2 s	3 dB(A)/doublement si décroissance non applicable : Tr ≤ 1 s	4 dB(A)/doublement si décroissance non applicable : Tr ≤ 0,8 s
Isolement au bruit aérien intérieur	$D_{nT,A} \geq 30$ dB	$D_{nT,A} \geq 35$ dB	$D_{nT,A} \geq 40$ dB

Tableau 4 — Plateaux à aménager (Bureaux «en blanc»)

Descripteur	Niveau «Courant»	Niveau «Performant»	Niveau «Très Performant»
Niveau Sonore Global dont :	$L_{50} \leq 55$ dB(A)	$35 \leq L_{50} < 40$ dB(A)	$30 < L_{50} < 35$ dB(A)
— bruits extérieurs	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB	$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB et $L_{50} \leq 30$ dB(A)
— bruits des équipements	$L_{Aeq} \leq 45$ dB(A)	Lp ≤ NR 33	Lp ≤ NR 30 (permanent) et $L_{max} \leq 35$ dB(A) (intermittent)
Bruits de chocs	$L'_{nTw} \leq 62$ dB	$L'_{nTW} \leq 60$ dB	$L'_{nTW} \leq 58$ dB
Réverbération (volume < 250 m³)	/	Tr ≤ 0,9 s	Tr ≤ 0,7 s
Décroissance spatiale (volume > 250 m³)	2 dB(A)/doublement si décroissance non applicable : Tr ≤ 1,2 s	2,5 dB(A)/doublement si décroissance non applicable : Tr ≤ 1 s	3 dB(A)/doublement si décroissance non applicable : Tr ≤ 0,8 s

Avec les valeurs d'absorption fixée dans notre Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) (R-G-20-00619-01a), on trouve une décroissance sonore de :



- diagonale: $DL_2 = 5.0$ dB(A)/dd.
- longitudinale : $DL_2 = 5.1$ dB(A)/dd.
- transversale : $DL_2 = 4.7$ dB(A)/dd.

Ici on vise des objectifs « très performants » de la NF S 31-080 qui sont :

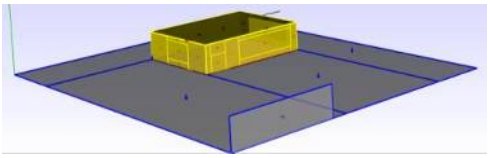
- pour les espaces ouverts : $DL_2 \geq 4$ dB(A)/dd.
- pour les plateaux à aménager : $DL_2 \geq 3$ dB(A)/dd.

Les objectifs « très performants » sont donc atteints puisque les décroissances sonores sont au-delà.

Calcul du rayonnement acoustique d'une salle vers l'extérieur.

On souhaite vérifier que la réglementation aux lieux diffusant des sons amplifiés soit appliquée. Nous utilisons le décret n°2007-1244 du 7 août 2017 relatif à la prévention des risques liés aux bruits et sons amplifiés, les lieux dits musicaux, en tant qu'activités bruyantes.

Après avoir modélisé le bâtiment sur SketchUp, puis identifié chaque élément qui va rayonner sur AcouSPROPA, on trouve le niveau de pression des points de réception.



Ensuite, une fiche de calcul, nous permet de travailler sur les indices d'affaiblissement.

Niveau de pression des points de réception supplémentaires[Toiture]

N° point/Intitulé	X(m)	Y(m)	Z(m)	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	dB(A)
1 : Pt Mesure 1	48	-2	2	68.8	68.5	68.2	67.2	66.2	64	60.3	70.9

Niveau de pression des points de réception supplémentaires[beton]

N° point/Intitulé	X(m)	Y(m)	Z(m)	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	dB(A)
1 : Pt Mesure 1	48	-2	2	67.7	67.4	67.1	66.4	65.6	63.9	60.6	70.5

Niveau de pression des points de réception supplémentaires[vitrage]

N° point/Intitulé	X(m)	Y(m)	Z(m)	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	dB(A)
1 : Pt Mesure 1	48	-2	2	72.5	72.5	72.5	71.9	71.3	69.7	66.5	76.2

Dans la feuille Excel, on impose une valeur maximale au local de 88 dBA.

	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	dB(A)
Référence musique	11	10	6	4	0	-2	-8	
Niveau public max issu de propa	92.0	92.0	92.0	92.0	92.0	90.0	89.0	96.9
Niveau global modifié	83.1	83.1	83.1	83.1	83.1	81.1	80.1	88.0
niveau au limiteur retenu	94.1	93.1	89.1	87.1	83.1	81.1	75.1	89.2
Delta	2.1	1.1	-2.9	-4.9	-8.9	-8.9	-13.9	

Et pour 88 dBA, on a au niveau du point de réception 64 dBA qui vient de la toiture, 63 dBA issu du béton et 69 dBA issu du vitrage.

		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	dB(A)
Toiture	Lparticulier	70.9	69.6	65.3	62.3	57.3	55.1	46.4	64.0
Béton	Lparticulier	69.8	68.5	64.2	61.5	56.7	55.0	46.7	63.3
Vitrage	Lparticulier	74.6	73.6	69.6	67.0	62.4	60.8	52.6	68.9

Cette valeur prend en compte la décroissance du modèle plus le delta qu'on a appliqué à chaque bande pour modifier le niveau d'émission. Mais, on n'a affecté aucune performance à ces éléments. L'affaiblissement est donc pour l'instant égal à 0 (on est à l'air libre). L'onglet affaiblissement nous permet de vérifier que les émergences réglementaires ne soient pas dépassées.

		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
Toiture	Initial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Modifié	14.0	21.0	26.0	43.0	60.0	72.0	81.0	CIN321
		14.0	21.0	26.0	43.0	60.0	72.0	81.0	
Béton	Initial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Modifié	44.0	41.0	47.0	56.0	65.0	74.0	83.0	Béton 20 cm
		44.0	41.0	47.0	56.0	65.0	74.0	83.0	
Vitrage	Initial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Modifié	28.0	28.0	33.0	46.0	53.0	55.0	55.0	climalit silence 44.2/16/44.2
		28.0	28.0	33.0	46.0	53.0	55.0	55.0	

On propose par exemple : une toiture bac métallique perforé, le béton d'une épaisseur de 20 cm puis un vitrage « climalit silence » double vitrage feuilleté.

Avec le gain, on a seulement 36 dBA issu de la toiture, 13 dBA issu du béton et 32 dBA issu du vitrage. La toiture est donc le plus pénalisant.

		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	dB(A)
Toiture	Lparticulier	70.9	69.6	65.3	62.3	57.3	55.1	46.4	64.0
	Gain sur l'aff.acoustiq.	14.0	21.0	26.0	43.0	60.0	72.0	81.0	
	Lpart - att	56.9	48.6	39.3	19.3	-2.7	-16.9	-34.6	36.2
Béton	Lparticulier	69.8	68.5	64.2	61.5	56.7	55.0	46.7	63.3
	Gain sur l'aff.acoustiq.	44.0	41.0	47.0	56.0	65.0	74.0	83.0	
	Lpart - att	25.8	27.5	17.2	5.5	-8.3	-19.0	-36.3	13.7
Vitrage	Lparticulier	74.6	73.6	69.6	67.0	62.4	60.8	52.6	68.9
	Gain sur l'aff.acoustiq.	28.0	28.0	33.0	46.0	53.0	55.0	55.0	
	Lpart - att	46.6	45.6	36.6	21.0	9.4	5.8	-2.4	32.2

Toutes les valeurs sont récapitulées dans le tableau ci-dessous avec L part total, la somme logarithmique totale des contributions vitrage. On y rajoute une incertitude de calcul ainsi qu'un niveau sonore résiduel qui ont été mesurés par le bureau d'étude. Ce dernier annonce une valeur de 43 dBA pour la journée. Enfin, on vérifie que l'émergence pour chaque bande soit inférieure à 3 dB de 125 à 4000 Hz (d'après le Décret n° 2017-1244 du 7 août 2017 relatif à la prévention des risques liés aux bruits et aux sons amplifiés)

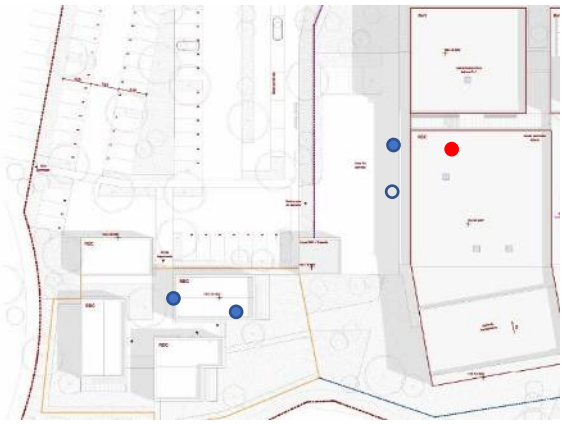
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	dB(A)
Lpart total	57.3	50.4	41.2	23.3	9.4	5.8	0.0	37.8
Lresiduel	53	49	43	38	40	33	26	42.9
Lambiant	65.5	57.1	47.7	37.9	39.5	33.0	25.5	46.5
Émergence	**13.0**	**8.6**	**5.2**	**0.4**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**3.7**

« En outre, les émissions sonores des activités visées à l'article R. 571-25 qui s'exercent dans un lieu clos n'engendrent pas dans les locaux à usage d'habitation ou destinés à un usage impliquant la présence prolongée de personnes, un dépassement des valeurs limites de l'émergence spectrale de 3 décibels dans les octaves normalisées de 125 hertz à 4 000 hertz ainsi qu'un dépassement de l'émergence globale de 3 décibels pondérés A.

Figure 3 : Décret n° 2017-1244

A 125 Hz, sans incertitude, la valeur de l'émergence dépasse 3 dB (c'est normal car les basses fréquences sont difficiles à isoler). On remarque que la toiture fait la performance. C'est le point faible. Il conviendra donc de dimensionner une toiture plus performante pour respecter les exigences réglementaires. Le vitrage est bien choisi car à 125 Hz, 45,6 est inférieur à 49 du niveau sonore du site actuel.

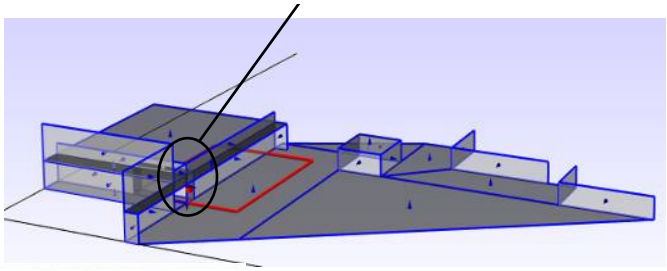
S'assurer que les traitements que l'on a déjà prévus, suffisent pour que les 8 groupes froids ne fassent pas trop de bruit à l'aide du logiciel AcouSPROPA.



- Récepteurs
- 8 Sources (attribuer les puissances des GF)



Sources



Fréquence (Hz)	*63*	*125*	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*	*8000*	*dB(A)*
NIVEAU DE PUISSANCE Lw (dBlin)									
GF 1 (Embraco Bioma UP-NT6222GK-EAE00)	56	57	58	58	55	52	47	45	**60.1**
GF 2 (Embraco Bioma UP-SE6015GS-EAE00)	60	61	62	62	59	56	51	48	**64.0**
GF 3 (Embraco Bioma UP-SE6015GS-EAE00)	60	61	62	62	59	56	51	48	**64.0**
GF 4 (Embraco Bioma UP-SE6015GS-EAE00)	60	61	62	62	59	56	51	48	**64.0**
GF 5 (Embraco Bioma UP-SE6015GS-EAE00)	60	61	62	62	59	56	51	48	**64.0**
GF 6 (Embraco Bioma UP-SE6030GS-EAE00)	63	64	65	65	62	59	54	52	**67.1**
GF 7 (Embraco Bioma UP-SE2012GS-EAE00)	63	64	65	65	62	59	54	52	**67.1**
GF 8 (Embraco Bioma UP-SE2012GS-EAE00)	63	64	65	65	62	59	54	52	**67.1**

Figure 4 : Niveau de puissance des groupes froids

A l'aide de AcouSPROPA, on conclue que les objectifs ne sont pas atteints.

Niveau de pression des points de réception supplémentaires[Projet 1]

	Position (m)			Lp(f(Hz))								
N° point/Intitulé	X	Y	Z	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
1 : ptRecept1	10	-8	5	42	40	38	36	32	28	22	19	38
2 : ptRecept2	51	22	2	32	31	29	29	25	21	15	11	30
3 : ptRecept3	42	24	2	32	31	30	29	26	22	16	12	31
4 : ptRecept4	7	-2	6	44	41	37	35	29	24	18	15	36

Suite aux résultats, on a demandé au BET fluides (en charges des groupes froids) si les 8 Groupes Froids fonctionneraient la nuit. Il y en a 2 qui seront éteints. Du coup, on retombe en dessous des 37 dB(A) aux points de réception pour la contribution via le couloir. Pour la contribution de la porte, on trouve ci-dessous les niveaux de pression :

Niveau de pression des points de réception supplémentaires[Source différente]

N° point/Intitulé	Position (m)			Lp(f(Hz))								
	X	Y	Z	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
1 : ptRecept1	10	-8	5	46	45	42	41	38	34	28	26	43
2 : ptRecept2	51	22	2	37	36	34	34	30	27	21	17	35
3 : ptRecept3	42	24	2	37	37	34	34	31	28	22	18	36
4 : ptRecept4	7	-2	6	45	42	36	34	29	24	17	13	35

Mais, on remarque que le niveau sonore calculé sur la porte est grossier. On a bien fait de faire le calcul (on est 11 dB(A) en-dessous de la prévision) et donc là c'est quasiment plus problématique (ça change tout).

Niveau de pression des points de réception supplémentaires[Source différente]

N° point/Intitulé	Position (m)			Lp(f(Hz))								
	X	Y	Z	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
1 : ptRecept1	10	-8	5	33	32	30	30	26	22	17	14	31
2 : ptRecept2	51	22	2	25	24	23	23	20	16	10	6	25
3 : ptRecept3	42	24	2	25	25	24	24	20	17	11	7	25
4 : ptRecept4	7	-2	6	32	28	24	22	16	11	4	0	23

– Mesures effectuées dans plusieurs locaux :
  - mesures du bruit aérien dans une école de musique : elles devaient confirmer les résultats attendus après rénovations faites. Les mesures effectuées en décembre ne permettaient pas d'émerger dans le voisinage car la source sonore n'était pas assez puissante par un collègue, n'ont pas permis d'identifier correctement le son avec le microphone. Nous sommes donc revenus avec une source plus puissante Il fallait donc émettre un son plus conséquent (112 dB).







  - Mesures dans des locaux ou chez des clients (voir résultats p 8 à 13)



Figure 5 : Mesure au B612

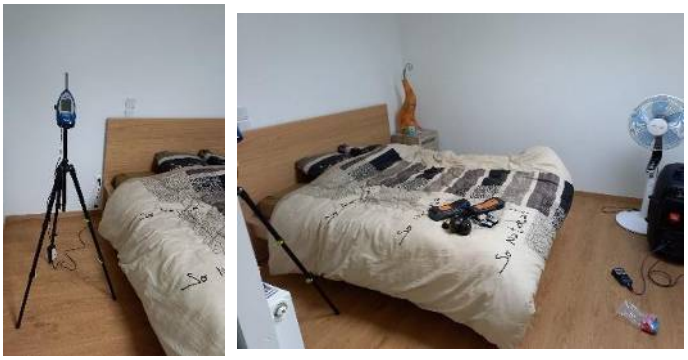


Figure 5 : Mesure chez des clients

2. Acquis personnels et professionnels

Ce stage m'a permis d'évoluer, de découvrir un nouveau secteur, une nouvelle discipline, d'approfondir mes connaissances, de me perfectionner. Les difficultés rencontrées sont toujours très formatrices, elles permettent de se confronter à des situations inhabituelles et par conséquent de s'améliorer. En effet, cette nouvelle expérience chez Gamba m'a permis de renforcer mes compétences et d'en acquérir d'autres sur le plan personnel et professionnel :

-Sur le plan personnel, j'ai pu évaluer trois aptitudes : le développement de mes capacités d'intégration, le renforcement de mon sens des responsabilités et la stimulation de ma curiosité. Suite à la pandémie mondiale de la Covid-19, un protocole national pour assurer la santé et la sécurité des salariés en entreprise, applicable depuis le 3 janvier 2022, impose notamment la gestion des flux au sein de l'entreprise, le télétravail de 3 à 4 jours hebdomadaires. Débuter un stage à distance, sans connaissance technique est très difficile. J'ai pu prouver à cette occasion mon autonomie, ma capacité à être efficace en me fixant des règles sur les horaires à réaliser pour fournir un travail de qualité tout en étant isolée à mon domicile. Concernant la communication, je n'ai eu aucune conversation par teams pendant plusieurs jours avec les collègues et notamment mon tuteur de stage. Je n'ai reçu que des messages car tous étaient en télétravail et très occupés. Cette situation m'a frustrée et m'a obligée à trouver les ressources pour me débrouiller seule. Pendant le stage, je pense avoir rencontré au maximum huit personnes. De plus, de jour en jour, j'étais plus exigeante envers moi-même. J'avais l'impression qu'il fallait que j'en fasse plus pour prouver que je travaille, alors que je suis productive. C'est un sentiment désagréable.
Aujourd'hui, je sais que j'aurai des difficultés à travailler dans un groupe qui prône le télétravail à 100% parce que je n'arriverai pas à me familiariser avec leurs valeurs. Le présentiel permet de justement les partager et surtout de les ressentir en étant physiquement présent dans la structure.

-Sur le plan professionnel, j'ai pu évaluer deux aptitudes : j'ai acquis une véritable expérience professionnelle au travers d'un stage et amélioré mes connaissances techniques.

- connaissances des normes de construction.
- maîtrise des techniques d'isolation et de correction acoustique des bâtiments.
- capacité à comprendre et utiliser différents appareils de mesure.
- capacité à réaliser le chiffrage précis d'un projet
- maîtrise des logiciels de modélisation acoustique (AcouS PROPA et AcouS Stiff) et 3D.
- travail en équipe pluridisciplinaire et partage de ses résultats à l'oral et à l'écrit.

Temps de réverbération

1. Point théorique

Le son, qu'est-ce que c'est ?

Du point de vue de la physique, le son est défini comme une onde de vibration se propageant dans un milieu matériel donné (dans l'air, le plus souvent), depuis un émetteur (une source) jusqu'à un récepteur.

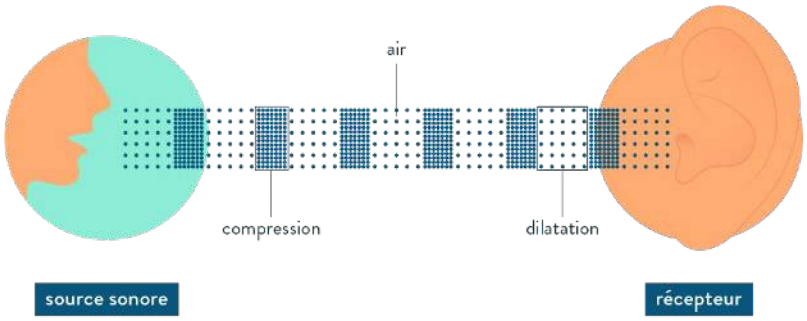


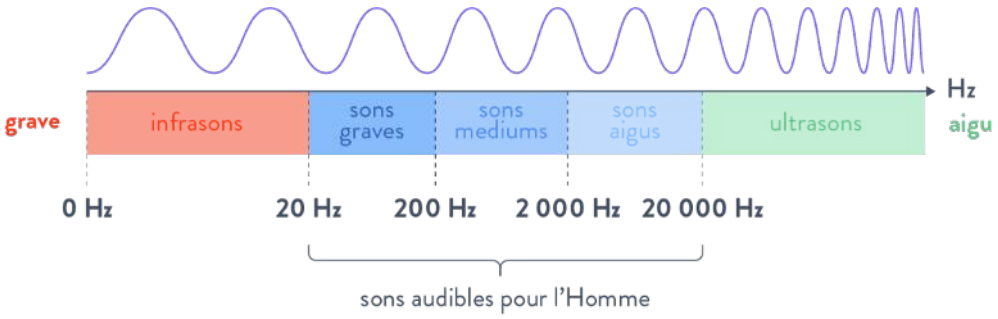
Figure 7 : Propagation des ondes sonores

Du point de vue physiologique, on définira plutôt le son comme le stimulus de notre sens de l'ouïe : le son est transformé en signaux neurophysiologiques par notre système auditif.

Le son peut être étudié selon sa dimension temporelle. La grandeur physique la plus souvent utilisée pour caractériser l'évolution temporelle d'un son est la pression acoustique (Pascals) : symbole p(t). Le signal de pression peut être mesuré (« capté »), à un endroit donné, par un microphone et observé sur l'écran d'un oscilloscope.

Le son peut également être étudié selon sa dimension fréquentielle ou spectrale. Pour rappel, la fréquence d'une vibration harmonique est le nombre d'oscillations par seconde (Hertz). Les sons « purs », c'est-à-dire ne contenant qu'une seule fréquence, sont rares. La plupart des sons constituant notre environnement sonore habituel sont composés d'une multitude « de fréquences », dont on peut représenter la répartition en intensité par le spectre du son.

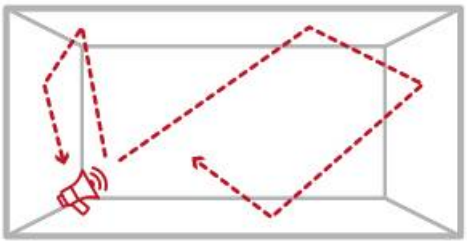
Notre oreille est sensible aux fréquences dites « audibles », c'est-à-dire comprises entre 20 Hz et 20 kHz. En dessous de 20 Hz, on parlera d'infrasons, et au-dessus de 20 kHz d'ultrasons. Des termes tels que « grave » (fréquence basse), « aigu » (fréquence élevée), « coloration du son », … font référence à la dimension spectrale du son.



Le son peut enfin être étudié selon sa dimension spatiale. La pression acoustique, les vibrations, se propagent d'un endroit à un autre dans un même milieu. La propagation n'est pas instantanée : dans l'air, à température ambiante, les ondes sonores voyagent à la vitesse approximative de 340 mètres par seconde. Cette vitesse augmente légèrement avec la température. Dans l'eau, elle avoisine les 1500 mètres par seconde.

Qu'est-ce que le temps de réverbération ?

(4) Dans un local, un son parvient à l'auditeur tout d'abord directement, puis après avoir été réfléchi une ou plusieurs fois sur les parois. Si le son parvenant à l'auditeur après réflexion est distinct du son lui parvenant directement, il y a écho. Si le son parvenant à l'auditeur après réflexion n'est pas distinct du son lui parvenant directement, le son semble prolongé : il y a réverbération. La réverbération est donc la persistance d'un son dans un espace clos ou semi-clos après interruption brusque de la source sonore.



Il est aisé de percevoir la différence entre l'écho et la traînée sonore d'un son en claquant des mains en plein air devant un mur. Le son émis par le claquement des mains parvient à l'oreille de l'auditeur tout d'abord directement puis après réflexion sur le mur. Près du mur, le son paraît bref; plus l'auditeur s'éloigne du mur, plus le son lui paraît prolongé. A plus de 17 m du mur, deux sons distincts sont perçus: il y a écho. La différence de parcours entre le son direct et le son réfléchi est supérieure à 34 m, ce qui correspond à un décalage de plus de 1/10 s puisque la vitesse du son dans l'air est de l'ordre de 340 m/s. Un second mur et un troisième mur donneraient l'impression d'un son encore plus prolongé. Dans un espace clos, avec le même type de mur, cette prolongation du son, ou « réverbération », est encore plus importante.

Le temps de réverbération Tr est un paramètre essentiel intervenant dans la description de la qualité acoustique d'un local. C'est un critère qualitatif pour l'intelligibilité du discours et le confort d'écoute de la parole et de la musique. Le temps de réverbération est le temps nécessaire à l'énergie sonore pour décroître de 60 dB lorsque la source s'arrête d'émettre. Du fait de la présence du bruit de fond, il est rare qu'on puisse mesurer une décroissance de 60 dB complète, c'est pourquoi il est habituellement mesuré pour une décroissance de 10, 20 ou 30 dB et le résultat est ensuite extrapolé sur 60 dB.

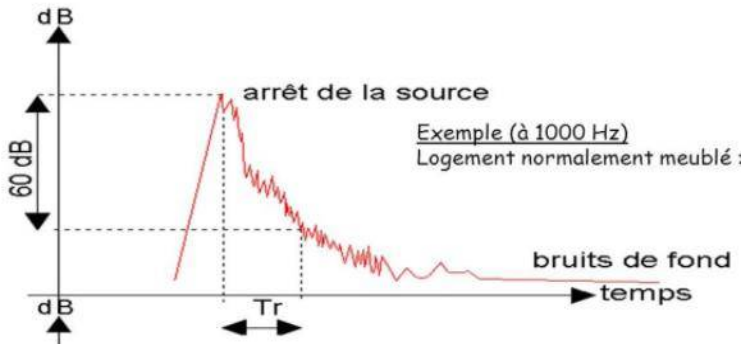


Figure 8 : Temps de réverbération

Méthodes de mesurage du temps de réverbération



Les mesures de temps de réverbération se basent sur l'émission d'impulsions sonores (méthode Schroeder), au moyen du percement d'un ballon de baudruche. Le sonomètre commence à mesurer dès que le ballon éclate, la décroissance est calculée, et le Tr est affiché avec les courbes de décroissance pour toutes les bandes de fréquence. Un temps de réverbération moyen peut aussi être calculé sur la base d'une sélection des bandes de fréquence.

Pour expliquer le calcul du temps de réverbération, je vais m'appuyer sur un exemple ainsi que ma propre fiche de calcul (page 21). En effet, durant ce stage, j'ai dû concevoir une feuille de TR unique qui sera utilisable par tous les employés de GAMBA.

Hypothèse de sabine champs diffus

La théorie classique de la réverbération impose l'uniformité de la réverbération et l'absence de flux d'énergie dans l'ensemble du milieu de propagation. Autrement dit, l'énergie sonore et la durée de réverbération sont uniformes en tout point du domaine étudié. Ces considérations permettent d'exprimer le temps de réverbération et l'énergie du champ réverbéré, sous forme d'expressions analytiques simples, parmi lesquelles les formules de Sabine et d'Eyring bien connues. Malheureusement, cette hypothèse dite « de champ diffus » n'est pas vérifiée en pratique, dès lors que la forme du milieu de propagation n'est plus homogène (formes allongées, comme des rues, des couloirs, des locaux plats) et que l'absorption acoustique devient importante et non uniforme. De plus, la théorie de la réverbération s'applique très mal aux géométries présentant des ouvertures, et en particulier au cas du milieu urbain.

Calcul du temps de réverbération

La durée de réverbération est liée au volume acoustique V et à la surface d'absorption équivalente A de la salle.

(1) On définit la surface équivalente d'absorption A de la salle par la relation : $A = \sum \alpha_i \times S_i$ où α_i représente le coefficient d'absorption du matériau de surface S_i. L'A totale d'une pièce est égal à l'ensemble des A de chacune des parois (plafond, sol et parois) mais aussi du mobilier, des éléments suspendus...

• On appelle coefficient d'absorption α d'un matériau, le rapport : $\alpha = \frac{\text{énergie absorbée}}{\text{énergie incidente}}$. α dépend de la nature du matériau et de la fréquence de l'onde incidente sur la paroi.

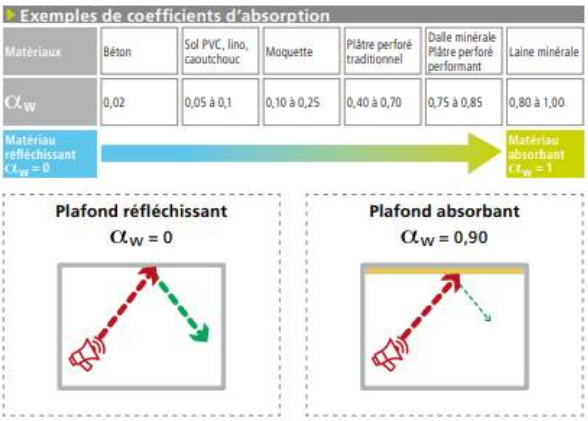
Coefficient $\alpha \approx 1$:
Énergie absorbée ≈ Énergie incidente ▶ le matériau **absorbe** l'onde acoustique

Coefficient $\alpha \approx 0$:
Énergie absorbée << Énergie incidente ▶ le matériau **réfléchit** l'onde acoustique

(2)

- Dans la plupart des situations, la durée de réverbération se calcule par la formule empirique de Sabine : TR = $\frac{0,16 \times V}{A}$ avec TR s'exprime en seconde (s) ; la surface A est exprimée en m^2 et le volume V en m^3. Le Tr est donné en fonction de la fréquence de 125 Hz à 4 kHz et en valeur moyenne (entre 500 Hz et 2 kHz).

On cherche à résumer l'absorption à une valeur unique. Il s'agit de l'indice alpha-W qui correspond à la moyenne pondérée des coefficients entre 250 et 4000Hz, rapprochée à une courbe de référence donnée par la norme ISO-11654 (Norme d'évaluation de l'absorption acoustique).



La feuille Excel prend en compte certaines corrections empiriques car on n'est jamais sûr d'être dans l'hypothèse de Sabine :

(3)

– <u>Atténuation due à l'absorption de l'air.</u>

L'absorption atmosphérique est un phénomène complexe, et dépend de nombreux facteurs :

1. Contenu fréquentiel du bruit.
2. Température ambiante.
3. Humidité relative.
4. Pression atmosphérique.
5. Eloignement de la source.

– <u>Correction du mobilier.</u>

Si moins de mobilier, la correction du Tr augmentera.

– <u>Correction d'homogénéité.</u>

C'est un test pour vérifier la répartition d'absorption entre les murs et les 2 autres parois.

– <u>Correction écho.</u>

On teste les parois parallèles 2 à 2 (Sol/Plafond, Mur1/Mur3, Mur2/Mur4).

FICHE DE CALCUL ACOUSTIQUE : Temps de Réverberation (Méthode Sabine)

AFFAIRE :

DATE ETUDE :

GAMBA

Caractéristique de la salle

Nom Local :

Longueur :	50	m
Largeur :	15	m
Hauteur :	7	m

S1 = 350 m² absorbant

S2 = 105 m² absorbant

S3 = 350 m² absorbant

S4 = 105 m² absorbant

mur 1 / mur 2 / mur 3 / mur 4

Surface au sol :	750	m²
Surface plafond :	750	m²
Surface murale totale :	910	m²
Surface totale :	2410	m²
Volume :	5250	m³

①

Caractérisation des éléments

Paroi avec matériau absorbant

	Matériau	Référence	Fabricant	Surface (m²)	125	250	500	1000	2000	4000	α_w	125	250	500	1000	2000	4000	AAE Moy 500-2k
					Coefficient d'absorption (α_s)							Aire équivalente partielle (m²)						
Sol				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Plafond				675.00	0.12	0.38	0.77	0.78	0.67	0.60	0.65	81.00	256.50	519.75	526.50	452.25	405.00	499.50
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mur 1				87.50	0.40	0.64	0.57	0.64	0.64	0.60	0.60	35.00	56.00	49.88	56.00	56.00	52.50	53.96
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mur 2				26.25	0.40	0.64	0.64	0.64	0.64	0.60	0.65	10.50	16.80	16.80	16.80	16.80	15.75	16.80
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mur 3				87.50	0.40	0.64	0.64	0.64	0.64	0.60	0.65	35.00	56.00	56.00	56.00	56.00	52.50	56.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mur 4				26.25	0.70	0.80	0.80	0.70	0.60	0.50	0.60	L 18.38	21.00	21.00	18.38	15.75	13.13	18.38
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Paroi sans matériau non absorbant

	Matériau	Référence	Fabricant	Surface (m²)	125	250	500	1000	2000	4000	α_w	125	250	500	1000	2000	4000	AAE Moy 500-2k
Sol	Réfléchissant			750.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
Plafond	Réfléchissant			75.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Mur 1	Réfléchissant			262.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13
Mur 2	Réfléchissant			78.75	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94
Mur 3	Réfléchissant			262.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13	13.13
Mur 4	Réfléchissant			78.75	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94	3.94

Eléments suspendus

Type	Référence	Fabricant		Nbre d'éléments	AAE	125	250	500	1000	2000	4000	AAE Moy 500-2k
						Aire équivalente partielle (m²)						
				0	AAE/élément	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
				0	AAE/élément	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
				0	AAE/élément	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
					AAE totale	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Type	Référence	Fabricant	apparente/modu	Nbre d'éléments	Alpha S							
			0.00	0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
						0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Mobilier

Type	Référence	Fabricant	Surface (m²)	125	250	500	1000	2000	4000	α_w	125	250	500	1000	2000	4000
				Coefficient d'absorption							Aire équivalente partielle (m²)					
			0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Public

											Aire équivalente partielle (m²)						

Caractérisation des éléments

Bande de fréquence (Hz)		125	250	500	1000	2000	4000		125	250	500	1000	2000	4000	
Récapitulatifs des matériaux absorbants	Surface totale (m²)	Coefficient d'absorption moyen							Aire équivalente partielle (m²)						AAE Moy 500-2k
Sol	750.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.50
Plafond	750.0	0.11	0.35	0.70	0.71	0.61	0.55		84.8	260.3	523.5	530.3	456.0	408.8	503.25
Parois	910.0	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.18		133.0	183.9	177.8	181.3	178.7	168.0	179.26
Eléments suspendus									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
Mobilier	0.0	#DIV/0!	#####	#####	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Occupation									0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Total	2410.0								225.3	451.7	708.8	719.1	642.2	584.3	690.01

② Résultats

Bande de fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Tr brut (s)	3.73	1.86	1.19	1.17	1.31	1.44
Tr non occupé	3.73	1.86	1.19	1.17	1.31	1.44

③ Corrections du Tr

Tr corrigé du à l'absorption de l'air	3.73	1.86	1.19	1.17	1.01	0.74
Correction "Mobilier"	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Correction "Homogénéité"	1.00	1.00	1.05	1.05	1.05	1.05
Correction "Echo"	1.05	1.05	1.10	1.15	1.15	1.20
Correction globale	1.05	1.05	1.16	1.21	1.21	1.26
Tr Corrigé	3.92	1.95	1.37	1.41	1.22	0.93
Objectif	2.26	2.26	1.70	1.70	1.70	1.70

$T_{60} = 0.16 \frac{V}{A + 4mV}$ n'est négligeable pour les fréquences ≤1000Hz — avec m : 2000 Hz 0.009 | 4000 Hz 0.0262

Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption

$SI\left(\text{Correction Homogénéité} > 1.1;\ 1.1;\ SI\left(\frac{T_{prédit}}{T_{cal}} < 0.9;\ 1.15;\ SI\left(\frac{T_{prédit}}{T_{cal}} < 0.95;\ 1.05;\ 1\right)\right)\right)$

$SI\left(\frac{A_{absorbant}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.15;\ SI\left(\frac{A_{absorbant}}{A_{surfacetotale}} < 0.5;\ 1.05;\ 1\right)\right)$

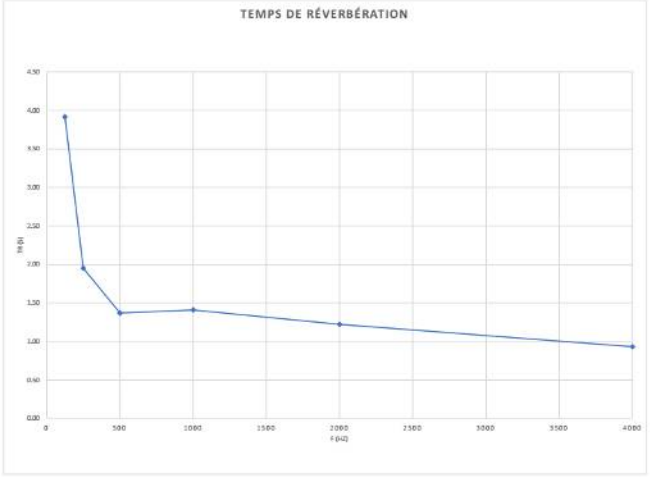
$SI\left(\frac{A_{absorbant\ 1\ et\ 3}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.05;\ SI\left(\frac{A_{absorbant\ 1\ et\ 3}}{A_{surfacetotale}} < 0.5;\ 1.03;\ 1\right)\right)$; $SI\left(\frac{A_{absorbant\ 2\ et\ 4}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.05;\ 1\right)$ absorbant

$SI\left(\frac{A_{absorbant\ 1\ et\ 3}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.1;\ SI\left(\frac{A_{absorbant\ 1\ et\ 3}}{A_{surfacetotale}} < 0.5;\ 1.07;\ 1\right)\right)$; $SI\left(\frac{A_{absorbant\ 2\ et\ 4}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.1;\ 1\right)$ absorbant

$SI\left(\frac{A_{absorbant\ 1\ et\ 3}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.15;\ SI\left(\frac{A_{absorbant\ 1\ et\ 3}}{A_{surfacetotale}} < 0.5;\ 1.1;\ 1\right)\right)$; $SI\left(\frac{A_{absorbant\ 2\ et\ 4}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.15;\ 1\right)$ absorbant

$SI\left(\frac{A_{absorbant\ 1\ et\ 3}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.2;\ SI\left(\frac{A_{absorbant\ 1\ et\ 3}}{A_{surfacetotale}} < 0.5;\ 1.2;\ 1\right)\right)$; $SI\left(\frac{A_{absorbant\ 2\ et\ 4}}{A_{surfacetotale}} < 0.3;\ 1.2;\ 1\right)$ absorbant

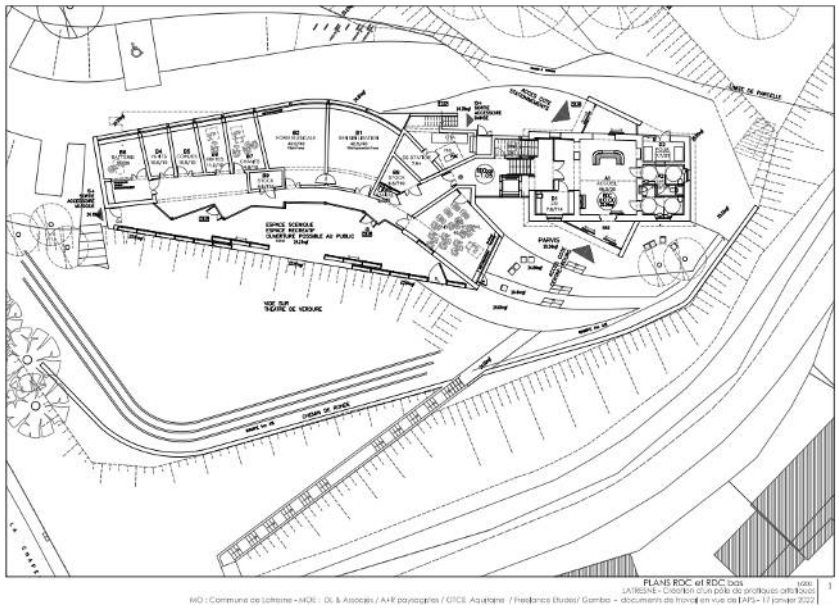
Tr Corrigé 500 - 2k	1.33
Tr 500-2k Objectif	1.74



2. Point pratique

Pour approfondir cette notion, je vais m'appuyer sur un exemple précis : calcul de la surface de DALLE ACOUSTIQUE EN LAINE DE BOIS - ORGANIC MINERAL à mettre dans les différentes pièces du projet de pôle de pratiques artistiques. Pour cela, il fallait que je calcule à l'aide de la feuille Excel, le temps de réverbération et que je calcule la quantité d'absorbant nécessaire pour respecter les différents objectifs.





Durant les calculs, j'ai pu me rendre compte des **paramètres d'influences du temps de réverbération d'un local**. La mauvaise qualité acoustique d'une salle est induite par de nombreux éléments :

- des surfaces lisses et parallèles qui se « renvoient » l'écho.
- un volume de pièce important.

Dimensions de la salle :		
surface du sol :	15	m²
Volume :	45	m³

TR Réglementation	TR 125-4k
0.40	0.48

Dimensions de la salle :		
surface du sol :	80	m²
Volume :	240	m³

TR Réglementation	TR 125-4k
0.45	0.59

Pour un volume cinq fois plus grand, le tr augmente, ce qui dans certaines pièces n'est pas conseillé.

- des matériaux de construction précis (placo-plâtre, carrelages….).

MATERIAUX	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
béton brut	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.07
marbre et surface dure et lisse	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
plâtre peint	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
briques	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
vitrage courant	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
porte plane en bois		0.22	0.17	0.09	0.10	
rideaux légers	0.04	0.05	0.11	0.18	0.30	0.44
rideaux lourds à plis	0.09	0.33	0.40	0.52	0.50	0.44
carrelage		0.01	0.02	0.03	0.04	
dalles plastiques collées	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02
moquette sur thibaude	0.14	0.32	0.45	0.45	0.40	0.35
linoléum sur feutre		0.08	0.09	0.10	0.12	
tôle perforée et laine minérale	0.26	0.33	0.56	0.79	0.65	0.45
panneau de fibres isolant	0.06	0.11	0.33	0.40	0.40	0.43
panneau de laine minérale 4 cm	0.30	0.70	0.88	0.85	0.65	0.60

Figure 9 : Coefficient d'absorption des matériaux

Plus le coefficient s'approche de 0, moins le matériau est absorbant. Or, l'absorption ou la diffusion sonore, permettent de limiter le temps de réverbération (TR) du local.

- des éléments qui entrent en résonance : radiateurs, vitres, objets en céramique.

Mais aussi, par des éléments favorisant l'absorption des échos ou les cassant :

- les meubles.
- certains éléments de décoration.
- les panneaux acoustiques de plafond.

Quel est le temps de réverbération optimal ?

Il est difficile de donner un temps de réverbération optimal parce que la réponse va être différente en fonction de :

1. La sensibilité de la personne : chacun de nous possède une audition différente. Nous n'entendons pas, par exemple, toutes les mêmes fréquences. Pour certains, un temps de réverbération de 1 seconde de 500 à 2000 hertz suffira. Pour d'autres, il ne leur faudra qu'un temps de 0.6 seconde sur les mêmes fréquences.
2. Le type d'instrument : Par exemple, pour la pratique du chant, on peut tolérer un temps de réverbération plus important. Pour la basse, cuivre, trompette, il faudra un son plus sec et plus précis.
3. La différence des projets : chaque environnement a un temps de réverbération (tr) optimal selon sa destination. Certaines normes nous indiquent des tr à ne pas dépasser.

Dans notre étude, nos objectifs varient en fonction du type de salle :

Objectifs : Tr 500-2000

Salles de répétition : < 0.6s
Salle B1 sensibilisation : < 0.4s
Salles de danse : <0.8s

(3) Pour la culture générale, voici d'autres tr en fonction de l'environnement :

Locaux d'habitation et bureaux

Le contrôle de la réverbération ne pose en général pas trop de problème car il existe le plus souvent dans ces locaux des éléments naturellement absorbants : mobilier, tapis, rideaux, fauteuils... La formule de Sabine est suffisante pour prédire le temps de réverbération, qui devra rester dans la fourchette [0,5 s ; 0,8 s] environ aux moyennes fréquences (500-2000Hz).

Dans certains cas tels que les bureaux paysagers, pour lesquels le volume de la pièce devient grand, il importe de choisir avec soin, le type, la quantité et la disposition des cloisons amovibles ou paravents, pour contenir la réverbération, et optimiser le confort.

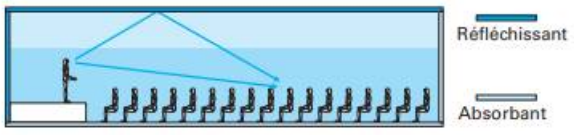
Type d'espace		Niveau "Courant"	Niveau "Performant"	Niveau "Très Performant"	
Bureaux et espaces associés *(NF S 31-080 Janvier 2006)*	Bureaux individuels	/	Tr ≤ 0,7 s	Tr ≤ 0,6 s	Durées de réverbération mesurées pour les bandes d'octave centrées sur 500 Hz, 1 000 Hz et 2 000 Hz
	Bureaux collectifs	Tr ≤ 0,6 s	Tr ≤ 0,6 s	Tr ≤ 0,5 s	
	Espaces ouverts (volume > 250 m³)	Tr ≤ 0,8 s	0,6 < Tr < 0,8 s	Tr ≤ 0,6 s	
	Plateaux à aménager (Bureaux «en blanc») (volume < 250 m³)	/	Tr ≤ 0,9 s	Tr ≤ 0,7 s	
	Salles de réunion/salles de formation (volume < 250 m³)	0,6 < Tr ≤ 0,8 s	0,6 ≤ Tr < 0,8 s	0,4 < Tr < 0,6 s	
	Espaces de détente	/	Tr ≤ 0,7 s	Tr ≤ 0,5 s	
	Restaurant	Tr ≤ 0,6 s	Tr ≤ 0,6 s	Tr ≤ 0,5 s	
Type d'espace	Type d'espace selon l'activité réalisée	Valeurs exigées			
Espaces ouverts de bureaux (au niveau du plateau) *(NF S 31-199 17 Mars 2016)*	Activité réalisée essentiellement par téléphone	Tr < 0,6 s [b] Tr < 0,8 s à 125 Hz		b : Moyenne arithmétique des durées pour les bandes d'octave centrées sur 250 Hz à 4 000 Hz	
	Activité basée sur un travail collaboratif	Tr < 0,6 s [b] Tr < 0,8 s à 125 Hz			
	Activité basée sur un travail faiblement collaboratif	Tr < 0,6 s [b] Tr < 0,8 s à 125Hz			
	Activité pouvant comporter l'accueil du public	Tr < 0,8 s [b] Tr < 1,0 s à 125Hz			

Les normes pour les bureaux préconisent des tr optimaux selon le type d'espace mais aussi selon le niveau d'exigence.

Théâtres, les salles de classe ou de conférences

La conception de la géométrie de la salle et la disposition des absorbants doivent être tels qu'un maximum d'énergie parvienne aux auditeurs dans les 50 ms (environ) suivant le son direct, sinon le non-respect de cette mise en œuvre est néfaste à l'intelligibilité . Le temps de réverbération ne doit pas excéder 1 s dans la mesure du possible. Dans les grandes salles ou le temps de réverbération dépasse 1,5 s, il est recommandé de choisir un rapport signal/bruit de 25 dB dans l'octave 2 kHz.

DURÉES DE RÉVERBÉRATION À RESPECTER		
Type de Bâtiment	**Locaux**	**Durée de réverbération moyenne**
Etablissements d'enseignement *(Article 5 de l'arrêté du 25 avril 2003)*	Salles de repos, salles d'exercice et salles de jeux des écoles maternelles Local d'enseignement, de musique, d'études, d'activités pratiques, salle de restauration et salle polyvalente d'un volume ≤ 250 m³ Local médical ou social, infirmerie, sanitaire,	0,4 ≤ Tr ≤ 0,8 s
	Local d'enseignement, de musique, d'études, d'activités pratiques d'un volume > 250 m³, sauf atelier bruyant (si LAeq, T > 5 dB(A))	0,6 ≤ Tr ≤ 1,2 s



Exemple : Le plafond et le bas des murs latéraux sont réfléchissants de manière que les réflexions précoces viennent renforcer le son direct. Le mur du fond est absorbant, ainsi que le haut des murs de manière à apporter suffisamment d'absorbant pour réduire le temps de réverbération. Quand cela est possible, un sol absorbant permet de réduire le bruit généré par l'auditoire, et limiter les bruits de pas. L'orateur est surélevé sur une estrade afin que le son direct ne soit pas masqué par les auditeurs situés devant. Cela garantit de plus une bonne vision. Un calcul au moyen de la formule de Sabine permet de prévoir correctement la quantité d'absorbant nécessaire.

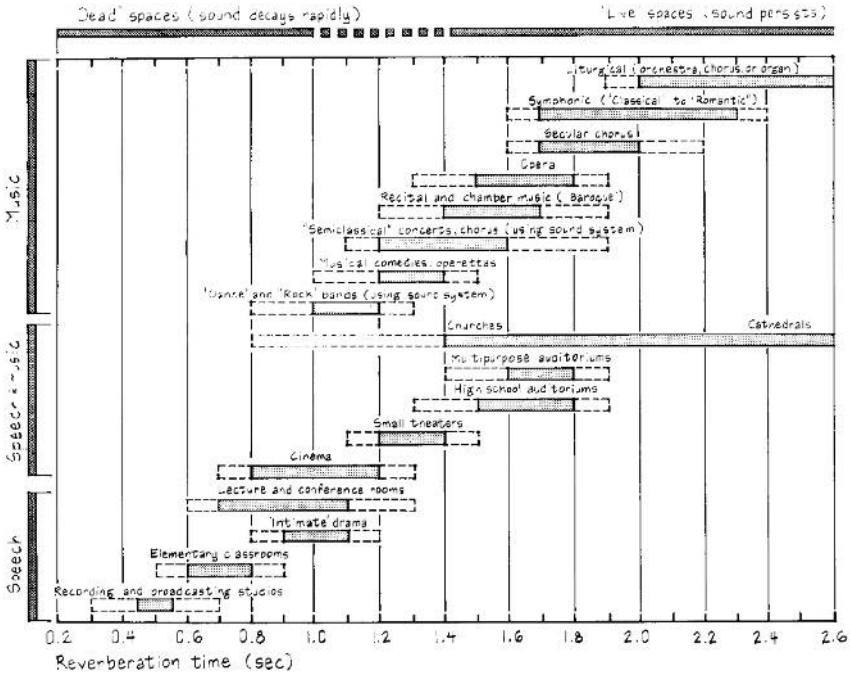
Lieu dédié à la musique

Le volume d'une salle est à peu de choses près fixé par le nombre N de places et par le temps de réverbération TR cherché :

— musique symphonique : TR = 2 s ⇒ $V \approx N \cdot 10\ m^3$.

— opéra : TR = 1,5 s ⇒ V ≈ N · 7,5 m^3.
— musique de chambre : TR = 1,2 s ⇒ V ≈ N · 6 m^3.

Voici les abaques mettant en rapport le volume de la salle, le type de répertoire et une valeur de TR de référence.



Source R.B. Newman 1974

Dans les salles modernes, les acousticiens font souvent usage de réflecteurs suspendus au plafond ou accrochés aux murs dans le but de diriger de l'énergie acoustique précoce vers une zone donnée de l'auditoire ou de la scène. Le traitement acoustique de la scène est bien entendu très important. On doit éviter d'y mettre des matériaux absorbants, qui réduisent l'énergie sonore émise en direction du public. Il importe aussi que le décor d'orchestre renvoie de l'énergie vers les musiciens pour ces derniers puissent s'entendre correctement.

Voici d'autres tr optimales selon le type de salles :

	Volume en m3	TR60 500 Hz min	TR60 500 Hz median	TR60 500 Hz max
Salle de cinéma (CST-RT-041-2021)	V = 160m³	0,24	0,34	0,41
	V = 200m³	0,24	0,35	0,41
	V = 250m³	0,25	0,35	0,42
	V = 315m³	0,25	0,35	0,42
	V = 400m³	0,25	0,36	0,43
	V = 500m³	0,27	0,38	0,46
	V = 630m³	0,29	0,41	0,49
	V = 800m³	0,32	0,45	0,54
	V = 1000m³	0,34	0,49	0,58
	V = 1250m³	0,37	0,53	0,64
	V = 1600m³	0,41	0,58	0,70
	V = 2000m³	0,45	0,64	0,77
	V = 2500m³	0,49	0,70	0,84
	V = 3150m³	0,53	0,76	0,91
	V = 4000m³	0,59	0,84	1,01
	V =5000m³	0,64	0,91	1,09
	V = 6300m³	0,69	0,99	1,19
	V = 8000m³	0,76	1,08	1,30
	V = 10000m³	0,83	1,18	1,42
	V = 12500m³	0,90	1,29	1,55
	V =16000m³	0,98	1,40	1,68

ET

Fréquences	RT60min/500 Hz (en%)	RT60max/500 Hz (en%)
50	100	200
63	100	187
80	100	174
100	100	162
125	100	152
160	100	141
200	100	132
250	100	123
315	100	115
400	100	107
500	100	100
630	93,3	100
800	87,1	100
1000	81,2	100
1250	75,8	100
1600	70,7	100
2000	66,0	100
2500	61,6	100
3150	57,4	100
4000	53,6	100
5000	50,0	100
6300	46,7	100
8000	43,5	100
10000	40,6	100

Établissements de santé *(Article 5 de l'arrêté du 25 avril 2003)*	V ≤ 250 m^3	Salle de restauration	Tr ≤ 0,8 s
		Salle de repos du personnel	Tr ≤ 0,5 s
		Local public d'accueil	Tr ≤ 1,2 s
		Local d'hébergement et de soins, salles d'examen et de consultation, bureaux médicaux et soignants	Tr ≤ 0,8 s
	V > 250 m^3	Local et circulation accessibles au public	Tr ≤ 1,2 s si 250 m^3 < V ≤ 512 m^3 Tr ≤ 0,15$\sqrt[3]{V}$ (s) si V > 512 m^3

Correction acoustique ?

Dans notre étude, mettre en œuvre une correction acoustique des locaux est nécessaire pour limiter les phénomènes de réverbération qui peuvent être très inconfortables (circulations communes). Le pouvoir d'absorption des parois intérieures réfléchissant les sons peut être renforcé au moyen de matériaux absorbants, de manière à diminuer le temps de réverbération comme des laines minérales, du feutre, des panneaux en bois, des revêtements de sol souples et non réverbérant...



Figure 10 : Feutre acoustique



Figure 11 : Laine minérale

Excellente performance dans son rôle d'absorbant acoustique. Elle est poreuse, et piège facilement les ondes sonores.



Figure 12 : Panneaux en bois



Figure 13 : Sol souple

La correction acoustique est ainsi rendue obligatoire dans les circulations communes (bâtiments d'habitation, établissements de santé), les circulations horizontales (établissements d'enseignement, hôtels), les halls d'un volume supérieur à 250 m^3 et les préaux (établissements d'enseignement). La réglementation impose ainsi des valeurs minimales d'aire d'absorption équivalente A aux circulations communes dans les habitations susnommées.

TYPE DE BÂTIMENT	LOCAUX VISÉS	AIRE D'ABSORPTION ÉQUIVALENTE A	OBSERVATIONS
Bâtiments d'habitation (article 3 de l'arrêté du 30 juin 1999 et article 7 de l'arrêté du 24 décembre 2015 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées dans les immeubles d'habitation)	Toutes les circulations communes fermées et traversées lors d'un cheminement normal depuis l'extérieur vers une porte palière d'un logement (entrées, sas, halls et circulations)	Le quart de la surface au sol des circulations	Les circulations ayant une face à l'air libre, les escaliers encloisonnés et les ascenseurs ne sont pas visés par cette exigence
Établissements d'enseignement (article 6 de l'arrêté du 25 avril 2003)	Circulations horizontales et halls dont le volume est inférieur à 250 m^3, préaux	La moitié de la surface au sol des locaux considérés	Les escaliers encloisonnés et les ascenseurs ne sont pas concernés par cette exigence (1)
Établissements de santé (article 6 de l'arrêté du 25 avril 2003)	Circulations communes des secteurs d'hébergement et de soins	Le tiers de la surface au sol des locaux considérés	
Établissements de santé (article 9 de l'arrêté du 1er août 2006 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées dans les établissements recevant du public)	Espaces réservés à l'accueil et à l'attente du public, salles de restauration	Le quart de la surface au sol	
Hôtels (article 6 de l'arrêté du 25 avril 2003)	Circulations horizontales sur lesquelles donnent les chambres	Le quart de la surface au sol des circulations	Les escaliers encloisonnés et les ascenseurs ne sont pas concernés par cette exigence
Hôtels (article 9 de l'arrêté du 1er août 2006 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées dans les établissements recevant du public)	Espace réservé à l'accueil du public, salles de restauration	Le quart de la surface au sol	

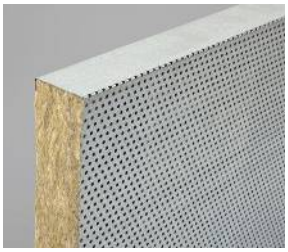
Figure 14 : Guide du CNB : réglementations acoustiques des bâtiments

Une correction acoustique peut aussi avoir pour objet d'améliorer l'intelligibilité des sons ou de la parole dans une salle de spectacle (opéra, musique, théâtre), salle de chant ... L'acousticien fera alors en sorte que certaines fréquences soient absorbées et d'autres réfléchies. Par exemple, dans une salle de concert, différentes plaques de bois, lisses et perforées, sont des outils très utiles pour absorber les

basses fréquences tout en laissant réfléchir les hautes fréquences, les aigus étant déjà absorbés par le volume d'air, les fauteuils et le public.

■ L'absorption acoustique des basses fréquences est réalisée au moyen de panneaux légers en aggloméré aéré de bois, poreux et lisses. Ces panneaux permettent le passage de l'énergie sonore ensuite absorbée par la laine minérale.

■ L'absorption acoustique des moyennes et hautes fréquences est réalisée au moyen de panneaux perforés également posés sur de la laine minérale. L'absorption sera plus ou moins forte selon la géométrie et la distribution des perforations.



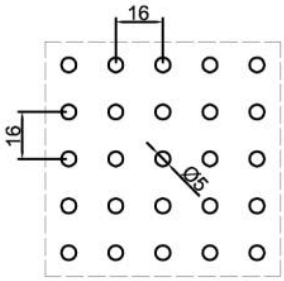
Pour le pôle artistique, nous souhaitons calculer la quantité de matériaux absorbant dans les salles de musique.

- Nous souhaitons poser des panneaux acoustiques perforés.



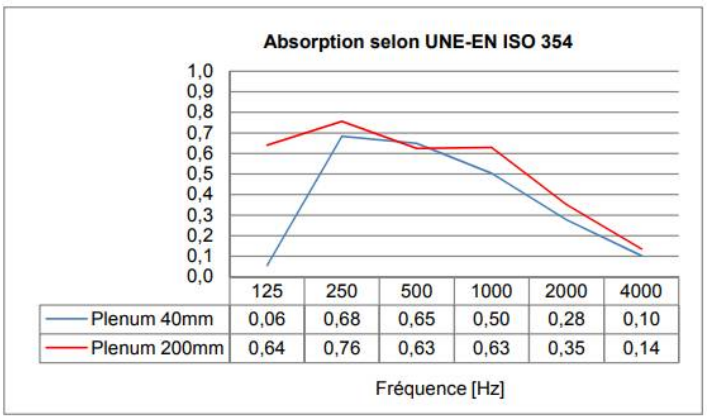
REFERENCE **PAP015**

DESCRIPTION Panneau acoustique perforé avec trous alignés



CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Pas entre trous (mm)		16x16 Aligné
Diamètre du trou (mm)		Ø 5
Prof. du trou (mm)		Traversant
Surface perforé (%)		7,6
Absorption acoustique		
Plenum 40mm	α_w	0,25
	NRC	0,60
Plenum 200mm	α_w	0,30
	NRC	0,60
Classe d'absorption		E / D
Laine minérale		40mm 30kg/m^3



Après avoir renseigné les dimensions de la salle, et les valeurs d'absorptions des matériaux, le temps de réverbération est calculé. Pour la salle chant, le tr est de 0,99 s.

			Alpha Sabine						A.A.E					
Paroi	Matériaux	Surface	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Plafond	Panneaux acoustiques perforés	100.0	0.70	0.70	0.65	0.50	0.25	0.15	70.00	70.00	65.00	50.00	25.00	15.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sol	Béton	100.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Murs	Béton	43.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16
	Vitre	5.1	0.25	0.18	0.15	0.10	0.05	0.05	1.28	0.92	0.77	0.51	0.26	0.26
		0.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Résultats :

TR par bande d'octave					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.61	0.61	0.66	0.83	1.48	2.14

TR Réglementation	TR 125-4k	Objectif réglementaire:
0.99	1.06	0.60

L'objectif n'est donc pas atteint. Nous rajoutons plusieurs m² de panneaux acoustiques perforés au mur pour qu'on vérifie l'objectif.

			Alpha Sabine						A.A.E					
Paroi	Matériaux	Surface	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Plafond	Panneaux acoustiques perforés	100.0	0.70	0.70	0.65	0.50	0.25	0.15	70.00	70.00	65.00	50.00	25.00	15.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sol	Béton	100.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Murs	Béton	-56.8	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	-2.84	-2.84	-2.84	-2.84	-2.84	-2.84
	Vitre	5.1	0.25	0.18	0.15	0.10	0.05	0.05	1.28	0.92	0.77	0.51	0.26	0.26
	Panneaux acoustiques	100.0	0.70	0.70	0.65	0.50	0.25	0.15	70.00	70.00	65.00	50.00	25.00	15.00
		0.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Résultats :

TR par bande d'octave					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.33	0.34	0.36	0.47	0.92	1.48

TR Réglementation	TR 125-4k	Objectif réglementaire:
0.58	0.65	0.60

On remarque que les panneaux perforés sont moins performants. Pour vérifier le tr, nous devons rajouter plus de panneaux. Cela reviendrait trop cher.

- Nous choisissons une autre option : la pose de dalles acoustiques en laine de bois.



Ses coefficients d'absorptions sont :

Référence	Isolant	Type de bords	$alpha_s$ Fréquences (Hz)						$alpha_w$
			125	250	500	1 000	2 000	4 000	
Sans plénum									
Organic MINERAL 50 (1)	-	Jointifs	0,18	0,55	1,11	1,04	0,92	1,02	0,85 (H)
Organic MINERAL 75 (2)	-	Jointifs	0,33	0,92	1,15	1,00	0,88	0,96	1,00
Organic MINERAL 100 (1)	-	Jointifs	0,45	1,06	1,13	0,94	1,00	1,05	1,00

Dû au coût de ces dalles, nous prévoyons de proposer des Organic MINERAL 50 à part dans la pièce orchestre et batterie (Organic MINERAL 100).

Après avoir renseigné les dimensions de la salle, et les valeurs d'absorptions des matériaux, le temps de réverbération de chaque lieu est calculé.

Si cela ne correspondait pas aux objectifs suivants, il fallait que je rajoute plusieurs m² de dalles acoustiques pour que les objectifs soient atteints. Comme dans la salle B1 sensibilisation :

Avant : Le tr réglementation (0,42 s) n'atteint pas l'objectif (0,40 s)

			Alpha Sabine						A.A.E				
Paroi	Matériaux	Surface	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz
Plafond	Dalle acoustique en laine de bois - Organic minéral 50	40.0	0.31	0.82	1.00	1.00	0.93	1.00	12.40	32.80	40.00	40.00	37.20
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sol	Béton	40.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Murs	Béton	63.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
	Vitre	13.9	0.25	0.18	0.15	0.10	0.05	0.05	3.47	2.50	2.08	1.39	0.69
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Résultats :

TR par bande d'octave					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.91	0.47	0.41	0.41	0.45	0.42

TR Réglementation	TR 125-4k	Objectif réglementaire:
0.42	0.51	0.40

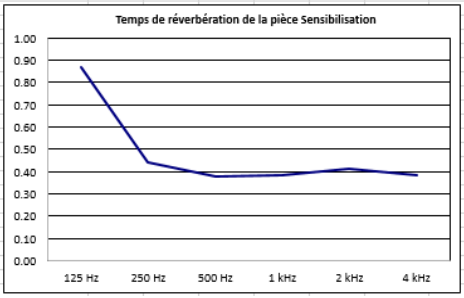
Après : On rajoute 4 m² de dalles acoustiques au mur. **L'objectif de tr est atteint.**

			Alpha Sabine						A.A.E					
Paroi	Matériaux	Surface	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Plafond	Dalle acoustique en laine de bois - Organic minéral 50	40.0	0.31	0.82	1.00	1.00	0.93	1.00	12.40	32.80	40.00	40.00	37.20	40.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sol	Béton	40.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.0	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Murs	Béton	59.2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96	2.96
	Vitre	13.9	0.25	0.18	0.15	0.10	0.05	0.05	3.47	2.50	2.08	1.39	0.69	0.69
	Dalle acoustique en laine de bois - Organic minéral 50	4.0	0.31	0.82	1.00	1.00	0.93	1.00	1.24	3.28	4.00	4.00	3.72	4.00
		0.0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Résultats :

TR par bande d'octave					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.87	0.44	0.38	0.38	0.41	0.39

TR Réglementation	TR 125-4k	Objectif réglementaire:
0.39	0.48	0.40



Après avoir calculé les tr dans toutes les pièces, on pourra donner au maître d'œuvre le nombre de dalles acoustiques à commander.

Eléments	Surfaces Totales (m²)
Dalle acoustique en laine de bois -Organic minéral 50	459
Dalle acoustique en laine de bois -Organic minéral 100	56

Remarque : Il ne faut pas confondre correction et isolation acoustique.

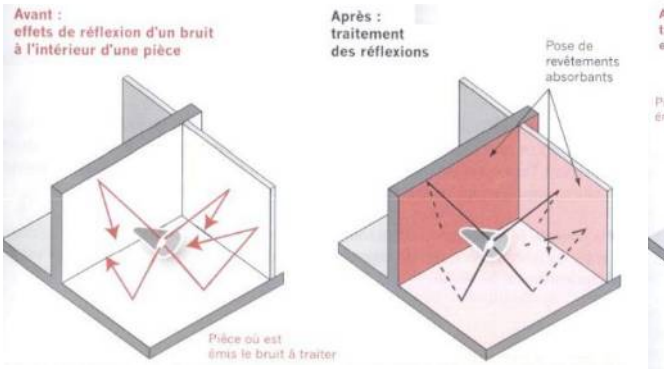


Figure 15 : Correction acoustique

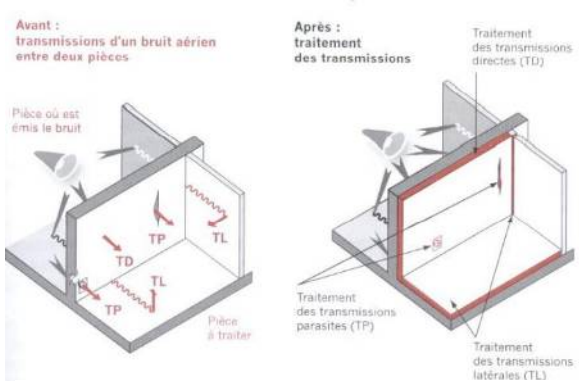


Figure 16 : Isolation acoustique

– **La correction acoustique** traite les bruits absorbés et réfléchis à l'intérieur d'une pièce. Elle permet de limiter la réverbération et le niveau de l'onde sonore à l'intérieur de la pièce (voir pages 27 - 31).
– **L'isolation acoustique** protège des bruits émanant de l'extérieur d'une pièce.

Isolation acoustique : Rappelons que le temps de réverbération n'est pas le seul objectif pour obtenir une acoustique jugée satisfaisante.

Par exemple : Pour les locaux d'habitation et bureaux, on recherche un confort sonore caractérisé par sa réverbération mais aussi par un bruit de fond suffisamment faible. Le contrôle du niveau de bruit de fond est souvent délicat et les solutions proposées coûteuses. Pour se protéger des bruits extérieurs au local, on utilise les techniques d'isolation habituelles en acoustique architecturale : loi de masse, parois composites, découplage mécanique, doublages. Les problèmes de bruit de ventilation, lorsqu'ils existent, nécessitent une intervention sur le réseau de distribution de l'air depuis le ventilateur, les conduits et les bouches de soufflage. Il est souhaitable que le niveau de bruit de fond ne dépasse pas:

- 45 dBA pour un bureau.
- 35 dBA le jour pour un local d'habitation.
- 30 dBA la nuit pour un local d'habitation.

Voici en suivant les différentes isolations acoustiques qu'on peut effectuer.

(4) Principes de l'isolation acoustique

<table>
<tr><th>Protéger des bruits</th><th colspan="2">Isolation acoustique</th><th>Solutions techniques</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Extérieurs</td><td rowspan="3">Toiture</td><td>Toiture en pente</td><td>L'impact thermo acoustique est plus efficace si celle-ci est effectuée par l'extérieur (principe du Sarking). Les isolants doivent posséder des caractéristiques mécaniques (stabilité) : panneaux en mousse de polystyrène extrudé, de laine de roche ou de polyuréthane, panneaux sandwiches…Des contre-chevrons sont fixés sur l'isolant de façon à laisser une lame d'air pour ventiler la toiture.

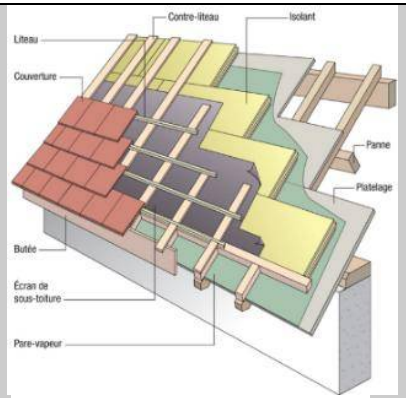
Un renforcement de l'isolation d'une toiture existante peut se faire par l'extérieur à l'occasion de sa réfection, sinon une isolation par l'intérieur peut apporter également un réel impact. Cette méthode consiste à l'isolation par pose de panneaux intérieurs : l'isolant thermo acoustique est posé entre les solives sous formes de panneaux.


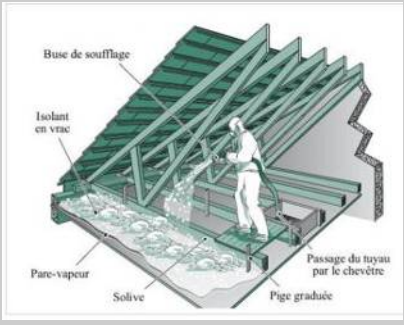
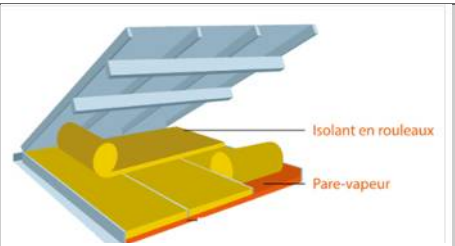
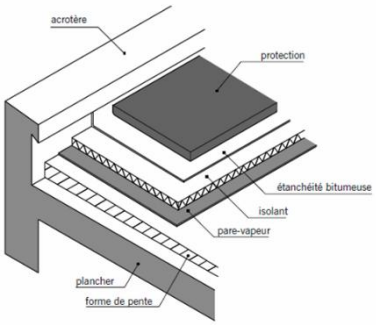
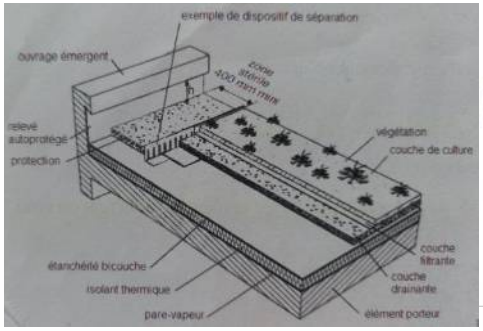
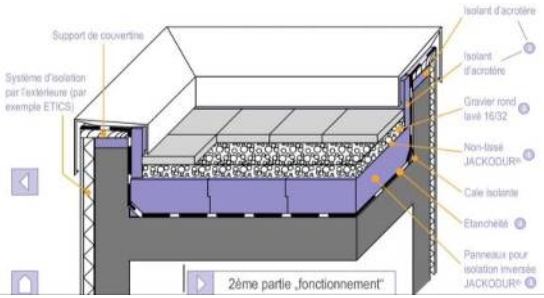
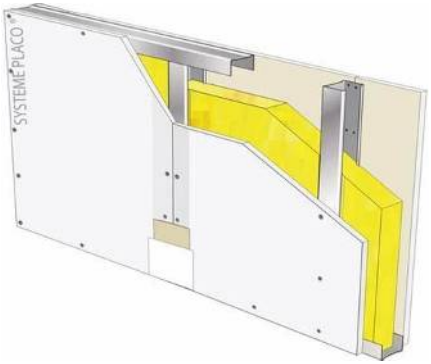
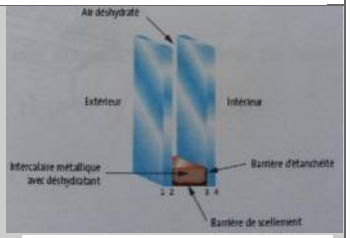
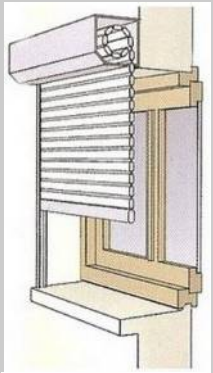
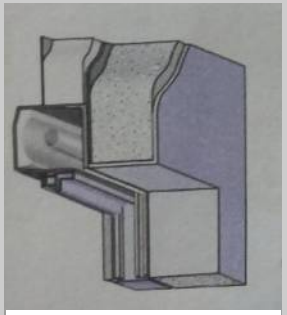
Figure 17: Isolation par Sarking</td></tr>
<tr><td>Combles aménageables</td><td>Il faut au préalable s'assure si les toitures en pente, abritant des combles aménageables, reposant pour la plupart sur une structure en bois ; peut supporter un poids supplémentaire. La pose de l'isolant thermo-acoustique doit impérativement préserver une ventilation naturelle de la charpente, en ménageant un vide d'air de 3 cm entre l'isolant et la couverture sur toute la sous-face de la toiture. Ce vide d'air doit être porté à 6 cm en cas de couverture étanche à l'air (tôle, zinc...). Il faut éviter toutes les ruptures d'isolation constituant des ponts thermiques et phoniques.</td></tr>
<tr><td>Combles perdus</td><td>L'isolation des combles perdus en vrac : L'isolation de la toiture avec un isolant en vrac est adaptée si les combles sont difficiles d'accès. L'isolant projeté avec une machine se niche dans tous les coins ce qui assure une bonne continuité de l'isolation, les ponts thermiques sont ainsi réduits. Cette technique est rapide à mettre en œuvre et donc peu coûteuse.


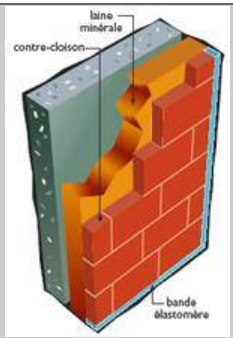
Figure 6 : Isolation des combles perdus en vrac</td></tr>
</table>

			<u>L'isolation des combles perdus en rouleaux :</u> L'isolation de la toiture en rouleaux se fait généralement en 2 couches. La première couche se pose entre les solives, ce qui crée un pont thermique à cet endroit. La deuxième couche vient donc recouvrir ces solives pour assurer la continuité de l'isolation. Cette pose est plus accessible au particulier (aucune machine spécifique) mais moins prisée des professionnels (coût de main d'œuvre important comparé à la solution précédente). Notons qu'il existe aussi des solutions monocouches mais qui pourront être moins efficaces (moins bon traitement des ponts thermiques).  *Figure 19: Isolation des combles perdus en rouleaux*	
		Toiture-terrasse	Il ne faut jamais isoler une toiture-terrasse par l'intérieur, car le blocage de la diffusion de la chaleur peut provoquer un choc thermique engendrant des ruptures d'étanchéité et des fissures. Les plaques d'isolant doivent être disposées sur la toiture-terrasse, recouvertes d'une ou plusieurs couches d'étanchéité, puis de gravillons ou de dalles. La toiture est dite « inversée » lorsque l'isolation est posé sur l'étanchéité qui, de ce fait, joue le rôle d'écran pare-vapeur. L'inertie apportée par une toiture végétalisée renforce l'isolation phonique et thermique  *Figure 20 : Toiture terrasse*  *Figure 21 : Toiture terrasse végétalisée*  *Figure 22 : Isolation inversée de toiture terrasses*	

<table>
<tr><td rowspan="3"></td><td rowspan="2">Façade</td><td>Isolation thermoacoustique par l'extérieur</td><td>Les murs extérieurs peuvent être des parois simples en béton, briques, parpaings... Plus ils sont lourds et étanches à l'air, plus ils isolent des bruits aériens. Lors d'un bâtiment doté de murs extérieurs peu épais, il faut renforcer l'isolation des façades par l'extérieur, pour réduire les ponts thermiques et les ponts phoniques. Cela consiste à envelopper le bâtiment d'un manteau isolant : une épaisseur d'isolant et un revêtement extérieur de protection/finition posés sur la structure par l'extérieur. L'isolant est collé ou fixé mécaniquement selon l'état du mur. Le revêtement peut être un enduit ou un habillage rapporté sur la façade. Les façades peuvent également être constituées, dès l'origine, de deux parois entre lesquelles est inséré un isolant thermo-acoustique. Le mur intérieur assure la fonction porteuse et le contre-mur extérieur apporte l'esthétique (bardages autoporteurs, panneaux sandwichs façades légères, briques pleines ou creuses) tout en protégeant l'isolant. Il existe aussi des maçonneries isolantes, comme le béton cellulaire, aux propriétés acoustiques.

Figure 23 : Panneaux de laine de verre semi-rigide, revêtus d'un voile de verre pour l'isolation thermo-acoustique des murs par l'extérieur sous bardage rapporté</td></tr>
<tr><td>Isolation thermoacoustique par l'intérieur</td><td>L'isolation acoustique des façades par l'intérieur consiste à poser un doublage acoustique constitué d'un matériau souple protégé par un parement. Pour augmenter les performances acoustiques au bruit routier, il faut désolidariser le doublage du mur ; ce principe est également conseillé dans le cas de murs mitoyens afin de limiter la transmission des vibrations sonores. Des panneaux simples d'isolant sont alors fixés mécaniquement sur des tasseaux. La cloison de doublage (carreaux de plâtre, briques plâtrières) est ensuite montée contre l'isolant ou des plaques de plâtre sont vissées sur l'ossature métallique. Les éléments de remplissage doivent être suffisamment résistifs au passage de l'air.
L'isolation par l'intérieur peut également être réalisée au moyen de complexes d'isolation thermoacoustique associant isolant souple et parement dense. Ces panneaux composites présentent l'avantage d'être déjà pourvus d'un parement qui évite de mettre en œuvre un doublage ou une contre-cloison. L'isolant souple peut être une laine minérale, du polystyrène expansé élastifié, de la laine de bois ou de chanvre, de la ouate de cellulose... Les parements denses peuvent être des plaques de plâtre, de gypsecellulose, de fibre de bois haute densité…

Figure 24: Doublage sur montants</td></tr>
<tr><td>Baies vitrées acoustiques</td><td>Double vitrage thermoacoustique</td><td>Le double vitrage applique, quant à lui, la loi masse ressort-masse. Les deux verres du vitrage isolant (deux masses) sont séparés par un espace d'air ou de gaz qui agit comme un ressort en amortissant les vibrations sonores. De plus, l'intensité de résonance aux hautes fréquences d'un double vitrage peut être fortement amoindrie si celui-ci est constitué de deux vitres d'épaisseur différente (de manière à casser les vibrations sonores). Une autre solution, pour renforcer l'acoustique d'un double vitrage, consiste en l'intégration d'une liaison souple (intercalaire en plastique) au cœur d'un des verres du vitrage (verre feuilleté) placé vers l'intérieur du bâtiment. Ce type de double vitrage permet de gagner 9 à 12 dB par rapport à un double vitrage standard.

Figure 25 : Le vitrage isolant</td></tr>
</table>

		Double fenêtre	Si l'environnement est particulièrement bruyant, la meilleure solution consiste en l'installation de doubles fenêtres, de distance minimale de 12 cm. Lors d'une rénovation, une deuxième fenêtre peut être posée à l'extérieur, ou à l'intérieur de celles existantes, si la structure du bâtiment le permet (autorisation auprès de la Mairie)
		Châssis et coffres de volet roulant	La qualité acoustique des baies vitrées est aussi déterminée par le type de châssis, l'assemblage, les volets et la mise en œuvre de l'ensemble. Des joints d'étanchéité peuvent être ajoutés à des fenêtres existantes : joints en résine durcissable ou joints à lèvre métallique. Les coffres de volets roulants s'avèrent souvent être des points faibles acoustiques, notamment lorsque le coffre du volet est placé au-dessus de la fenêtre, sous le linteau ou derrière celui-ci. Pour un isolement acoustique plus élevé, il est recommandé de placer le coffre entièrement à l'extérieur en avant de la menuiserie. Des fabricants proposent des ensembles blocs-baies intégrant la fenêtre et le coffre de volets.  *Figure 26 : En façade*  *Figure 27 : Bloc-baie* Pour améliorer la performance acoustique de coffres de volets roulants existants, il faut s'assurer de l'étanchéité à l'air du coffre et celle au passage des mécanismes de manœuvre. Les solutions sont : chicanes revêtues de matériaux absorbants ou isolation des parois du coffre au moyen d'un doublage thermoacoustique, tapissage de ses faces internes au moyen de matériaux absorbants…
		Portes étanches aux bruits	Les portes, et surtout les blocs-portes, peuvent également être à la fois isolantes thermiquement et phoniquement. Une porte massive, ou une porte composite intégrant de la laine minérale, équipée d'un joint périphérique et d'une barre de seuil, assure une bonne isolation acoustique. Des portes qualifiées d'acoustique sont commercialisées, elles sont notamment équipées de joints isophoniques. Dans les immeubles collectifs, il est également important que les portes palières soient capables d'isoler les appartements des bruits de pas, de conversations, d'ascenseur.
Intérieurs	Isolation acoustique des parois et cloisons	Complexes de doublage collés par des plots de mortier-colle, sur la paroi support.	Ces produits industriels finis, sont généralement constitués d'un panneau de laine minérale ou de polystyrène expansé élastifié collé sur une plaque de plâtre (épaisseur supérieure ou égale à 5 cm). Leur performance est également fonction de la qualité de la mise en œuvre : l'étanchéité entre les plaques et en périphérie doit être parfaite. Ce procédé d'isolation est réservé aux murs verticaux, plans et en bon état.  *Figure 28 : Complexes de doublage collés par des plots de mortier-colle*

		Doublage sur ossature	Pour davantage de performance et/ou en présence de murs supports irréguliers, il est conseillé de poser des contre-cloisons de doublage. Cette technique est notamment efficace pour empêcher les transmissions latérales. Une ossature, constituée de profilés métalliques ou en bois, est montée à quelques centimètres du mur, la lame d'air est remplie d'isolant thermoacoustique, puis les plaques de plâtre sont fixées sur l'ossature Pour un bon résultat, l'épaisseur minimale requise est de 10 cm, et l'étanchéité doit être soignée.  *Figure 29 : Doublage thermo-acoustique sur ossature métallique*
		Contre-cloisons maçonnées désolidarisées	Monter une contre-cloison en briques, carreaux de plâtre, blocs de béton cellulaire... désolidarisée du gros œuvre par une bande élastomère d'épaisseur 5 mm et de largeur égale à l'épaisseur de la cloison enduite. L'épaisseur totale du complexe de doublage (isolant + parement) peut varier de 5 à 12 cm.  *Figure 30 : Contre-cloisons maçonnées désolidarisées*

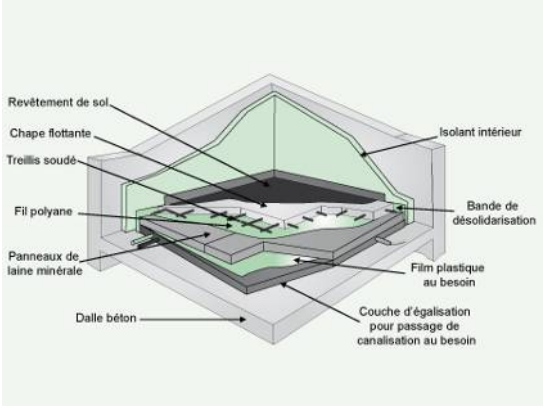
<table>
<tr><td rowspan="3"></td><td rowspan="3">Planchers et plafonds</td><td>Chappes flottante</td><td>Pour les planchers, il est conseillé de réaliser des chapes flottantes plutôt que des dalles en béton. La chape de béton est dite flottante, car elle est désolidarisée des murs par une bande d’isolant ou un matériau résilient, posé verticalement en bordure, ce qui évite les transmissions solidiennes. Le béton est également coulé sur une sous-couche isolante, thermoacoustique, ou sur la superposition d’un isolant thermique et d’un isolant acoustique, la sous-couche acoustique devant alors être placée sous l’isolant thermique (norme NF P 61-203 : Mise en œuvre des sous-couches isolantes sous chape ou dalle flottantes et sous carrelage). L’intégration de panneaux de laine de roche sous une chape flottante ou un surplancher en bois ou en panneaux de particules permet d’obtenir un bon isolement aux bruits d’impact et un affaiblissement des bruits aériens. Pour renforcer cette isolation, il est recommandé de choisir des panneaux de laine de roche conçus précisément pour cette application, de les poser bord à bord et à joints décalés, et de les recouvrir d’un feutre de protection (plutôt que d’un film polyane).


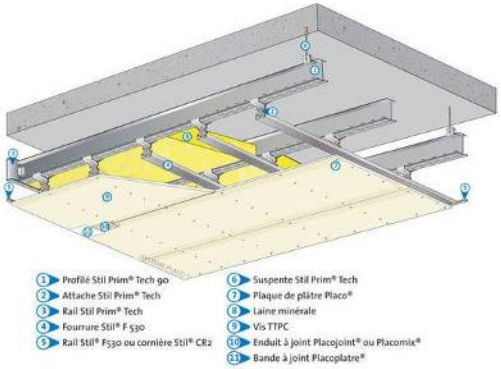
Figure 31 : Chape flottante</td></tr>
<tr><td>Revêtement de sol souple</td><td>L’utilisation de revêtements de sol souples (moquette épaisse, dalle souple PVC, linoléum, parquet sur lambourdes flottantes...) favorise l’amortissement des chocs et en conséquence l’atténuation des bruits d’impact. Celle-ci sera plus ou moins effective selon les produits employés (atténuation de 15 à 30 dB).
Pour les carrelages et les parquets, il est nécessaire d’interposer, entre le sol-support (dalle de béton, plancher bois, ancien carrelage...) et le sol définitif, une sous-couche résiliente acoustique mince.</td></tr>
<tr><td>Plafond suspendu ou double-plafond</td><td>Quand on ne peut pas intervenir dans les pièces émettant des nuisances sonores (appartement du dessus), la solution est de créer un sous-plafond ou un plafond suspendu. Cette opération diminue la hauteur sous plafond de 5 à 25 cm. Il est souvent nécessaire de poser également un doublage sur les parois verticales de manière à limiter les transmissions latérales. Pour créer un double-plafond, une structure autoportante est placée d’un mur à l’autre sans appui sur le plafond, un isolant acoustique est inséré puis un parement (plaques de plâtre) est vissé sur la structure autoportante. Pour un plafond suspendu, les plaques de plâtre sont vissées sur une ossature attachée au plafond par des suspentes antivibratiles, et un isolant acoustique comble l’espace entre les deux.


Figure 32 : Plafond suspendu avec profilé métallique</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2">Muraux</td><td>Il est souhaitable de désolidariser l’appareil de la paroi, pour éviter les transmissions par voie solidienne, au moyen de matériaux élastifiés (plot élastique, matériau résilient, collier antivibratile, goulotte...).</td></tr>
</table>

Equipement	Équipements au sol	Pour éviter le bruit pouvant être émis par un équipement au sol (chaudière, pompe à chaleur...), il faut tout d'abord avoir un modèle à faible pression acoustique. Un équipement posé sur le sol, susceptible de vibrer peut-être placer sur des plots ou un socle anti-vibratiles. La nuisance sonore d'une pompe à chaleur (ou d'un climatiseur) est définie par la notion d'émergence, c'est-à-dire la différence entre le niveau de pression acoustique mesuré lorsque l'appareil est à l'arrêt, comparé au niveau mesuré lorsque l'appareil est en fonctionnement au même endroit On peut poser un écran anti-bruit le plus près possible de la source sonore, tout en permettant la libre circulation de l'air.
	Système de ventilation	Une VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée), bien dimensionnée, correctement installée et entretenue, ne doit pas être bruyante, ni émettre de sifflements. Si des nuisances sonores en provenance du caisson de ventilation, pouvant être provoquées par les vibrations mécaniques de l'extracteur, sont néanmoins émises, il faut désolidariser la machine du sol en la plaçant sur des plots antivibratiles par exemple. Dans certains cas, il est nécessaire de placer la machine sur une dalle flottante reposant sur un isolant prévu pour cette application. Le ronronnement du ventilateur peut également être transmis par propagation aérienne à l'intérieur des gaines. Pour y remédier, on peut les isoler ou incorporer des pièges à sons entre le ventilateur et les bouches d'extraction...  *Figure 33 : Plots antivibratiles*

Conclusion

Pour conclure, cette immersion de huit semaines en entreprise a constitué pour moi une autre expérience du monde du travail et m'a apporté un véritable enrichissement personnel. Durant ce stage, j'ai eu l'occasion de découvrir un tout nouveau domaine : l'acoustique afin d'être polyvalente.

L'acoustique des salles est une discipline qui exige la mise en œuvre de multiples connaissances, notamment les normes et méthodes à respecter. Après une première phase d'étude prévisionnelle portant sur le calcul des durées de réverbération et des niveaux sonores, la phase de mesures est introduite avant d'aborder la modélisation du local. Une autre étape comprend la réalisation du projet et son contrôle sous forme de mesures, de confrontation aux modèles et de validation. Une dernière phase concerne l'opportunité de publier les résultats.

Mon stage en entreprise s'est déroulé dans de bonnes conditions même si le télétravail m'a déstabilisé. Les employés avaient des tâches toutes différentes et étaient occupés. Ils ne me trouvaient pas toujours des activités car certains travaux étaient inadaptés à mon inexpérience. J'étais chargée d'effectuer certains calculs, de la modélisation et des mesures.
Durant ce stage, je me suis rendu compte que la réalisation d'ouvrages à qualité acoustique maîtrisée était une préoccupation essentielle. Les acteurs de la construction doivent faire de plus en plus appel à des acousticiens du bâtiment.

Ce fut un réel plaisir d'avoir contribué et avancé des sujets acoustiques en cours. Je n'hésiterai pas à revenir vers cette entreprise lors de mes futurs stages à l'ISA BTP. Avoir profité de cette expérience ne peut être qu'un avantage pour un(e) future ingénieur(e) qui doit maîtriser les étapes de la conception nécessaires à tout projet de construction.

Glossaire

Ce glossaire a été réalisé à l'aide du Dictionnaire professionnel du BTP sur le site : https://www.editions-eyrolles.com/ ainsi qu'un lexique acoustique sur http://www.agiracoustique.fr/lexique-acoustique.html

Calibreur : Le calibreur de sonomètre est utilisé pour calibrer et/ou vérifier les sonomètres. Au moins avant et après chaque série de mesurages, un calibreur de précision + ou – 0,5 dB doit être appliqué au microphone pour calibrer la chaîne de mesurage complète.



Champ sonore : Le champ sonore est la zone dans laquelle un bruit se propage. On définit le type du champ sonore selon la nature de l'environnement et la façon dont les ondes y circulent.

dB : unité de grandeur sans dimension, en acoustique exprimant un niveau sonore.

dB(A) : unité tenant compte de la sensibilité de l'oreille, utilisée pour évaluer le confort sonore d'un lieu.

dB(A)/dd : par doublement de distance.

Décroissance du niveau sonore par doublement de la distance à la source : C'est une grandeur physique permettant de vérifier la conformité des locaux de travail aux dispositions de l'arrêté du 30 août 1990. Par ailleurs, la décroissance du niveau sonore par doublement de distance permet de quantifier la qualité acoustique de salles sportives et de bureaux (ex open spaces).

Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) : Dossier transmis au candidat par le pouvoir adjudicateur. Il comporte les pièces nécessaires à la consultation des candidats à un marché.

Indice d'affaiblissement acoustique : Exprimé en décibels (dB), l'indice d'affaiblissement acoustique est une mesure réglementée avec laquelle les laboratoires caractérisent l'affaiblissement acoustique procuré par un matériau ou un produit de construction. Ce coefficient indique la quantité de bruit pouvant être bloquée par le produit ou le matériau. Les performances d'isolation d'un matériau correspondent ainsi à l'indice d'affaiblissement acoustique de ce dernier.

Intelligibilité : Capacité d'un monologue ou d'une conversation d'être comprise par un auditeur situé à proximité. Pour assurer une bonne intelligibilité de la parole, il faut un processus de mesure objectif qui donne des résultats pertinents et reproductibles. La mesure de l'indice de transmission de la parole (STI) est un de ces processus.

Maître d'ouvrage : C'est celui qui confie les travaux à une ou plusieurs entreprises, il en est le commanditaire.

Maître d'œuvre : Le maître d'œuvre est une personne dont le rôle est d'assister le maître d'ouvrage (le propriétaire du projet) dans sa prise de décisions depuis la conception du bâtiment

jusqu'à sa réception. Lorsqu'il y a un architecte pour la phase de conception, la maîtrise d'œuvre consiste à gérer le chantier : planning et coordination des artisans, réception des lots...C'est une personne chargée de veiller à l'exécution des travaux, du respect des délais et des coûts.

Sonomètre : Un instrument de mesure développé pour répondre aux émissions sonores selon, sensiblement, les mêmes caractéristiques que l'oreille humaine. L'objectif étant de fournir des mesures objectives et reproductibles du niveau de pression acoustique.

Annexes

- Annexe 1 : Mémo sur l'utilisation de AcousPROPA

Rayonnement acoustique d'une salle vers l'extérieur

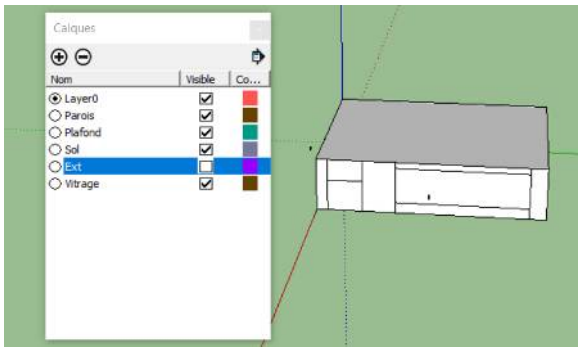
Le calcul va permettre de connaitre la contribution de chaque composant de l'enveloppe vers un ou plusieurs points de réception dans le voisinage.

Etape A : MODELE INTERIEUR

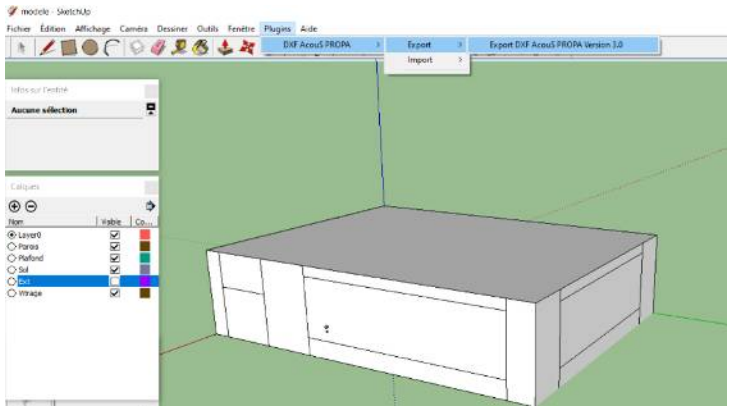
Il s'agit de modéliser la géométrie intérieure de la salle et d'identifier chaque élément qui va ensuite rayonner vers l'extérieur.

1) **Modélisation de la géométrie intérieure sur SketchUp**
   Seulement la géométrie à faire rayonner (pas l'environnement)

Modélisation et utilisation de calques

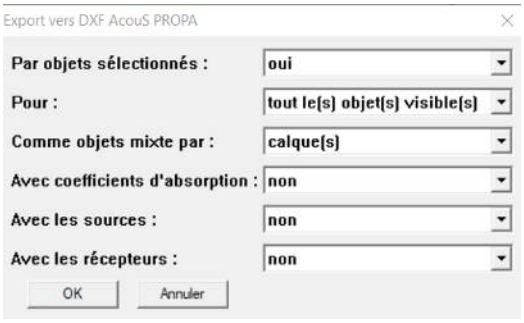


Exportation



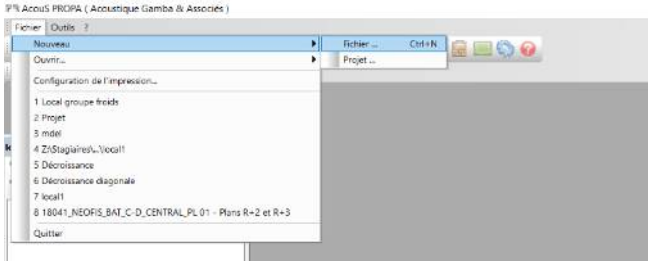
Il faut exporter par calques ou par éléments de même performance. A préciser, si ajout sur SketchUp des sources et récepteurs.

Puis, l'enregistrer.



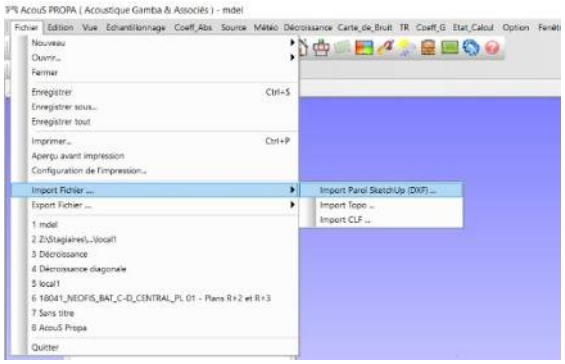
2) Importation dans AcouS PROPA :

Ouvrir un nouveau fichier



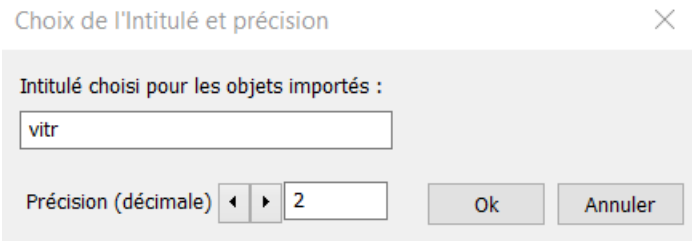
Importer le fichier d'échange

Menu : Fichier - Import fichier – Import Paroi SketchUp (DXF)



Importer avec une précision de 2 décimales

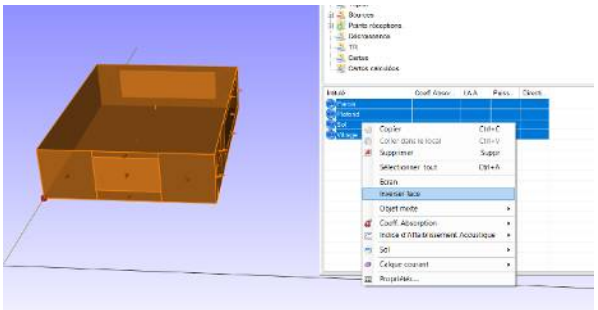
Importer élément par élément et choisir un intitulé identifiable



3) Vérifier à ce que les parois soient bien orientées (vers l'intérieur).

Si ce n'est pas le cas :

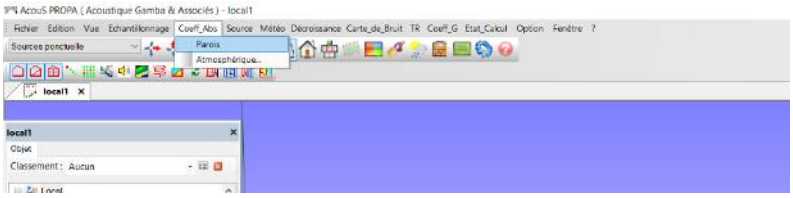
clique droit – inverser face



Si des parois sont à convertir en "écrans" (ex : acrotères) , clique droit – écran

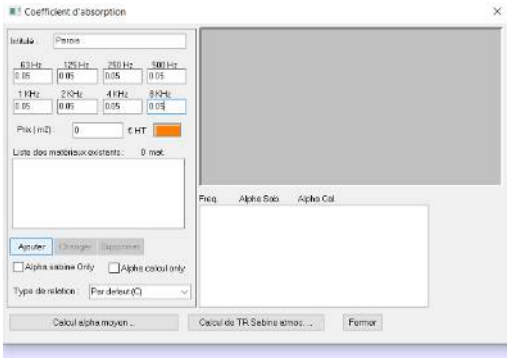
4) Rentrer les coefficients d'absorptions

Menu : Coefficients d'absorptions – parois



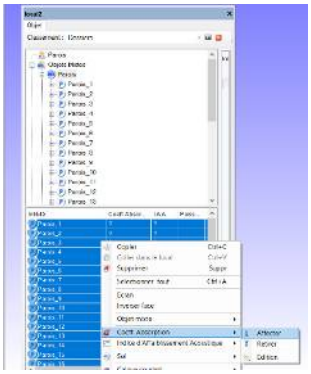
Rentrer les valeurs - ajouter

Mettre en réverbérant à 0.05 partout pour avoir un niveau homogène pour qu'on puisse considérer que chaque paroi sera attaquée par le même niveau. On veut une carte montrant l'homogénéité (2 dB d'écart : on considère que c'est bon)



5) Affecter ces coefficients d'absorptions aux parois

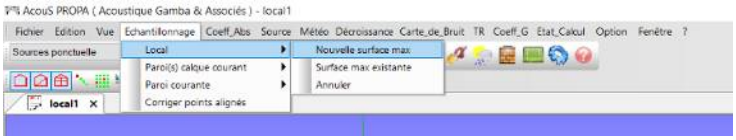
Sélectionner toutes les parois -clic droit – Coeff absorption -affecter)



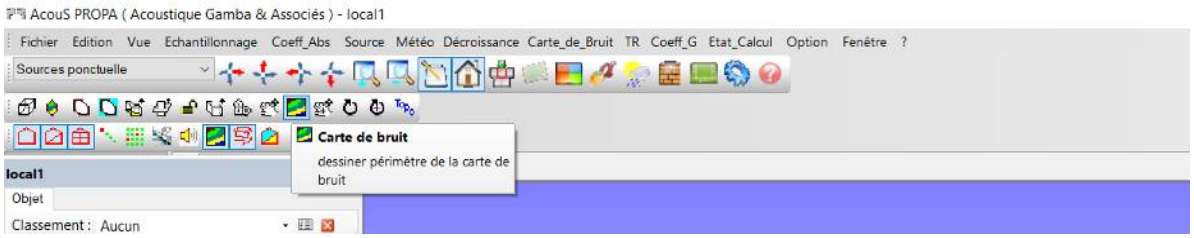
6) Définir l'échantillonnage

Le modèle ne peut pas contenir plus de 1000 échantillons (sinon calculs longs).

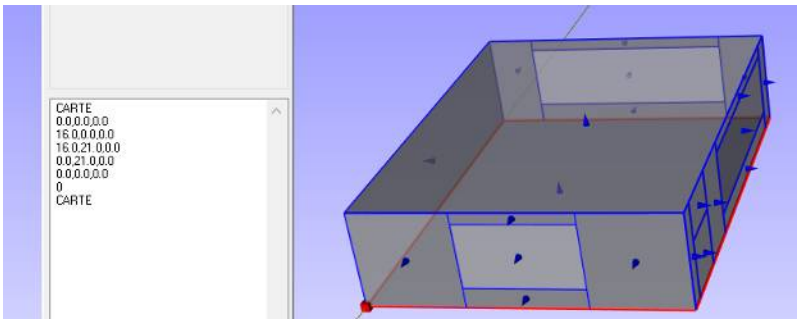
La touche E permet d'afficher les échantillonnages. Et la touche P pour réafficher les parois.



7) Dessiner carte et définir les périmètres de la carte de bruit

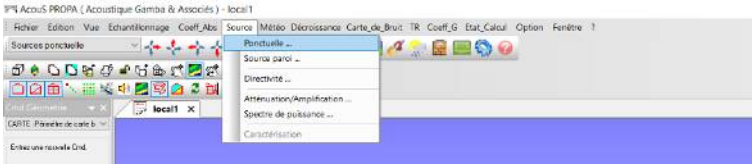


Pour définir les points de périmètre de la carte de bruit : Menu- Commande géométrie – Carte de bruit- Touche shift – clic sur les points du périmètre. Pour refermer le périmètre mettre CLOSE. Mettre un pas puis le nom de cette carte de bruit

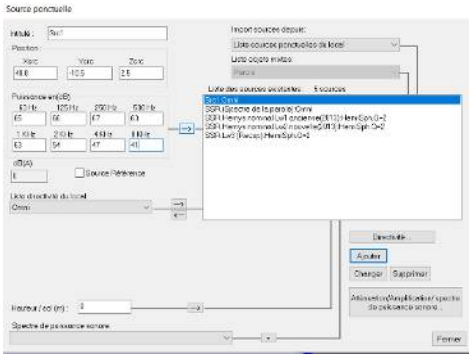


8) Définir les sources de bruit

- *Menu : Source – Ponctuelle*



Donner nom, coordonnées, ajouter puis affecter un niveau de puissance (cliquer sur la flèche)

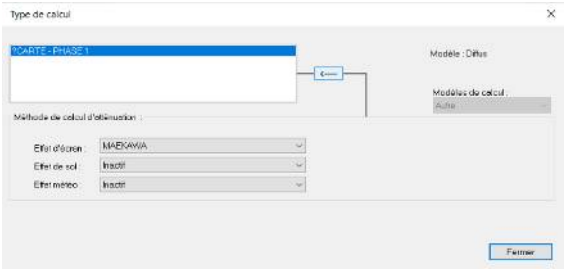


9) Créer la carte de bruit

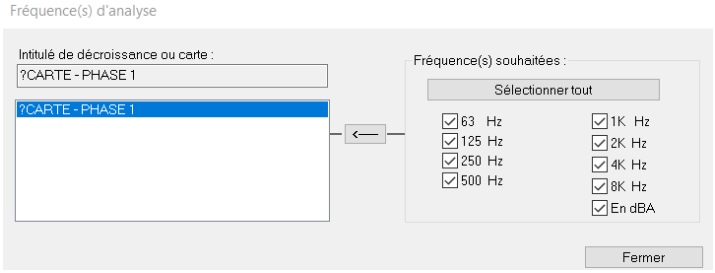
Menu : Carte de Bruit :

- *Définir quel est le type de calcul effectué*

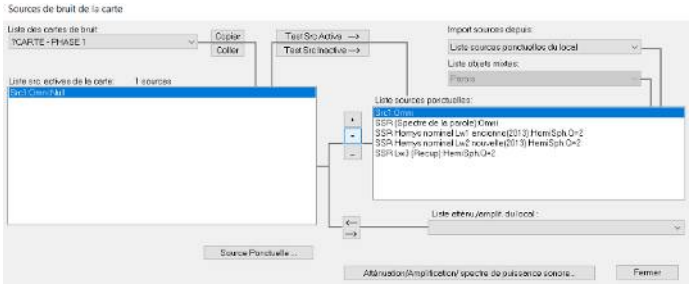
Mettre un effet d'écran (MAEKAWA)



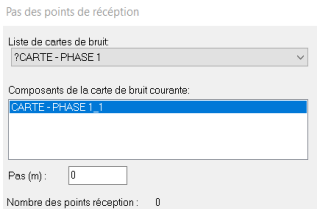
- *Sélectionner toutes les fréquences*



- *Affecter la source définie précédemment*

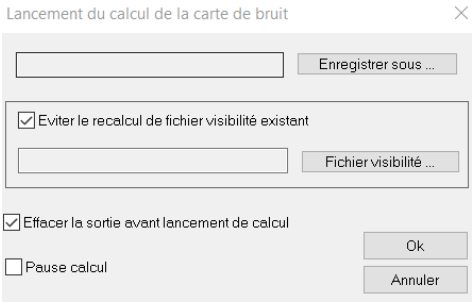


- *Mettre des pas des points de réception*

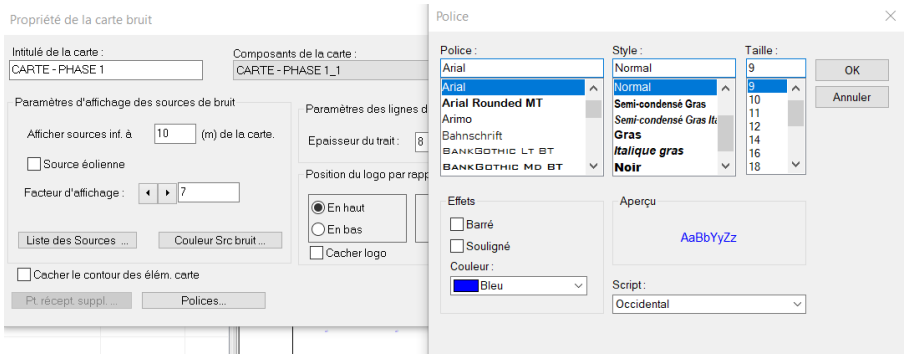


10) Calculer

Enregistrer le calcul ainsi que le fichier visibilité. Le résultat est ensuite affiché.



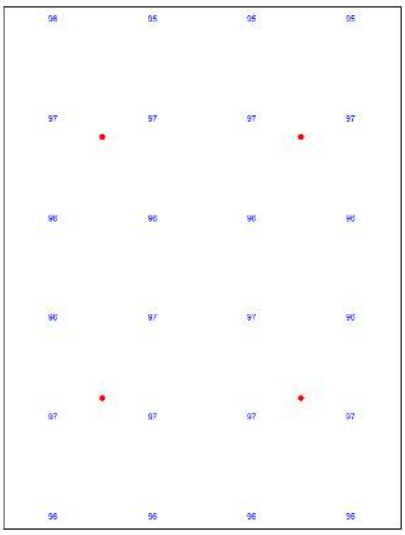
Dans le fichier résultat, vérifier que la carte est homogène et que les différents éléments composant l'enveloppe du bâtiment reçoivent le même niveau en global et par bande d'octave

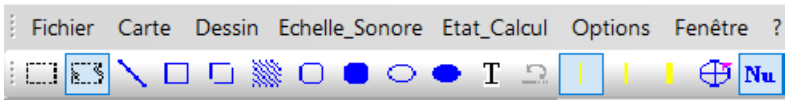


Double-cliquer sur la carte – polices -Modifier la police.



Afficher la carte de bruit avec les nu. Pour cela, cliquer sur nu





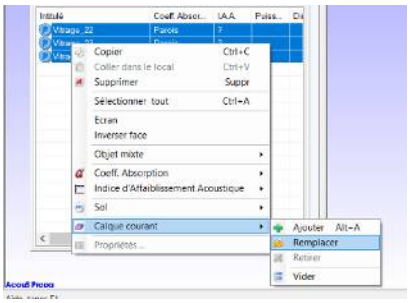
Ce niveau de référence à l'intérieur de la salle sera utilisé dans la feuille de calcul Excel de rayonnement de salle.

Nous avons donc maintenant chaque élément de l'enveloppe du bâtiment qui contient une énergie sonore par échantillon. Nous allons donc faire rayonner l'enveloppe dans l'environnement.

Etape B : Faire rayonner les éléments vers l'extérieur

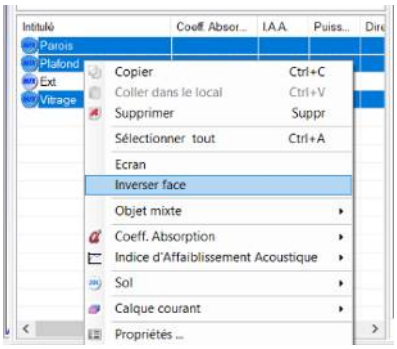
Création des sources par type d'élément de l'enveloppe :

11) **Mettre les éléments de même performance en calque courant**
Sélectionner seulement le vitrage par ex- clic droit – calque courant – remplacer



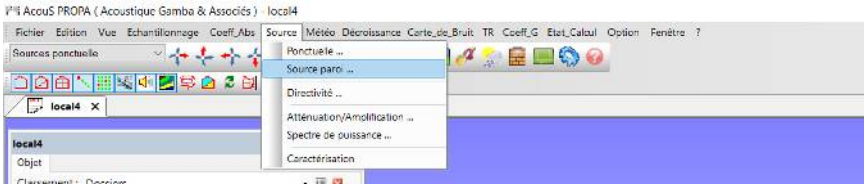
12) **Inverser les faces du modèle (flèche vers l'extérieur)**

Clic droit – inverser face



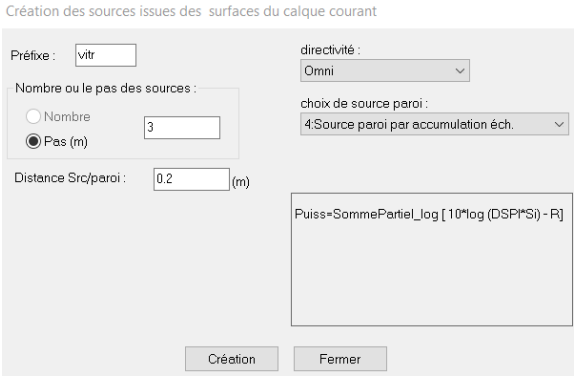
13) **Création de sources issues de surfaces du calque courant**

Menu – Source – Source paroi



Création d'une source paroi par accumulation éch. La source paroi par échantillon peut aussi être choisie mais peut générer beaucoup trop de sources

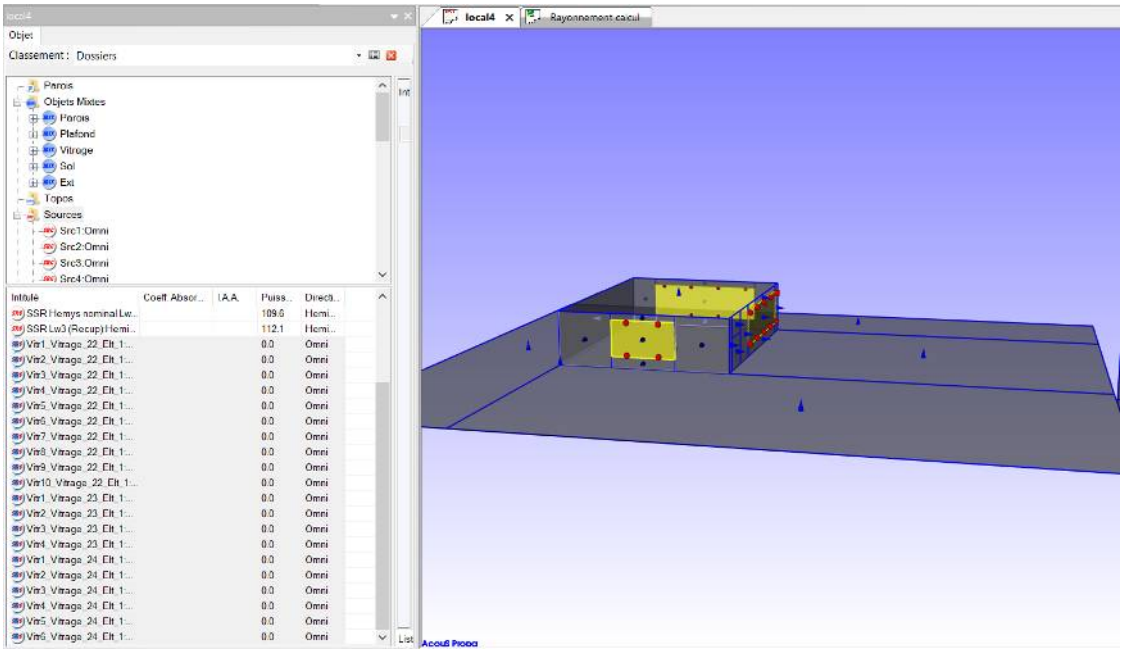
Mettre le nombre de pas



Nota : Dans notre calcul l'indice d'affaiblissement R de la paroi est nul et sera rentré plus tard dans le calcul dans la feuille Excel.

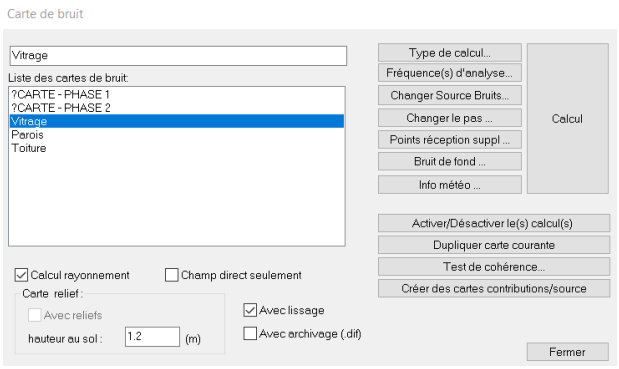
Répéter le processus pour chaque type d'élément.

Pour afficher les sources sur le modèle d'un seul élément, cliquer sur la 1ère source – maj – dernière source



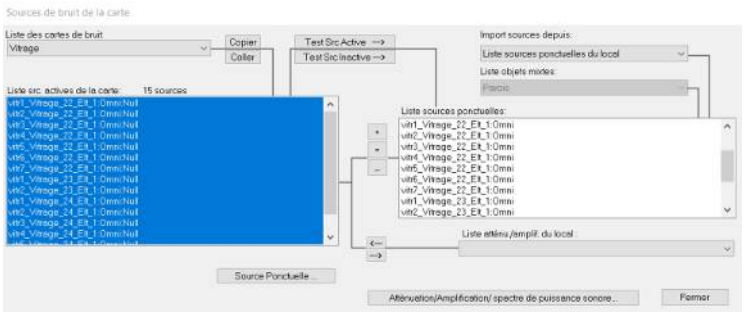
14) On veut maintenant calculer la contribution de chaque type d'élément en un point de réception particulière

Créer la nouvelle carte de bruit pour chaque type d'élément



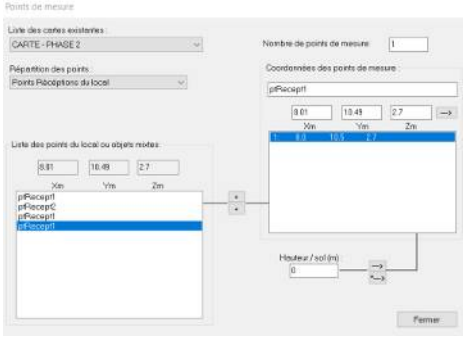
Dupliquer la carte puis renommer

- *Changer la source de bruit*
  Affecter les sources créées précédemment.



- *Choisir les coordonnées du ou des points de réception souhaités pour notre calcul dans le voisinage.*

Si les points de réceptions ont été ajoutés sur SketchUp : mettre le nombre de points de mesures puis dans la liste déroulante, cliquer sur Points Réception du local.
Affecter les points de mesure avec le signe égale.



15) **Affichage du résultat pour le vitrage**
16) **Refaire les mêmes étapes à partir de l'instruction 11 avec les autres éléments (toitures et parois)**

Dans le fichier résultat, on obtient le niveau sonore au point de réception par type d'élément. C'est ce niveau qu'on exportera vers la feuille excel.

Niveau de pression des points de réception supplémentaires[Vitrage]

	Position (m)			Lp(f(Hz))								
N° point/Intitulé	X	Y	Z	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
1 : ptRecept1	46	-3	5	71	71	71	71	70	69	66	63	76

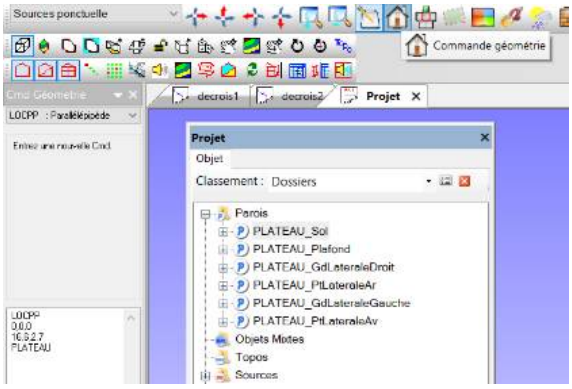
Dans l'exemple, nous avons une contribution du vitrage à 76 dB(A) au point de réception.

AcouS PROPA – Calcul de la décroissance

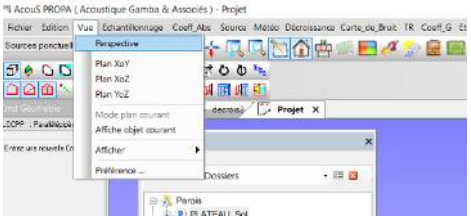
1) Modélisation de la géométrie sur SketchUp

Modélisation de l'environnement du bâtiment puis importation dans le logiciel (voir mémo précédent)

Peut aussi se faire directement sur AcouS PROPA à l'aide de la fonction LOCCP



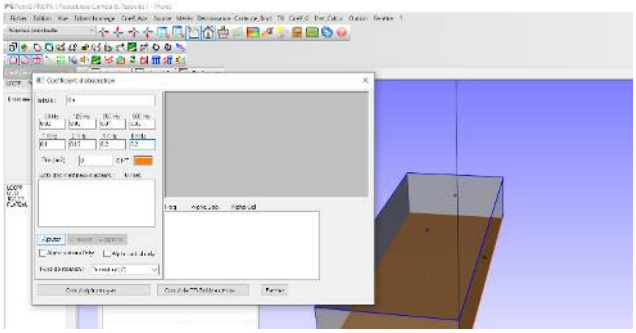
Pour pouvoir afficher la géométrie, cliquer sur vue puis perspective



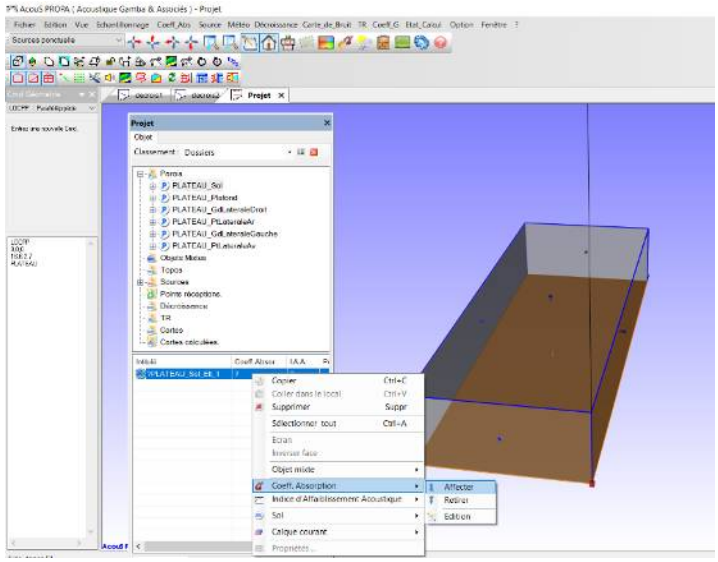
2) Rentrer les coefficients d'absorptions



Menu : Coefficients d'absorptions – parois

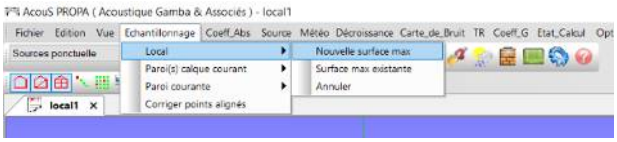


Retourner dans le modèle pour affecter ces coefficients d'absorptions aux parois



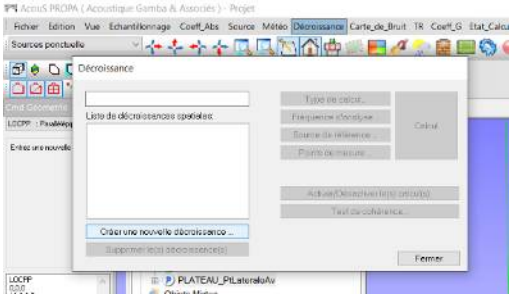
3) Définir l'échantillonnage

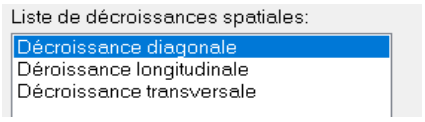
Le modèle ne peut pas contenir plus de 1000 échantillons. La touche E permet d'afficher les échantillonnages. Et la touche P pour réafficher les parois.



4) Créer des décroissances

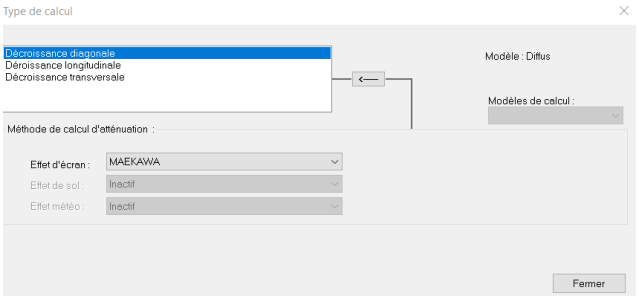
Menu – Décroissance- créer une nouvelle décroissance



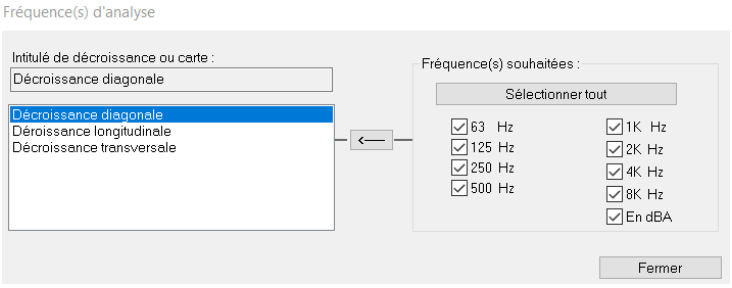


Pour chaque décroissance, il faut :

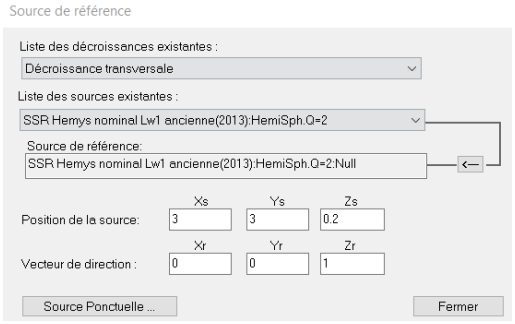
- *Définir quel est le type de calcul effectué*



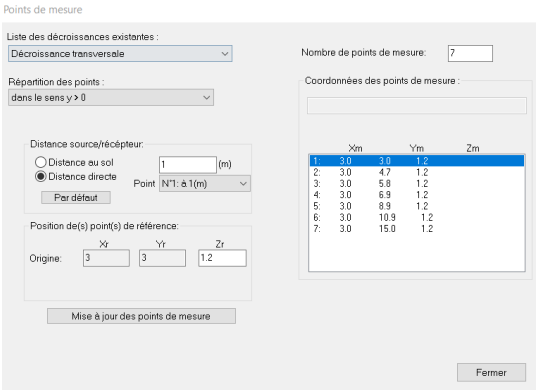
- *Sélectionner toutes les fréquences*



- *Définir la position de la source*

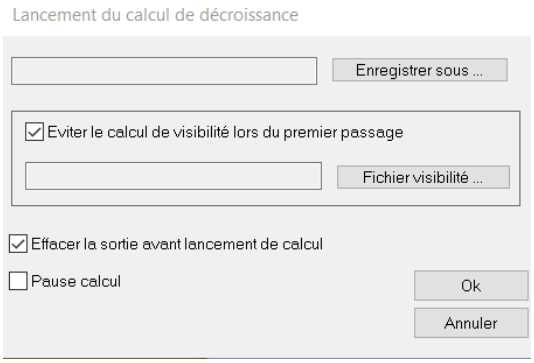


- *Renseigner les points de mesure : nombre, répartitions des points et distances*



5) Calcul

Enregistrer le calcul ainsi que le fichier visibilité. Le calcul est ensuite affiché.



Fiche d'appréciation de l'élève-ingénieur en stage en entreprise

ISA BTP
ÉCOLE D'INGÉNIEURS
Institut Supérieur Aquitain
du Bâtiment et des Travaux Publics
Allée du Parc Montaury
64600 ANGLET / Tel : 05 59 57 44 27

Nom et Prénom du stagiaire :

Année d'études en cours : ☐1 ☐2 ■3

Type de formation : **Ecole d'Ingénieurs** (5 années d'études)

Type de stage et objectifs : Stage dans un bureau d'étude - Découvrir les bases de l'ingénierie acoustique et vibratoire

Dates de stage : du 03/01/2022 au 25/02/2022

Nom de l'entreprise : Gamba Acoustique

Ville – Pays : Labège FRANCE

Appréciation du responsable de stage : M. SOUJE Emmanuel..... date, signature et cachet :

(indiquer sa fonction dans l'entreprise) Chef de projet le 15/02/2022.....

Objet du stage / Missions confiées au stagiaire :

Analyse de méthodologie de calculs acoustiques

Critères	*Très Bien*	*Bien*	*Moyen*	*Insuf-fisant*	*Sans avis*	*Commentaires*
Comportement général et par rapport au travail						
Présentation – Tenue – Assiduité - Ponctualité	X					
Curiosité – Ouverture d'esprit – Attention à l'environnement – Sens de l'observation	X					
Sérieux - Rigueur	X					
Faculté d'adaptation	X					
Intérêt – Motivation – Enthousiasme - Dynamisme	X					
Ténacité	X					
Polyvalence		X				
Autonomie - Esprit d'initiative (n'attend pas, a des idées, fait des propositions)		X				
Sens de l'organisation (préparation, planification des actions, gestion du temps et des objectifs, sens du rangement)		X				
Disponibilité - Participation	X					
Capacité de travail	X					
Relationnel						
Aptitude à communiquer oralement	X					
Aptitude à communiquer par écrit	X					
Sens de la hiérarchie	X					
Esprit d'équipe (Capacité à travailler en équipe)	X					
Capacité à percevoir les besoins des autres	X					
Adéquation du niveau de l'étudiant avec la mission confiée						
sur le plan des connaissances théoriques	X					
sur le plan des connaissances techniques	X					
au niveau de l'efficacité dans leurs mises en pratique	X					

Commentaires du responsable de stage (éventuellement les points forts et les points à améliorer) :

Noémie a fait preuve d'adaptation et a été moteur pour faire avancer les sujets acoustiques en cours.

Souhaiteriez-vous reprendre cet étudiant (/cette étudiante) en stage ? ☒oui ☐non

Si la nécessité se présentait, pourriez-vous embaucher cet étudiant à l'issue de sa formation d'ingénieur ? ☒oui ☐non