

# COMPTEZ SUR DES EXPERTS





# **Les solutions en matières d'ingénierie des moyens d'essais vibroacoustiques**

- Introduction
- Les critères acoustiques
- Le critère de bruit de fond
- Les critères de champs acoustiques
- Le découplage antivibratoire
- La démarche méthodologique
- Les autres contraintes influençant le projet



# Introduction

Un projet de création d'une salle d'essais vibra acoustiques est défini par :

- La définition des critères acoustiques à respecter
- La nature et les spécificités des spécimens à tester
- La nature des essais vibratoires et acoustiques réalisés dans la salle



# Les critères acoustiques

Lors de la réalisation d'une salle d'essai dans le domaine des bruits et des vibrations, trois principaux critères doivent être impérativement respectés :

- **⇒ Le critère de bruit de fond**
- **⇒ Le critère de champ acoustique**
- **⇒ Le découplage antivibratoire**



# Les critères de bruit de fond

Le critère de bruit de fond est dans beaucoup de cas le plus difficile à réaliser car il dépend essentiellement du bruit de l'environnement autour de la salle d'essai, des installations nécessaires au fonctionnement de l'objet à tester (ventilation, source d'énergie...)



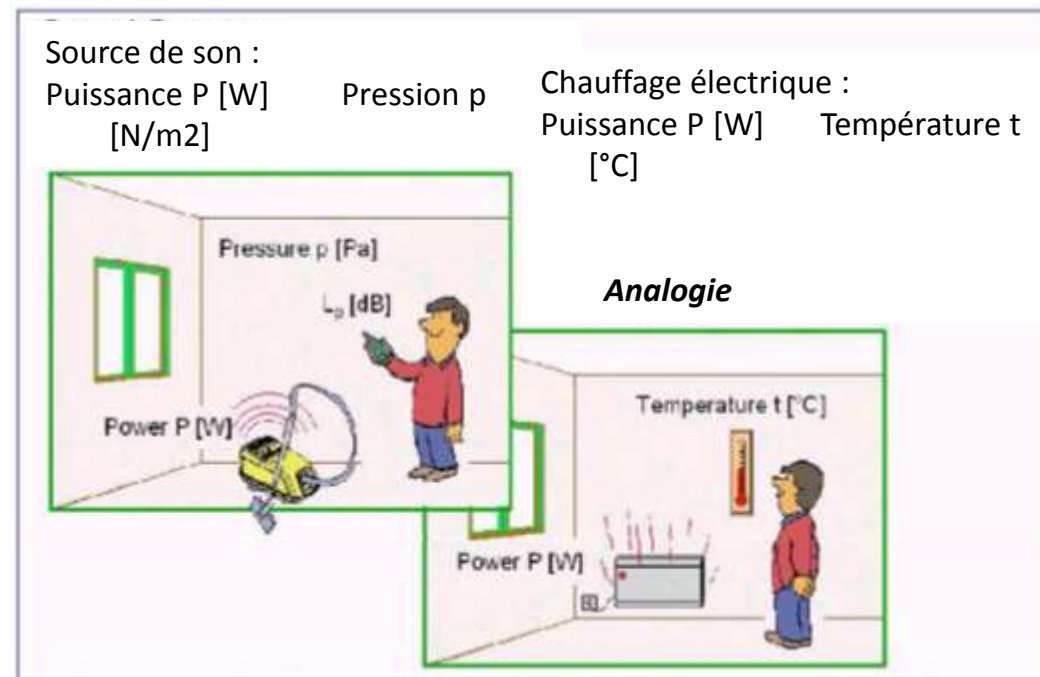
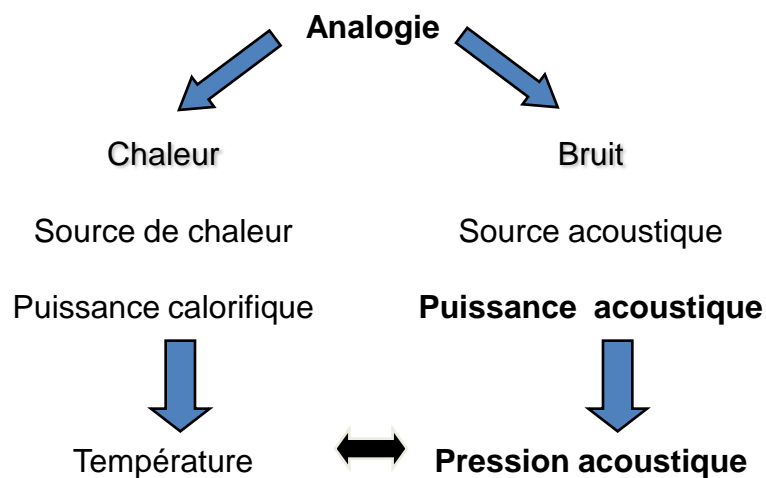
# Critère de champ acoustique

*Le domaine acoustique : les 3 paramètres physiques*

- La Puissance acoustique  $W$  :
  - Inhérente pour chaque source / équipement , indépendant de son environnement
  - Paramètre scalaire
  - Indépendante sur la distance entre la source et le récepteur
- La pression acoustique  $P$  :
  - Dépend de la source, la distance et de l'environnement
  - Mesurable avec microphone
  - Paramètre scalaire
- L'intensité acoustique  $I$  :
  - Permet de détermine la puissance acoustique  $W$
  - Localisation de la source acoustique
  - Paramètre vecteur : norme et direction

# Théorie des champs libres

## *Analogie*



(Publication Bruël & Kjaer)



# Théorie des champs libres

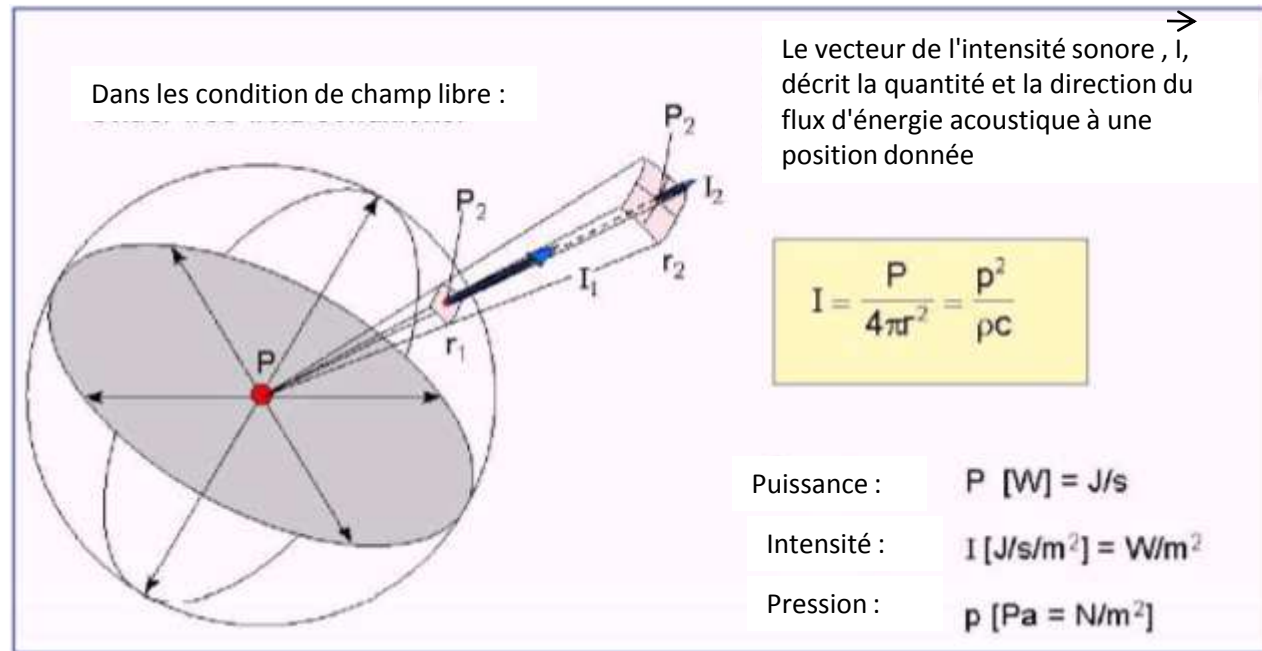
## *Pression et puissance acoustique*

### Intensité acoustique

La puissance acoustique est la quantité d'énergie qui est rayonnée pendant une seconde.

L'intensité acoustique décrit la quantité d'énergie rayonnée pendant une seconde en un point au travers d'une unité de surface (1 m<sup>2</sup>).

L'intensité acoustique est un vecteur.



(Publication Bruël & Kjaer)





# Théorie des champs libres

## *Pression et puissance acoustique*

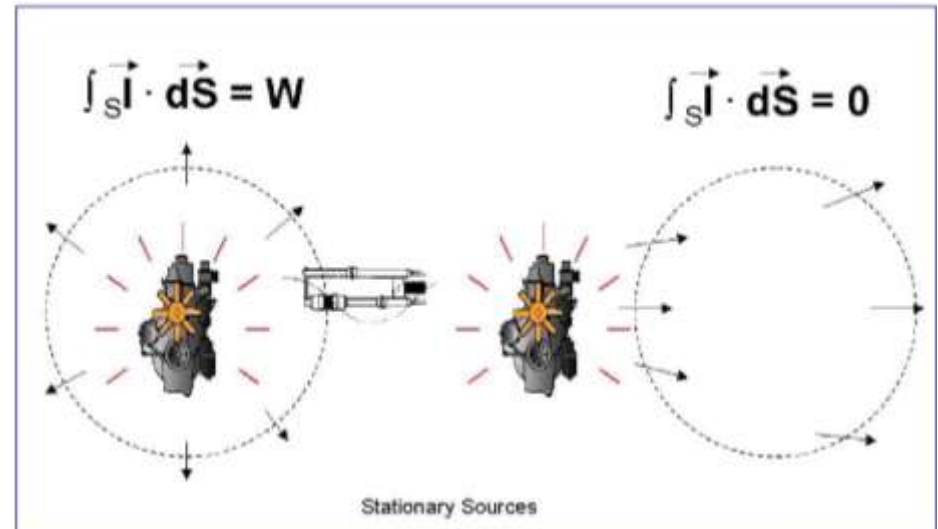
### Intensité acoustique

Dans le premier cas, si vous intégrez l'intensité passant par la surface entourant la source, vous obtenez la puissance acoustique de la source.

Dans le second cas, la source étant extérieure à la surface de mesure, si vous intégrez l'intensité, vous obtenez une puissance acoustique **nulle**.

Dans une ambiance quelconque où des sources sonores existent à l'intérieur et à l'extérieur de la surface de mesure, en intégrant l'intensité on obtient le **niveau de puissance acoustique des sources à l'intérieur de la surface de mesure**.

La surface de mesure doit être fermée !



(Publication Bruël & Kjaer)

# Théorie des champs libres

## *Pression et puissance acoustique*

Nous avons donc besoin de l'intensité acoustique  $I$  afin de déterminer la puissance  $W$ .

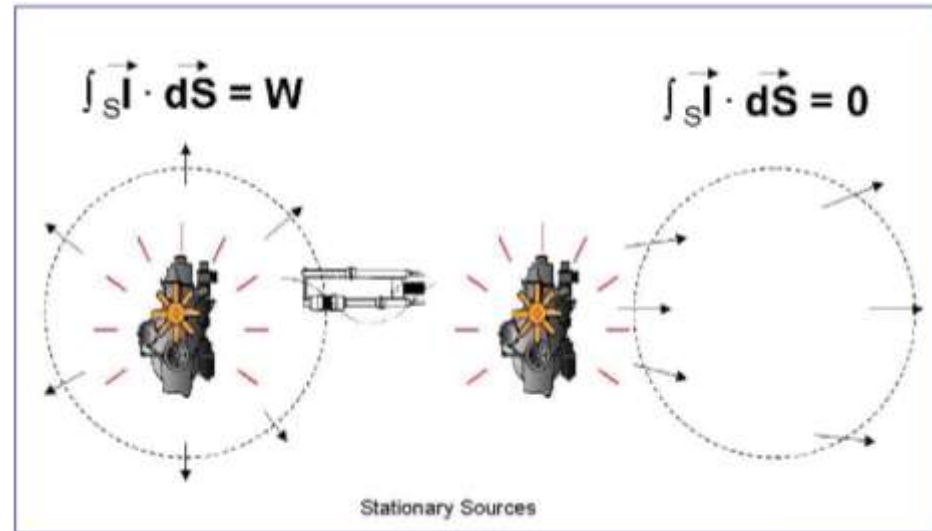
Mais mesurer l'intensité est difficile, long et a besoin de beaucoup de points de mesure.

Donc, pour déterminer  $W$ , nous utilisons l'approximation:

$$I_n \approx \langle p^2 \rangle / \rho_0 c$$

Conditions : Champ libre, onde plane et aucune perturbation de source extérieure.

La pression acoustique quadratique est un scalaire, nous ne pouvons pas faire la différence entre les entrées (source) et les sorties (extérieur)



# Théorie des champs libres

## *Normes et méthodes*

Chambres anéchoïque et  
chambre réverbérante

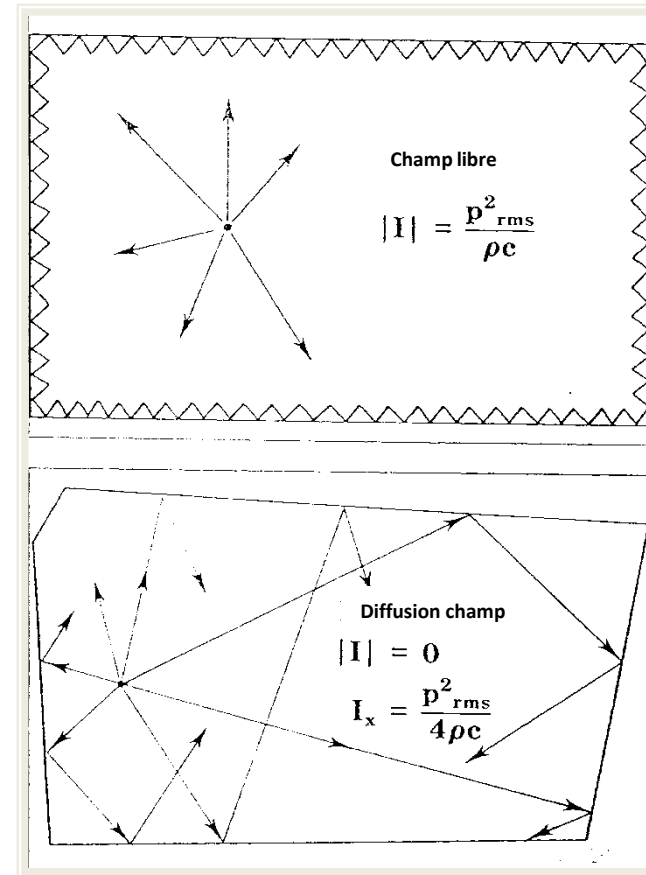
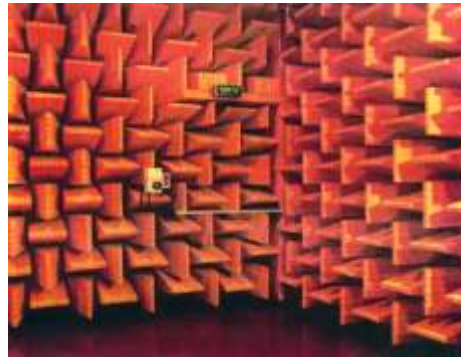
ISO 3744, 3745, 3746 :

$$W \approx \oint_s \frac{\langle p^2 \rangle}{\rho_0 c} dS$$

$$L_p = L_w + 10 \log \left[ \frac{Q}{4\pi d^2} + \frac{4}{R} \right]$$

ISO 3741, 3742, 3743 :

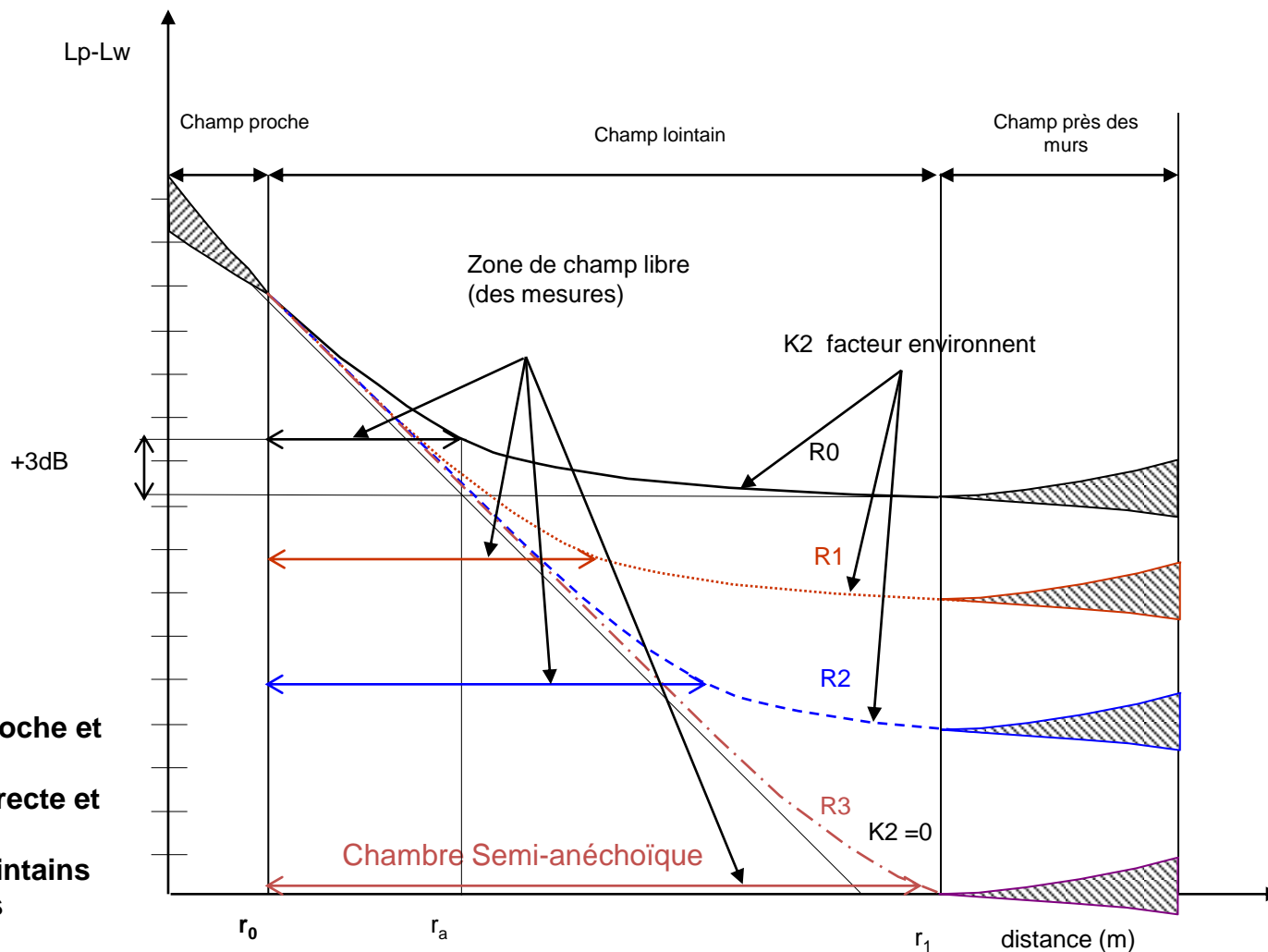
$$W = \frac{\langle p_R^2 \rangle R}{\rho_0 c} \frac{1}{4}$$



# Théorie des champs libres

Champs sonores directs et réverbérant

Pour ne pas être influencée par le champ réverbéré de la pièce, il est nécessaire d'effectuer des mesures dans le champ libre de la source



Avec  
 $r_0$  limite entre champ proche et les champs lointains  
 $r_a$  limite entre champ direct et champ réverbérant  
 $r_1$  limite entre champ lointains et champ près des murs



# Chambre anéchoïque

- Définition :  
Une chambre acoustique anéchoïque est une chambre conçue pour absorber complètement des réflexions sonores.  
**Champ libre**
- Applications pratiques :
  - Pour déterminer la puissance acoustique d'un équipement
  - R&D (automobile, l'industrie , les universités , l'aéronautique,...)
- Objectif :
  - Réduire et comprendre le bruit d'un équipement ou d'un procédé



# Chambre anéchoïque

## Deux types de chambre anéchoïque

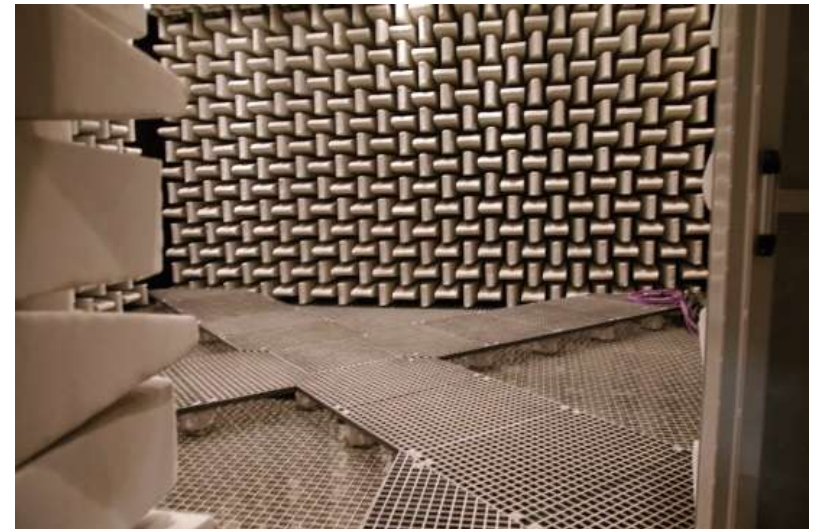
### Chambre Semi-anéchoïque

Le sol est réverbérant



### Chambre anéchoïque complète

Le sol est absorbant



# Chambre anéchoïque

## Fréquence de coupure

**Fréquence coupure basse [Hz]  $F_c$**  : la plus basse fréquence que nous devons mesurer est généralement  $60 \text{ Hz} < F_c < 250 \text{ Hz}$

Détermine la profondeur de l'absorbant  $L$

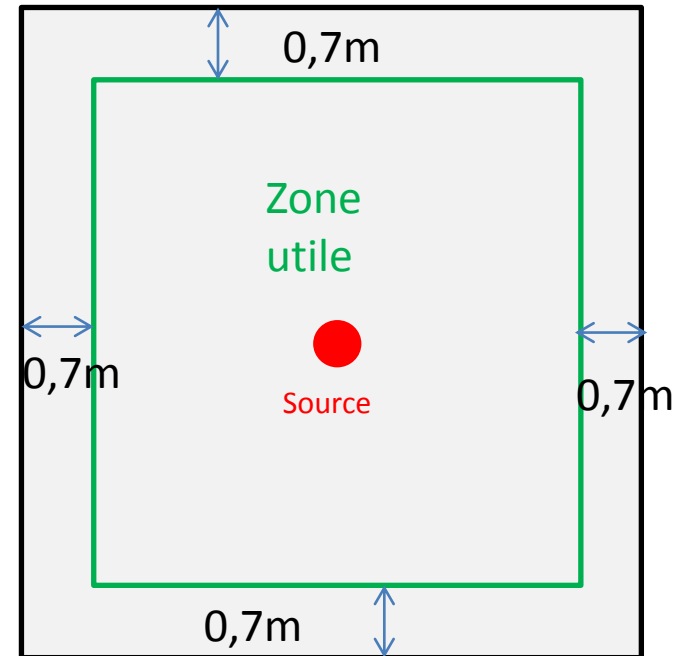
$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{c}{fc} * \frac{1}{4}$$

$c$  : le vitesse du son (345m/s @ 20°C)

$F_c$  : Fréquence de coupure

Application :

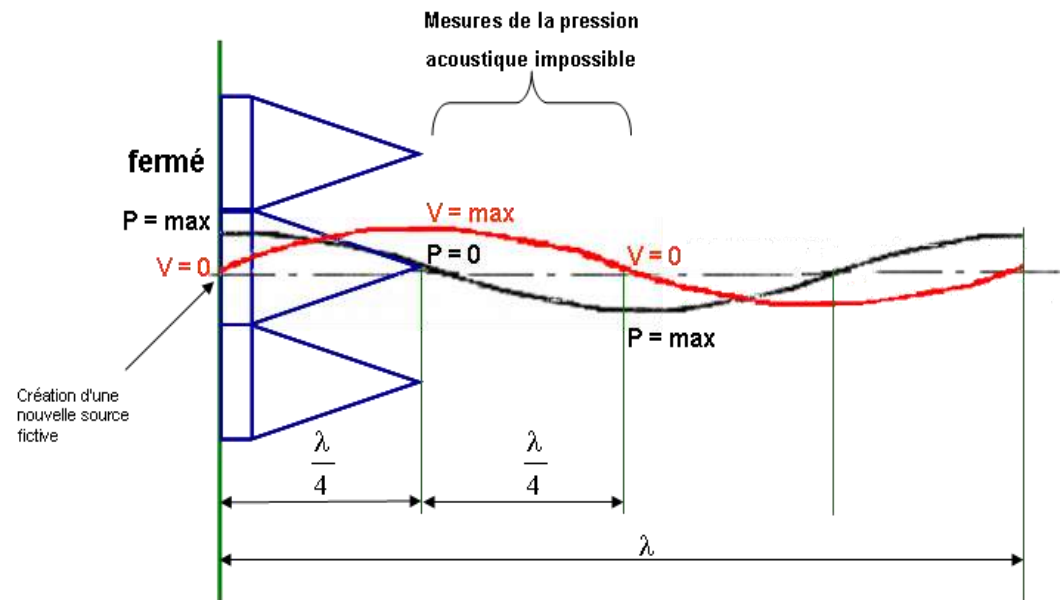
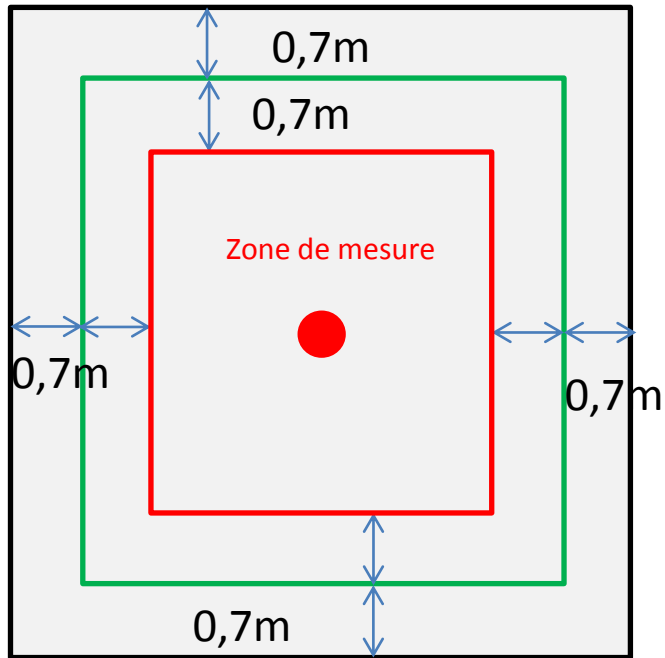
$F_c = 125 \text{ Hz} \rightarrow L = 0,7 \text{ m}$



# Chambre anéchoïque

## Fréquence de coupure

Si vous êtes trop près de l'absorbant, vous ne pouvez pas mesurer la pression acoustique. En effet, le champ proche de l'absorbant cause des mesures incorrectes.



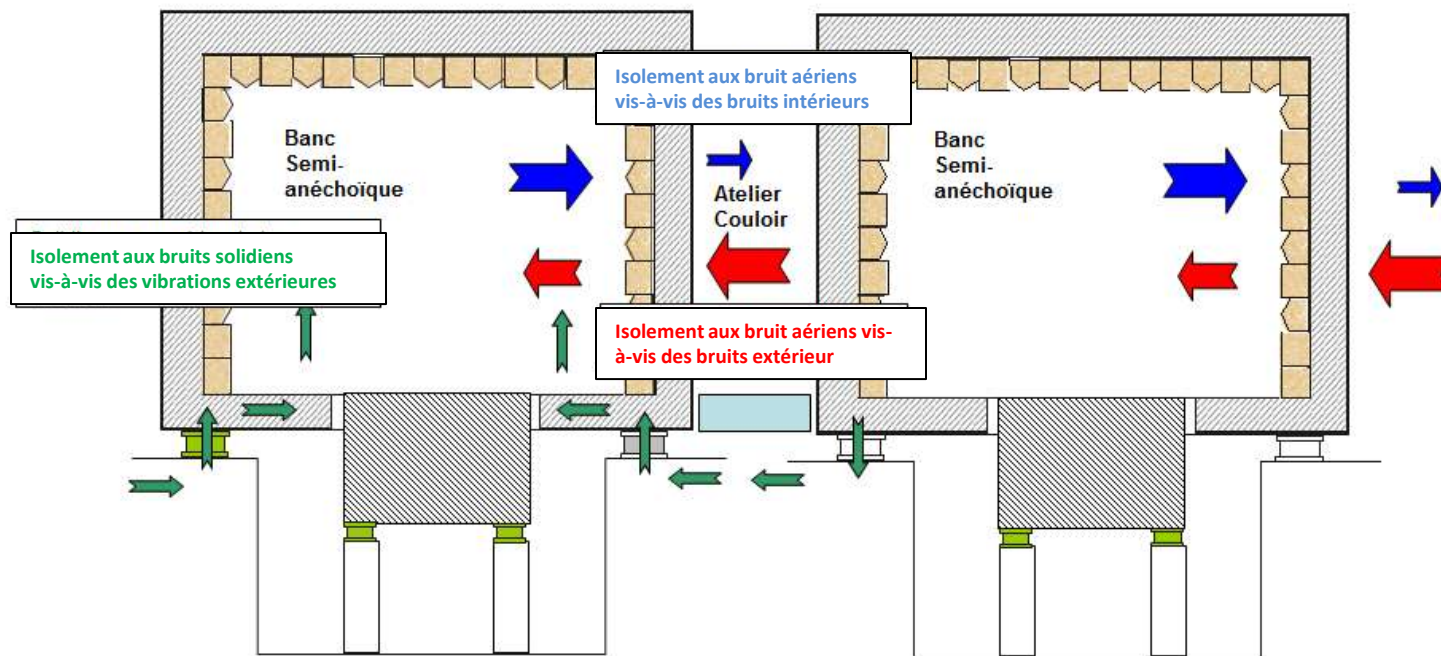


# Chambre anéchoïque

## *Bruit de fond*

**Bruit de fond [dB]** : le bruit de fond le plus faible , en général, est a -10/-15 dB du bruit le plus faible à mesurer.

DETERMINER L'ISOLATION ACOUSTIQUE ET LA CONSTRUCTION DE LA SALLE (épaisseur mur, matériaux, découplage vibratoire, ... )



2 type de programmation ( solidien et aéroporté)

# Les normes (ISO 3740)

**Table 5.1** ISO Sound pressure standard documents for noise emission measurements

Environment	Entirely anechoic laboratory room			ISO 3745
	Free-field above reflecting plane (semi-anechoic)	ISO 3746	ISO 3744	ISO 3745
	Large room or open air	ISO 3746	ISO 3744	
	Environment difficult to record	ISO 3746		
	Special reverberation room		ISO 3743	
	Laboratory reverberation room			ISO 3741 ISO 3742
		Control class(survey) accuracy class 3	Operation class (engineering)accuracy class 2	Precision class(precision/ laboratory)accuracy class 1

# Chambre anéchoïque

## NORME ISO 3740

Paramètre	<b>ISO 3745</b> <b>Classe 1</b> <b>(laboratoire)</b>	ISO 3744 Classe 2 (expertise)	ISO 3746 Classe 3 (contrôle)
Environnement d'essai	<b>Salle semi-anéchoïque</b>	En salle ou en plein air	En salle ou en plein air
Critère d'aptitude de l'environnement d'essai <sup>1)</sup>	<b><math>K_2 \leq 0,5 \text{ dB}</math></b>	$K_2 \leq 2 \text{ dB}$	$K_2 \leq 7 \text{ dB}$
Volume de la source de bruit	<b>De préférence inférieur à 0,5% du volume de la salle d'essai</b>	Sans restriction; limité seulement par le volume d'essai disponible	Sans restriction; limité seulement par le volume d'essai disponible
Type de bruit	Quelconque (à large bande, à bande étroite, à composantes tonales, stables, non stable, impulsionnel)		
Limites du bruit de fond <sup>1)</sup>	<b><math>\Delta L \geq 10 \text{ dB}</math> (si possible supérieur à 15dB) <b><math>K_1 \leq 0,4 \text{ dB}</math></b></b>	$\Delta L \geq 6 \text{ dB}$ (si possible supérieur à 15dB) $K_1 \leq 1,3 \text{ dB}$	$\Delta L \geq 3 \text{ dB}$ $K_1 \leq 3 \text{ dB}$
<sup>1)</sup> Les valeurs de $K_1^*$ et $K_2$ données doivent être satisfaites dans chaque bande de fréquence, à l'intérieur du domaine de fréquences utile pour la détermination du spectre de puissance acoustique.			

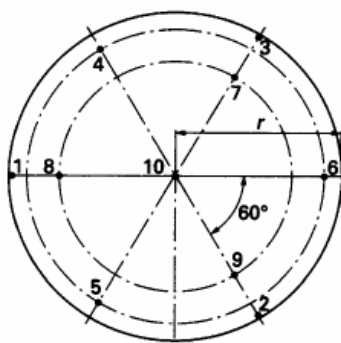
\*\*K1 : terme correctif de bruit de fond

# Chambre anéchoïque

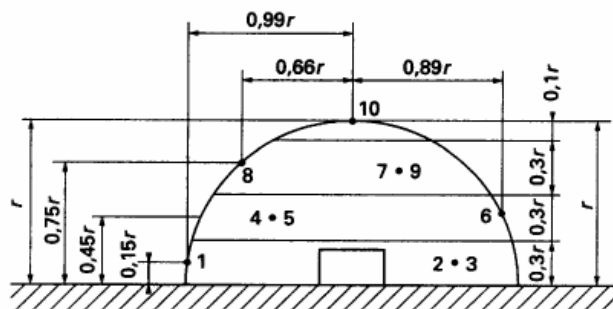
## NORME ISO 3745

Application : Chambre Semi-Anechoique

Hémisphère de mesure surface S



(a) plan horizontal



(b) coupe verticale

ISO3745 :  $K_2 < 0,5 \text{ dB}$

$$\overline{L}_p = \overline{L}'_{p(\text{ST})} - K_1 - K_2$$

$$K_1 = -10 \lg \left( 1 - 10^{-0,1 \Delta L_p} \right) \text{ dB}$$

$$K_2 = 10 \lg \left[ 1 + 4 \frac{S}{A} \right] \text{ dB}$$

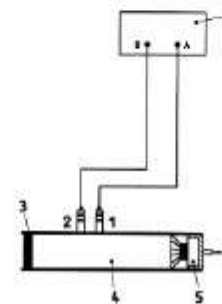
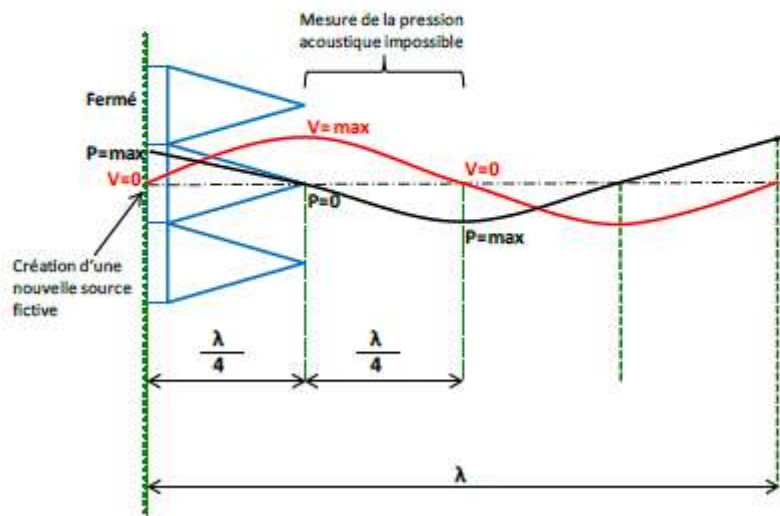
$$L_w = \overline{L}_p + 10 \lg \frac{S}{S_n}$$

# Technologies Absorbante

Objectif : obtenir 99% d'absorption à partir de  $F_c$

La longueur de dièdre, la densité du matériau absorbant et la présence d'une lame d'air à l'arrière des dièdres définissent l'absorption des dièdres. La fréquence de coupure est définie lorsque 99% de l'énergie incidente est absorbée.

Pour obtenir cet objectif, tous nos dièdres sont testés au tube de Kundt par la méthode des fonctions de transfert (iso 10534).

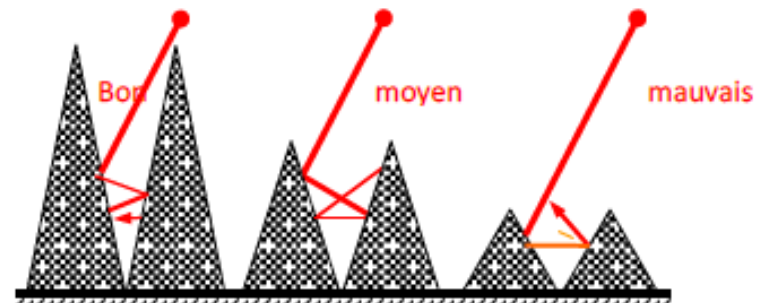


## LEGENDE :

- 1- Microphone A
- 2- Microphone B
- 3- Eprouvette
- 4- Tube d'impédance
- 5- Source sonore
- 6- Amplificateur
- 7- Générateur de signal
- 8- Système d'analyse de fréquence

# Technologies Absorbante

Les dièdres ont un angle au sommet bien spécifique.  
Ce dernier étant défini par les règles de l'optique géométrique (l'angle d'incidence est égale a l'angle réfléchi) pour une propagation du son dans la profondeur du dièdre.



Avantages et inconvénients des différents matériaux utilisés :

Type	Avantages	Inconvénients
Dièdre de laine de roche Chaussette (option)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tenue au feu M1 ou M0</li> <li>• Performance acoustique</li> <li>• Cout</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvaise tenue dans le temps</li> <li>• Défilage si impact</li> <li>• salissant</li> </ul>
Dièdre de laine de verre Chaussette (option)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tenue au feu M1 ou M0</li> <li>• Performance acoustique</li> <li>• Cout</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvaise tenue dans le temps</li> <li>• salissant</li> </ul>
Dièdre mélamine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Différentes couleurs</li> <li>• Facilité de pose</li> <li>• cout</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tenue au feu M1</li> <li>• fragile</li> </ul>
Dièdre avec absorbant protégé par parement perforé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bonne résistance à l'impact</li> <li>• Nettoyage possible</li> <li>• Durée de vie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût</li> <li>• zone d'essais</li> </ul>
Panneaux absorbants	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encombrement plus faible</li> <li>• Bonne résistance à l'impact</li> <li>• Nettoyage possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorption sélective en tiers d'octave ou plus fin</li> <li>• Risque technique sur les performances réelles d'absorption</li> </ul>



# Découplage antivibratile

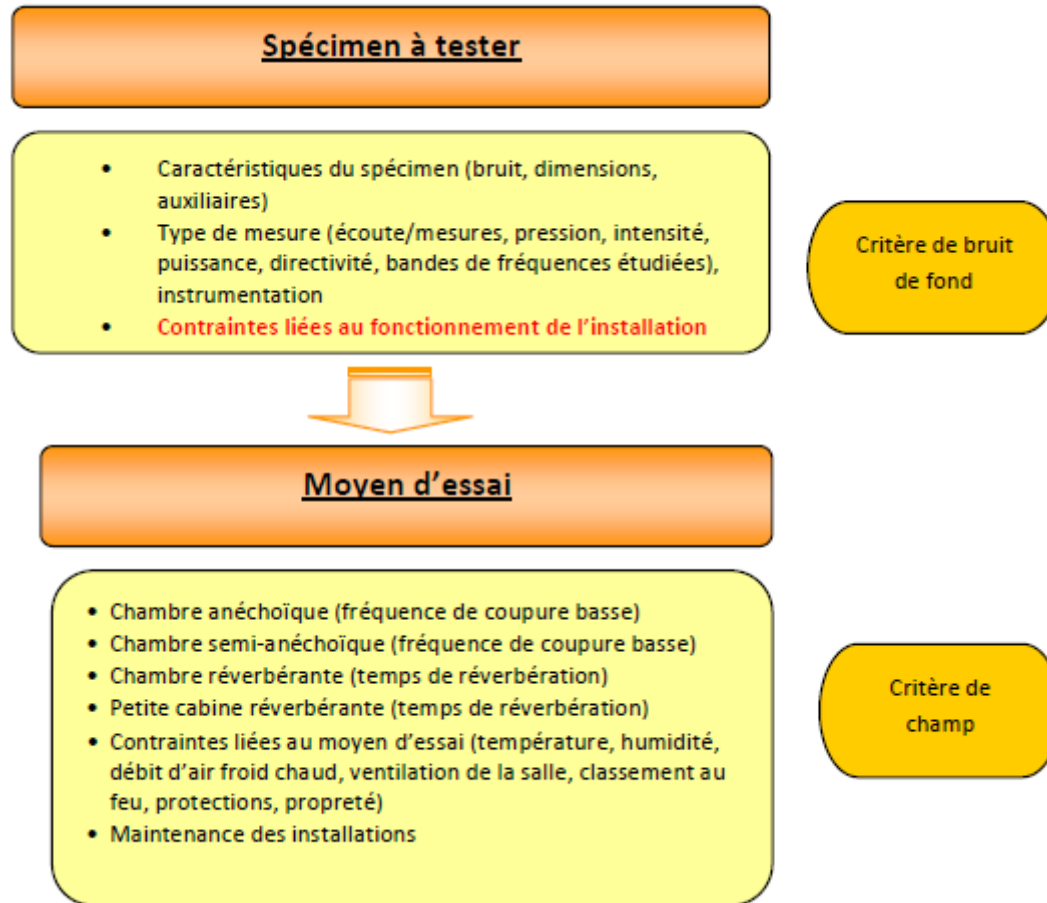
L'utilisation de plots antivibratoires permet d'obtenir des fréquences propres de corps solide relativement basses. Lorsqu'un sous-sol existe, les plots antivibratoires présentent l'avantage de pouvoir être remplacés au cours du temps.



L'utilisation de bandes silomer est usuelle dans le monde du bâtiment. Ces bandes ne permettent pas d'obtenir des fréquences propres inférieures à 6/7Hz. Elles ne présentent pas l'avantage d'être remplacées dans le temps. Une attention particulière devra être apportée au fluage lors de la création de deux massifs indépendants qui supportent la même ligne d'arbre. En effet, ce genre de matériaux flue dès les premières heures de mise en charge pour se stabiliser dans le temps.

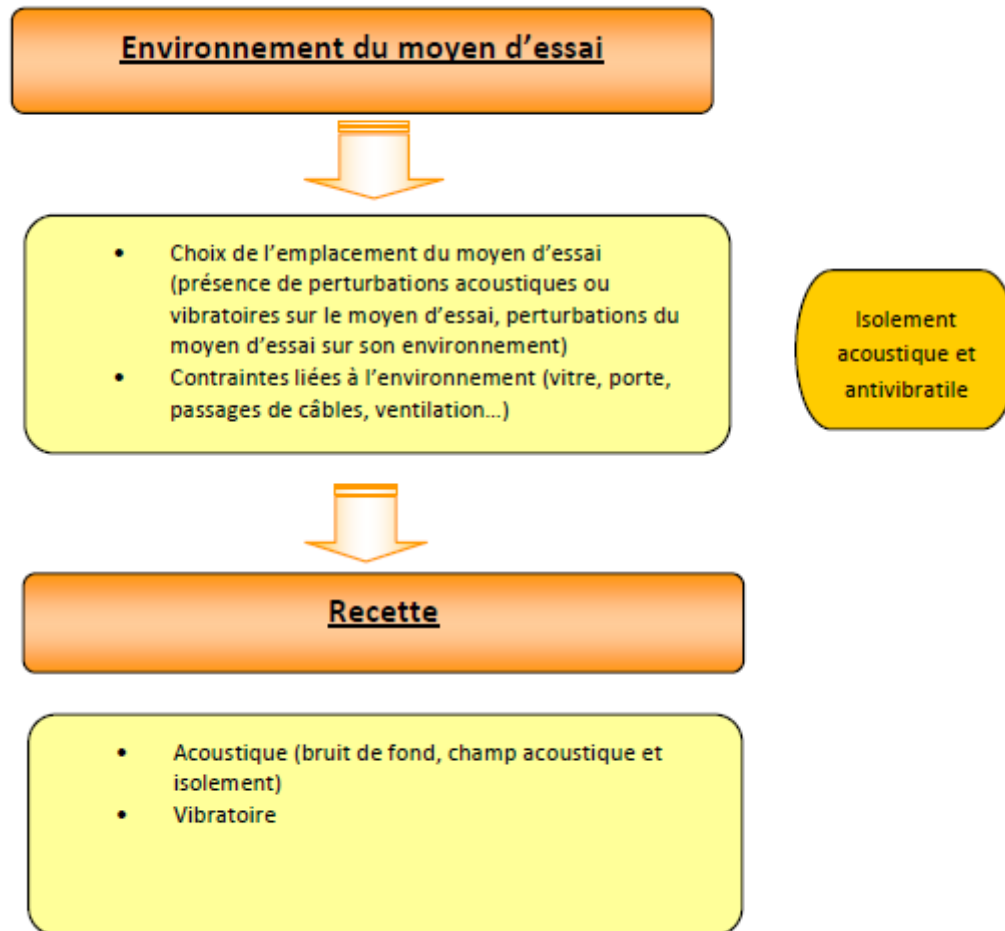


# Démarche méthodologique





# Démarche méthodologique

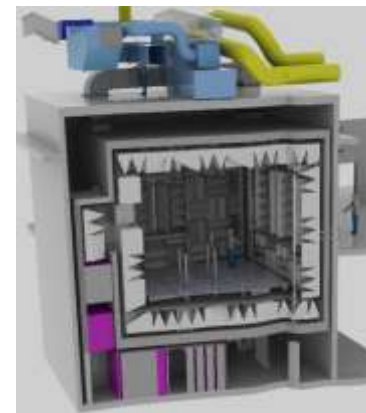


# Exemples d'autres contraintes influençant le projet

## Création d'un plancher mobile

Pour cette chambre totalement anéchoïque, les configurations d'essai et les volumes des spécimens à mesurer nécessitent d'avoir un plancher mobile qui ne fonctionne pas lors des campagnes de mesures.

Outre la difficulté de faire fonctionner cet ascenseur en toute sécurité, il a fallu cacher les vis de levage dans les gaines de ventilation afin de respecter les critères de champ libre.



## Bancs d'essais à rouleaux :

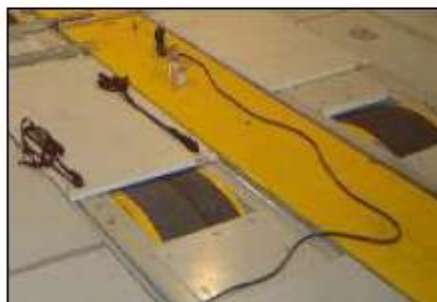
le mécanisme d'entraînement des roues des voitures génère du bruit et un flux d'air important au niveau de l'interface plancher rouleau ; de plus il faut conserver l'accessibilité sous le plancher entre les roues de la voiture afin de faire des opérations de maintenance et des mesures de bruit sous le plancher de la voiture, ceci nous a conduit à isoler les parties moteurs et rouleaux sous le plancher de la salle semi anéchoïque.

Les gaz d'échappements moteurs sont collectés par une gaine souple au bout de laquelle un silencieux d'échappement atténue les bruits avant de sortir à l'air libre.

Collecteur d'échappements



Traitement anti sifflement des rouleaux



Encoffrement des rouleaux



# Exemples d'autres contraintes influençant le projet

## Banc d'essais moteur :

Dans cette chambre semi anéchoïque les moteurs sont mesurés pour différentes vitesses de rotation et différents couples résistants. Le couple vu par chaque roue est assuré à l'aide de génératrices situées de part et d'autre des parois de la chambre.

La ligne d'arbre moteur plus longue que dans une voiture a été calculée afin de ne pas avoir de fréquences propres de flexion et de torsion. La traversée des parois génère une perte de l'isolement de la salle. Cet isolement a été assuré par un capotage glissant permettant de respecter le critère de bruit de fond.

Murs et portes Paroi simple isolement 25dBA

Murs en béton de 300mm Paroi simple  
isolement 50dBA

Traversée de cloison Isolement 40  
dBA

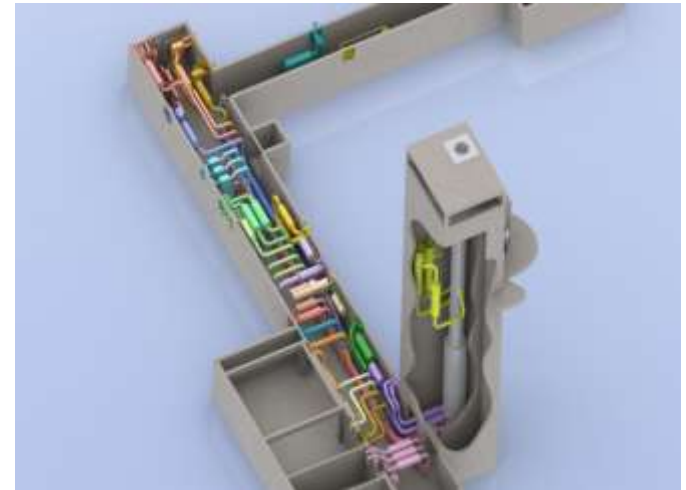
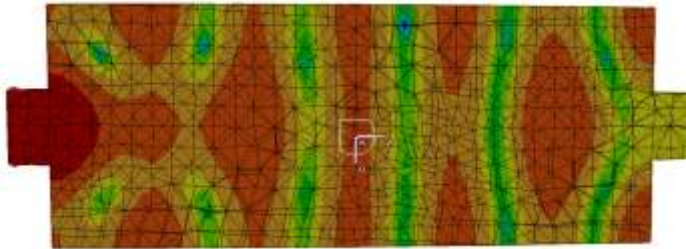
Porte isolement 50 dBA face à un bruit rose  
bas de porte absorbant sans seuil

Plancher en béton de 200mm Isolement 45dBA

# Exemples d'autres contraintes influençant le projet

## Gaines d'échappement des différents bancs

Ci-contre, une galerie reçoit l'ensemble des échappements des bancs voisins. Nous nous sommes confronté à un problème de place. À l'aide du logiciel Virtual Lab de LMS, nous avons optimisé l'atténuation de chaque silencieux pour obtenir un rapport d'encombrement/performance maximal.



# Exemples d'autres contraintes influençant le projet

## Ventilation

Tous les circuits de ventilation (exemple : air comburant, extraction de salle, soufflage salle) devront comprendre des silencieux en amont et en aval des ventilateurs. Ces silencieux sont calculés en fonction du niveau de puissance acoustique rayonné par les ventilateurs et du bruit en sortie des bouches d'entrée et de sortie. Ce bruit doit être inférieur de 10dB au niveau de bruit de fond recommandé.

Dans certains cas, notamment pour les salles anéchoïques, il est nécessaire d'avoir une très bonne répartition du flux d'air dans la salle, avec une vitesse d'écoulement très faible.

De ce fait, des blocs d'angle de ventilation sont mis en place.

Principe de fonctionnement :

- ▶ Les sections de passage sont dimensionnées sur mesure en fonction des débits.
- ▶ Les blocs d'angle peuvent être utilisés en admission ou en extraction.

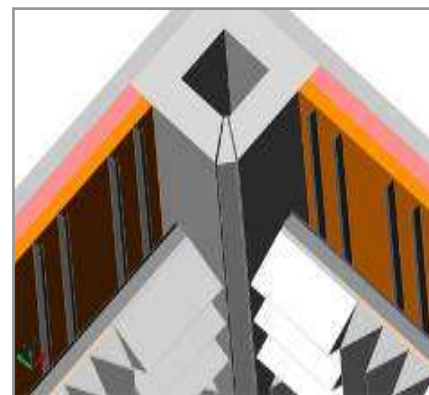
Les avantages de ces blocs sont : la modularité du système, un système piège à sons sur toute la hauteur de la chambre inhibant les bruits de circulation d'air, et enfin l'esthétisme.



Silencieux à baffles parallèles



Silencieux cylindriques







# Exemples d'autres contraintes influençant le projet

## Sécurité (oculus)

Ils permettent aux opérateurs de visualiser la salle, lors de la préparation des essais. Ils doivent respecter l'isolement acoustique. Pour ce faire, ils sont souvent constitués de doubles ou triple vitrages. Les réflexions du vitrage ne peuvent pas être empêchées ; alors on construit souvent un bouchon amovible en forme de dièdre pour retrouver l'anéchoïcité lors des mesures.



## Eclairage

Les éclairages ne doivent pas émettre de bruit. Il existe différents types d'éclairage : les ampoules basse tension, les lampes suspendues à incandescence et les spots halogènes (possibilité de fixation directe dans le flanc du dièdre avec parement perforé).

Les lampes de type spots à incandescence (comme ci-contre) sont certes, très esthétiques, mais leur rayonnement thermique est très important. L'ampoule chauffe le volume d'air dans l'onde du dièdre. Ces fortes températures limitent la durée de vie des ampoules. Idem pour les lampes à incandescence suspendues, mais ces dernières sont simples à installer.

Les ampoules ci-contre sont des ampoules basse tension qui ont un rayonnement thermique plus faible que les ampoules à incandescence, de plus, elles sont très esthétiques.





# Exemples d'autres contraintes influençant le projet

## Portes :

Exceptionnellement, lorsque les indices d'isolement le permettent, on peut vouloir laisser libre le passage ce qui nécessite un dormant trois cotés. On s'attachera à leur précision de fabrication afin d'assurer un bon jointoiment entre les ouvrants et les dormants. Certaines portes disposent d'un oculus, ce dernier devra avoir un pouvoir isolant identique à celui de la porte. Certaines portes devront disposer d'un dispositif anti-panique. Une attention particulière devra être apportée afin que l'écrasement des joints, nécessaire à l'étanchéité acoustique, ne vienne pas perturber l'ouverture de la barre anti-panique. Les charnières peuvent, dans certains cas, être hélicoïdales ce qui permet une élévation de la porte lors de son ouverture. Cela évite d'avoir de fortes contraintes de planéité sur le sol. D'autre système tel que le seuil rabattable ou escamotable peuvent être utilisés.

Pour les salles anéchoïques ou semi-anéchoïques, les portes doivent également comporter le même type de revêtement acoustique que celui sur les parois ou, pour le moins, s'en rapprocher le plus possible. Les dièdres sont alors fixés directement sur la porte ou mieux, sur un ensemble indépendant articulé appelé « basket door » (simple ou double articulation) pivotant à l'intérieur de la salle.

