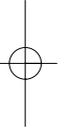


Memento

Acoustique

Guide des
réglementation
et solutions



PRÉFACE

Il faut, toujours, beaucoup d'audace pour prétendre présenter simplement l'acoustique du bâtiment et des équipements techniques. C'est pourtant ce que tente, à mon avis avec succès, le Mémento qui suit.

L'acoustique est, en effet, un domaine peu adapté à une introduction simple et rapide. Son langage est très spécifique, mais c'est le propre de beaucoup de techniques. Par contre ce qui lui est particulier c'est la multitude de critères, et l'emploi d'unités bizarres, le tout accompagné d'abréviations ésotériques.

L'usage des décibels est doublement compliqué. D'abord parce qu'il s'agit d'une unité "logarithmique", qui fait que l'on ne peut ajouter arithmétiquement deux bruits. Ensuite parce que les décibels servent à tout, et qu'ils peuvent mesurer aussi bien des pressions que des puissances, un peu comme si les pascals et les joules étaient la même chose. Enfin parce qu'il existe de multiples sortes de décibels, "décibels A" ou autres. Sans compter ceux qui sont définis par les bruits "roses", une bien jolie désignation, mais – le moins qu'on puisse dire – une désignation qui n'est guère intuitive. Rassurez-vous, ces pièges d'un langage étrange vous seront évités par le Mémento qui suit. De plus vous y verrez, fort justement, qu'en aéronautique l'acoustique n'est pas un sujet dont l'importance date simplement de la nouvelle réglementation.

Et même qu'il ne suffit généralement pas de suivre cette réglementation pour donner satisfaction à vos clients. Allez donc au-delà, et suivez soigneusement les conseils qui vont vous être donnés par le Mémento Acoustique.



Roger Cadiergues

INTRODUCTION



Ce mémento est un document complet et synthétique, il devrait être fort utile pour toute personne concernée par l'acoustique dans le domaine de l'aéraulique.

Il aborde clairement les bases fondamentales de l'acoustique et les applique à des cas pratiques très explicites. La partie consacrée à la réglementation et aux normes donne une image très accessible d'un domaine pourtant complexe.

La publication d'un tel guide correspond à un réel besoin dans la profession et nous avons été enchantés d'avoir eu l'occasion de participer à sa rédaction avec les équipes de France Air.

Anne-Marie Bernard

François Bessac

INTRODUCTION

Le Mémento Acoustique France Air n'a pas la prétention de couvrir toute l'acoustique du bâtiment mais de vous présenter l'essentiel appliqué au domaine de l'aéraulique.

Vous y trouverez non seulement la présentation de l'acoustique des équipements mais aussi des règles de conception et d'installation, des solutions par domaines d'application, et des rappels réglementaires. En bref, un mémento pour présenter simplement toute l'acoustique en aéraulique.

SOMMAIRE

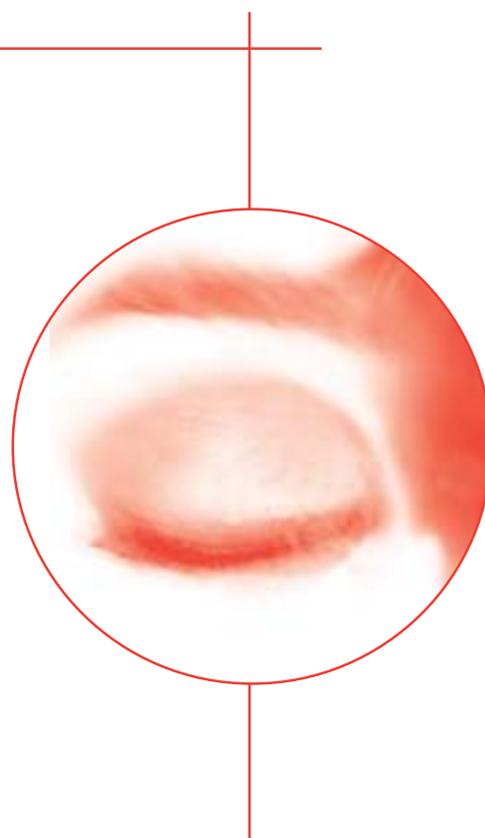
CH.1	L'ACOUSTIQUE EN UN CLIN D'ŒIL	p. 5
	Les ordres de grandeur	p. 6
CH.2	LES RÈGLES DE CONCEPTION	p. 9
	I - Le choix des systèmes	p. 10
CH.3	LES RÈGLES D'INSTALLATION	P. 15
CH.4	LES SOLUTIONS FRANCE AIR	P. 21
	I - La ventilation des parkings	p. 23
	II - Grands volumes (halls d'accueil, entrepôts, gymnases, salles polyvalentes...)	p. 24
	III - Auditorium	p. 30
	IV - Le logement	p. 32
	V - La ventilation des locaux techniques (groupes électrogènes, groupes frigorifiques, centrales...)	p. 34
CH.5	LES ÉQUIPEMENTS	P. 37
	I - Les silencieux	p. 38
	II - Les ventilateurs	p. 40
ANNEXES		P. 45
	1 - Rappels généraux	p. 47
	2 - L'acoustique en aéraulique	p. 59
	3 - Le point sur les réglementations	p. 77
	4 - Glossaire	p. 91
	5 - Abréviations	p. 93
	6 - Bibliographie	p. 95

© Copyright France Air - 2001 - Tous droits réservés

"Les informations faisant l'objet du présent document constituent des droits protégés et régis par les articles L. 111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. En conséquence, toute reproduction, représentation, partielle ou totale, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation préalable de France Air et des auteurs ou en violation des règles du Code de la propriété intellectuelle est interdite et constituerait un délit de contrefaçon pénalement sanctionné par les articles L. 335-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle".

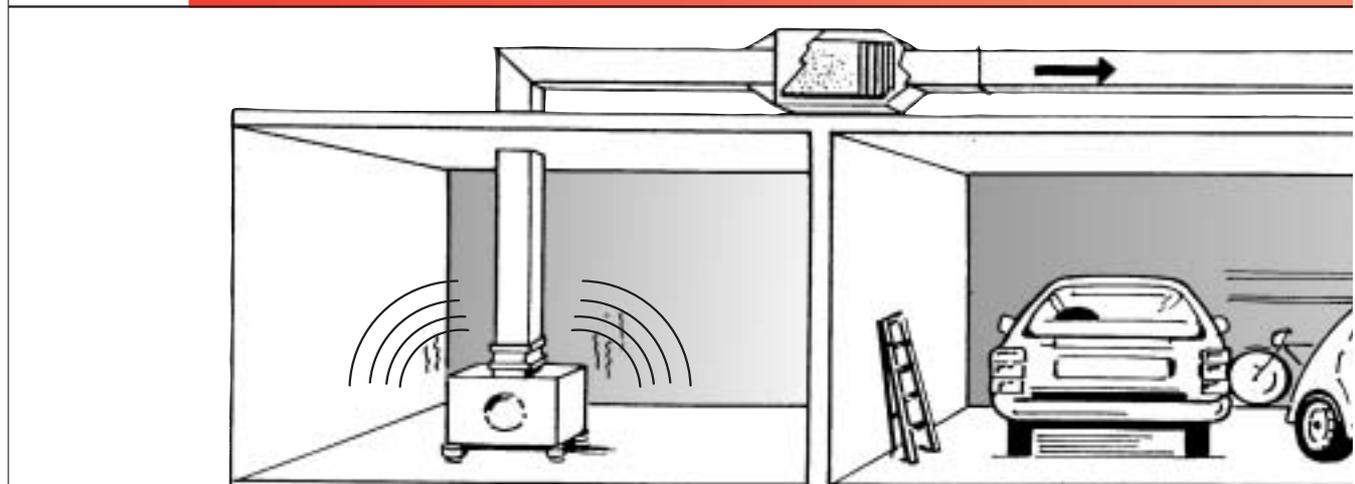
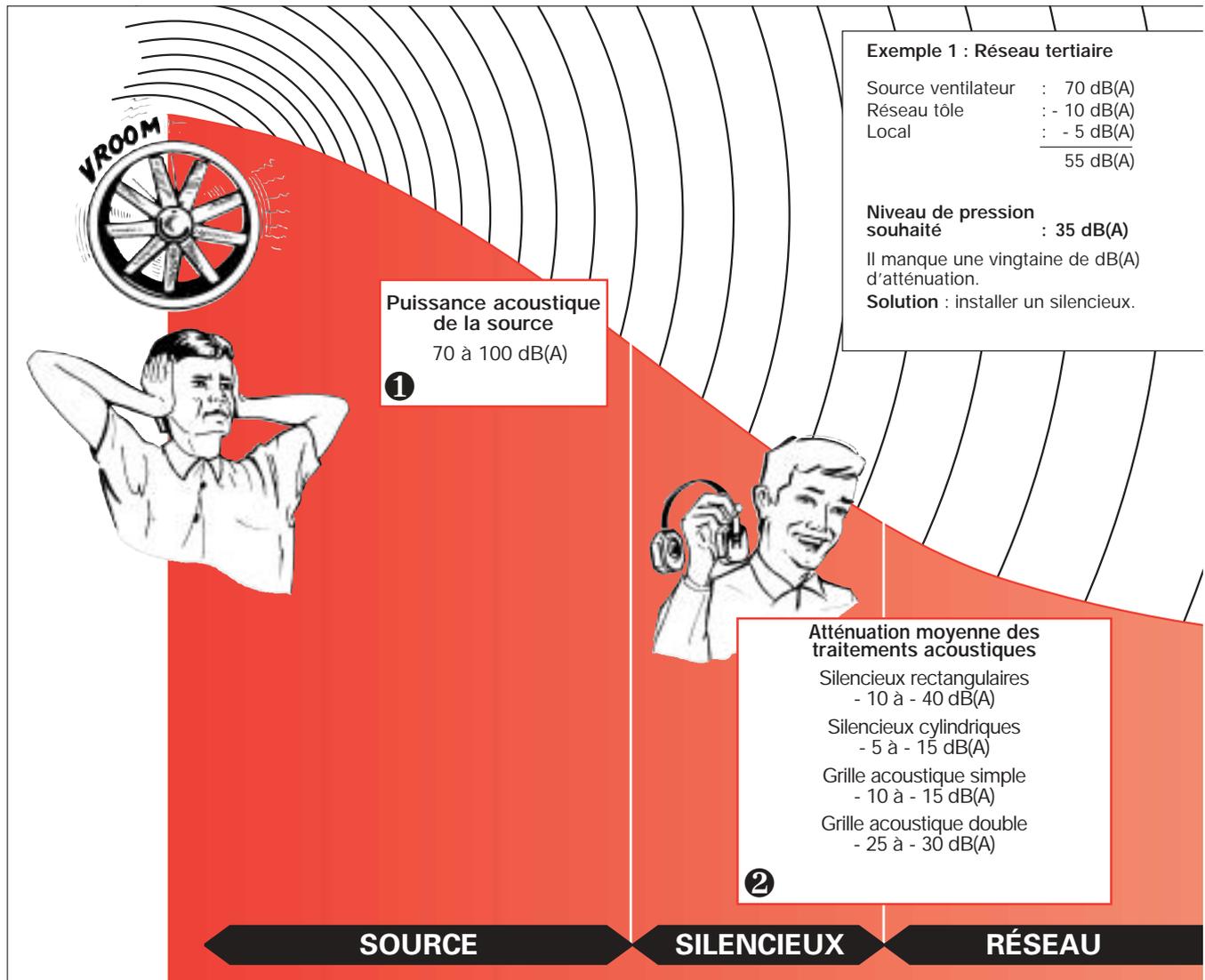
Internet : www.france-air.com - e-mail : demande@france-air.com

Chapitre 1



L'ACOUSTIQUE en un clin d'œil

LES ORDRES DE GRANDEUR



Exemple 2 : Rejet

Rejet dans une rue piétonne à travers une chambre de détente en béton.

Source ventilateur	: 100 dB(A)
Réseau béton	: - 0 dB(A)
Grille acoustique simple	: - 15 dB(A)
Auditeur à 3 m	: - 20 dB(A)
	65 dB(A)

Niveau de pression souhaité : 55 dB(A)

Il manque une dizaine de dB(A) d'atténuation.

Solution : doubler la grille acoustique.

LA RÉGÉNÉRATION :

C'est un obstacle à l'écoulement de l'air qui crée des turbulences donc du bruit.

L'ATTÉNUATION :

Réduction du niveau sonore due aux absorptions, aux accidents (coudes, changement de section) et aux dissipations par les parois.

Atténuation moyenne du réseau

Tôle	0 à - 10 dB(A)
Béton	0 dB(A)
Fib Air	- 20 à - 30 dB(A)

3

Régénération due à la vitesse

Diffuseur :
+ 20 à + 40 dB(A)

4

CRITÈRE DE CONFORT

Atténuation moyenne du local
local bureau : - 4 à - 10 dBA
ou

Atténuation moyenne en extérieur

auditeur à	1 m @ - 8 dB(A)
	2 m @ - 14 dB(A)
	4 m @ - 20 dB(A)

5

RÉSEAU

DIFFUSEUR

LOCAL/DISTANCE



Niveau de pression acoustique recommandé

exemples :

Salle de réunion	30 à 40 dB(A)
Bureaux	35 à 40 dB(A)
Hall d'accueil	40 à 50 dB(A)
Supermarchés	45 à 50 dB(A)

LES ORDRES DE GRANDEUR (Suite)

LA PUISSANCE ACOUSTIQUE

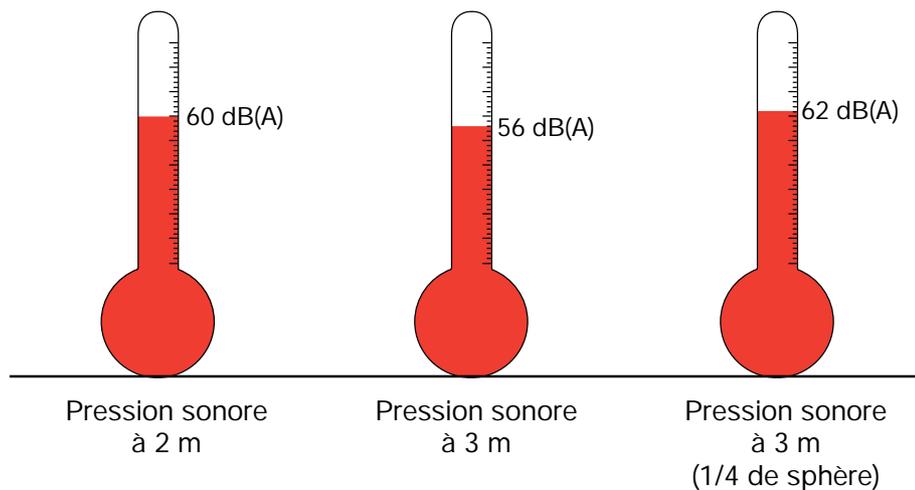
- caractérise l'équipement, intrinsèquement
- est la base de tout calcul
- est la base de toute comparaison.

LA PRESSION ACOUSTIQUE

- caractérise l'équipement dans son environnement (position, distance, local...)
- est le critère à obtenir dans le local,
- est ce que mesure le sonomètre.

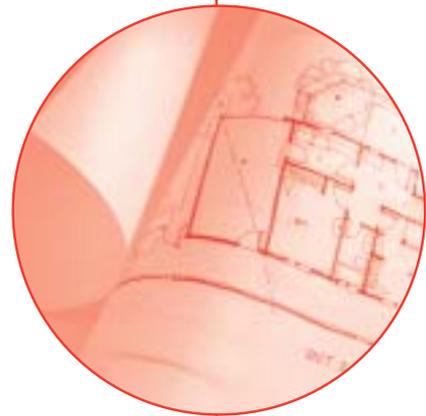
LE MÊME MATÉRIEL A DES NIVEAUX DE PRESSION SONORE DIFFÉRENTS SELON LA DISTANCE ET LA POSITION

Exemple :



© france AIR

Chapitre 2



LES RÈGLES de conception

I - LE CHOIX DES SYSTÈMES

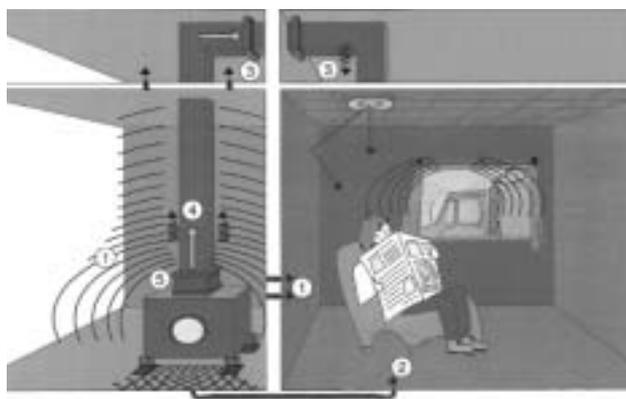
I.1 - Systèmes centralisés «tout air»

La distribution des différents locaux est regroupée en une ou plusieurs centrales de traitement d'air. Ce système a l'avantage de regrouper les principales sources sonores dans un même lieu : le local technique.

Dès lors, il s'agit essentiellement de faire obstacle au transfert du bruit de ce local technique vers des locaux plus calmes (vibrations, rayonnement, propagation dans le réseau).

	Modes de propagation	Solutions
1	Transmissions aériennes, solidiennes	Isolation des cloisons + désolidarisation
2	Bruit solidien	Plots antivibratoires + séparation des dalles
3	Bruit transmis (aérien)	Isolation des conduits
4	Bruit aérien en conduit	Silencieux acoustiques
5	Mise en vibration du conduit	Manchette souple Désolidarisation

Modes de propagation des bruits



I.2 - Systèmes décentralisés

Ce sont tous les traitements locaux (centrales plafonds, ventilo-convecteurs...). Dans ces systèmes, la source sonore principale est le ventilateur et elle doit être traitée selon le niveau souhaité :

- double peau pour le rayonnement,
- silencieux à l'aspiration et au refoulement,
- désolidarisation antivibratoire.

I.3 - Les réseaux de désenfumage ou mixtes

Leur traitement par des silencieux acoustiques est peu recommandé.

En effet, tout élément du réseau doit avoir un classement M0, être stable au feu 1/4 heure et rien ne doit risquer d'obstruer le ventilateur (arrachement des fibres).

Lorsqu'un réseau d'extraction peut être utilisé en désenfumage, il convient d'éviter le passage des conduits d'extraction dans les zones du bâtiment.

Tout rejet extérieur doit être considéré par rapport à la position du voisinage... (réglementations sur les bruits de voisinage).

II - LES ÉLÉMENTS DE CES SYSTÈMES

II.1 - Les ventilateurs

Chaque ventilateur (cf. chapitre «les ventilateurs») génère un type de spectre particulier. Il faut considérer le niveau sonore émis dans le réseau (aspiration et refoulement) mais également le niveau sonore rayonné. Si ce dernier est peu important dans un local technique, il peut devenir prépondérant en faux plafond. C'est pourquoi, les centrales plafond sont généralement en caisson double peau pour éviter le rayonnement (ce qui n'influence pas forcément le bruit émis dans le réseau).

En général, les ventilateurs ont des fréquences prédominantes :

- centrifuge à action : moyennes fréquences
- réaction, axiaux : basses fréquences

mais ils sont difficilement comparables car ils agissent chacun sur des zones de débit-pression différentes. L'essentiel, quel que soit le type retenu, est de veiller :

- à un rendement correct
- à une vitesse de rotation la plus faible possible
- à une bonne estimation du point de fonctionnement (le niveau sonore peut varier sensiblement si les pertes de charges du réseaux sont différentes).

II.2 - Vitesse d'air et géométrie des réseaux

II.2.1. Vitesse d'air

Les bruits régénérés par des vitesses excessives dans les réseaux de gaines, au passage des registres de dosage, des boîtes de mélange, des clapets sont très difficiles et très coûteux à atténuer quand ces dispositifs sont situés à proximité des locaux sensibles.

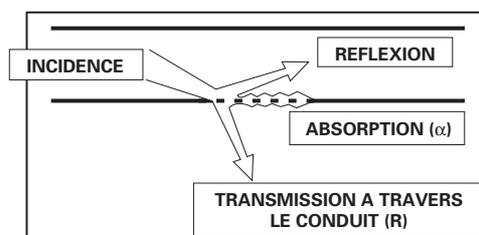
D'une manière générale, les vitesses d'écoulement limites conseillées pour assurer le respect des critères sont récapitulées dans le tableau ci-après :

	Vitesse d'écoulement limite (m/s)		
	Vitesse au terminal	7 diamètres (*) de gaine avant le terminal	7 à 14 diamètres de gaine avant le terminal
NR-20 soufflage	1.5	1.8	2.2
NR-20 reprise	1.8	2.2	2.5
NR-25 soufflage	1.8	2.2	2.8
NR-25 reprise	1.8	2.5	3.3
NR-30 soufflage	2.2	2.5	3.5
NR-30 reprise	2.5	3.0	4.1
NR-35 soufflage	2.5	3.0	4.1
NR-35 reprise	3.0	3.5	4.6

(*) Pour les gaines rectangulaires, utiliser le diamètre hydraulique, ou diamètre équivalent.

II. 2. 2. Choix du conduit

Il faut distinguer pour chaque type de conduit son comportement en transmission (bruit rayonné par la gaine ou bruit extérieur entrant dans la gaine) et en atténuation (propagation du bruit dans la gaine).



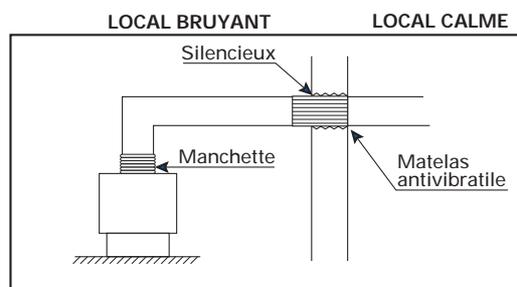
© France Air

- * **La tôle :** atténue peu mais rayonne essentiellement.
- * **Le béton :** n'atténue pas. rayonne peu.
- * **Le Fib'Air :** forte atténuation (absorbant) atténue au rayonnement les moyennes et hautes fréquences uniquement.

Ainsi, pour traverser des locaux bruyants (local technique), deux solutions s'offrent :

1 - ne traiter le bruit dans le réseau qu'au passage de paroi entre ce local bruyant et un local plus calme.

2 - si ce n'est pas possible, choisir un réseau qui a une forte atténuation au rayonnement ou le capoter.



II. 2. 3. Maîtriser la géométrie des réseaux

II.2.3.1. Forme des conduits

Les gaines circulaires rayonnent moins d'énergie sonore que les rectangulaires.

En revanche, ces gaines circulaires atténuent peu les basses fréquences des bruits générés par les ventilateurs. Les gaines à section rectangulaire sont préférables aux gaines à section carrée, toutefois les rapports de côtés excédant 4/1 doivent être évités, car de telles gaines ont tendance à vibrer excessivement et à résonner.

II - LES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME (suite)

II.2.3.2. Coudes, piquages, transitions

Afin de diminuer la régénération du bruit d'écoulement dans les basses fréquences, il faut des coudes, des piquages et des transitions les plus aérauliques possibles :

- coudes arrondis ou avec aubes,
- piquages à 45°, ...

et ce d'autant plus que la vitesse est élevée.

Les changements de sections doivent être, si possible, réalisés avec un angle inférieur à 30°.

II.2.4. Registres, clapets, équilibrage

Les registres et les clapets sont les principales sources de régénération dans les réseaux du secteur tertiaire. Il faut savoir qu'une variation de quelques degrés dans leur fermeture peut générer facilement une dizaine de décibels dans certaines bandes d'octave.

Une seule règle doit prévaloir : l'équilibrage.

Tant que chaque branche du collecteur principal reste correctement équilibrée, le clapet restera dans un domaine d'utilisation correct. Pour les mêmes raisons, il n'est pas souhaitable de compenser les déséquilibres du réseau par le seul registre terminal. Il doit être précédé d'un clapet de réglage primaire accessible.

Il faut également éviter une vitesse trop forte dans les sections terminales (écrasement des gaines, coudes trop « pliés », réductions brusques en faux plafond...).

L'adaptation des caractéristiques des ventilateurs limite souvent le recours aux fermetures des registres et clapets de réglage.

II. 3. Les diffuseurs

On peut considérer plusieurs types :

- Les diffuseurs classiques et tourbillonnaires :

leur niveau sonore dépend essentiellement de la vitesse d'air effective. S'ils sont munis d'un registre terminal, le niveau sonore de ce dernier évoluera en fonction de la pression différentielle.

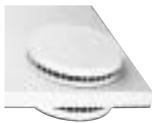
- Les diffuseurs à déplacement et bouches pour auditorium :

grâce à leur faible vitesse de soufflage, ils sont particulièrement silencieux. Leur niveau sonore est souvent fonction de la vitesse d'entrée et du bon équilibrage des débits.

Généralement, en fonction du critère souhaité et du nombre de diffuseurs, on peut déterminer a priori le type de système de diffusion pouvant convenir.

Critère	bouches auditorium	diffuseurs à déplacement	diffuseurs traditionnels	diffuseurs tourbillonnaires (grande hauteur)
20-25 dBA (NR 15-20)	X	X		
30 dBA (NR 25)		X	X	
35 dBA (NR 30)		X	X	X
> 40 dBA (NR 35)		X	X	X

II. 4. Les traitements

Partout dans le réseau, une solution acoustique...				
	ATTÉNUATION			
POSITIONNEMENT	PRINCIPALE (20-50 dB(A))	SECONDAIRE (5-25 dB(A))	RAYONNEMENT	ANTIVIBRATOIRE
LOCAL TECHNIQUE	 <i>Arpège</i>  <i>SCN</i>  <i>Octave Spécial basses fréquences</i>	 <i>SC VMC Spécial VMC</i>	 <i>ACOUSTIMOUSS Capotage (Mousse au plomb)</i>	 <i>Plots antivibratoires Type V et BCA</i>  <i>Isolation petits caissons et supportage des gaines ISOLVIB</i>
	 <i>Grille acoustique ATSON</i>  <i>Grille de transfert GFV 90</i>	 <i>CAF</i>	 <i>Spécial anti-téléphonie</i>  <i>TM</i>	 <i>Suspension de conduits</i>  <i>Passage de paroi</i>

Chapitre 3



LES RÈGLES d'installation

I - LES VENTILATEURS

I.1. Conditions de raccordement

Lorsqu'on installe un ventilateur sur un réseau, il faut veiller aux conditions de raccordement.

Ceci a été décrit dans le fascicule "Guide pratique pour l'installation des ventilateurs" du CETIAT.

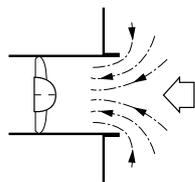
Extrait du "Guide pratique pour l'installation des ventilateurs" (CETIAT [7])

Précautions à prendre à l'aspiration d'un ventilateur

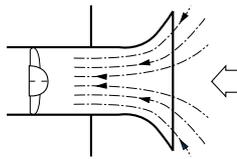
- **Profil de vitesse à l'entrée :**

Un écoulement non uniforme à l'aspiration d'un ventilateur peut être la cause d'une modification de ses caractéristiques.

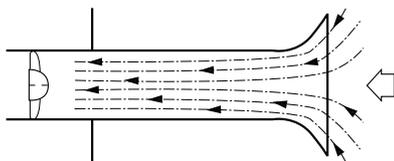
Cas typiques d'alimentation de ventilateurs



Mauvaise alimentation



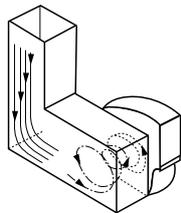
Un pavillon permet une meilleure alimentation



Un conduit de longueur équivalente à 3 à 4 diamètres équipé d'un convergent ou encore mieux d'un pavillon est très bénéfique.

Un coude à l'aspiration d'un ventilateur peut être à l'origine :

- de chute de performances,
- d'instabilité,
- de bruit.

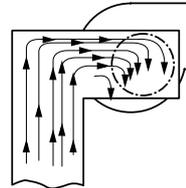


- **Présence d'un coude**

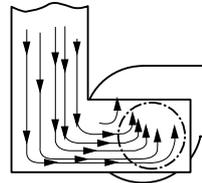
Des pertes de performances très importantes, ainsi qu'une augmentation du bruit allant jusqu'à 10 dB dans certaines octaves, ont été constatées sur des ventilateurs installés avec un coude à l'entrée.

- **Giration à l'aspiration :**

Une giration dans le même sens que celui de la rotation de la roue du ventilateur peut conduire à une diminution de l'élévation de pression pour un débit donné.



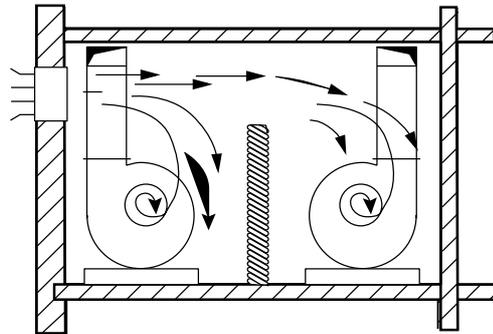
Une giration dans le sens contraire à celui de la roue d'un ventilateur peut conduire à une augmentation de l'élévation de pression pour un débit donné et donc à une consommation d'énergie supérieure.



- **Insertion dans un espace réduit :**

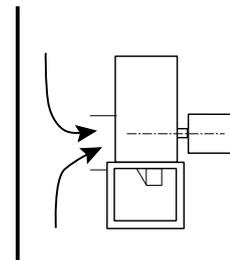
Exemple de mauvaise alimentation de deux ventilateurs placés dans une centrale de traitement d'air et alimentés par une ouverture excentrée placée trop haut et de section trop faible.

Les ventilateurs reçoivent un flux tournant ; ils risquent d'être bruyants et d'avoir des performances instables et différentes de celles qui sont prévues.



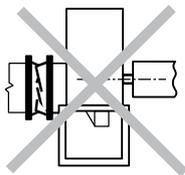
- **Proximité d'une paroi :**

Il risque de recevoir un flux d'air étranglé et tournant et d'avoir ainsi des performances inférieures à celles prévues, instables et de niveau sonore plus élevé.

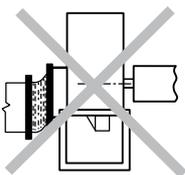


• Conduits d'alimentation :

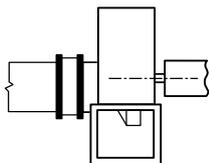
Les conduits flexibles doivent être montés avec soin afin d'éviter une déformation de l'écoulement à l'aspiration du ventilateur.



Mauvais
Manchette non tendue



Mauvais
Conduit non aligné



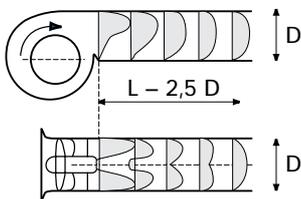
Bon
Manchette tendue et conduit aligné

Tout objet créant une obstruction de l'ouïe d'aspiration ou une déformation de l'écoulement à l'aspiration (coude, vanne,...) peut créer une chute des performances et une augmentation du bruit.

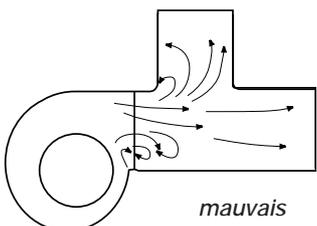
• Précautions à prendre au refoulement d'un ventilateur

Longueur du raccordement :

On a intérêt à mettre une longueur de conduit en aval d'un ventilateur avant tout autre élément disposé dans le circuit, afin que l'écoulement devienne homogène. La longueur L qui permet d'avoir un écoulement homogène est de l'ordre de 2,5 diamètres.



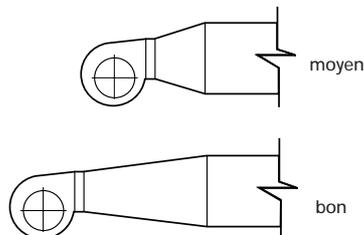
Exemple d'une perturbation trop près du refoulement d'un ventilateur, qui se traduit par une perte de performance importante.



• Forme du raccordement :

Compte tenu des contraintes de l'installation, les sections de conduit doivent être les plus larges possibles afin de réduire les pertes de charge.

Les raccords entre les sections différentes doivent être progressifs (angle au sommet inférieur à 7°).



Extrait du "Guide pratique pour l'installation des ventilateurs" (CETIAT [7])

1.2. L'effet-système

Lorsque les conditions d'installation (place disponible...) obligent à ne pas respecter ces règles, les performances obtenues peuvent varier.

C'est le cas notamment :

- d'une alimentation entraînant une rotation à l'entrée du ventilateur (giration).
- d'un refoulement direct dans une trémie verticale, sans respecter le nombre minimum de diamètres requis.

Cet effet-système peut conduire à un "pompage du ventilateur" ou à un déplacement sensible de son point de fonctionnement théorique. L'effet acoustique, dû au profil irrégulier des vitesses, n'est pas quantifiable mais l'influence sur le point de fonctionnement peut être approchée.

Dans les parkings notamment, où les ventilateurs axiaux sont souvent collés aux trémies, on pourra estimer la perte de charge supplémentaire.

Distance Ventilato-Coude	z
0	1,6
0,75 D	1
1,5 D	0,4

(à partir de 3D : plus d'effet-système si V < à 12 m/s)

Un effet-système crée une perte de charge supplémentaire

$$DP = z \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v^2$$

à rajouter à la perte du coude et du réseau.

DP = perte de charge (Pa) z = coefficient de singularité
r = rayon (m) v = vitesse (m/s)

1.3. Les bruits solidiens - les vibrations

Comme toute machine tournante, le ventilateur transmet des vibrations aussi bien au réseau qu'à son support. Il faudra donc veiller à l'isoler par des manchettes souples et par un système antivibratoire du sol. Attention cependant à la compatibilité des différents systèmes antivibratoires entre eux.

II- LE RESEAU

II. 1. Les éléments du réseau

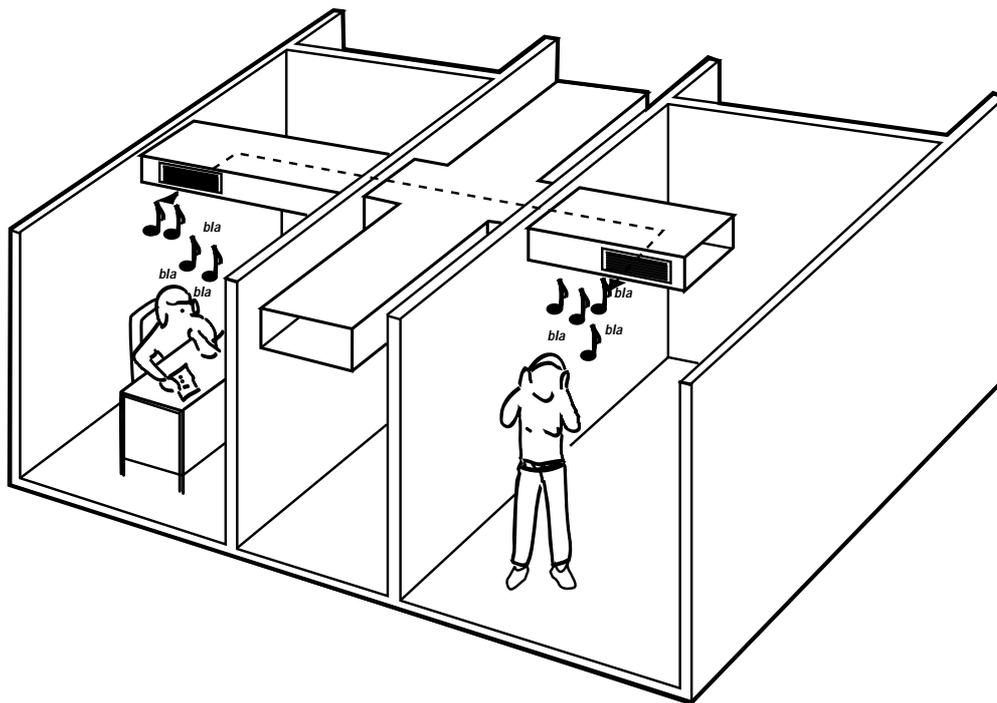
A la mise au point, l'opération d'équilibrage du réseau est essentielle pour obtenir des niveaux sonores corrects.

II. 2. Ponts phoniques - Interphonie

Le son ne suit pas obligatoirement le sens de déplacement de l'air. Il se transmet dans toutes les directions, même en sens inverse du flux d'air.

Ainsi pour éviter ou limiter le phénomène de l'interphonie, il y a lieu d'utiliser des conduits absorbants. Le piquage en croix qui est à éviter sur le plan aéraulique, crée souvent cet effet. Il convient de lui préférer des piquages simples, espacés d'au moins la valeur du diamètre du collecteur, disposés, si possible, de façon alternée.

D'autres types de ponts phoniques sont possibles, il faudra d'une manière générale éliminer toute possibilité de propagation non contrôlée par le réseau en piégeant le plus possible. Grâce à des conduits terminaux absorbants (flexibles, conduits acoustiques...), ces ponts phoniques pourront être évités.



© france AIR

III - LES TRAITEMENTS

III. 1. Installation des silencieux

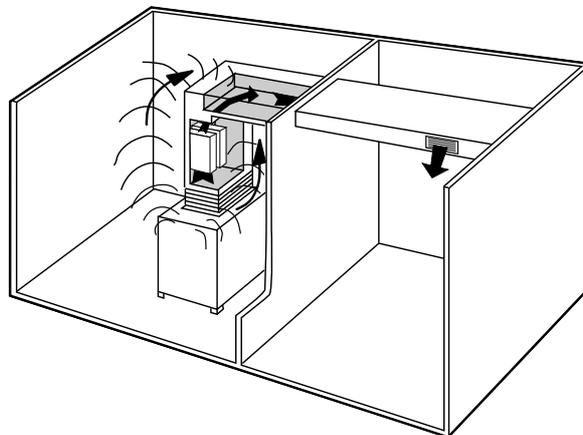
Court circuitage du silencieux

Lorsqu'un silencieux est positionné en sortie de centrale mais dans un local technique bruyant, le niveau sonore ambiant va pénétrer à nouveau le conduit à travers ses parois. Il viendra donc renforcer le niveau précédemment atténué et le silencieux sera alors "court-circuité".

La solution est de placer l'atténuateur en traversée de paroi.

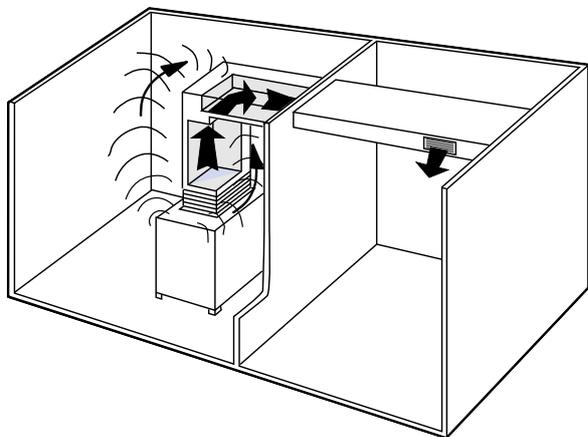
Il faut cependant noter que la présence d'un clapet coupe-feu peut gêner ce positionnement, il faudra alors décaler le silencieux et capoter le conduit et le silencieux jusqu'au mur pour limiter les transmissions.

b) Avec silencieux court-circuité : niveau sonore moyen.



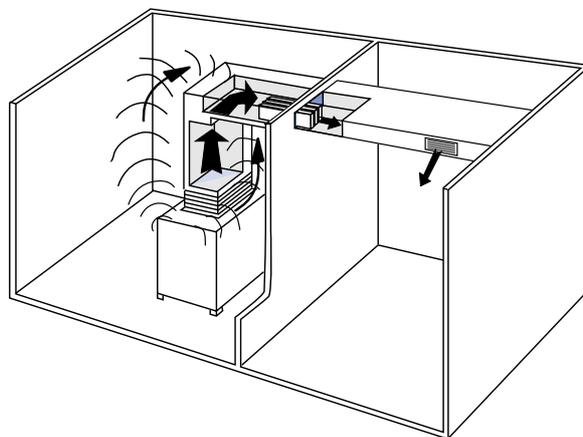
© france AIR

a) Sans silencieux : niveau sonore élevé.



© france AIR

c) Avec silencieux : non court-circuité : niveau sonore correct.



© france AIR

Variation du niveau sonore en fonction du court-circuitage du silencieux.

Chapitre 4



LES SOLUTIONS FRANCE AIR

I- LA VENTILATION DES PARKINGS



I - 1 Contexte réglementaire

La ventilation des parkings pose un problème bien spécifique. L'amenée d'air peut être réalisée soit naturellement (rampe d'accès...), soit mécaniquement. L'extraction, en revanche, est souvent mécanique (obligatoire lorsque le parking a plus d'un niveau).

- La réglementation incendie impose une extraction par niveau et, sauf dérogation ou shunt, n'autorise pas de trémie commune sur plusieurs niveaux. Lorsque les trémies de différents niveaux se regroupent dans une zone de rejet commune, les niveaux sonores vont se cumuler.
- La réglementation sur le contrôle du taux de CO peut imposer d'utiliser les ventilateurs en grande vitesse.
- La norme sur les bruits de voisinage impose de maîtriser le niveau sonore extérieur (notion d'émergence).
- D'autres réglementations sont applicables. Ainsi, par exemple, la ventilation d'un parking d'un immeuble de logements devra respecter la NRA quant au bruit qu'il induira dans ces logements.
- A l'intérieur du parking, seul le code du travail peut s'appliquer, mais il faut noter que si aucun traitement n'est réalisé, la satisfaction des clients du parking peut s'en ressentir.

I - 2 Règles de conception

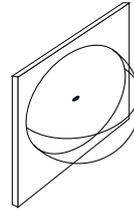
- Le point réel de fonctionnement du ventilateur est déterminant pour effectuer un calcul acoustique correct. Le débit est souvent calculé sur le seuil minimum réglementaire, soit 600 m³/h/véhicule en grande vitesse. Cependant, dans les niveaux comportant un taux de CO important, on pourra augmenter ce débit.
- Le second paramètre du point de fonctionnement est la pression. La perte de charge d'un atténuateur est significative par rapport à la perte de charge de la trémie, et ce d'autant plus que la vitesse de passage dans cette dernière est élevée (On recommande généralement une vitesse de l'ordre de 4 m/s). La sélection du piège à son devra donc être itérative puisque son insertion modifie le point de fonctionnement, et donc le niveau sonore du ventilateur.
- La recherche du nombre maximum de places utilisables entraîne souvent l'implantation du ventilateur contre la trémie, ce qui conduit à refouler directement contre la paroi. Cet effet, dit effet-système, conduit à une augmentation sensible des pertes de charge, et en conséquence du niveau sonore de la source. Si on peut aujourd'hui approcher quantitativement cet effet sur les pertes de charges, on ne peut en revanche l'évaluer du point de vue de la génération du bruit.
- Les grilles de sortie de grande surface conduisent à un son très directif en face.

I - 3 Les solutions

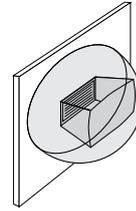
- Le plus souvent, des ventilateurs axiaux 200 °C/1h sont utilisés pour différentes raisons : encombrement réduit, débits élevés...
- Les niveaux sonores sont alors traités par des silencieux basse fréquence et/ou par des grilles acoustiques.

LA DIRECTIVITE : On considère généralement que la puissance sonore à la grille se répartit uniformément en pression sur une portion de sphère (demi-sphère pour une grille murale et un quart de sphère près d'un angle de mur). Or, plus la surface de la grille est grande, plus la pression est élevée dans l'axe (à faible distance), et on atteint facilement une correction de +9dB. Il est donc nécessaire de prendre correctement en compte cette directivité.

①



$Q = 2 - 10 \log Q = + 3 \text{ dB}$
Source ponctuelle
Pression sonore identique en tous points.



$3 < 10 \log Q \leq 9 \text{ dB}$
Le maximum de bruit est à 0° dans l'axe de la grille.

NORMES

Vis-à-vis de l'extérieur :

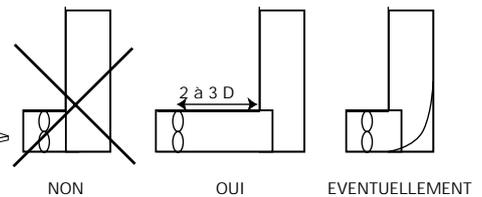
- Bruits de voisinage
- Installations classées
- NRA

Vis-à-vis de l'intérieur :

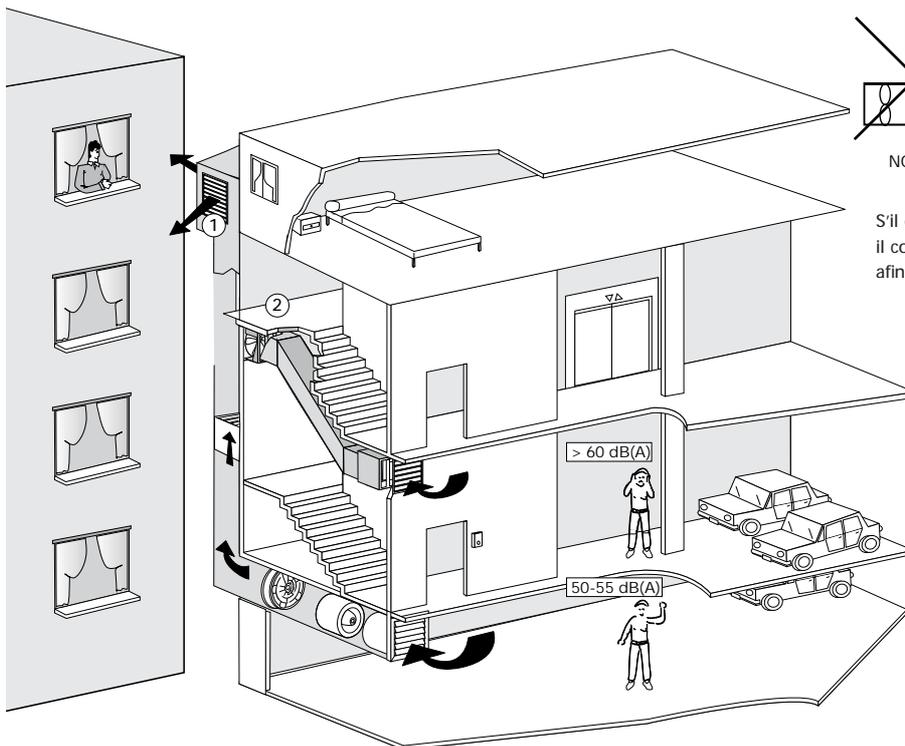
- NRA
- Code du travail
- Réglementation thermique 2000

L'EFFET SYSTÈME ②

Lorsqu'un ventilateur est "collé" à la trémie, à un coude ou à un obstacle (distance inférieure à 2 ou 3 D), il se produit un effet système dû aux turbulences du régime non établi, qui augmente nettement la perte de charge et le niveau sonore.



S'il est impossible de respecter une longueur suffisante, il convient de réduire le plus possible les turbulences afin de limiter cet effet.



Vitesse maximum recommandée dans les trémies : 3 à 4 m/s pour permettre un traitement acoustique (sinon régénération trop élevée)

ELÉMENTS DÉTERMINANTS DU C.C.T.P. :

- Type de ventilateur et positionnement souhaité
- Point de fonctionnement (débit, pression, rendement souhaité, niveau sonore).
- Type de raccordement (aspiration libre, refoulement gainé)
- Niveau sonore intérieur
- Niveau sonore extérieur (rejet)

TYPES DE SOLUTIONS

Traitement acoustique à l'aspiration et au refoulement :

- grille acoustique ATSON
- silencieux cylindrique SC

Ventilateur axial de rendement élevé et faible niveau sonore type AXALU 2

Traitement acoustique de l'extérieur vis-à-vis du voisinage :

- Silencieux OCTAVE, spécialement adapté aux basses et moyennes fréquences
- Grille extérieure GLA, GLF ou acoustique ATSON.

II - LES GRANDS VOLUMES



Salles polyvalentes, Gymnases Halls d'accueil, Entrepôts...

I - Contexte réglementaire

- Décret : - Locaux sportifs (en attente)
- Lieux musicaux (en attente)

II - Règles de conception

- Les locaux de grands volumes, et notamment de grande hauteur, nécessitent souvent une diffusion d'air spécifique (jet tourbillonnaire du plafond ou déplacement d'air), pour éviter la stratification en chaud et des vitesses trop élevées en froid.

La diffusion tourbillonnaire crée un flux d'air turbulent, à très haute induction, qui permettra un mélange rapide quelle que soit la différence de température. Cet effet est créé par des fentes ou des pales dont l'orientation peut varier avec une motorisation (notamment pour passer d'un fonctionnement "été" à un fonctionnement "hiver").

- Certains locaux peuvent être traités en déplacement.
- Les locaux de grand volume présentent généralement des temps de réverbération élevés, surtout s'ils sont peu traités acoustiquement (entrepôts, halls...).

III - Les solutions

- Diffuseurs de grande hauteur, tourbillonnaires (LD...)
- Diffuseur à déplacement d'air Déplac'Air
- Gaines textiles (entrepôts frigorifiques, stockage).

**Il faut tenir compte de l'ensemble des diffuseurs
dans l'estimation du niveau sonore.**

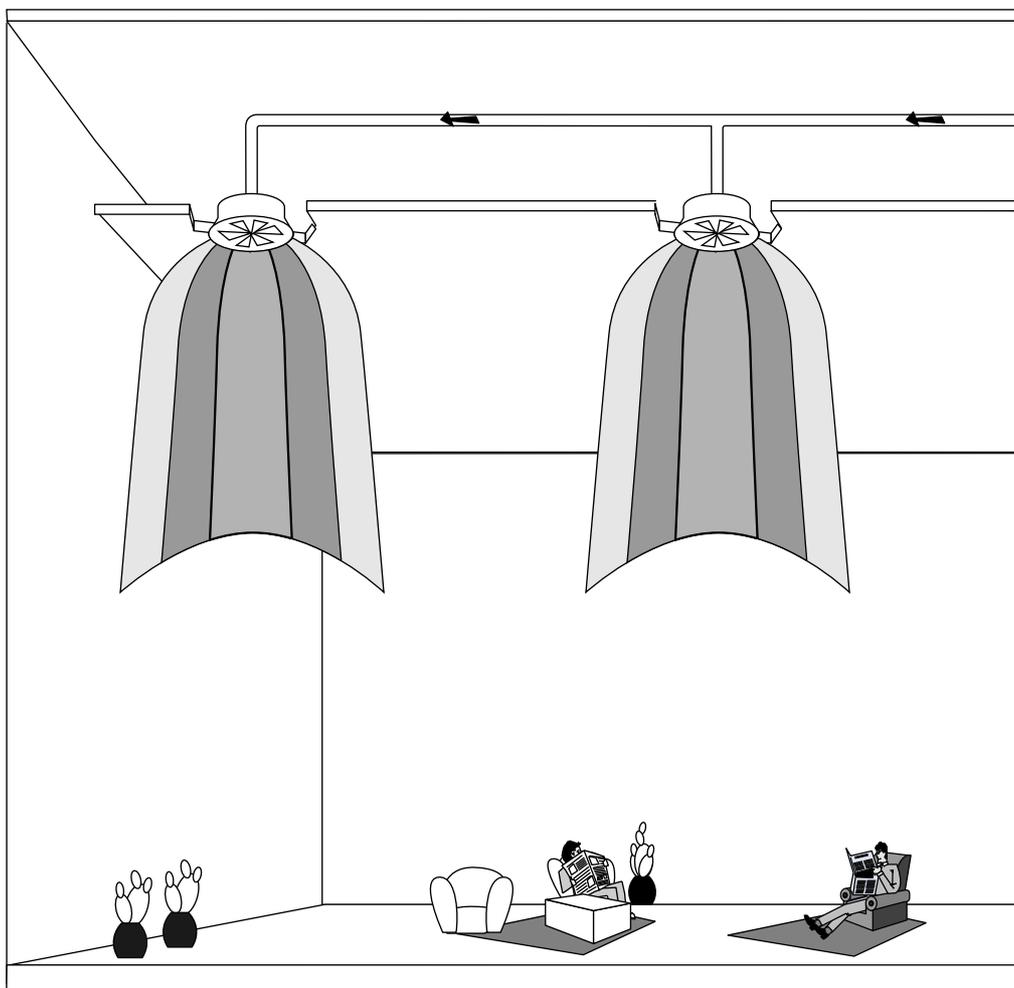
Les auditeurs sont souvent dans le « champ direct » de plusieurs diffuseurs.

RECOMMANDATIONS DB(A)

- ➔ Locaux sportifsEn attente
- ➔ Gymnases40-50
- ➔ Salles polyvalentes35-40
- ➔ Halls d'accueil40-50
- ➔ Parc des expos45-55
- ➔ Entrepôts50-60

TYPES DE SOLUTIONS

- ➔ Silencieux en sortie de centrale
- ➔ Diffuseurs à déplacement ou tourbillonnaires (pour locaux de grande hauteur)



© france AIR

C.C.T.P.

- ➔ Choix du type de diffusion et nombre d'unités
- ➔ Disposition des diffuseurs
- ➔ Niveau sonore souhaité

Attention !!!

Le temps de réverbération influence sensiblement le niveau de pression résultant dans le local.

ETUDE VERITAS - FRANCE AIR SUR LES GRANDS VOLUMES

- ➔ *Directivité des diffuseurs*
- ➔ *Influence du local*

Le Bureau Veritas et France Air ont réalisé pour le Congrès Euro Noise 95 une étude commune sur la prévision des niveaux sonores dans les locaux. L'étude visait à confirmer la validité du calcul prévisionnel dans les réseaux, et à mieux appréhender l'influence des diffuseurs et du local.

Cette étude a montré notamment que pour de grands volumes, plusieurs diffuseurs sont susceptibles de jouer un rôle important dans le niveau sonore ressenti par l'auditeur. Il faut donc :

1. Déterminer le nombre de diffuseurs prédominants en niveau direct :

On calcule la distance critique (cf. p. 32) et on considère que tout diffuseur à moins de une fois et demie cette distance peut influencer sensiblement le niveau résultant et doit donc être intégré au calcul.

2. Intégrer tous les diffuseurs du volume dans le calcul du niveau sonore réverbéré.

RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

- ➔ *Locaux étudiés*
- ➔ *Dix sites instrumentés*

Sur une dizaine de sites, deux types de mesures différentes ont été prises :

- à proximité du diffuseur, en face et suivant un angle de 45°, à une distance d'un mètre en général ;
- au plan d'écoute (environ 1,50 m du sol).

Les sites sélectionnés présentaient des réseaux et des techniques de diffusion divers, des volumes répartis entre 280 et 36.000 m² et des temps de réverbération élevés (voir tableau 1). Si, par souci de simplification, les tableaux ne présentent que des résultats en global, les mesures et l'étude ont été faites sur les spectres de 125 à 4.000 Hz.

Tableau 1. Sites étudiés

RÉSEAU		DIFFUSEUR		LOCAL		
N°	Type Long.	Nb	Type	V (m3)	H (m)	tr (250 Hz)
1	Type "Fib Air"	1	Diffuseur linéaire	280	2.8	0.96
2	Tôle 5 m	13	Grille pour conduits cylindriques	1080	6.0	1.20
3	Type "Fib Air"	14	Diffuseur à flux d'air turbulent	3080	5.5	0.96
4	Tôle 5 m	10	Grille simple déflexion en acier	9400	8.0	2.50
5	Tôle 6 m	16	Diffuseur à flux d'air turbulent	36000	12.0	1.89
6	Tôle > 20 m	4	Diffuseur carré à jet d'air fixe	238	2.5	0.95
7	Tôle > 20 m	16	Diffuseur carré à jet d'air fixe	525	2.5	0.60
8	Tôle > 20 m	4	Diffuseur carré à jet d'air fixe	285	2.5	0.65

ETUDE VERITAS - F. A. - RÉSULTATS DE L'ÉTUDE (suite)

Le tableau 2 présente les résultats obtenus en puissance au diffuseur.

On note que l'approche utilisée dans le logiciel, basée sur les ouvrages de BERANEK en atténuation et les tests en laboratoire des diffuseurs, a donné de bons résultats (précision obtenue +/- 2 dB).

Tableau 2. Comparaison des puissances au diffuseur.

RÉSEAU			LOCAL	
N°	Nb	Type	Lw d'après mesures	Lw estimé ACOUST*
1	1	Diffuseur linéaire	48/49	47
2	13	Grille pour conduits cylindriques	50/52	50
3	14	Diffuseur à flux d'air turbulent	54/53/52	51
4	10	Grille simple déflexion en acier	34	44
5	16	Diffuseur à flux d'air turbulent	65/68	65
6	4	Diffuseur carré à jet d'air fixe	46/46	46
7	16	Diffuseur carré à jet d'air fixe	50/51	51
8	4	diffuseur carré à jet d'air fixe	40/39	39

* ACOUST : logiciel de sélection acoustique France Air.

La bibliographie sur ce sujet indique une directivité marquée des diffuseurs selon leur dimension, ce qui entraîne un niveau sonore encore plus élevé dans l'axe des diffuseurs. Les mesures effectuées (tableau 3) le confirment et même accentuent cette tendance.

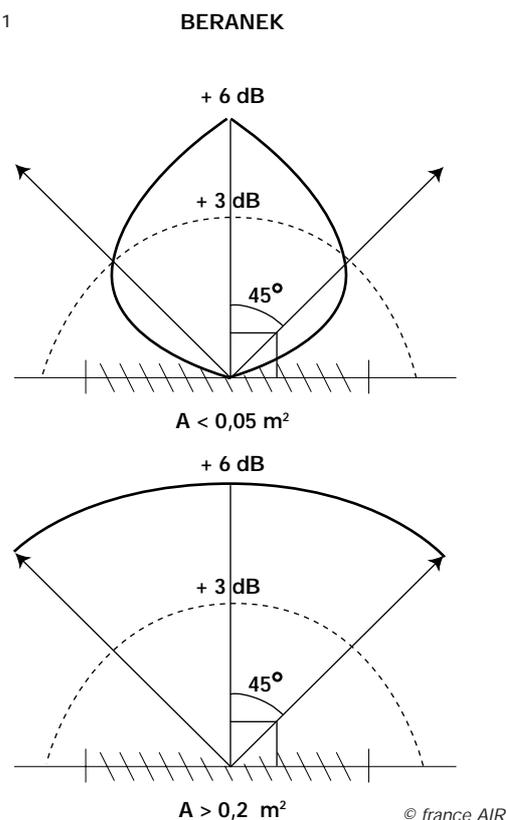
Tableau 3. Directivité des diffuseurs.

DIFFUSEUR				RESULTATS	
N°	Nb	Type	Section nominale	Lp mesuré à 0°	Lp mesuré à 45°
1	1	Diffuseur linéaire	0.88	46	47
2	13	Grille pour conduits cylindriques	0.14	48	50
3	14	Diffuseur à flux d'air turbulent	0.05	51	49
4	10	Grille simple déflexion en acier	0.16	51	—
5	16	Diffuseur à flux d'air turbulent	0.31	63	64
6	4	Diffuseur carré à jet d'air fixe	0.02	41	44
7	16	Diffuseur carré à jet d'air fixe	0.20	47	48
8	4	Diffuseur carré à jet d'air fixe	0.20	37	36

En effet, on constate que pour toute surface nominale supérieure à 0,2 m², la directivité est constante et prépondérante entre 0 et 45°. Constatation qui permet de négliger l'incidence de ces diffuseurs pour des angles entre le diffuseur et l'auditeur supérieurs à 45° (figure 1).

Par contre, pour des surfaces plus faibles, les bases bibliographiques sont applicables (BERANEK).

Figure 1



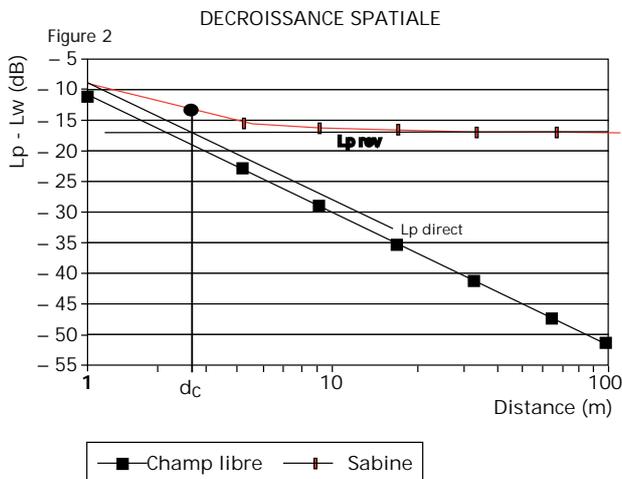
Le temps de réverbération dans le local doit être connu

Le niveau résultant à l'auditeur dépend de deux composantes :

- le niveau direct ressenti du ou des diffuseurs ;
- le niveau moyen réverbéré dans le local dû aux différentes réflexions des ondes sur les parois.

Très proche du diffuseur, le niveau direct est prédominant mais décroît rapidement, plus loin, on atteint le niveau réverbéré (figure 2).

ETUDE VERITAS - F. A. - RÉSULTATS DE L'ÉTUDE (suite)



On définit la distance critique comme étant la distance où les niveaux réverbérés et directs sont égaux. Cette distance critique dépend des caractéristiques du local et de la fréquence considérée :

$$dc = 0,057 \sqrt{\frac{QV}{Tr}}$$

avec
 Q = Directivité
 V = Volume du local (m³)
 Tr = Temps de réverbération à la fréquence considérée(s).

Si le diffuseur est situé à une distance inférieure de l'auditeur, son influence en niveau direct sera prédominante. Sur des locaux de petits et moyens volumes, cette distance est généralement inférieure à 1 ou 2 mètres.

Il existe actuellement deux méthodes, dont la plus simple suppose l'auditeur à 0° sous un diffuseur.

Etant très défavorisé par cette directivité forte et la distance faible, on néglige l'influence en niveau direct des autres diffuseurs. Seule la composante réverbérée de ces derniers est prise en compte.

(Voir tableau 4 ci-dessous)

Les mesures effectuées sont rappelées au tableau 4. D'une manière générale, l'hypothèse est correcte mais il est vrai qu'une modélisation prenant en compte les diffuseurs "proches" sous une incidence inférieure à 45° est souhaitable surtout pour les grands volumes où la distance critique peut être élevée.

Cependant, une bonne prévision du niveau sonore à l'auditeur est conditionnée notamment par la connaissance précise du temps de réverbération. Lors d'une pré-étude, une estimation rapide de celui-ci conduit à des variations sensibles du résultat. Cette dérive est d'autant plus importante que le volume du local à étudier est grand. Lorsqu'une estimation fiable n'est pas possible, on peut s'appuyer sur les recommandations actuelles.

Tableau 4 : mesures au plan d'écoute dans le local

N°	LOCAL			RESULTATS				
	V (m ³)	h (m)	tr (250 Hz) (s)	Lp mesuré dB(A)	Lp estimé dB(A)	Lp modélisation dB(A)	dc à 250 Hz (m)	Nb diffuseurs "proches" (45° et d < 1.5 dc)
1	280	2.8	0.96	41	37	39	2.7	0
2	1080	6.0	1.20	47	46	46	4.8	0
3	3080	5.5	1.18	42	43	43	9.2	4
4	9400	8.0	2.50	32	23	36	8.5	6
5	36000	12.0	1.89	-	-	-	-	-
6	238	2.5	1.95	38	44	45	1.3	2
7	525	2.5	0.60	43	46	45	3.4	2
8	285	2.5	0.65	34	35	32	2.4	2

Auditoriums, Amphithéâtres, Salles de spectacle...

I - Contexte réglementaire

- Décret n°98 - 1143 du 15 décembre 1998 relatif aux prescriptions applicables aux établissements ou locaux recevant du public et diffusant à titre habituel de la musique amplifiée.
- Cinéma : recommandation de la Commission Supérieure Technique du Cinéma (CSTS) : NR 27 et 32dB (A).
- Critère contractuel fixé par l'acousticien et/ou le maître d'ouvrage.

II - Règles de conception

- Pour obtenir de très faibles niveaux sonores dans l'auditorium, il convient d'adapter les vitesses de circulation dans les réseaux, de proscrire les registres ou organes de réglages trop proches des diffuseurs terminaux ainsi que toutes régénérations. Le niveau sonore initial doit être traité à la source, dès la centrale.
- Le système du «microclimat» traite siège par siège chaque occupant et l'enveloppe d'un flux d'air, qui compensera ses apports thermiques. L'avantage de ce système, c'est que l'on ne traite réellement que la zone d'occupation, d'où une économie importante dans les débits d'air mis en œuvre.
- L'EQUILIBRAGE est le mot clé dans l'alimentation de ces diffuseurs.
- Le soufflage en vrac est la meilleure solution à ce niveau. Les bouches devront conserver une perte de charge minimum de 15 à 20 Pa pour assurer une bonne répartition (auto-équilibre) et éviter d'avoir des bouches trop alimentées et donc trop bruyantes.
- Les réseaux de soufflage et de reprise doivent être acoustiquement traités. Les vitesses doivent rester faibles. Le niveau sonore des centrales doit être piégé avant la sortie du local technique.

III - Les solutions

- La gamme des diffuseurs pour auditorium (ALLEGRO...)
- Diffuseurs à déplacement type DEPLAC'AIR
- Les reprises en linéaires (LAC 40)
- Silencieux en sortie du local technique type OCTAVE (basses fréquences)
- Le réseau FIB'AIR
- Traitement antivibratoire.

III - AUDITORIUM

La scène :

Du fait des éclairages importants, elle doit être spécifiquement traitée.
On utilise généralement des diffuseurs à déplacement particulièrement silencieux.

Recommandations

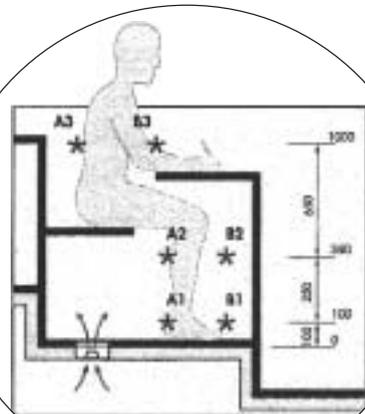
Suivant usage de la salle, généralement NR 15 à NR 30.

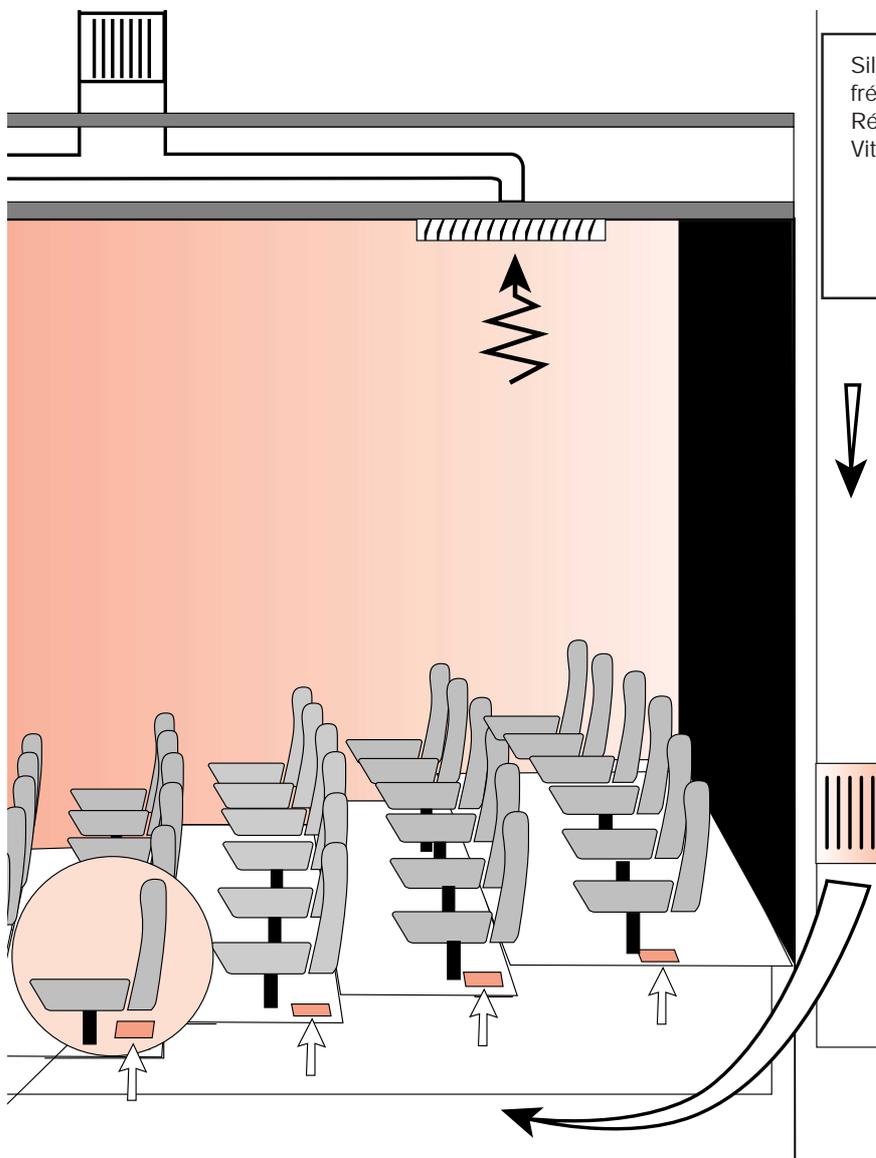
ATTENTION !

Selon la réverbération, les auditeurs entendront simultanément de nombreuses bouches.

Soufflage en vrac

Meilleure solution au niveau de l'équilibrage.
Perte de charge de 15 à 20 Pa.





Silencieux primaires pour traiter les basses et moyennes fréquences émises par le ventilateur.
Réseaux de soufflage isolés.
Vitesses faibles.

**PROSCRIRE TOUT REGISTRE
A PROXIMITÉ DE LA SALLE**

LES REPRISES 1

En partie haute, elles sont parfois proches des plus hauts gradins.
Leur section doit donc être dimensionnée avec des vitesses d'air cohérentes pour tenir compte de l'aspect acoustique.

*Silencieux secondaires
de grande section ou traitement
absorbant :*

- évite les interphonies,
- piège les éventuelles transmissions ou régénérations,
- vitesse dans le silencieux très faible.

Les bouches de sol pour auditorium sont étudiées pour permettre de faibles vitesses d'air (chevilles, nuques, coudes), et une perte de charge suffisante à l'auto-équilibre sans pour autant créer des niveaux sonores trop importants.

IV - LE LOGEMENT

I - Contexte réglementaire

- Nouvelle Réglementation acoustique instituée par l'arrêté du 28 Octobre 1994 et modifiée par l'arrêté du 30 juin 1999
- Arrêté du 6 Octobre 1978 concernant l'isolement de façade et complété par celui du 9 Janvier 1995 concernant la zone d'habitation
- Décret n° 95-408 du 18 Avril 1995 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage.
- Réglementation thermique 2000

II - Règles de conception

- Le ventilateur d'extraction doit être désolidarisé du réseau et de la dalle pour réduire les risques de transmissions. Mais il faut aussi veiller à son emplacement afin que le niveau sonore qu'il rayonne ne gêne ni les voisins, ni les occupants du bâtiment.
- Les bouches de VMC doivent être silencieuses.
- L'interphonie entre logements doit être évitée (pas de piquages en croix, isolement normalisé des bouches).
- Les entrées d'air sont choisies selon l'isolement de façade requis. Néanmoins, tous les éléments de la façade (murs, menuiseries, entrées d'air...) entrent en compte dans le calcul.

III - Les solutions

- Entrées d'air acoustiques, compatibles N.R.A., Isola 2
- Capuchons de façades, CE2A.
- Bouches d'extraction VMC Alizée, Alizée Hygro et MIA
- Caissons d'extraction, VLI et Sirius
- Silencieux cylindriques VMC, SC VMC
- Plots et manchettes antivibratoires
- Conduits acoustiques, Phoni-Flex, CAF et TM

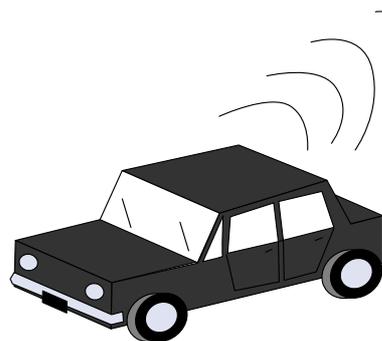
LES RÉGLEMENTATIONS



- NRA
- Décret du 9 janvier 1995 (isolements de façades)

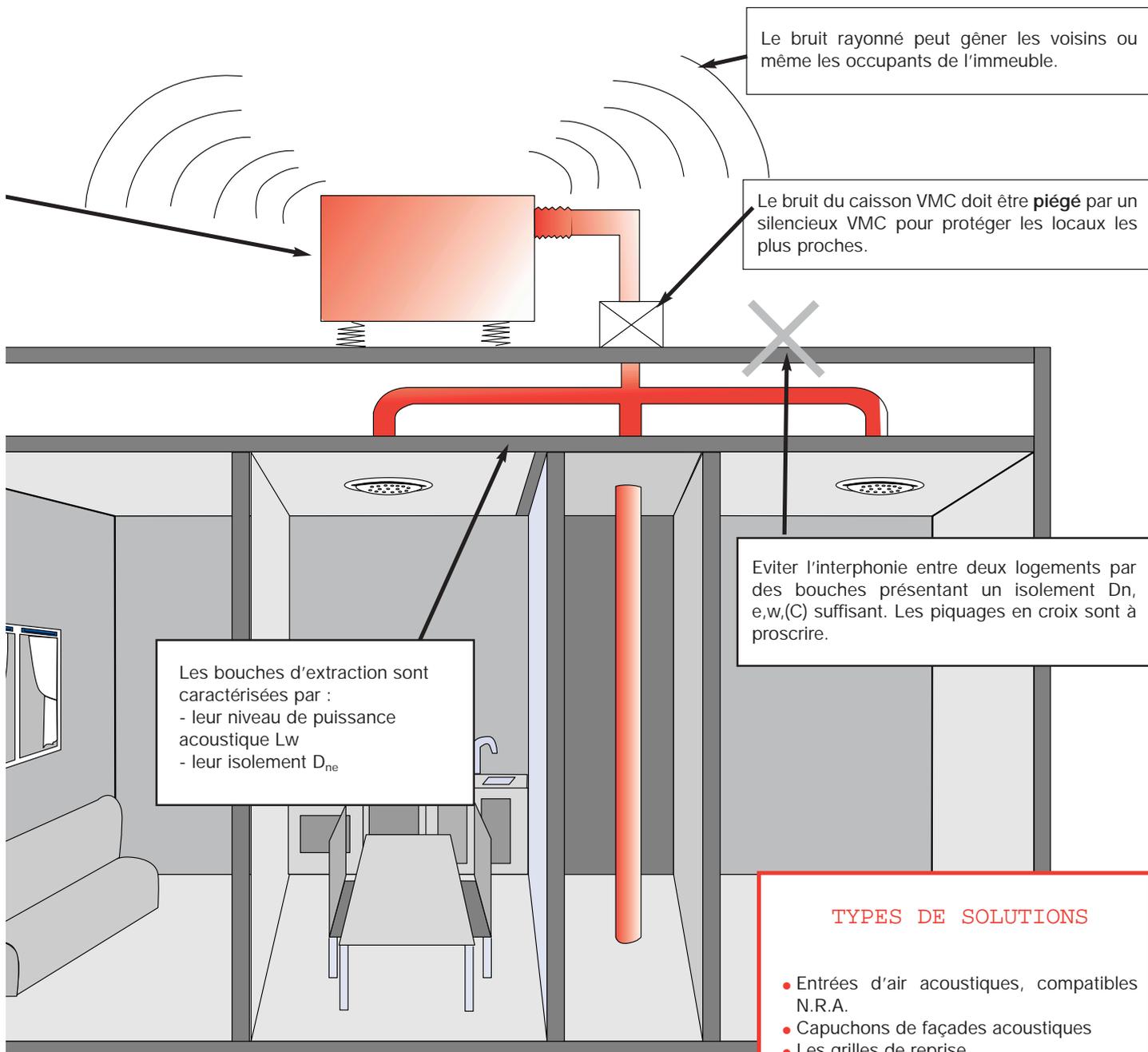
Le bruit solidien peut se transférer aux logements de dessous. Ne pas placer le caisson au-dessus des pièces principales. **Désolidariser** du réseau et de la dalle.

L'isolement de façade $D_{nT,A,tr}$ dépend de tous les composants de la façade : parois menuiserie entrée d'air. Pour l'entrée dans l'air choisir $D_{n,e,w}$ (C tr) @ $D_{nT,A,tr} + 6$ en première approche.



LES POINTS À SURVEILLER :

- Isolement de la façade
- Interphonie inter-locaux
- Bruits aériens et solidiens
- Bruits de voisinage



TYPES DE SOLUTIONS

- Entrées d'air acoustiques, compatibles N.R.A.
- Capuchons de façades acoustiques
- Les grilles de reprise
- Bouches d'extraction VMC
- Caissons d'extraction
- Silencieux cylindriques VMC
- Plots et manchettes antivibratoires
- Conduits acoustiques

© france AIR

V - VENTILATION DES LOCAUX TECHNIQUES

Groupes électrogènes Groupes frigorifiques Centrales d'air etc...

I - Contexte réglementaire

- Bruits de voisinage
- Installations classées
- Code du Travail

RÉGLEMENTATION

- Bruits de voisinage
- Installation classée

II - Règles de conception

- Les groupes électrogènes ou les ensembles (compresseurs, centrales d'air) présentent des niveaux de puissance élevés (généralement 90 dB(A)) et fortement marqués dans les basses fréquences de 63 à 500 Hz. Ces groupes sont parfois placés en batterie dans une même enceinte acoustiquement isolée et peuvent parfois fonctionner simultanément.
- Les débits nécessaires peuvent donc être assez élevés suivant le nombre de groupes présents. Quelles que soient les entrées d'air (statiques...) elles doivent être fortement traitées acoustiquement par des silencieux ou grilles acoustiques surtout pour les basses fréquences.
- Les rejets assurés par des ventilateurs axiaux ou autres devront également être traités.
- Le niveau sonore résultant de l'ensemble des matériels installés (groupes électrogènes, compresseurs, centrales...) est généralement prédominant sur celui des ventilateurs d'extraction.

III - Les solutions

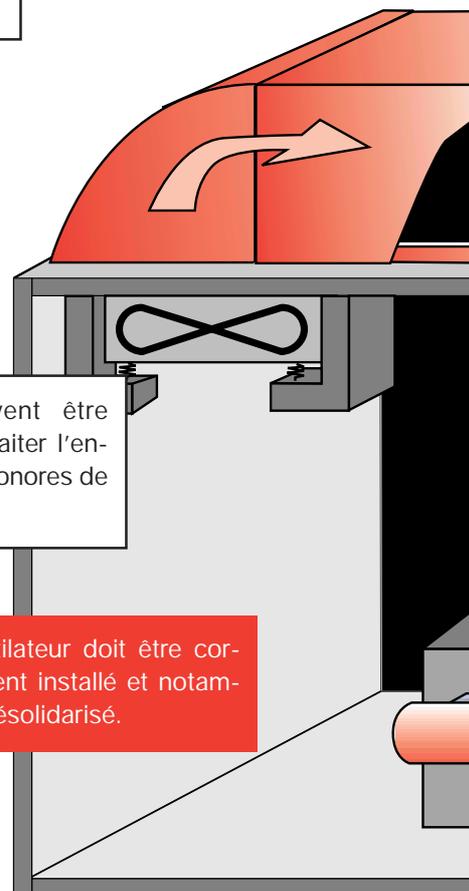
- Ventilateurs axiaux type AXALU 2
- Silencieux acoustiques basses fréquences OCTAVE
- Volets motorisés type LDT
- Grilles acoustiques ATSON
- Grilles GAO

Les silencieux doivent être dimensionnés pour traiter l'ensemble des sources sonores de l'enceinte.

Le ventilateur doit être correctement installé et notamment désolidarisé.

C.C.T.P.

- Prévoir des sections de rejet et d'aspiration suffisantes pour permettre un traitement acoustique efficace.
- Eloigner le plus possible le ou les rejets des voisins et de leur vue.



A la sortie d'un rejet, le son est directif. Eloigner et orienter les rejets de manière judicieuse.

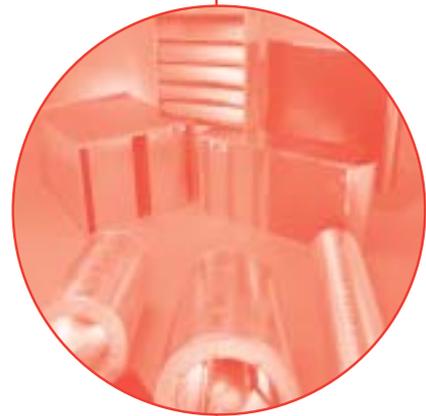
L'entrée d'air peut être statique mais dans tous les cas doit être traitée par un silencieux adapté (généralement basses fréquences).

Afin de limiter les transmissions par les parois (cf court-circuitage page 18), les silencieux sont généralement montés de part et d'autre de la paroi de l'enceinte

TYPES DE SOLUTIONS

- Ventilateur axial type AXALU 2 ou HELIPAC
- Silencieux basses fréquences OCTAVE
- Volets motorisés type LDT
- Grilles à ailettes orientables GAO
- Grilles acoustiques ATSON, extérieures GLA, GLF, GEA, GRA
- Dispositifs antivibratoires

Chapitre 5



LES EQUIPEMENTS

I - LES SILENCIEUX RECTANGULAIRES

1.1 - Principe



De **différentes formes** (rectangulaires, cylindriques), les silencieux "piègent" le son grâce à des matériaux absorbants (généralement laine minérale protégée par un voile évitant le défibrage). Il s'agit d'un système dissipatif de l'énergie sonore sous forme de chaleur.

Dans un silencieux à baffles parallèles, le niveau sonore est piégé dans les premiers mètres.

Au delà d'environ trois mètres, l'onde redevenue plane ne frappe plus les parois et l'atténuation se limite d'elle-même. (Fig.1)

Lorsque l'on combine deux silencieux, la rupture dans la continuité permettra de limiter cet effet.

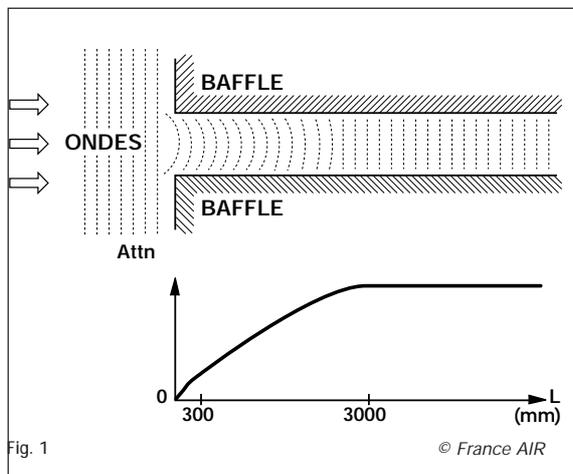


Fig. 1 © France AIR

Cependant, on ne peut ajouter inconsidérément les atténuations. On se limitera à une atténuation maximale et on veillera à espacer le plus possible les silencieux, voire à insérer une chambre de détente entre les deux. (Fig.2).

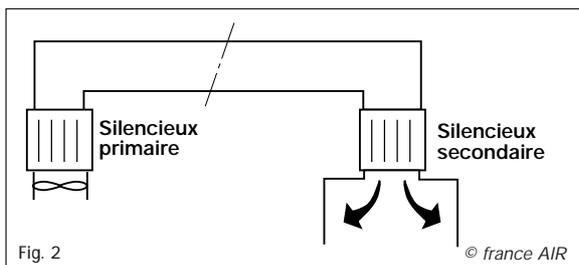


Fig. 2 © france AIR

Comme tout élément du réseau, le silencieux atténue le niveau sonore, mais est aussi susceptible de régénérer du bruit suivant la vitesse de passage. (Fig.3)

VITESSE	m/s	5	6	7,2	8	11	13	15	19
Lp souhaité dans le local	dBA	30	35	40	45	50	55	60	65

Fig. 3

© france AIR

L'atténuation est d'autant meilleure que l'espacement inter-baffles est faible. Il faut donc trouver le meilleur compromis entre cet espacement et une vitesse d'air correcte. Ceci déterminera la section optimale du silencieux, généralement supérieure à celle du conduit. (Fig. 4a et 4b).

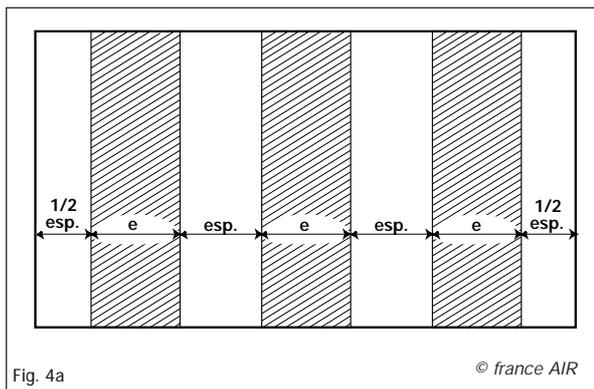
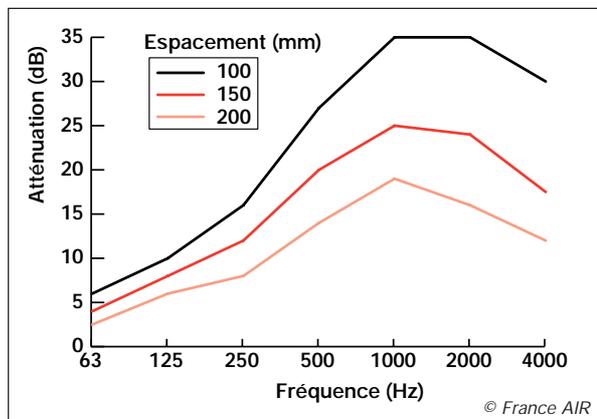


Fig. 4a

© france AIR



© France AIR

Ces silencieux classiques sont particulièrement efficaces en moyennes et hautes fréquences. Les basses fréquences sont plus difficiles à piéger ; on utilise alors des tôles dites "résonatrices", placées en quinconce, qui vont permettre, grâce à des perforations adaptées, de piéger ces basses fréquences. (Fig. 5a et 5b)

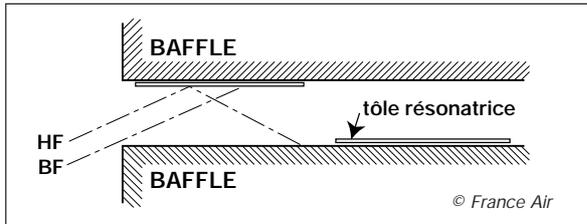


Fig. 5a

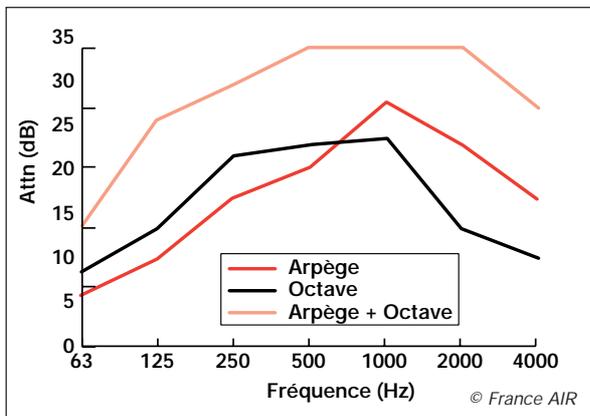


Fig. 5b

La quinconce permet de ne pas trop réduire l'efficacité des hautes fréquences. La gamme des silencieux OCTAVE, grâce à cette combinaison, permet d'obtenir une atténuation élevée dans les basses et moyennes fréquences (les plus difficiles à piéger), tout en gardant des performances correctes dans les hautes.

Si l'on cherche à obtenir une atténuation élevée dans toutes les fréquences, on combinera les deux types de silencieux (fig. 5b).

I.2 - Installation du silencieux en ambiance bruyante

Ambiance bruyante : Risque de court-circuitage

Lorsqu'un silencieux est positionné dans le local technique souvent bruyant, il convient de vérifier le non court-circuitage de ce dernier. En effet, le niveau ambiant du local peut entrer à nouveau par les parois du silencieux et du conduit aval (Fig. 1).

Il conviendrait :

- soit d'installer le silencieux en traversée du mur qui sépare le local bruyant des locaux calmes (si le clapet coupe feu le permet) (Fig. 2) ;
- soit d'isoler latéralement le silencieux et le conduit aval des éventuelles transmissions par les parois (Fig. 3), notamment par l'emploi d'un caisson isolé.

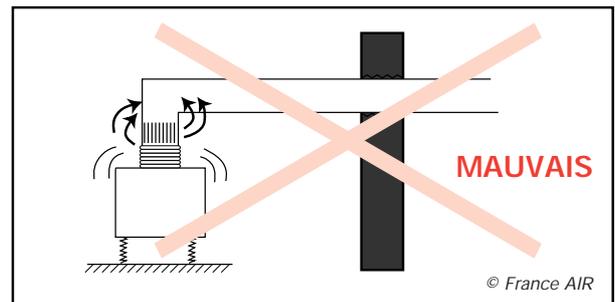


Fig. 1

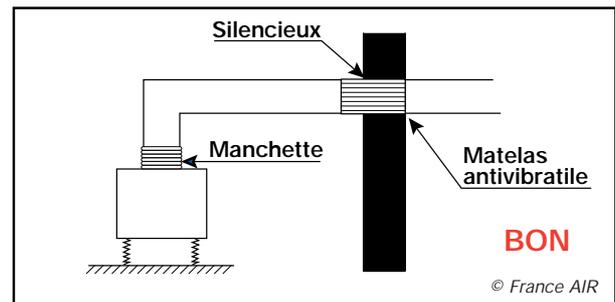


Fig. 2

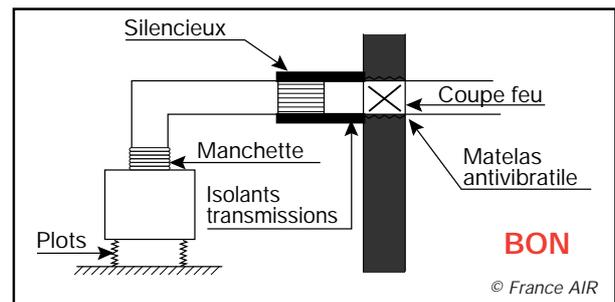


Fig. 3

II - LES VENTILATEURS

II.1 - Généralités

Les ventilateurs se décomposent en deux grandes familles:

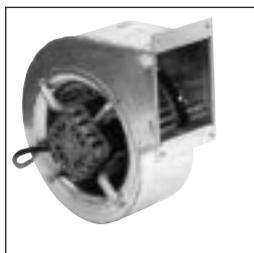
- Les ventilateurs axiaux ou hélicoïdes.



- Les Ventilateurs centrifuges (Action ou réaction).

Série simple ouïe

Série double ouïe



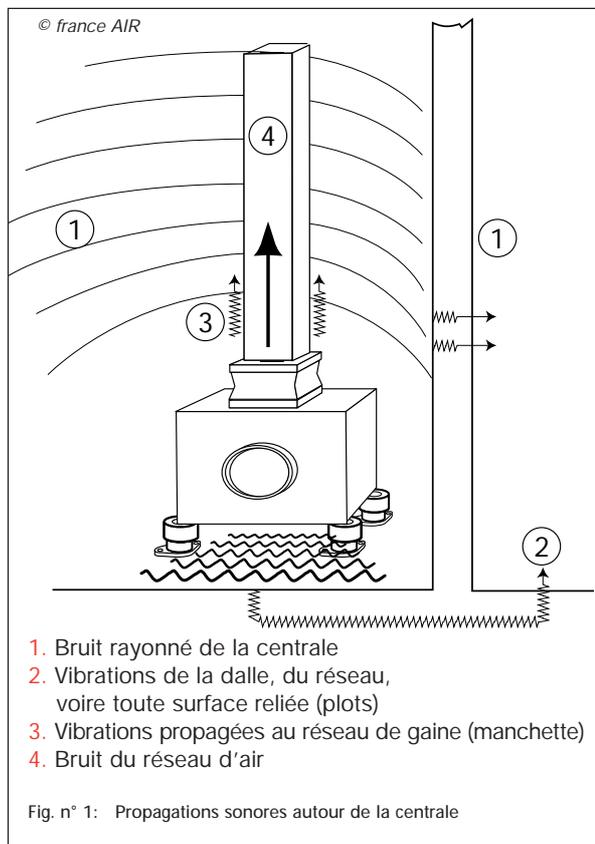
© france AIR



© france AIR

Comme toute machine tournante, les ventilateurs génèrent des bruits d'origines diverses : aéraulique, mécanique, électromagnétique... , ainsi que des vibrations. La puissance sonore du ventilateur va se répartir en un bruit rayonné autour du caisson et un bruit qui se propagera dans le réseau (aspiration et refoulement).

Si les vibrations ne sont pas piégées par un traitement antivibratoire (manchettes souples, plots...), elles se propageront par voies solides dans le réseau, la dalle... (Fig. n° 1).



- Traitement antivibratoire conseillé:

Plots
antivibratoires
(Bruit n° 2)



Manchettes
souples
(Bruit n° 3)



Un ventilateur donné génère plus ou moins de bruit, selon:

- son point de fonctionnement
- son rendement
- sa vitesse de rotation
- le nombre et l'inclinaison des pales ou des ailettes.

Mais le niveau sonore de chaque ventilateur dépend également de sa construction (équilibrage et homogénéité des pales et de la turbine).

Figure 1

Radiographie de moyeu

Visualisant l'homogénéité des masses. Ces tests permettent entre autre de faciliter l'équilibrage et d'éviter les balourds.

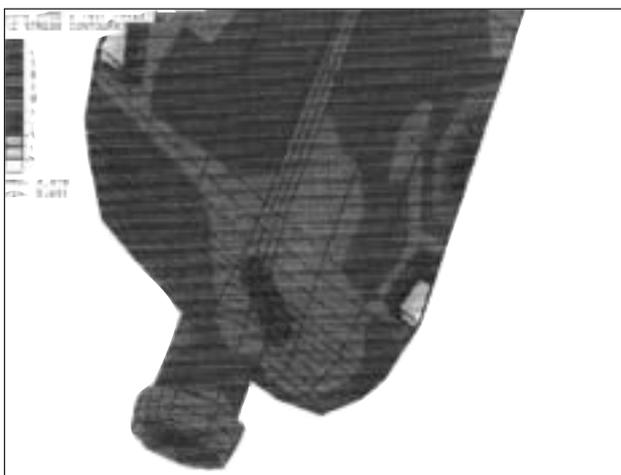
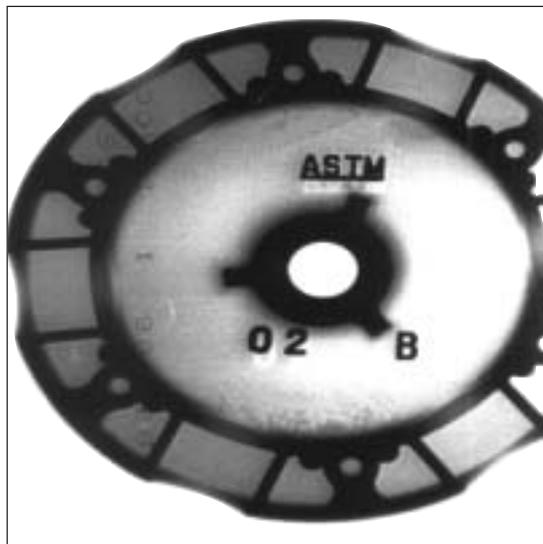
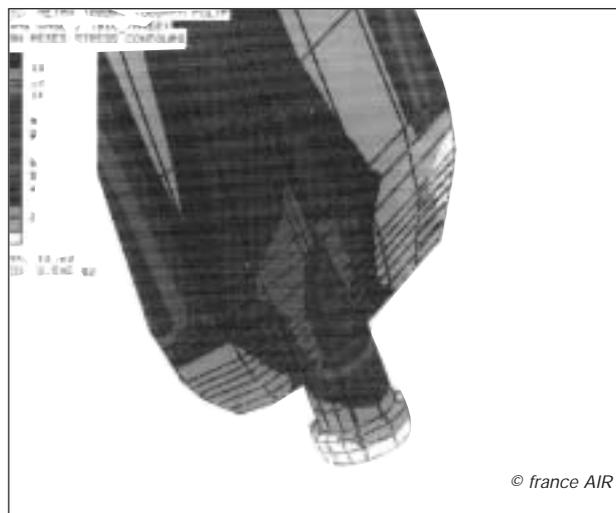


Figure 2 - Figure 3
Visualisation des contraintes dans les pales
Homogénéité et équilibrage des pales.



© france AIR

II - LES VENTILATEURS (suite)

II.2 - Les axiaux

Grâce à leur installation facile, leur encombrement réduit, leur bon rendement et niveau sonore, ainsi que leur possibilité de monter en débit, les ventilateurs axiaux sont souvent utilisés, et notamment en parking.

Si leur niveau global est faible, leur spectre présente surtout des valeurs élevées dans les basses fréquences. Il varie bien sûr en fonction du rendement et de la vitesse de rotation du ventilateur. (Fig. n° 2)

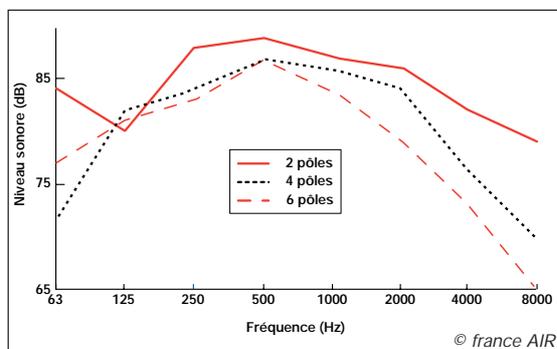


Fig. n° 2 : Influence de la vitesse de rotation sur le niveau sonore d'un axial (débit et pression constantes).

Il est donc particulièrement important de s'imposer un rendement correct (généralement 70%) dès le cahier des charges.

Pour un niveau global presque identique, le nombre de pales crée une pointe dans la fréquence du spectre, dite "fréquence de pale". Cette fréquence de pale se calcule par la formule suivante:

$$f = \frac{nN}{60}$$

avec n = nombre de pales
 N = vitesse de rotation (tr/ mn)

Elle se retrouvera par une pointe de quelques décibels dans une des bandes d'octave entre 63 et 250 Hz (Fig. n° 3).

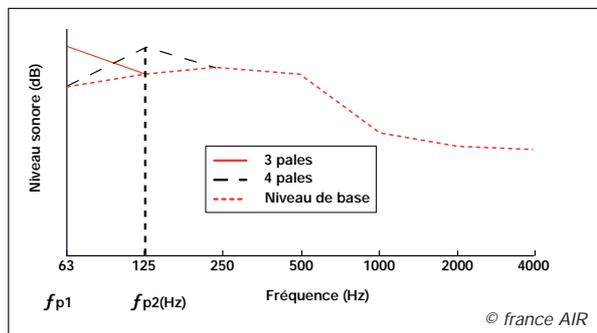


Fig. n° 3 : Influence du nombre de pales sur le niveau sonore d'un axial.

Les silencieux OCTAVE, particulièrement adaptés au traitement des basses fréquences, sont souvent associés aux ventilateurs axiaux.

II.3 - Les centrifuges

Les centrifuges à action sont les plus couramment utilisés grâce à leur adéquation en débit-pression aux utilisations classiques du génie climatique. Leur niveau sonore reste assez faible et leur spectre présente un maximum dans les moyennes fréquences, ce qui facilite leur traitement acoustique.

Les centrifuges à réaction sont utilisés pour les applications qui nécessitent des pressions élevées (industrie, hôpitaux...). Bien que leur rendement soit assez élevé, leur niveau sonore est plus important, surtout dans les basses fréquences (Fig. n° 4)

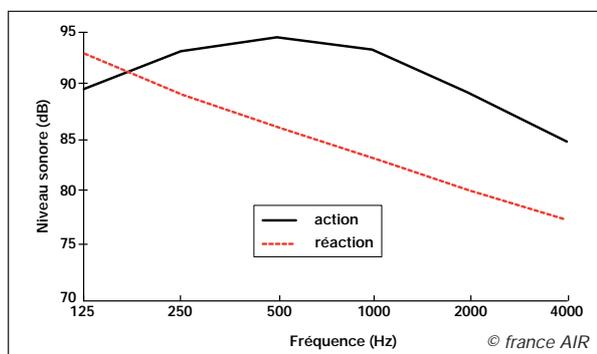
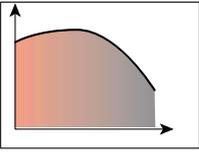
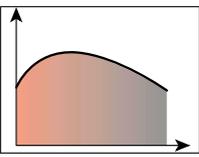
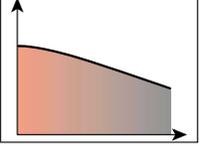


Fig. n° 4 : Spectres sonores des ventilateurs centrifuges.

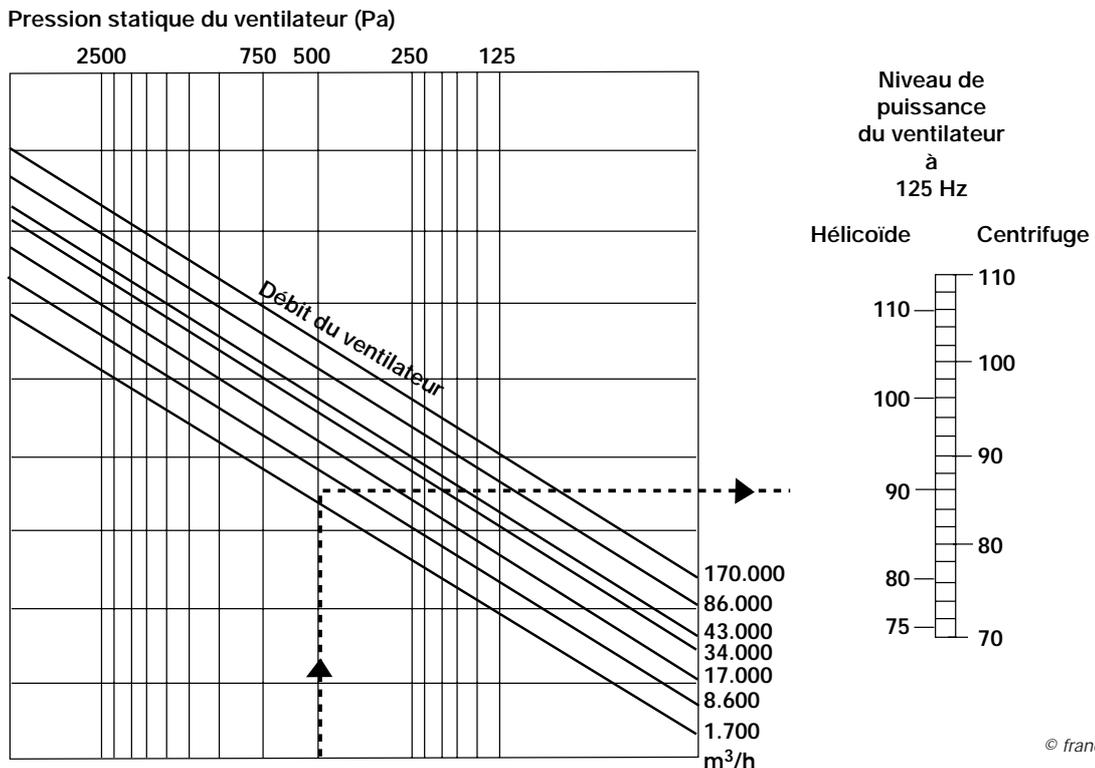
II.4 - Traitement acoustique des ventilateurs

	TYPE	APPLICATION	FORME SPECTRE	TRAITEMENT
HELICOÏDE	AXIAL	Parking		OCTAVE Spécial Basses Fréquences
	ACTION	Génie climatique		ARPÈGE
CENTRIFUGE	RÉACTION	Industrie CTA Hôpitaux		OCTAVE Spécial Basses Fréquences

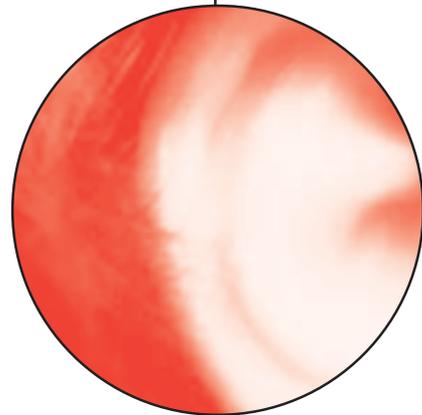
© france AIR

II.5 - Estimation des niveaux sonores des ventilateurs

Lors d'une préétude, la littérature approche par les abaques suivantes le niveau sonore d'un ventilateur. Cette estimation doit être pondérée par des corrections de rendement et de vitesse de rotation, et ne peut de toute façon pas tenir compte des paramètres de construction du ventilateur. Pour l'étude finale, il est nécessaire de se baser sur les valeurs réelles.



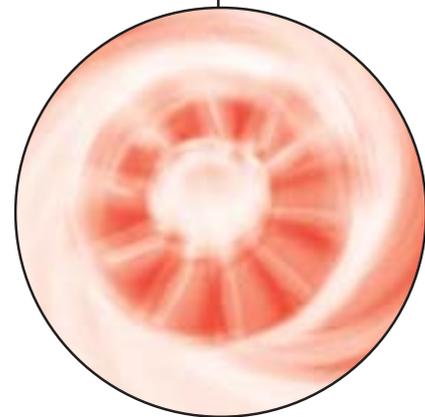
Annexes



ANNEXES

- 1-Rappels Généraux
- 2-L'Acoustique en Aéraulique
- 3-Le point sur la réglementation
- 4-Glossaire
- 5-Abrévations
- 6-Bibliographie

Annexe 1

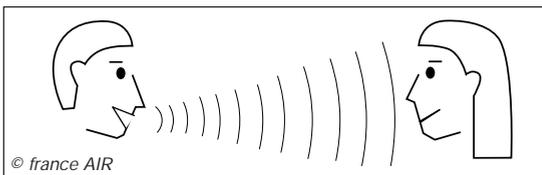


RAPPELS GÉNÉRAUX

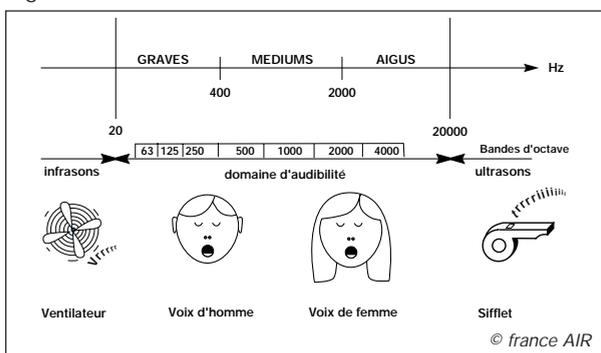
I - LE SON

I.1 - Généralités

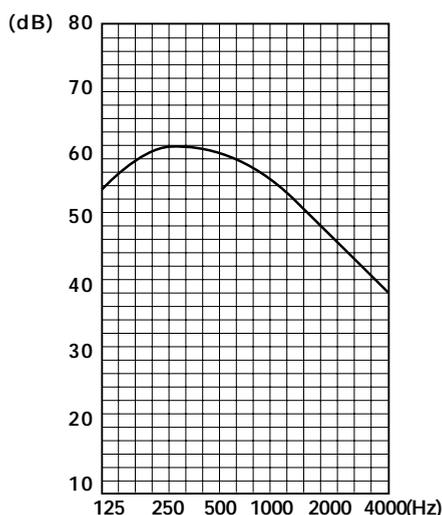
Le son est un phénomène ondulatoire et vibratoire qui se propage dans l'air. La hauteur du son dépend de la fréquence des vibrations qui sont à son origine.



Un son pur résonne sur une fréquence unique :
Le bruit, lui, est un mélange de sons, donc de plusieurs fréquences, qui s'échelonnent entre les sons graves et les sons aigus.



Chaque bruit est donc une composition de fréquences dont on peut analyser le spectre sonore :

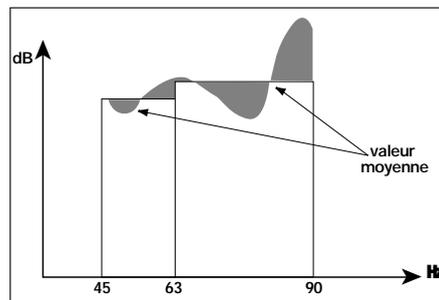


© france AIR

I.2 - L'analyse en OCTAVE

Le découpage de la bande de fréquence est basé sur des bandes d'octaves normalisées, centrées, en ventilation, sur les fréquences 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 et 4000 Hz.

Exemple :



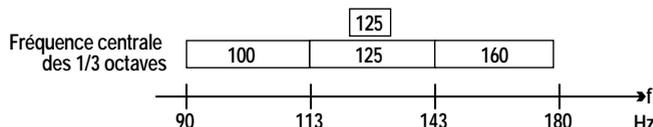
© france AIR

Remarque 1 : La fréquence centrale double d'une bande à l'autre.

Remarque 2 : Même effectuées en laboratoire, les mesures à 63 Hz sont entachées d'une incertitude plus élevée, liées aux dimensions des locaux ; de ce fait, on utilisera surtout les fréquences de 125 à 4000 Hz.

I.3 - L'analyse en tiers d'OCTAVE

De la même façon que précédemment, la bande de fréquence est découpée en octaves, mais chaque octave est en outre divisée en trois tiers.



I.4 - Bruits blanc, rose et route

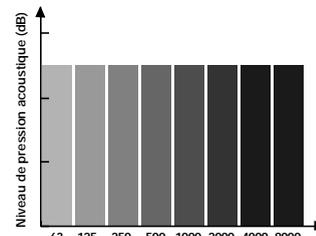
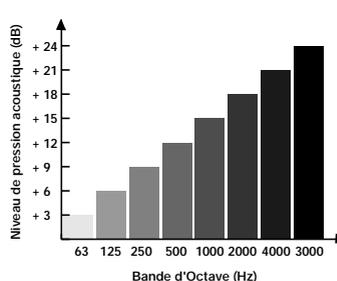
Ce sont des spectres prédéfinis :

Le bruit blanc

C'est un bruit dont le niveau sonore est constant pour toutes les bandes d'octave.

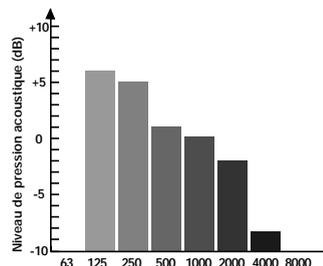
Le bruit rose

C'est un bruit dont le niveau sonore est constant pour toutes les bandes d'octave.



Le bruit route

C'est un bruit dont les niveaux sonores sont plus importants dans les fréquences graves. Cette répartition spectrale est fixée par l'arrêté d'Octobre 1978.



II - NIVEAU SONORE

Lorsque deux trains passent en même temps, la sensation auditive n'est pas doublée.

Cela impose l'introduction de logarithmes dans l'expression mathématique de la pression acoustique (ce que l'oreille perçoit) et de la puissance acoustique (ce que la source émet).

La sensation auditive varie (loi de FECHTNER) comme le logarithme de l'excitation. De ce fait, on exprime les niveaux (puissance, pression) en logarithme et par rapport à un seuil de perception de référence.

Variations de la pression	Impression de l'oreille	Logarithme (base 10)
Excitation	Sensation	
10	1	1 = log 10
100	2	2 = log 100
1000	3	3 = log 1000

Le niveau de puissance acoustique s'exprime en décibels (dB) et se définit par la relation suivante :

$$L_w = 10 \text{ Log} \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

avec

W = puissance en Watt.

W₀ = puissance de référence = 10⁻¹² Watt.

Les niveaux de pression acoustique s'expriment également en décibel, et se définissent par une relation similaire :

$$L_p = 10 \text{ Log} \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right)$$

avec

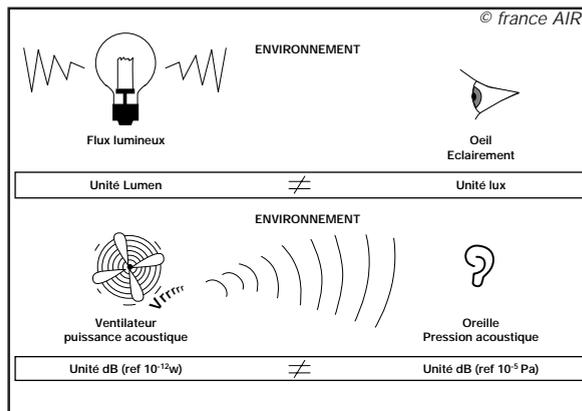
P = pression acoustique, en Pascal.

P₀ = pression de référence, seuil d'audibilité à 1000 Hz = 2.10⁻⁵ Pa.

ATTENTION !!!

Dans les deux cas, on parle de niveaux en décibels, mais ce sont deux grandeurs physiques différentes. Le passage de la puissance à la pression dépend des caractéristiques de l'environnement (cf p61).

Exemple



Conclusion :

- PUISSANCE :** Caractéristique intrinsèque du matériel
- PRESSION :** Caractérise le matériel dans un environnement donné

III - ADDITION DE NIVEAUX SONORES

Soit une puissance appliquée de 10^{-6} W. Le niveau sonore correspondant est de 60 dB :

$$10 \log \left(\frac{10^{-6}}{10^{-12}} \right) = 60 \text{ dB}$$

L'introduction des logarithmes fait que l'addition de deux niveaux sonores n'est pas une somme arithmétique, et donc

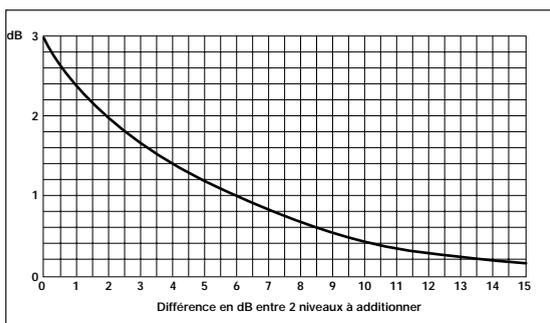
$$60 \text{ dB} \oplus 60 \text{ dB} \neq 120 \text{ dB}$$

En effet, en ajoutant les niveaux sonores, on ajoute arithmétiquement les puissances (ou pressions) appliquées, et le calcul du niveau sonore final se fait de la manière suivante :

$$\begin{aligned} L_w &= 10 \log (2 * 10^{-6} / 10^{-12}) \\ &= 10 \log 2 + 10 \log (10^{-6} / 10^{-12}) \\ &= 3 + 60 \\ &= 63 \text{ dB} \end{aligned}$$

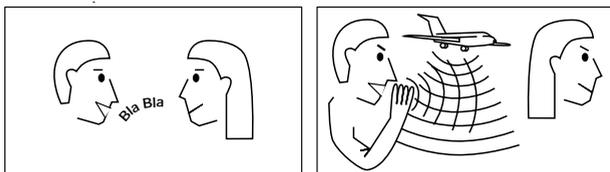
Donc $60 \text{ dB} \oplus 60 \text{ dB} = 63 \text{ dB}$

D'une manière pratique, pour connaître le résultat d'une addition de deux niveaux sonores, il suffit de se référer à l'abaque ci-après, et lire, à partir de la différence entre les deux niveaux, la valeur à ajouter au niveau le plus grand.



L'EFFET DE MASQUE

Au quotidien, nous pouvons aisément remarquer que certains bruits viennent en couvrir d'autres. Les sons couverts ne disparaissent pas ; ils sont "masqués" par les bruits de niveaux supérieurs d'au moins 10 dB. En effet, la valeur à ajouter est alors négligeable et les bruits indésirables viennent atténuer l'intelligibilité des sons masqués.



IV - LES COURBES ISOPHONIQUES ET LA PONDERATION A

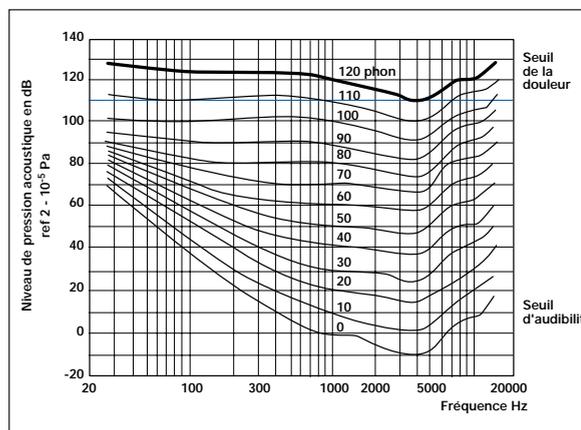
IV.1. Les courbes isophoniques

L'oreille humaine n'entend pas tous les sons de la même manière: 60 dB à 63 Hz (graves) ne sont pas aussi bien perçus que 60 dB à 1000 Hz (aigus). L'homme est donc plus réceptif aux hautes qu'aux basses fréquences.

Cela nous amène à introduire la notion de courbes isophoniques, c'est-à-dire des courbes d'égale sensation d'un son: ainsi, l'oreille perçoit la même sensation pour :

- un son de 50 dB à 100 Hz et
- un son de 20 dB à 1000 Hz

Diagramme Fletcher - Munson
Courbes isophoniques



IV.2 - La pondération A

Des courbes isophoniques, on a déduit une pondération "A" restituant la sensibilité différentielle de l'oreille en fonction des fréquences, où le niveau des basses fréquences, peu entendues, est abaissé. Le dB(A) représente ce qu'entend l'oreille pour des niveaux faibles (< 60 dB(A)).

Pour calculer cette pondération, on ajoutera les coefficients suivants à la valeur réelle en dB.

Fréquence Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
Pondération A	-26,7	-16,1	- 8,3	-3,2	0	+ 1,2	+1

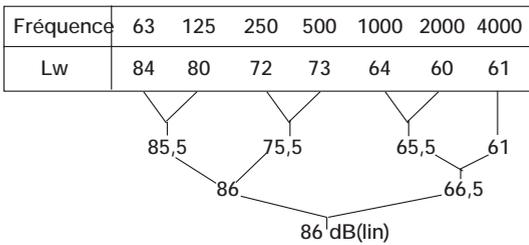
NOTA : pour bien distinguer le dB(A) du dB non pondéré, on appelle souvent ce dernier dB(lin).

V - CALCUL DU NIVEAU GLOBAL

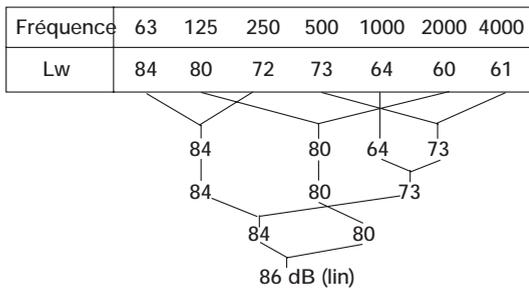
En considérant un spectre en bande d'octave, le calcul du niveau global se réalise en ajoutant deux à deux les valeurs des niveaux de chaque bande de fréquence, selon la méthode de calcul décrite précédemment.

Remarque: Ce niveau global peut être calculé soit en dB(lin), soit en dB(A).

Exemple 1 : Calcul du niveau global en dB(lin)
Soit un ventilateur à réaction dont le spectre est :

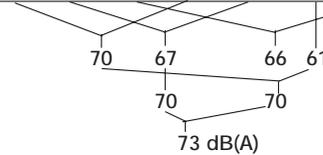


NOTA : Le résultat sera le même quels que soient les regroupements faits (il n'est pas obligatoire que les valeurs à ajouter deux à deux soient contiguës). Pour aller plus vite, on peut commencer par regrouper des valeurs différentes d'au moins 10 dB: lorsque deux niveaux sonores ont au moins 10 dB d'écart, le plus grand couvre l'autre: $60 \text{ dB} + 70 \text{ dB} = 70 \text{ dB}$. Il est donc préférable d'ajouter les niveaux sonores qui ont cet écart afin d'avoir le moins souvent possible recours à l'abaque.



Exemple 2: Calcul du niveau global en dB(A)

Fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000
Lw	84	80	72	73	64	60	61
Pondération A	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1
dB(A)	58	64	63	70	64	61	62



NOTA: Utiliser le spectre en dB(A) peut être source de confusion ; ce n'est qu'un intermédiaire de calcul du niveau global.

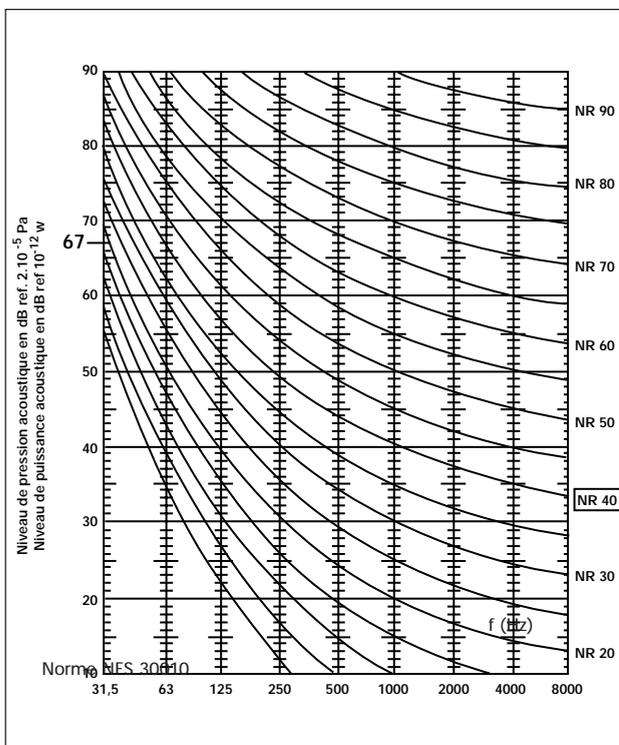
En général, on utilise le dB(lin) en spectre, et le dB(A) en global.

VI - LES CRITERES DE CONFORT

Deux spectres sonores différents mais identiques en niveau global dB(A) peuvent représenter une gêne différente, notamment si un de ces spectres présente une émergence significative dans une bande par rapport aux bandes adjacentes. Pour des raisons de confort, plusieurs critères ont été définis afin de prendre en compte ce phénomène, tels que le Noise Criteria (NC), utilisé aux Etats-Unis, et le Noise Rating (NR) adopté en norme ISO et NF.

Le Noise Rating (ISO)

Pour respecter une courbe NR donnée, il faut que le spectre se situe en dessous de la courbe NR sur toutes les bandes de fréquences.



Remarque: A 1000 Hz, la courbe NR 40 passe à 40 dB, le NR 30 à 30 dB, etc. 1000 Hz sert de référence.

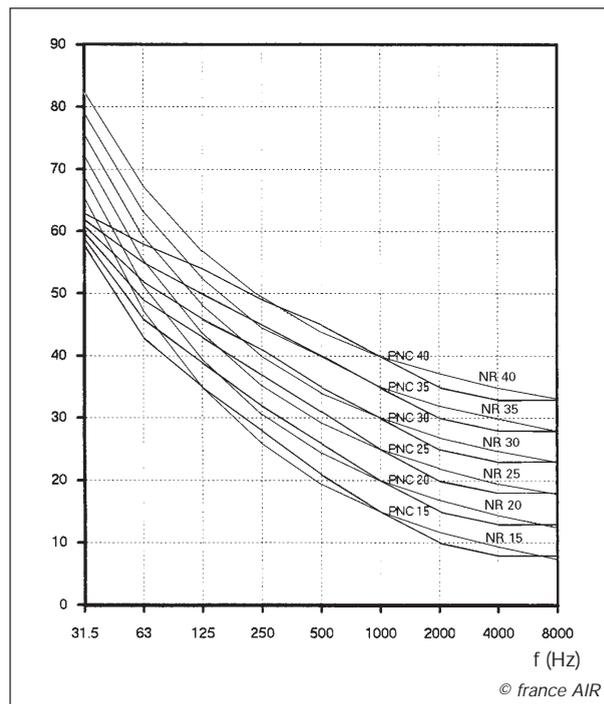
Le Preferred Noise Criteria (PNC)

Les seuils maximaux de niveaux de bruit de fond peuvent être fixés par référence aux courbes PNC (Critère de bruit préféré ou "Preferred Noise Criteria"). Les valeurs PNC sont communiquées ci-dessous en terme de niveaux de pression acoustique par bande d'octave.

Bandes d'octave (HZ)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
PNC-15	58	43	35	28	21	15	10	8	8
PNC-20	59	46	39	32	26	20	15	13	13
PNC-25	60	49	43	37	31	25	20	18	18
PNC-30	61	52	46	41	35	30	25	23	23
PNC-35	62	55	55	45	40	35	30	28	28
PNC-40	64	59	54,5	49,5	44,5	40	36	33	33

Niveau de pression acoustique par bande d'octave
Courbes PNC

Les critères de niveaux de bruit de fond limite exprimés par référence au réseau de courbe PNC sont semblables dans leur principe à l'approche définie dans la norme NF S 30-010 par référence au réseau de courbes NR (voir graphique comparaison des courbes). Seuls les niveaux de pression acoustique par bande d'octave diffèrent.



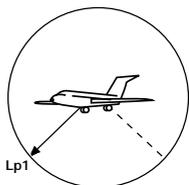
Comparaison courbes PNC - courbes NR

VII - LE CHAMP LIBRE

VII.1 - Décroissance liée à la distance

Quand une source sonore ponctuelle rayonne uniformément en champ libre, la pression se répartit sur une sphère autour de la source.

Le niveau de pression décroît en fonction inverse du carré de la distance.



$$Lp1 = Lw + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r1^2} \right)$$

CHAMP LIBRE

Il en résulte trois règles :

1. Chaque fois que l'on double la distance, le niveau de pression acoustique décroît de 6 dB.
2. Pour passer du niveau de puissance au niveau de pression à 1 mètre, on retranche 11 dB

$$10 \log \left(\frac{1}{4\pi} \right).$$

3. Pour passer d'un niveau de pression acoustique à la distance r1 à celui de r2, on applique :

$$20 \log \left(\frac{r1}{r2} \right).$$

Exemple : $20 \log \left(\frac{1}{10} \right) = -20\text{dB}$

D'une manière générale, les échelles ci-dessous permettent de passer de la puissance à la pression à une distance quelconque de la source:

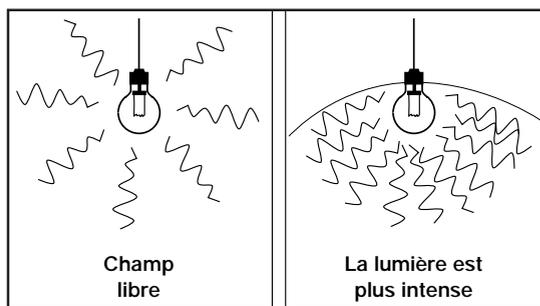
Exemple:

$Lw = 80 \text{ dB(A)}$
Le niveau de pression à 5 m sera
 $Lp(5m) = 80 - 25 = 55 \text{ dB(A)}$

(m)		(m)	
10	-30	100	-51
9	-29	90	-50
8	-28	80	-49
7	-27	70	-48
6	-26	60	-47
5	-25	50	-46
4	-24	40	-45
3	-23	30	-44
2	-22	25	-43
1	-21	20	-42
	-20	15	-41
	-19	10	-40
	-18	5	-39
	-17		-38
	-16		-37
	-15		-36
	-14		-35
	-13		-34
	-12		-33
	-11		-32
	-10		-31

VII.2 - Directivité

Généralement, les sources sonores sont proches d'une paroi et le son rayonne alors suivant un demi ou un quart de sphère. On peut mettre en parallèle, pour plus de clarté, le phénomène acoustique avec le phénomène lumineux, puisque c'est le même principe de rayonnement.



© france AIR

Si on suppose que la pression s'exerce de façon uniforme sur la portion de sphère, cela conduit à la formule suivante:

$$Lp = Lw + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right)$$

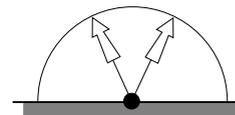
soit

$$Lp = Lw + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} \right) + 10 \log Q$$

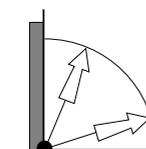
formule en champ libre
correction de directivité en dB

On définit alors un facteur de correction qui est la **directivité**.

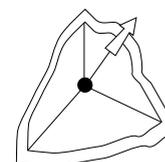
- Surface plane = $Q = 2$
demi-sphère = +3 dB



- Jonction de deux surfaces = $Q = 4$
1/4 sphère = +6 dB



- Jonction de trois surfaces = $Q = 8$
1/8 sphère = +9 dB



© france AIR

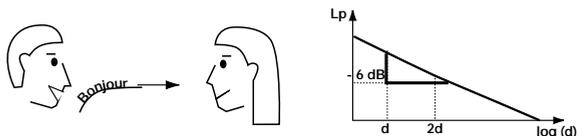
Exemple : on a vu précédemment qu'un niveau $Lw = 80 \text{ dB(A)}$ donnait une pression en sphérique à 5 m de 55 dB(A). Si la source est posée au sol (1/2 sphère) la pression sera de $55 + 3 = 58 \text{ dB (A)}$

VIII - LA REVERBERATION

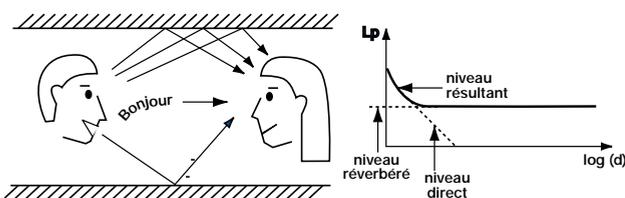
VIII.1 - Niveau direct et niveau réverbéré

Le niveau à l'auditeur dépend de deux composantes:

- l'onde directe



- le champ réverbéré

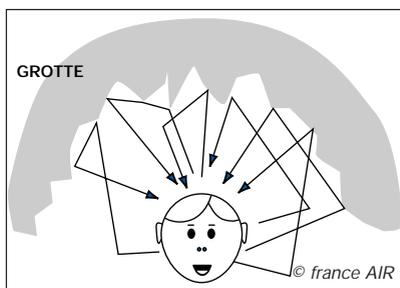


© france AIR

Nous avons vu que l'onde directe dépendait de la distance à l'auditeur et de la correction de directivité. Le champ réverbéré, lui, est essentiellement dû aux différentes réflexions de l'onde sonore dans le local. Il se calcule à partir du temps de réverbération, caractéristique de ce même local.

Les ondes sonores se répercutent contre les parois de la grotte et reviennent à l'auditeur. Ces répercussions font que la pression acoustique, une fois en régime établi, est presque la même en tout point de l'espace à l'intérieur de la grotte.

On parle alors de "champ diffus".



© france AIR

VIII.2 - Le temps de réverbération

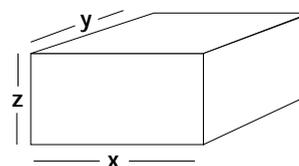
Le temps de réverbération est le temps que met le niveau de pression pour décroître de 60 dB après extinction de la source. Il s'exprime en secondes. Plus ce temps est long, plus le local est dit "vif".

Ordres de grandeur:

Tr	4 à 6 s	églises
	1 à 3 s	salles de concert
	0,5 s	bureaux
	0,6 à 0,8 s	cinémas

FORMULE DE SABINE

La formule de Sabine permet de lier le temps de réverbération (tr) au coefficient moyen d'absorption \bar{a} du local.



avec

- S = surface totale du local = $2(x y + y z + x z)$
- V = volume total du local = $x y z$
- \bar{a}_s = coefficient moyen d'absorption du local.

$$Tr = 0,161 \frac{V}{S \bar{a}_s}$$

Cela nous permet d'obtenir la constante de salle :

$$R = \frac{S \bar{a}_s}{1 - \bar{a}_s}$$

Remarque :

On se réfère souvent à $S \bar{a}_s = 10 \text{ m}^2 \text{ Sabine}$ pour des locaux comme les bureaux, lorsque ces derniers ne sont pas connus.

Les coefficients \bar{a} des matériaux, qui servent au calcul du coefficient moyen du local, sont connus et accessibles dans diverses bases de données.

VIII - LA REVERBERATION (suite)

Cette constante de salle est donc fonction du volume, de la surface et du temps de réverbération caractéristiques du local étudié.

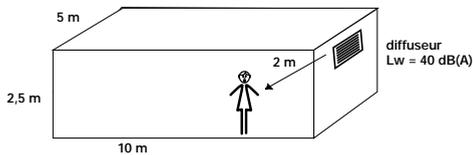
Le niveau résultant à l'auditeur est la somme des deux niveaux précédents :

$$L_p = L_p \text{ direct} + L_p \text{ réverbéré}$$

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

Exemple :

Soit un bureau avec les dimensions suivantes : 10 m de longueur, 5 m de largeur et 2,5 m de hauteur. Son temps de réverbération est de 0,6 s.



Le niveau final de pression acoustique à 2 mètres du diffuseur peut être calculé par la formule ci-dessus, mais cela nécessite une série de calculs que l'on peut éviter en utilisant la feuille de calcul ci-jointe. Cette méthode rapide fait appel à une série d'abaques qui fournissent les diverses corrections à apporter au niveau de puissance en dB(A) à la source.

??????

Cf. fiche de calcul vierge annexe p.

Le résultat peut être vérifié par la méthode complète de calcul suivante :

$$V = (10 \times 5 \times 2,5) = 125 \text{ m}^3$$

$$S = 2(10 \times 5 + 10 \times 2,5 + 5 \times 2,5) = 175 \text{ m}^2$$

$$a = 0,161 \cdot \frac{V}{S \cdot T_r} = 0,161 \cdot \frac{125}{175 \times 0,6} = 0,192$$

donc

$$R = \frac{(0,192 \times 175)}{(1 - 0,192)}$$

$$R = 41,49$$

et finalement

$$L_p = 40 - 10 \log \left(\frac{2}{4\pi \cdot 2^2} + \frac{4}{41,49} \right)$$

$$L_p = 31 \text{ dB(A)}$$

On retrouve effectivement le résultat de la fiche de calcul simplifié (cf page suivante)

FICHE DE CALCUL SIMPLIFIÉE

1. Niveau de puissance = ...⁴⁰... dB(A) (1)

2. Niveau de pression direct

- Distance à l'auditeur = ...²... m
- Se référer à la figure n°1-
Correction = ...¹⁷... dB (2)

- Directivité
- Se référer à la figure n°2-
Correction = ...³... dB (3)

Lpd = ...²⁶... dB(A) (4) = (1) + (2) + (3)

3. Niveau de pression réverbéré

(nul en champ libre (extérieur))

- Volume du local = ...¹²⁵... m³
- Se référer à la figure n°3-
Correction = ...⁷... dB (5)

- Temps de réverbération = ...^{0,6}... s
- Se référer à la figure n°4-
Correction = ...³... dB (6)

Lpr = ...³⁰... dB(A) (7) = (1) + (5) + (6)

4. Niveau final

- Se référer à la figure n°5-
30 - 26 = 4 → valeur à rajouter : 1 dB

Lp = Lpd + Lpr = ...³⁷... dB(A)

© france AIR

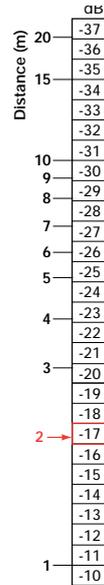
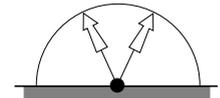
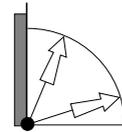


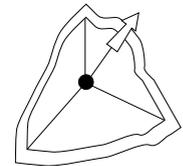
Fig. 1 : distance à l'auditeur



+ 3 dB — 1/2 sphère (mur, plafond...)



+ 6 dB — 1/4 sphère (angle de 2 murs)



+ 9 dB — 1/8 sphère (angle de 3 murs)

Fig. 2 : directivité

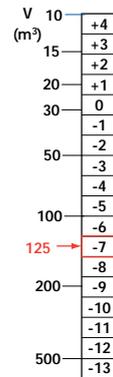


Fig. 3 : volume du local

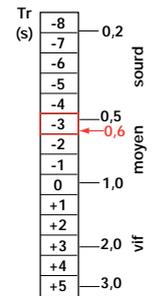


Fig. 4 : temps de réverbération

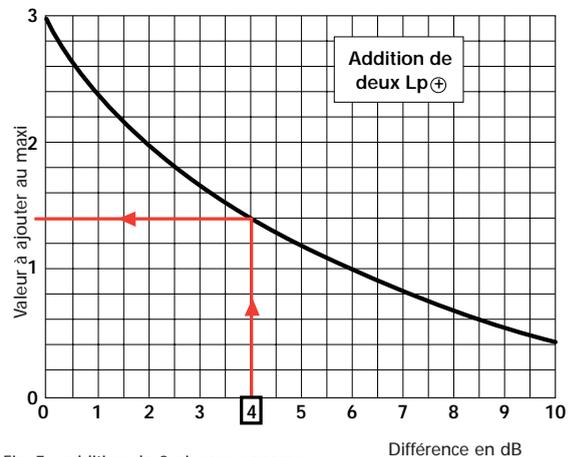
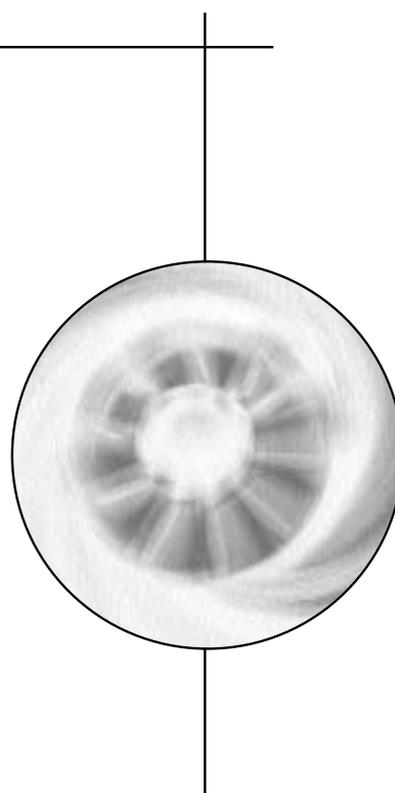


Fig. 5 : addition de 2 niveaux sonores

Annexe 2



L'ACOUSTIQUE EN AÉRAULIQUE

PRINCIPES

Lorsqu'un groupe est en fonctionnement, il génère du bruit qui va se propager dans son environnement (Fig. n° 1).

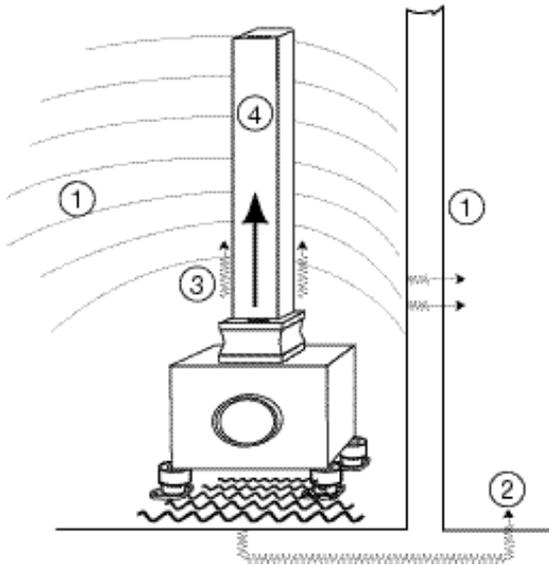


Fig. n° 1 : Propagation sonore dans le local technique.

- **Bruit n° 1** : Bruit rayonné de la centrale dans le local technique, qui peut ensuite être transmis par les parois.
- **Bruit n° 2** : La centrale est susceptible de faire vibrer la dalle, le réseau, voire toute surface rigidement reliée.
- **Bruit n° 3** : Les vibrations peuvent se propager au réseau de gaine.
- **Bruit n° 4** : Une grande partie du bruit se propage dans le réseau avec l'air, au soufflage et à l'aspiration.

On distingue ainsi deux sortes de bruits :

- **le bruit aérien** (bruit n° 1 et n° 4), qui transite par l'air. La puissance sonore du ventilateur notamment est transmise dans le réseau par voie aérienne. Sans capotage, cette puissance sonore va également se trouver partiellement rayonnée dans le local technique et, si aucune précaution n'est prise, sera transmise aux locaux contigus.
- **le bruit solide** (bruit n° 2 et n° 3) transite au travers des murs, de la dalle, etc... par vibrations. Il faudra alors veiller à isoler la centrale :

- par un isolement du mur suffisant, généralement prévu par l'acousticien dans une étude globale (bruit n° 1)
- par des plots antivibratoires et une dalle suffisamment épaisse empêchant la propagation du bruit à travers la dalle (bruit n° 2)
- par des manchettes installées dans le réseau pour faire obstacle aux vibrations (bruit n° 3).

LE NIVEAU DE BRUIT DANS LE RESEAU D'AIR

En supposant que les bruits n° 1, n° 2 et n° 3 ont déjà été traités, il reste donc à analyser l'évolution du niveau sonore, du ventilateur jusqu'au diffuseur.

Une fois canalisées, les ondes sonores se propagent mieux ; c'est ce même principe qu'observait, par exemple, le capitaine d'un navire lorsqu'il utilisait un tube en cuivre pour faire entendre ses ordres à l'autre bout du pont.

De même, les réseaux aérauliques sont de bons "conducteurs" de bruit, et si rien ne vient atténuer ce bruit, le niveau sonore du groupe est transmis par les conduits jusqu'aux locaux.

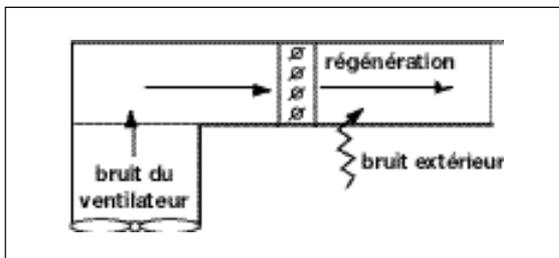
Au fur et à mesure que les ondes sonores frappent les parois, elles perdent une partie de leur énergie : cette énergie perdue est appelée "atténuation". De plus, chaque obstacle à l'écoulement de l'air (ex: coudes, tés...) contribue à améliorer l'atténuation à cause des turbulences créées.

C'est cependant là qu'apparaît un autre phénomène: la "régénération". Vitesse et turbulences génèrent ce bruit d'air qui vient s'ajouter à celui de la centrale.

Le groupe et les éventuelles régénérations du bruit ne sont pas les seules sources possibles: la traversée de locaux bruyants peut également amener un bruit supplémentaire par transmission à travers les parois du conduit.

En bref, le niveau sonore en un point du conduit se compose de trois éléments (Fig. n° 2) :

- le bruit provenant du ventilateur, plus ou moins atténué tout au long du réseau
- le bruit régénéré par l'écoulement de l'air
- le bruit extérieur pénétrant dans le conduit à travers la gaine.



© france AIR

Fig. n° 2

I- LA SOURCE SONORE PRINCIPALE : LE VENTILATEUR

Le bruit du ventilateur dépend :

- du **type du ventilateur et de sa conception**
- de son **point de fonctionnement** (débit, pression)
- de son **rendement au point de fonctionnement**
- de sa **vitesse de rotation**.

Le niveau sonore global est estimé de la manière suivante :

$$L_w \approx 20 \log P + 10 \log Q + C$$

avec

<p>P = pression statique en Pa Q = débit en m³/h</p>

NB : Le coefficient **C** dépend du type de ventilateur (forme des pales...).

Exemple :

C = 0 pour un ventilateur hélicoïde

C = - 4 pour un ventilateur centrifuge

De plus, des corrections supplémentaires sont à appliquer, en fonction de la vitesse de rotation et du rendement. En effet, à la vitesse de rotation correspond une fréquence de pale, dans laquelle on aura un niveau sonore plus élevé.

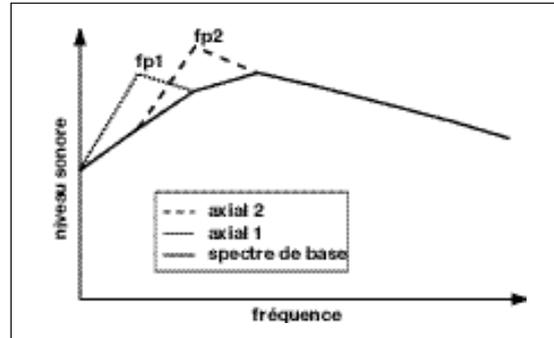
Fréquence de pale
avec

n = nombre de pales

$f = \frac{nN}{60}$

N = vitesse de rotation

Dans cette bande de fréquence, on peut assister à une pointe de quelques dB qui peut être gênante à l'oreille, sans pour autant modifier le niveau sonore global (Fig n° 3).



© france AIR

Fig n° 3 : Spectres sonores de ventilateurs axiaux

II - PROPAGATION DU BRUIT DANS LE RÉSEAU

Dans un conduit, l'onde sonore, chaque fois qu'elle frappe la paroi, perd une partie de son énergie (Fig. n° 4).

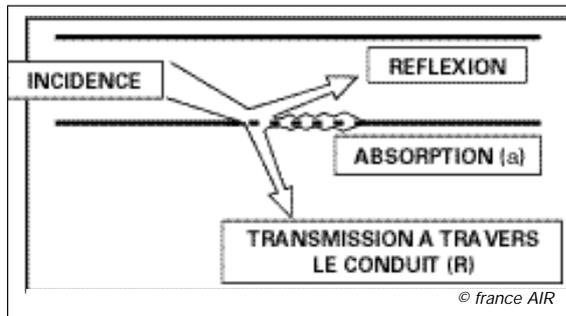


Fig. n° 4

- une partie est **réfléchi**e contre la paroi du conduit
- une partie est **absorbée** par le matériau du conduit (avec un coefficient d'absorption a)
- une partie est **transmise** à travers le conduit vers l'extérieur

L'atténuation du bruit tout au long du réseau est essentiellement due aux transmissions à travers les parois et à l'absorption du matériau.

II.1 - Atténuation dans le réseau

II.1.1 - Les conduits droits

L'atténuation par absorption varie selon le type de matériau utilisé :

- **la tôle**
Elle absorbe très peu le bruit du réseau, et on peut montrer que le bruit atténué est presque entièrement transmis à l'extérieur du réseau. Il y a donc risque de rayonnement dans les locaux traversés. Généralement, on cherchera à piéger le son à proximité de la centrale pour limiter ces rayonnements.
- **le béton**
Ce matériau absorbe très peu et transmet peu : il s'agit donc d'un très bon propagateur.
- **le FIB'AIR**
Il s'agit d'un très bon absorbant en moyennes et hautes fréquences. L'atténuation est donc meilleure tout au long du réseau.
- **EN PRATIQUE...**
Dès les années soixante, des études menées sur la propagation acoustique dans les réseaux ont abouti à l'élaboration de tableaux d'atténuation acoustique en fonction de la taille des conduits pour la tôle et le béton. Les différentes sources se rejoignent pour la plupart dans des valeurs proches de celles diffusées par :

- BERANEK [3]

Les principales valeurs sont données à la fin de ce chapitre (p. 70).

Pour les gaines absorbantes, peu de tests ont été réalisés, et il n'existe qu'une seule formule pour calculer leur atténuation linéaire :

II - PROPAGATION DU BRUIT DANS LE RESEAU (suite)

Formule de Sabine :

$$\frac{\Delta dB}{L} = 1,05 a^{1,4} \frac{P}{S}$$

avec :

- $\frac{\Delta dB}{L}$ = atténuation / mètre (attn)
- a = coefficient Sabine d'absorption du matériau
- P = périmètre (m)
- S = section (m²)

Cependant, pour établir cette formule initialement prévue pour des salles, Sabine a fait des hypothèses sur le champ acoustique. La formule n'est applicable qu'aux gaines dont le coefficient d'absorption a est nettement inférieur à 1 (matériau moyennement absorbant), ce qui n'est pas le cas du Fib'Air.

Coefficient d'absorption du Fib'Air

f	125	250	500	1000	2000	4000
a	0,3	0,4	0,7	0,75	0,9	0,9

Cette formule reste valable dans les basses et moyennes fréquences. Comme il n'y a pas d'autre méthode à appliquer pour les hautes fréquences, on détermine une atténuation maximum : en effet, l'atténuation n'est pas linéaire et plafonne à partir de 3 à 5 mètres de conduit absorbant (Fig. n° 5).

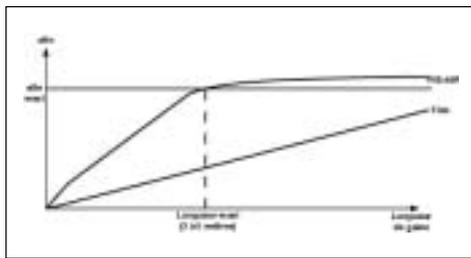


Fig. n° 5 : Atténuation des conduits

© france AIR

II.1.2 - Les coudes

Les coudes font partie des "accidents" du conduit, qui vont plus ou moins atténuer le niveau sonore du groupe selon :

- leur type (droit ou arrondi)
- leur isolation intérieure

Au niveau du coude, l'onde sonore vient frapper la paroi du coude et est renvoyée en amont, ce qui augmente l'atténuation, surtout en hautes fréquences (Fig. n° 6).

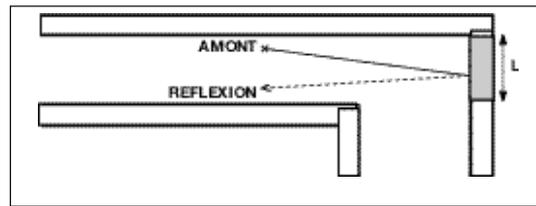


Fig. n° 6

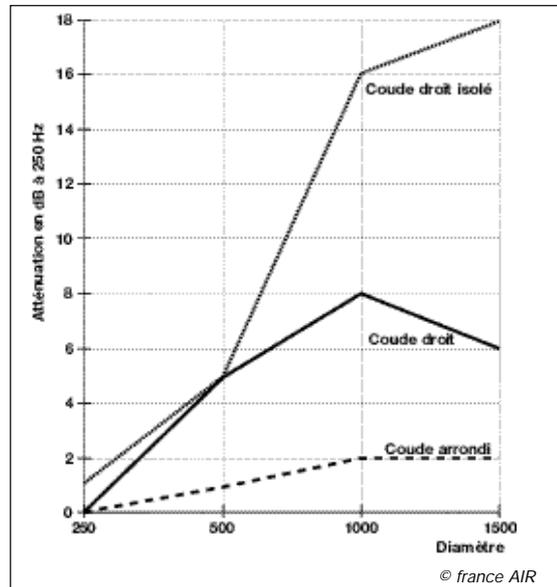
© france AIR

Si de plus le coude est revêtu d'absorbant, on rajoute l'absorption à ce phénomène.

De la même façon, on trouvera dans la bibliographie l'atténuation des coudes (Figure n° 7).

Fig n° 7 :

Comparatif d'atténuation de différents coudes à 250 Hz



© france AIR

NB : L'atténuation est surtout efficace dans les hautes fréquences. Pour imaginer le phénomène, on peut comparer les basses fréquences à des boules de bowling, et les hautes à des balles de ping-pong. Ainsi, les basses fréquences, comme les boules de bowling, franchissent indifféremment les coudes et ne sont pas atténuées. Les balles, elles, ricochent plus facilement, et reviennent en amont, où petit à petit elles perdront de leur énergie (Fig. n° 8a et 8b).

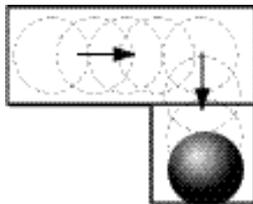


Fig. n° 8a

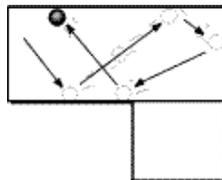


Fig. n° 8b

© france AIR

II.1.3 - Les piquages

Avec l'air, la puissance sonore va se partager dans le rapport des sections.

On exprimera l'atténuation par :

$$\boxed{10 \log \frac{A_2}{A_1}}$$

avec A2 = section aval
A1 = somme des sections aval

Or, dans un réseau, les vitesses étant du même ordre de grandeur et le logarithme atténuant encore les variations, on peut écrire :

$$\boxed{\text{Attn} = 10 \log \frac{A_2}{A_1} \approx 10 \log \frac{Q_2}{Q_1}}$$

avec :

Q2 = débit aval

Q1 = débit amont

NB : Lorsqu'il y a plusieurs piquages, on additionne les logarithmes, ce qui revient à multiplier les rapports de sections (ou de débits).

L'atténuation de l'ensemble des piquages du réseau s'exprime alors très simplement :

$$\begin{aligned} \text{Attn} &= 10 \log \frac{A_2}{A_1} + 10 \log \frac{A_3}{A_2} + \dots + 10 \log \frac{A_n}{A_{n-1}} \\ &= 10 \log \left(\frac{A_2}{A_1} \cdot \frac{A_3}{A_2} \cdot \dots \cdot \frac{A_n}{A_{n-1}} \right) \\ &= 10 \log \frac{A_n}{A_1} \\ \text{Attn} &\approx 10 \log \frac{Q_n}{Q_1} \end{aligned}$$

Avec :

Q_n = débit au diffuseur

Q₁ = débit initial

DONC :

$$\text{Attn piquages} \approx 10 \log \frac{Q_{\text{diffuseur}}}{Q_{\text{ventilo}}}$$

II.1.4 - Les diffuseurs

Lorsque l'onde sonore arrive sur les ailettes, une partie est réfléchiée en amont. De plus, la détente de l'air induit également une atténuation des basses fréquences. Cette atténuation terminale est souvent appelée **réflexion finale**.

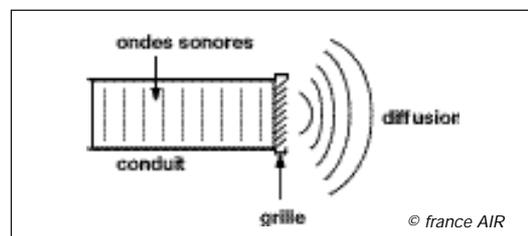


Fig. n° 9

II - PROPAGATION DU BRUIT DANS LE RESEAU (suite)

La figure n° 10 compare sur un exemple l'estimation de cette atténuation et les résultats d'essais en laboratoire de deux de nos diffuseurs. On note une très bonne corrélation entre l'estimation et les essais.

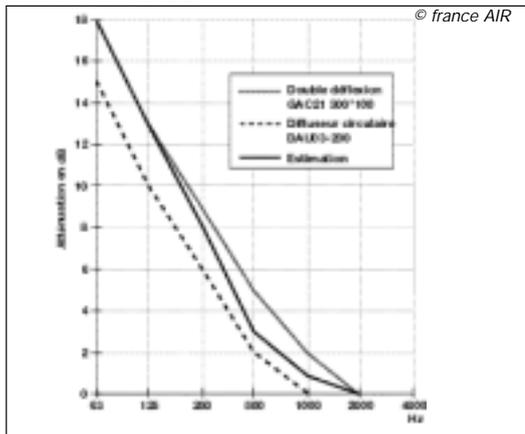


Figure n° 10 : Atténuation des diffuseurs



GAC 21



DAU 03

© france AIR

En conséquence, les diffuseurs vont avoir une atténuation forte en basses fréquences, partiellement due à la détente de l'air.

La bibliographie a également donné des valeurs d'atténuation dès les années soixante sur les grilles et diffuseurs plafonniers classiques (Cf. page 75).

CONCLUSION :

L'atténuation totale du réseau est égale à la somme de toutes les atténuations de ses éléments.

Il faut cependant :

- ▶ limiter le calcul à l'atténuation maximum définie précédemment (cf fig. 5 page 69).
- ▶ ne pas oublier d'intégrer les régénérations ponctuelles.

NB : L'atténuation est d'autant meilleure que l'élément est "mauvais" aérauliquement (présence d'"accidents"), mais il faut tenir compte du fait que:

- les turbulences régénèrent du bruit
- la perte de charge induite nécessite un niveau de puissance acoustique (L_w) du ventilateur plus élevé (plus de bruit à la source)

Autrement dit, il est inutile d'insérer dans le réseau de nombreux coudes en espérant cumuler leurs atténuations.

Néanmoins, provoquer des "accidents" peut être efficace dans les petits réseaux de climatisation.

II.2 - Bruit régénéré

Le bruit régénéré est essentiellement créé par :

- la vitesse de l'air
- les turbulences dues aux "accidents" du réseau.

Ce bruit régénéré est à comparer en tout point du réseau au niveau sonore provenant du ventilateur.

La bibliographie fournit de nombreuses formules pour l'estimer dans les conduits droits, les coudes etc... Certaines de ces formules sont regroupées dans la fiche pratique p. 75.

II.2.1 - Les conduits droits et les coudes

La vitesse de l'air dans les conduits génère un bruit plus ou moins important suivant son ordre de grandeur (Fig. n° 11) :

- Si $V < 10$ m/s en conduits principaux (réseaux de basse et moyenne vitesse), la régénération reste généralement inférieure au bruit du ventilateur. Il faudra cependant l'intégrer au calcul surtout si l'on souhaite obtenir un niveau résultant faible.
- Si $V > 12$ m/s, la régénération devient sensible et doit être évitée, notamment en arrondissant les coudes, les piquages... et en évitant le plus possible les accidents.

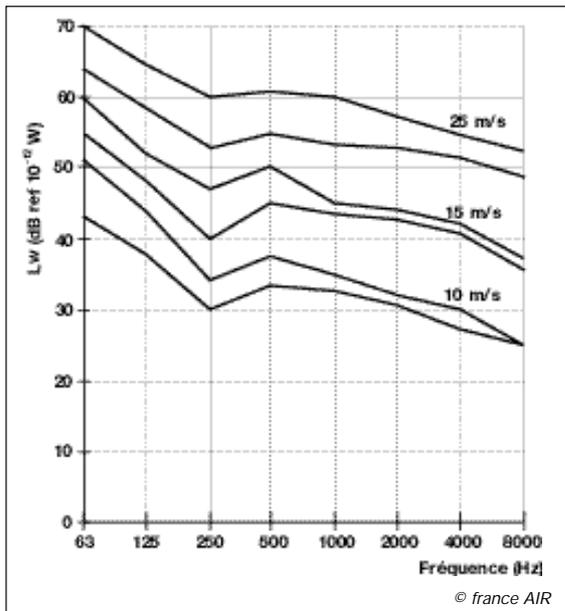


Fig. n° 11 - Exemple de bruit régénéré dans un conduit droit en fonction de la vitesse (source Ashrae).

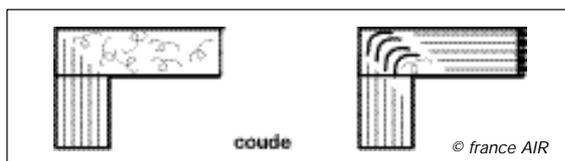


Fig. n° 12 - Modifications à apporter à la fabrication de la gaine pour les systèmes à grande vitesse.

Enfin, il faut également éviter une vitesse trop forte dans les branches terminales (écrasement des gaines, coudes trop "pliés", réductions brusques en faux-plafond...).

Conduits	Niveau de pression sonore souhaité en dB(A)			
	25	30	35	40
1. Secondaires	2	2,5	3	de 3 à 4
2. Vitesse au diffuseur	de 1 à 2	2	de 2 à 2,5	de 2 à 3

Fig. n° 13 - Vitesses recommandées dans les conduits (m/s) en fonction du niveau sonore dans l'enceinte (dB(A))

II.2.2 - Piquages, changements de section et coudes

De même que dans les coudes, les dériviages créent, à haute vitesse, un bruit qui peut être important; il est alors préférable d'utiliser des Y, etc... , afin de faciliter l'écoulement de l'air (Fig. n° 14).

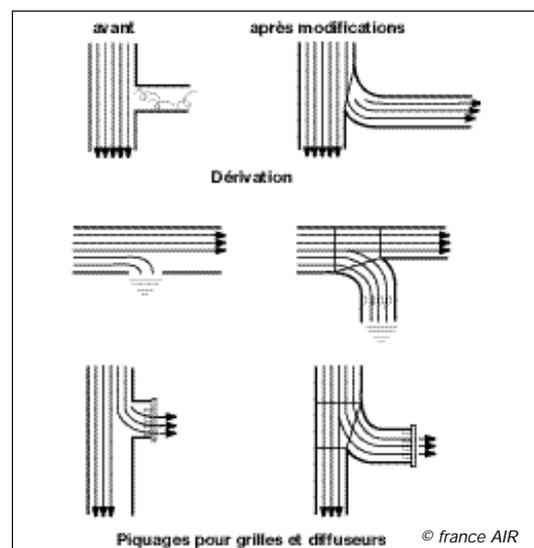


Fig. n° 14 - Modifications à apporter à la fabrication de la gaine pour les systèmes à grande vitesse

II - PROPAGATION DU BRUIT DANS LE RESEAU (suite)

II.2.3 - Les registres et les clapets

Toute turbulence est susceptible de créer un bruit régénéré, mais les registres et les clapets sont les points les plus sensibles. Ce sont les principales sources de régénération dans les réseaux du secteur tertiaire.

Le niveau sonore régénéré par un registre s'exprime:

- soit en fonction de **la pression amont**,
- soit en fonction de son **angle de fermeture** (Fig. n° 15 et n° 16)

Il faut savoir qu'une variation de quelques degrés dans leur fermeture peut générer facilement une dizaine de décibels dans certaines bandes d'octave.

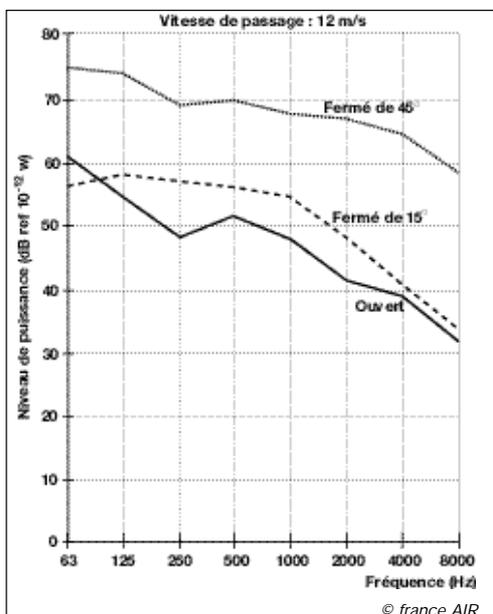


Fig n° 15 - Exemple d'influence de la position du registre sur le bruit régénéré

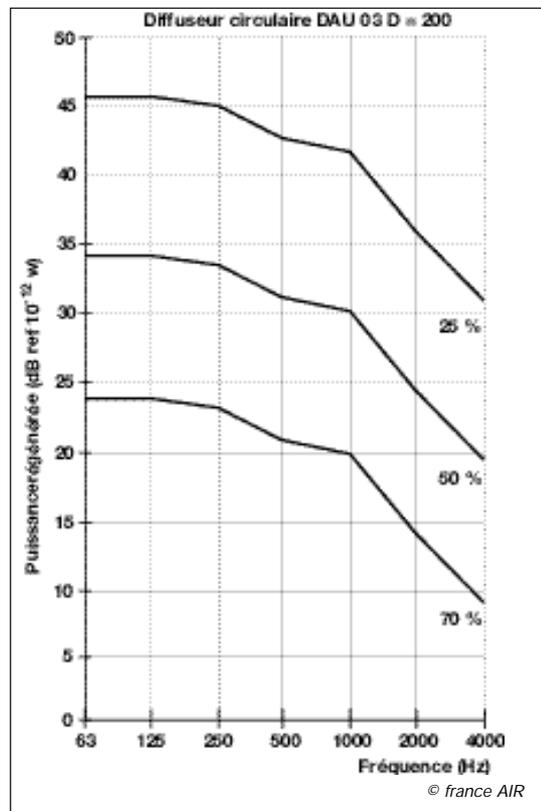


Fig n° 16. - Influence de l'ouverture du registre terminal sur la régénération.

Des fermetures "impromptues" de registres dans les réseaux créent donc des gênes sonores importantes.

**POUR LES EVITER, UN SEUL REMEDE :
L'EQUILIBRAGE !!**

Il suffit en effet d'assurer un bon équilibrage amont de chaque branche pour rester dans une zone de fonctionnement correcte. Pour les mêmes raisons, un registre terminal sur un diffuseur n'est pas censé "encaisser" tous les déséquilibres du réseau. Il faut prévoir un registre sur chaque branche dès le réseau principal.

II.2.4 - Les diffuseurs

Le niveau de puissance acoustique régénéré dans le diffuseur peut difficilement s'estimer, c'est pourquoi on se réfère à la valeur indiquée dans la documentation. Il faut le comparer à la puissance entrant dans le local afin de vérifier si il influera ou non (Fig. n° 17).

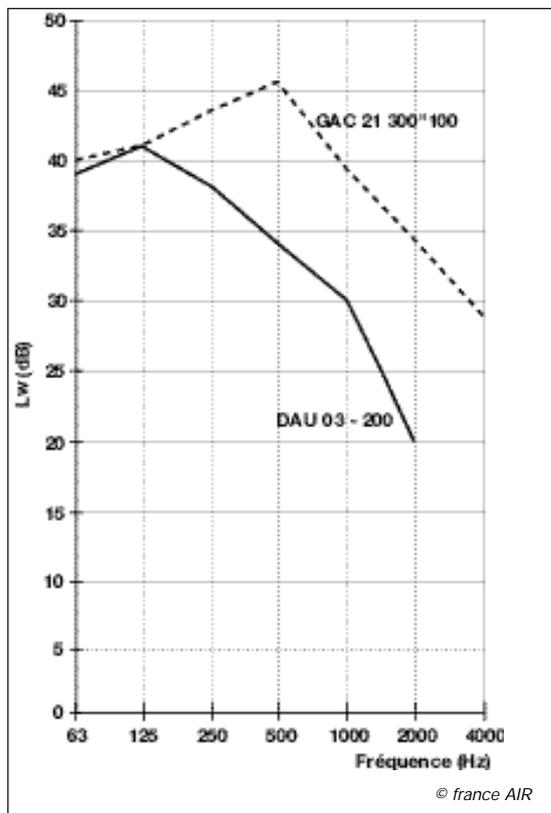


Fig. n° 17 : Exemple de puissance sonore régénérée dans les diffuseurs (500 m³/h)



Grille GAC 21



Diffuseur circulaire DAU 03

Ce niveau sonore varie selon le débit et la surface efficace du diffuseur.

$$L_w = k_1 + k_2 \log q - k_3 \log A_k$$

q = débit en m³/s

A_k = surface efficace en m²

En général :

k_1 = 5 à 9 pour un diffuseur rectangulaire

= 8 à 14 pour un plafonnier

= 14 à 20 pour des grilles de reprise

k_2 compris entre 56 et 80

k_3 compris entre 45 et 60

k_1 , k_2 et k_3 sont mesurés en laboratoire.

FICHE PRATIQUE BASES DE CALCUL

Valeurs moyennes d'atténuation

1. Atténuation par mètre des conduits rectangulaires tôle nue

D (mm)	63	125	250	500	1000	2000	4000
75-200	0.16	0.33	0.49	0.33	0.33	0.33	0.33
200-400	0.49	0.66	0.49	0.33	0.23	0.23	0.23
400-800	0.82	0.66	0.33	0.16	0.16	0.16	0.16
800-1500	0.66	0.33	0.16	0.10	0.06	0.06	0.06

Source : Chaddock & Daly

2. Atténuation par mètre des conduits rectangulaires béton

D (mm)	63	125	250	500	1000	2000	4000
75-200	0.06	0.10	0.16	0.16	0.33	0.33	0.33
200-400	0.06	0.10	0.10	0.16	0.23	0.23	0.23
400-800	0.06	0.06	0.06	0.10	0.16	0.16	0.16
800-1500	0.03	0.03	0.03	0.06	0.06	0.06	0.06

Source : Chaddock & Daly

3. Atténuation des coudes rectangulaires tôle nue 90°

D (mm)	63	125	250	500	1000	2000	4000
200	0	0	0	1	7	7	4
500	0	0	5	8	4	3	3
1000	1	6	8	4	3	3	3
1500	2	8	6	3	3	3	3

Source : Beranek & Doelling

4. Atténuation des coudes rectangulaires tôle isolée 90°

D (mm)	63	125	250	500	1000	2000	4000
200	0	0	1	7	16	18	16
500	0	1	5	16	18	16	17
1000	0	5	16	18	17	17	18
1500	2	12	18	18	16	18	18

Source : Beranek & Doelling

5. Atténuation des coudes 90° arrondis ou avec aubes (tôle nue)

D (mm)	63	125	250	500	1000	2000	4000
200	0	0	0	0	1	2	3
500	0	0	0	1	2	3	3
1000	0	0	1	2	3	3	3
1500	0	1	2	3	3	3	3

Source : Beranek & Allen

6. Atténuation des piquages

Partie principale :

$$\text{Attn} = 10 \cdot \log \left(\frac{A_2}{A_1} \right) \text{ soit env. } 10 \cdot \log \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)$$

avec A : section et Q : débit

Partie latérale : idem + coude

7. Atténuation des grilles (position murale) - Réflexion finale.

S (m²)	63	125	250	500	1000	2000	4000
0.02	17	12	6	3	1	0	0
0.05	14	9	5	2	0	0	0
0.10	11	7	3	1	0	0	0
0.50	6	2	0	0	0	0	0

Source : Beranek

Niveaux régénérés

Quelques formules

Source : Warring [22]

ATTENTION ! diverses sources non concordantes coexistent dans la littérature !

1 - Conduit droit

$$L_w = 10 + 50 \log(v) + 10 \log(S)$$

v = vitesse de l'air (m/s)

S : section (m²)

Correction spectrale :

63	125	250	500	1000	2000	4000
5	-6	-7	-8	-9	-10	-15

2 - Piquages, changements de section, coudes

$$L_w = 6 + 55 \log(v) + 10 \log(S)$$

en niveau global dB(A)

3 - Registres et Clapets

La littérature est très variable à ce sujet (voir Courbes ASH-RAE jointes), il est recommandé de prendre les valeurs fournieur.

a) Approche en angle de fermeture

$$L_w = x + 55 \log(v) + 10 \log(S) - 50$$

avec :

x = 44 pour 0°

x = 53 pour 15°

x = 65 pour 45°

b) Approche en pression (registres sur diffuseurs) :

L'augmentation de niveau sonore par rapport au niveau mesuré registre ouvert est égal à :

$$\Delta L_w = a \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$

avec :

P1 : pression registre en fonctionnement

P0 : pression registre ouvert

a ≈ 30 (soufflage) et a ≈ 10 (reprise).

III - NIVEAU A L'AUDITEUR

Le niveau à l'auditeur dépend de deux composantes :

- le niveau direct
- le niveau réverbéré dans le local (cf pages 61-64).

Type de bâtiment	Type de local	Niveau de pression sonore dB(A)		
		A	B	C
Garderie d'enfants	Crèches, maternelles	30	40	45
Commerces	Supermarchés	40	45	50
Bureaux	Bureaux et salles de conférences	35	40	45
	Bureaux paysagés	35	40	45
Restaurants	Cafétérias et restaurants	35	45	50

Niveaux de pression en dB(A) générés ou transmis par le système de ventilation et autorisés dans différents types de locaux.

Les lettres A, B, C, correspondent à des catégories de bâtiment et n'ont aucune relation avec les pondérateurs A, B ou C apportés au dB (D'après projet de norme européenne CEN TC 156/WG 6).

Type de local	Niveau de pression acoustique	
	Exigence haute dB(A)	Exigence basse dB(A)
Local de restauration		
Restaurant d'entreprise	35	50
Restaurant, cafétéria	35	45
Salle de rencontre		
Foyer, salle fumeur	35	45
Salle de réunion	30	40
Local sportif		
Piscine sportive, patinoire	40	45
Piscine ludique	45	50
Salle de relaxation	30	35
Salle EPS	35	45
Gymnase	40	50
Grande salle, palais sports	40	50
Lieu de passage		
Atrium	40	50
Galerie marchande	45	55
Hall d'aéroport	40	50
Hall de gare, hall d'exposition	45	55
Magasin de vente	40	50
Lieu de culte, église	30	45
Musée	30	40

Niveaux de bruit de fond recommandés par le Giac par type d'activité (ne préjugant pas des niveaux fixés par la réglementation)

III - NIVEAU A L'AUDITEUR (suite)

III.1 - Cas d'un seul diffuseur

III.1.1 - Niveau direct

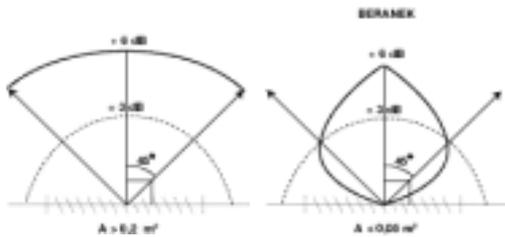
Le niveau sonore direct dépend de la directivité du diffuseur et de la distance à l'auditeur.

Par exemple, avec un diffuseur plafonnier, la pression se répartira sur une demi-sphère seulement. Le niveau de pression résultant à l'auditeur sera donc plus fort que lorsque la puissance se répartit sur toute la surface de la sphère. Cette correction correspond à la directivité.(cf. Rappels acoustiques)

On prendra classiquement +3 dB (ou $Q = 2$) pour une demi-sphère, +6 dB (ou $Q = 4$) pour un quart de sphère, +9 dB (ou $Q = 8$) pour un huitième de sphère.

Cependant, lors d'une analyse en bande de fréquence, il apparaît que cette directivité est plus élevée lorsque la section du diffuseur augmente, surtout dans les hautes fréquences.

Le champ de pression n'est pas uniforme: en réalité, on a constaté que la directivité était constante et prépondérante entre 0° et 45° (Fig. n°19)



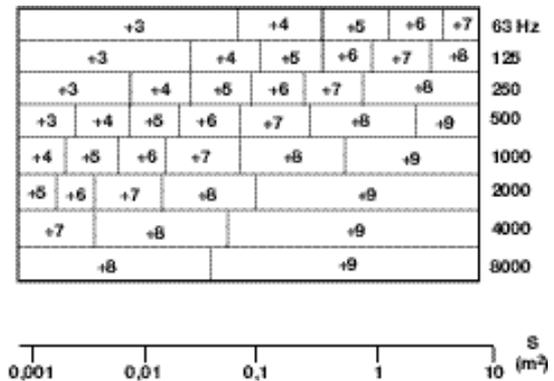
© france AIR

Fig. 19

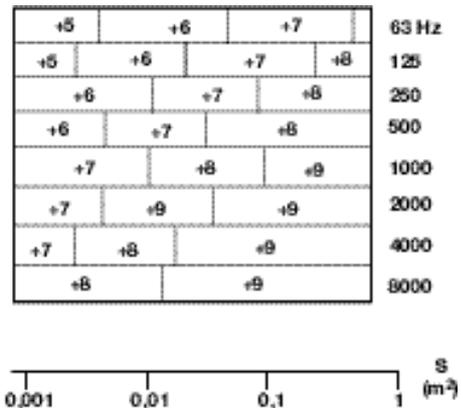
**Autrement dit, il y a plus de bruit
DANS L'AXE DU DIFFUSEUR.**

Le calcul du niveau sonore se fait alors d'après les trois abaques suivants, fonction du type de surface:

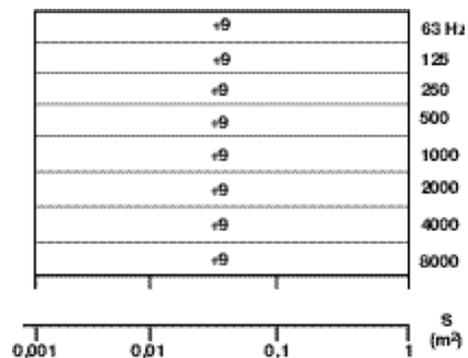
↳ Affleurant une surface :



↳ A la jonction de deux surfaces :



↳ A la jonction de trois surfaces
(plafond et deux murs) :



Exemple de calcul dans le cas d'un seul diffuseur

Soit un diffuseur DAU 40 300 x 300, soufflant 450 m³/h dans un bureau de dimensions 4 x 5 x 2,8.

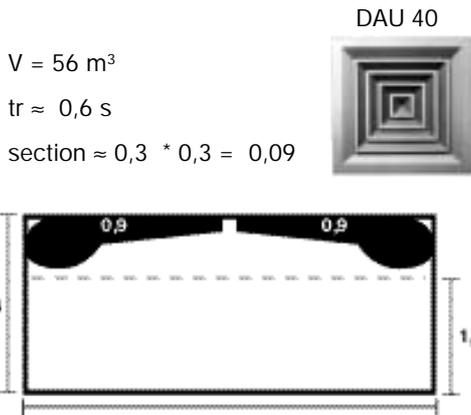


Fig. n° 20

© france AIR

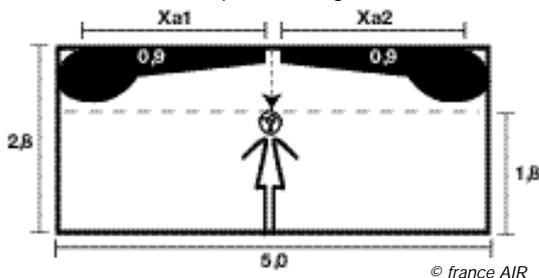
Ce diffuseur a une puissance globale de 30 dB(A).

f	63	125	250	500	1000	2000	4000
Lw	29	30	33	30	24	15	15

Pour calculer le niveau direct, plusieurs corrections sont à appliquer:

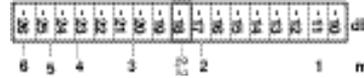
↳ distance à l'auditeur :

Supposons qu'un individu se place sous le diffuseur ; il se situe donc à 1m, et la correction est alors de -11dB sur toutes les bandes de fréquences. (Fig. n° 21)



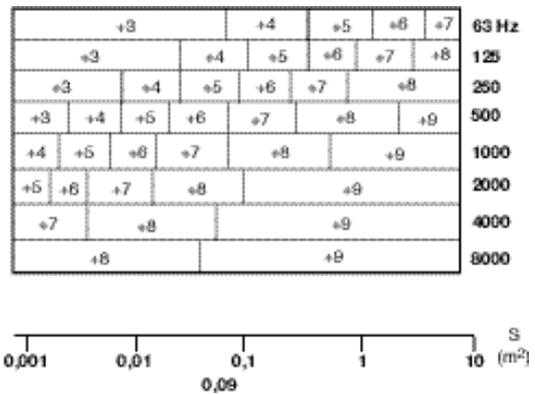
© france AIR

Correction pour distance



↳ directivité :

La section étant de 0,09 , l'abaque ci-dessous nous indique la correction à appliquer.



Fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000
Lw	29	30	33	30	24	15	15
Distance à 1m	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
Directivité	4	4	5	6	7	8	9
Lpdirect	22	23	27	25	20	<15	<15

↳ pondération A :

Cette dernière correction est nécessaire pour évaluer le niveau sonore à l'auditeur.

Fréquence	63	125	250	500	1000	2000	4000
Lpdirect	22	23	27	25	20	<15	<15
Pondérat. A	-26	-16	-9	-3	0	1	1
Lpfinal direct	<15	<15	18	22	20	<15	<15

Soit un niveau global égal à :

$$L_p = 25 \text{ dB(A)}$$

(Calcul cf. Rappels acoustiques)

III - NIVEAU A L'AUDITEUR (suite)

Comparaison

avec la méthode simplifiée :

$$L_w(\text{diffuseur}) = 30 \text{ dB(A)}$$

$$\text{distance 1m} = - 11 \text{ dB}$$

$$\text{directivité (Q = 2)} = + 3 \text{ dB}$$

$$L_p = 22 \text{ dB(A)}$$

Il y a une différence de 3 dB entre le résultat par la méthode classiquement utilisée, qui supposait une répartition du niveau sonore uniforme, sur la demi-sphère.

Il y a donc plus de bruit en face du diffuseur, et la correction de directivité en demi-sphère n'est plus de 3 mais de 6 dB.

III.1.2 - Niveau réverbéré

Le niveau réverbéré dépend principalement du temps de réverbération et du volume du local.

Application à notre exemple de calcul précédent :

$$L_w(\text{diffuseur}) = 30 \text{ dB(A)}$$

$$L_{p_r} = L_w + 10 \log \left(4 \cdot \frac{(1 - a)}{S_a} \right)$$

$$\text{avec } a = 0,16 \frac{V}{S T_r} \quad T_r = 0,6s$$

Ce qui donne : $L_{p_r} = 23 \text{ dB(A)}$

Donc :

$$L_p = L_{p_d} + L_{p_r} = 25 \text{ dB(A)} + 23 \text{ dB(A)}$$

$$L_p = 27 \text{ dB(A)}$$

NB : Le temps de réverbération varie avec les fréquences, et de la même façon, il faudrait faire un calcul par bande de fréquence.

III.1.3 - La distance critique

C'est la distance pour laquelle les niveaux des champs réverbéré et direct sont égaux. Cette distance critique dépend des caractéristiques du local et de la fréquence considérée.

$$d_c = 0,057 \times \sqrt[3]{\frac{QV}{t_r}}$$

avec :

Q = Directivité

V = Volume du local (m³)

t_r = Temps de réverbération à la fréquence considérée (s)

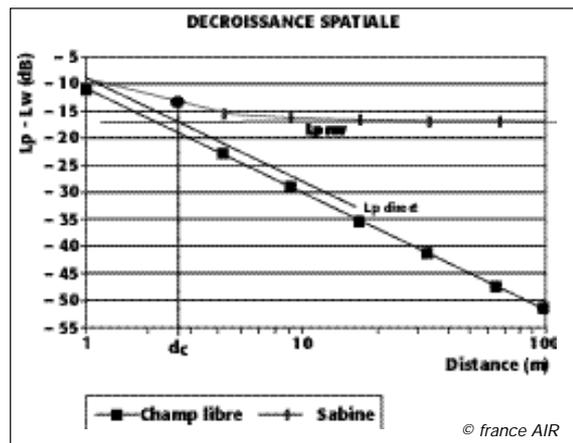


Fig. n° 21

Si le diffuseur est situé à une distance inférieure de l'auditeur, son influence en niveau direct sera prédominante. Sur des petits et moyens volumes, cette distance est généralement inférieure à 1 ou 2 mètres.

III.2 - Cas de plusieurs diffuseurs

III.2.1 - Niveau direct

Exemple de calcul dans le cas de plusieurs diffuseurs:
Soient deux diffuseurs DAU 40 300 x 300, soufflant à 450 m³/h chacun dans un bureau de dimensions 8 x 5 x 2,8 m.

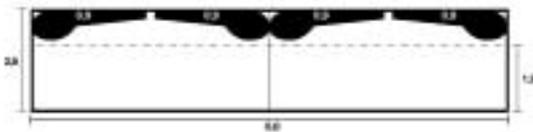


Fig. n° 22

© france AIR

1ère hypothèse :

L'auditeur se place sous l'un des diffuseurs.

$$L_{pd} = L_{pd1} \oplus L_{pd2}$$

Dans la plupart des cas, le deuxième diffuseur est suffisamment éloigné, avec une directivité plus faible, et l'on néglige l'influence de son niveau direct (Fig. n° 23)



Fig. n° 23

© france AIR

Lw(diffuseur) 30 dB(A)

distance 1 m - 11 dB

directivité :

Q = 2 + 6 dB (d'après le calcul en fréquences, dans la zone d'influence prépondérante)

Lpd1 25 dB(A)

Lw (diffuseur) 30 dB(A)
distance 4 m - 23 dB
directivité Q = 2 + 3 dB hors de la zone d'influence, la directivité est plus faible !)

Lpd2 10 dB(A)

$$\begin{aligned} L_{pd} &= L_{pd1} + L_{pd2} \\ &= 25 \text{ dB(A)} + 10 \text{ dB(A)} \\ &= 25 \text{ dB(A)} \\ &= L_{pd1} \end{aligned}$$

Lpd = Lpd1 = 25 dB(A)

On pouvait effectivement négliger l'influence du 2ème diffuseur.

2ème hypothèse :

L'individu se place à mi-chemin des deux diffuseurs. Par conséquent, l'étude du niveau à l'auditeur tient compte de distances égales et de directivités égales (Fig. n° 24).

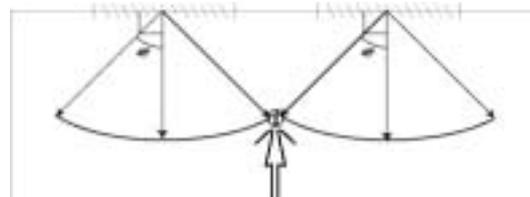


Fig. n° 24

© france AIR

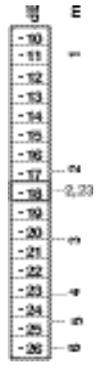
III - NIVEAU A L'AUDITEUR (suite)

$$L_{pd} = L_{pd1} \oplus L_{pd2}$$

$$= L_{pd1} \oplus L_{pd1}$$

Chaque fois que l'on ajoute deux niveaux sonores égaux, on accroît l'un d'eux de 3 dB, car il s'agit d'une somme de logarithmes (cf. Rappels acoustiques).

$L_{pd} = L_{pd1} \oplus 3 \text{ dB}$	
Lw(diffuseur)	30 dB(A)
distance $r = 2,23 \text{ m}$	-18 dB
directivité dans la zone d'influence prépondérante	+ 6 dB
<hr/>	
Lpd1	18 dB(A)



Lpd = 21 dB(A)

on voit que la première hypothèse était plus défavorable.

III.2.2 - Niveau réverbéré

ATTENTION !!

Il faut intégrer dans le calcul toutes les sources sonores (diffuseurs...) du local. Dans notre exemple, nous avons deux diffuseurs. La puissance totale est donc :

$$L_w = L_{w1} + L_{w2}$$

$$= 30 \text{ dB(A)} \oplus 30 \text{ dB(A)}$$

$$= 33 \text{ dB(A)}$$

Lw(diffuseurs)	33 dB(A)
temps de réverbération	0,6 s

On obtient :

Lpr = 24 dB(A)

III.2.3 - Niveau final

Le niveau final ressenti par l'auditeur est égal à la somme des niveaux directs et du niveau réverbéré, soit :

$$L_{pf} = 24 \text{ dB(A)} + 21 \text{ dB(A)}$$

$$= 26 \text{ dB(A)}$$

III.2.4 - Conclusion

NIVEAU DIRECT :

Une méthode simplifiée consiste à prendre la somme des niveaux directs des diffuseurs proches de l'auditeur.

On entend par "proche" :

- distance < 1,5 * distance critique
- angle < 45°

Pour n diffuseurs :

$$L_{pd} = L_{pd1} \oplus L_{pd2} \oplus \dots \oplus L_{pdn}$$

Si les distances sont similaires et les n diffuseurs identiques, on simplifiera par :

$$L_{pd} = L_{pd1} \oplus 10 \log n$$

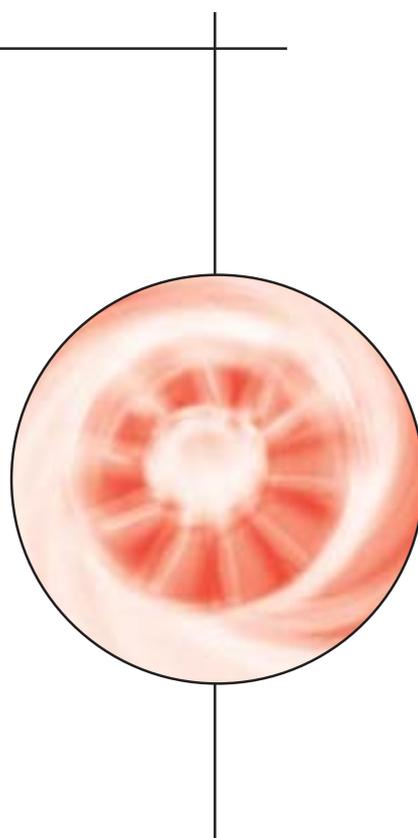
NIVEAU RÉVERBÉRÉ :

Il faut faire la somme logarithmique des niveaux de puissances sonores entrant. Si les niveaux sonores sont égaux:

$$L_w = L_{w1} \oplus 10 \log n$$

NB : Très souvent, on retient l'hypothèse n°1 dans les calculs car elle est généralement défavorable.

Annexe 3



LE POINT SUR LA RÉGLEMENTATION*

**En date du 02 Février 2001*

Croisement des exigences réglementaires (Juillet 1996)
avec les différents types de programme.

ETABLISSEMENTS	Loi-cadre du 31.12.1992	Arrêté du 30-06-1999	Arrêté du 28.10.1994 (modalités d'application)	Décret du 9.1.1995 (bâtiments & habitations)	Arrêté du 9.1.1995 (Ecoles)	Décret du 23.1.1995 : objets bruyants	Décret du 18.3.1994 : plan de gêne sonore	Décret du 9.1.1995 : classement des voies	Décret du 9.1.1995 : limitation bruit des infrastructures...	Article R235-2-11 du Code du Travail (traitement des locaux)	Loi du 19 juillet 1976 : installations classées...	Arrêté du 23-01-1997	Décret du 15-12-1998
Habitations	•	•	•			•	•	•	•				
Etablissements d'enseignement	•			•	•	•	•	•	•				
si ateliers...	•			•	•	•	•	•	•	•	(•)	(•)	
si logements de fonction...	•	•	•			•	•	•	•				
Locaux de travail	•			•	•	•	•	•	•	•	(•)	(•)	
Lieux musicaux	•			•		•	•	•	•	•	(•)	(•)	(•)
Hôpitaux	•		•								(•)	(•)	
Equipements sportifs	•		•								(•)	(•)	
si logements de fonction	•	•	•		•	•	•	•					
Hôtels	•			•							(•)	(•)	
Les points entre parenthèses signalent le caractère non systématique de l'application (selon le classement d'une installation par exemple).													

Les exigences réglementaires applicables aux bruits d'équipements techniques

L'appellation générique "réglementation acoustique" amalgame couramment des textes de natures très différentes. Les textes à caractère législatif (Lois, Décrets et Arrêtés) sont souvent placés sur le même plan que les textes à caractère normatif ou technique (normes NF ou EN, Documents Techniques Unifiés, recommandation d'usage ou administratives,..). Leur imbrication étroite explique cette confusion.

Les champs d'application des textes législatif sont bien cernés par le corpus des codes de lois : Code de la construction et de l'habitation, Code de l'urbanisme, Code de la santé, Code du travail, ...

Mais les dispositions des uns et des autres se voient parfois appliquées au même bâtiment. C'est avant toute chose la destination d'un édifice, son usage, qui détermine le texte applicable.

Cela ne simplifie pas toujours l'interprétation des exigences à prendre en compte.

Exemple : une piscine pourra être successivement considérée comme un équipement sportif (nageurs), un lieu de travail (maître nageur), un lieu d'habitation (gardien), une installation classée (chaudière à gaz de forte puissance), etc.

Ce chapitre dresse un tableau des principales dispositions qui visent les bruits d'équipement technique et plus particulièrement les bruits engendrés par les installations de VMC, de chauffage et de climatisation.

La loi N° 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit a considérablement élargi les types des constructions visées par les exigences de maîtrise des bruits.

Sont désormais contrôlés (Art R 111-23-1 Code de la construction et de l'habitation-Décret du 10 janvier 1995) : les établissements d'enseignement, de santé, de soins, d'action sociale, de loisirs et de sport ainsi qu'aux hôtels et établissements d'hébergement à caractère touristique.

Pour faciliter l'appréhension de ces dispositions, le plan du chapitre est à dessein structuré selon les modalités d'émissions, de transmissions et de propagations des bruits d'équipement pour mieux guider le lecteur dans la conception ou le diagnostic d'une installation.

I - EMISSION DANS L'ENVIRONNEMENT DES BÂTIMENTS

Deux réglementations contrôlent les émissions sonores dans l'environnement d'une installation :

- L'arrêté n°30-02 du 23 janvier 1997 (remplace les arrêtés du 1^{er} mars 1993 et 20 Août 1985) régissant les installations classées.
- Le décret n°95-08 du 18 Avril 1995 sur les bruits de voisinage.

Ces textes se basent sur l'évaluation objective d'une situation acoustique à partir de grandeurs mesurables. Pour caractériser la réalité complexe d'une situation sonore, on a retenu un indicateur global : le niveau sonore équivalent sur une période de référence. Celui-ci, mesuré à partir d'un sonomètre intégrateur intègre les variations du bruits (en dynamique et en spectre) sur la période. C'est sur cette grandeur que s'exercent les exigences réglementaires. Les principes de limitation font intervenir deux notions :

- un niveau limite constituant un seuil à ne pas franchir : le bruit est limité de manière absolue
- une restriction d'émergence sanctionnant l'élévation du niveau ambiant en présence du bruit de l'équipement : le bruit est limité de manière relative.

Ces deux démarches cohabitent actuellement avec toutefois une prépondérance pour la deuxième. La caractérisation de la situation sonore initiale dans laquelle s'insère une installation est de ce fait primordiale.

I.1 - Installations classées

La loi N°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement définit les dispositions applicables aux installations soumises à autorisation ou à déclaration selon la nature des dangers qu'elles représentent pour leur environnement (le bruit figurant parmi les nuisances recensées).

L'arrêté du 20 août 1985 encadrait jusqu'à l'arrêté du 1er mars 1993 toutes les installations classées qu'elles soient soumises à autorisation ou à déclaration.

L'arrêté du 23 janvier 1997 concerne les installations classées soumises à autorisation. Il s'applique aux installations nouvelles à partir du 1er Juillet 1997 (à l'exception de certaines activités industrielles).

Il analyse la nuisance générée par l'installation classée par un double critère :

- critère d'émergence caractérisant l'élévation du niveau sonore induit par le fonctionnement de l'installation, l'émergence étant définie comme la différence de niveau sonore dB(A) entre le bruit ambiant, établissement en fonctionnement, et le bruit résiduel.

- critère de niveau limite fonction de la nature de l'urbanisation aux alentours de l'installation (cf. arrêté du 20 Août 1985).

L'arrêté du 23 janvier 1997 privilégie l'approche en terme d'émergence à celle en terme de limite d'émission sonore. Ainsi, il impose des niveaux acoustiques en limite de propriété tels que l'émergence sonore dans les zones à émergence réglementée ne dépasse pas de 5 à 6 dB(A) selon les niveaux sonores résiduels pour les périodes diurne de 7H à 22H (hors dimanche et jours fériés) et 3 à 4 dB(A) pour les périodes nocturnes de 22H à 7H (dimanche et jours fériés compris). On note un niveau sonore maximum admissible de 70 et 60dB(A) respectivement.

Les zones à émergence réglementées sont définies et figées à partir de l'état d'urbanisation constaté à la date de d'auto- risation. Ce sont :

- l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers, existant à la date de l'arrêté d'autorisation, de l'installation en tout point de leurs parties extérieures les plus proches (cour, jardin, terrasse);
- les zones constructibles définies par des documents opposables aux tiers à la date de l'arrêté d'autorisation;
- l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers qui ont été implantés après la date de l'arrêté d'autorisation, dans les zones constructibles définies ci-dessus et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches.

VALEURS ADMISSIBLES À L'ÉMERGENCE

Niveau de bruit ambiant (incluant le bruit de l'établissement)	de 7h à 22h, sauf dimanches et jours fériés	de 22h à 7h, y compris dimanche et jours fériés
supérieur à 35 dB(A) et inférieur ou égal à 45 dB(A)	6 dB(A)	4 dB(A)
supérieur à 45dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

Le contrôle de ces émergences est effectué par l'application de la norme NF S 31-010 de Décembre 1996, par des niveaux de pression acoustique équivalents pondéré LAeq.T.

Type de zone	Niveaux sonores équivalents
Zone d'hôpitaux, de repos, aires de protection des espaces naturels	45 dB(A)
Zone résidentielle, rurale ou suburbaine, avec faible circulation de trafic terrestre, fluvial	50 dB(A)
Zone résidentielle urbaine	55 dB(A)
Zone résidentielle urbaine ou suburbaine, avec quelques ateliers ou centre d'affaires, ou avec des voies de trafic terrestre, fluvial ou aérien assez importantes ou dans les communes rurales, bourgs et hameaux agglomérés	60 dB(A)
Zone à prédominance d'activités commerciales, industrielles ou agricoles	65 dB(A)
Zone à prédominance industrielle (industrie lourde)	70 dB(A)

L'appréciation du niveau limite est effectuée après étude d'impact sur la zone considérée lorsque l'installation est à l'arrêt. Il peut donc être variable et modulé sur le pourtour de la propriété.

I.2 - Dispositions particulières

Chaufferies

Un arrêté du Ministère de l'industrie du 3 juin 1978 stipule que le niveau de pression acoustique du bruit engendré par une chaufferie ne doit pas dépasser 50 dB(A) à une distance de 2 mètres des façades de tous les bâtiments d'habitation et des bureaux environnants.

I.3 - Installations non classées

Le contrôle des nuisances sonores au voisinage d'une installation non classée est régi par le décret n° 95-08 du 18 avril 1995 relatif à la "lutte contre les bruits de voisinage". Celui-ci remplace le décret n°88-523 du 5 mai 1988 sans en modifier les principes. Pour toute activité pouvant porter atteinte à la tranquillité du voisinage, l'infraction est constituée lorsque l'émergence du bruit particulier en cause vis-à-vis du bruit ambiant dépasse un certain seuil. L'émergence est fixée à 5 dB(A) en période diurne (7h - 22h) et de 3 dB(A) en période

nocturne (22h - 7h), seuils qui peuvent être pondérés en fonction de la durée d'apparition du bruit objet de la plainte.

Il est complété par l'arrêté du 10 mai 1995 relatif aux modalités de mesure des bruits de voisinage, selon la norme NF S 31-010, relative à la caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement.

Durée cumulée d'apparition du bruit particulier au cours de la période de référence	Emergence limite de jour en dB(A) 7h00 à 22h00	Emergence limite de nuit en dB(A) 22 h00 à 7 h00
30s. < T ≤ 1 min.	14	12
1min. < T ≤ 2min.	13	11
2min < T ≤ 5min.	12	10
5 min. < T ≤ 10 min.	11	9
10min. < T < 20min.	10	8
20 min. < T ≤ 45 min.	9	7
45min. < T ≤ 2h.	8	6
2h. < T ≤ 4h.	7	5
4h. < T ≤ 8h.	6	4
T > 8h.	5	3

Valeurs critiques d'émergence en fonction des durées cumulées d'apparition du bruit particulier objet de la plainte.

II - EMISSION DANS L'ENVIRONNEMENT DES BÂTIMENTS (suite)

II.1 - Habitation

Ces constructions sont visées par les Arrêtés du 28 octobre 1994 : "Caractéristiques des bâtiments d'habitations", et "Modalités d'application de la réglementation acoustique" entrés en vigueur pour les permis de construire déposés à compter du 1er janvier 1996.

Ces textes distinguent le cas des équipements collectifs des équipements individuels propres au logement. Les équipements concernés sont :

- Les équipements collectifs tels qu'ascenseurs, chaufferie ou sous-station de chauffage, transformateurs, surpresseurs d'eau, vide-ordure, installations de VMC, bouche d'extraction.
- Les équipements individuels intérieurs ou extérieurs au logement dans lequel les mesures sont effectuées.

Le régime transitoire applicable aux appareils de chauffage et de climatisation pour le cas des cuisines ouvrant sur une pièce principale est dépassé, et les valeurs les plus sévères sont maintenant en application.

Emission	Réception	
Equipements individuels	Pièces principales	Cuisine, WC, Salle de bains
Equipements sanitaires (robinetterie, lavabo, WC, baignoires...)	< 30dB(A)	< 35dB(A)
Appareils de chauffage	< 35dB(A) depuis le 1 ^{er} janvier 1999	< 50dB(A)
Equipements collectifs		
Ascenseurs chaufferie, vide-ordures etc.	< 30dB(A)	< 35dB(A)
Ventilation mécanique au débit minimal	< 30dB(A)	< 35dB(A)

Si la cuisine est ouverte sur la pièce principale le niveau de pression acoustique normalisé L_{nAT} doit resté inférieur à 40dB(A) (applicable au 1^{er} Janvier 2001).

II.2 - Etablissements d'enseignement

Ces constructions sont visées par l'Arrêté du 9 janvier 1995 : relatif à la "Limitation du bruit dans les établissements d'enseignement" entré en vigueur le 10 janvier 1996.

L'article 4 fixe les niveaux de pression acoustique limites dans les différentes catégories de locaux :

Local	Equipement en fonctionnement permanent	Equipement en fonctionnement intermittent
Bibliothèque Centre de documentation et d'information Infirmérie Locaux médicaux Salle de repos	33 dB(A)	38 dB(A)
Locaux d'enseignement Activités pratiques Salles de musique Atelier calme Administration Salle à manger Salle polyvalente	38 dB(A)	43 dB(A)

N.B. Les logements de fonction restent soumis à la réglementation concernant les bâtiments à usage d'habitation, au regard de laquelle les autres locaux de l'établissement sont considérés comme des locaux d'activité.

L'arrêté fixe également des valeurs de durée de réverbération moyennes en secondes dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1000, et 2000 Hz. Ces valeurs sont communiquées ci-après car elles peuvent conditionner l'évaluation des niveaux sonores engendrés par les bruits d'équipements techniques.

Locaux meublés non occupés	Durée de réverbération moyenne (500, 1000, 2000 Hz)
Salle de repos des écoles maternelles Salle d'exercice des écoles maternelles Salle de jeux des écoles maternelles	0,4 < Tr ≤ 0,8 s
Local d'enseignement, de musique, d'études, d'activités pratiques, salle à manger et salle polyvalente de volume ≤ 250 m ³	
Local médical ou social, infirmérie, sanitaires, administrations, foyer, salle de réunion, bibliothèque, centre de documentation	
Local d'enseignement, de musique d'études ou d'activités pratiques d'un volume > 250 m ³	0,6 < Tr ≤ 1,2 s
Salle à manger et salle polyvalente > 250 m ³	
Salle de sport	cf décret Equipements sportifs

II.3 - Equipements sportifs

Ces constructions seront visées par l'Arrêté sur les équipements sportifs non encore paru à cette date.

D'après nos informations, l'arrêté limite les niveaux de bruits engendrés par les équipements techniques à :

- 45 dB(A) pour une salle de sports à 5 m.

II - 4 Lieux diffusants de la musique amplifiée

Le décret n°98-1143 du 15 décembre 1998 s'applique à tous les établissements ou locaux recevant du public et diffusant à titre habituel de la musique amplifiée, à l'exclusion des salles dont l'activité est réservée à l'enseignement de la musique et de la danse. Il poursuit deux buts :

- La protection de la santé auditive du public, par la limitation du niveau sonore à l'intérieur des établissements
- La protection de l'environnement, par l'exigence d'un isolement acoustique minimum entre ces établissements et les locaux d'habitations voisins, fixé par arrêté, qui permette de respecter les valeurs maximales d'émergence définies à l'article R. 48-4 du code de la santé publique, avec des valeurs d'émergences limitées à 3dB.

L'exploitation d'un tel établissement passe par une étude d'impact, permettant entre autre de dimensionner l'isolement acoustique nécessaire, lequel doit être certifié par un organisme agréé.

Comme par ailleurs il y a nécessité d'assurer la ventilation des locaux, ainsi que le désenfumage, cela implique des conduits d'extraction qui sont de nature à affaiblir l'isolement.

Lorsque l'établissement est dans ou contigu à un bâtiment, l'isolement de référence entre le local d'émission et le local de réception DnT doit être aux valeurs de référence exprimées dans le tableau ci-dessous pour une émission de référence de 99dB pour chaque bande d'octave.

Ces valeurs peuvent être aussi augmentées si le niveau sonore dans l'établissement est supérieur à 99 dB par octave.

Fréquence centrale de l'octave (Hz).	125	250	500	1000	2000	4000
Isolement minimal DnT (99) en dB	66	75	82	86	89	91

II. - 5 Chaufferies

Un arrêté du Ministère de l'industrie du 23 juin 1978 stipule que le niveau de pression acoustique du bruit engendré dans un logement, un bureau ou une zone accessible au public, par une chaufferie située dans le même bâtiment ne doit pas dépasser 30 dB(A) (toute pièces confondues pour un logement).

III- INTERACTION AVEC LES EXIGENCES ACOUSTIQUES

Les arrêtés du 30 juin 1999, relatifs aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation et aux modalités d'application de la réglementation acoustique abrogent la circulaire n°98-57 du 5 mai 1998 ; ils s'appliquent aux bâtiments dont le permis de construire a été déposé à partir du 1^{er} janvier 2000.

III.1 Isolement vis-à-vis des bruits aériens intérieurs

Le principal changement induit par cet arrêté concerne l'exigence d'isolement acoustique, appelé maintenant « isolement acoustique standardisé pondéré au bruit aérien » DnT,A (anciennement, le niveau d'isolement global vis-à-vis d'un bruit rose à l'émission) calculé à partir des spectres d'isolement selon la norme NF EN ISO 717-1, et exprimé en dB. Ce changement de mode de calcul conduit à des valeurs très légèrement inférieures qu'auparavant ce qui conduit à un réajustement des exigences réglementaires. Cette modification n'implique aucune modification technique.

Les performances des bouches d'air (bouche d'extraction dans les sanitaires, salle d'eau et cuisines) sont soumises aux exigences du tableau suivant :

Isolement acoustique standardisé pondéré DnT,A (en dB)	Local de réception : pièce d'un autre logement	
	Pièce principale	Cuisine, WC, Salle de bains
Local d'émission : local d'un logement (à l'exclusion des garages individuels).	53	50

III.2 Isolement vis-à-vis des bruits aériens extérieurs

Il n'y a pas de changement de la valeur d'isolement requise pour les façades contre les bruits extérieurs. D'une manière générale, l'isolement acoustique standardisé pondéré, DnT,A,tr des pièces principales et cuisines contre les bruits de l'espace extérieur doit être au minimum de 30 décibels. Cette valeur DnT,A,tr remplace l'ancien isolement aérien global dB(A) vis-à-vis d'un bruit routier à l'émission ; il est calculé avec la norme NF EN ISO 717-1 à partir des valeurs du spectre de l'isolement.

Toutefois, cette valeur de 30dB est un minimum qui dépend de la situation du logement :

Situation du logement	Isolement de façade à respecter
Logement construit hors d'une zone affectée par le bruit au sens du décret n°95-21 du 9/01/95	Isolement minimum de 30dB
Logement construit dans une zone affectée par le bruit au sens du décret n°95-21 du 9/01/95*	Isolement supérieur ou égal à 30dB (arrêté préfectoral ou arrêté du 6/10/78 modifié)

* l'isolement acoustique requis dépend notamment du classement de l'infrastructure de transports terrestres, de la nature et de la hauteur du bâtiment, de la distance du bâtiment par rapport à l'infrastructure et, le cas échéant, de l'occupation du sol entre la bâtiment et l'infrastructure. L'isolement peut donc monter à 35 voir 40 dB.

Les entrées d'air sont de nature à dégrader les isollements de façade. Dans les cas courants (vitrage compris entre 1/3 et 1/1 de la surface de la façade et une seule bouche par pièce), il convient de retenir des bouches présentant un indice Dn,e,w (Ctr) supérieur de 3 à 6 dB à l'isolement de façade visé.

Pour faire face à la nouvelle réglementation acoustique un document d'accompagnement a été rédigé et édité par le CTSB, présentant des exemples de solutions acoustiques.

IV - LES RECOMMANDATIONS APPLICABLES EN MATIÈRE DE MAÎTRISE DES BRUITS D'ÉQUIPEMENTS

En l'absence d'exigences réglementaires, l'installateur devra soit respecter un cahier des charges portant obligation contractuelle, soit fixer ses propres objectifs en se référant aux valeurs usuelles recommandées ou pratiquées pour des locaux d'usage similaire.

Plusieurs sources de seuil de bruit de fond limite sont communicables à cet effet : Valeurs du groupe de Travail CEN TC 156 ou du GIAC.

Compte tenu des incidences financières, il est souhaitable que l'installateur fasse valider les objectifs au stade de la consultation avant de soumettre son offre.

Les exigences peuvent être formulées soit en niveau global pondéré (A), soit par référence au réseau de courbes de type NR, NC ou PNC (cf Rappels généraux - Critères de confort).

V - NORMES APPLICABLES AU CONTRÔLE DES BRUITS D'ÉQUIPEMENTS

Rappel sur l'utilité des normes dans le domaine de la certification des performances. Mouvement de convergence européen en cours.

V.1 - Normes générales

Unités et symboles

- NF X 02-202 - Grandeurs et unités. Phénomènes périodiques et connexes.
- NF X 02-207 - Grandeurs, unités et symboles d'acoustique.
- NF X 02-302 - Grandeurs, unités. Phénomènes périodiques et connexes.
- NF X 02-307 - Grandeurs, unités. Partie 7 acoustique

Généralités, vocabulaire

- NF 30-002 - Fréquences normales pour les mesures acoustiques (equiv. ISO 266)
- NF 30-009 - Atténuation du son dans l'air
- NF 30-010 - Courbes NR d'évaluation du bruit
- NF 30-011 - Grandeurs normales de références pour les niveaux acoustiques
- NF 30-101- Vocabulaire de l'acoustique . Définitions générales
- NF 30-106 - Vocabulaire de l'acoustique . Acoustique générale

V.2 - Principales normes de mesures en aéraulique

- NF ISO 7235 - Méthode de mesure pour silencieux en conduit - Perte d'insertion, bruit d'écoulement et perte de pression totale.
- NF S 31-046 - Acoustique - distribution et diffusion d'air - Détermination des niveaux de puissance acoustique du bruit émis par les bouches d'air, les ensembles à haute/basse vitesse et haute/basse pression, les registres et les clapets par mesure en chambre réverbérante (équivalent ISO 5135).
- NF S 31-027 - Détermination de la puissance acoustique émise par les sources de bruit - Partie 6 : Méthode de contrôle pour les mesures in situ (équivalent ISO 3746).

V.3 - Autres normes de mesure

V.3.1 - Mesurages en laboratoire

- NF S 31-003 - Mesurage de l'absorption acoustique en salle réverbérante (equiv. ISO R 354). NF EN20354
- NF S 31-014 - Mesurage en laboratoire du bruit des robinetteries et des équipements hydrauliques utilisés dans les installations d'eau - Partie 1 : Méthode de mesure (equiv. ISO 3822/1)
- NF S 31-015 - Mesurage en laboratoire du bruit des robinetteries et des équipements hydrauliques utilisés dans les installations d'eau - Partie 2 : Conditions de montage et de fonctionnement des robinets de puisage (equiv. ISO 3822/2)
- NF S 31-016 - Mesurage en laboratoire du bruit des robinetteries et des équipements hydrauliques utilisés dans les installations d'eau : Partie 3 : Conditions de montage et de fonctionnement des robinetteries et des équipements hydrauliques en ligne (équivalent ISO 3822/3)
- NF S 31-021 - Mesurage en plate-forme du bruit émis par les ventilateurs à enveloppe méthode du caisson réduit au refoulement
- NF S 31-022 - Acoustique - Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit - méthodes de laboratoires en salles réverbérantes pour les sources à large bande (dito ISO 3741) EN 23741.
- NF S 31-023 - Acoustique - Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit - méthodes de laboratoires en salles réverbérantes pour les sources émettant des bruits à composantes tonales et à bande étroite (dito ISO 3741) EN 23742.
- NF S 31-024 - Acoustique - Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit - méthodes d'expertise en salles réverbérantes spéciales
- NF S 31-026 - Détermination de la puissance acoustique émise par les sources de bruit Partie 5 : Méthode de laboratoire en salle anéchoïque ou semi-anechoïque (equiv. ISO 37745).
- NF S 31-045 - Mesure du pouvoir d'isolation acoustique des éléments de construction et de l'isolement des immeubles - Mesure en laboratoire du pouvoir d'isolation acoustique au bruit aérien des éléments de construction de petites dimensions.
- NF S 31-051 - Mesure du pouvoir d'isolation acoustique des éléments de construction et de l'isolement des immeubles - Mesure en laboratoire du pouvoir d'isolation acoustique au bruit aérien des éléments de construction (équivalent ISO 140/6).
- NF S 31-053 - Mesure du pouvoir d'isolation acoustique des éléments de construction et de l'isolement des immeubles - Mesure en laboratoire de la réduction de la transmission du bruit de choc par les revêtements de sol et les dalles flottantes (équivalent ISO 140/4).

- **NF S 31-063 - Détermination de la puissance acoustique rayonnée dans un conduit par un ventilateur à enveloppe - méthode en conduit.**
- NF S 31-073 - Mesurage en laboratoire du bruit des robinetteries et des équipements hydrauliques utilisés dans les installations d'eau. Partie 4 Conditions de montage et de fonctionnement des équipements spéciaux.

V.3.2 - Codes d'essai

- NF S 31-006-1 - Code d'essai pour le mesurage du bruit aérien émis par les machines électriques tournantes - partie 1 : méthode d'expertise pour les conditions de champ libre au-dessus d'un plan réfléchissant (eau. ISO 1680-1) EN 21680-1
- NF S 31-006-2 - Code d'essai pour le mesurage du bruit aérien émis par les machines électriques tournantes - partie 2 : méthode de contrôle (eau. ISO 1680-2) EN 21680-2
- NF S 31-092 - Code d'essai pour la détermination du bruit aérien émis par les appareils électrodomestiques et analogues - deuxième partie : règles particulières pour les appareils de chauffage à convection forcée.
- NF D 30-010 - Code d'essai pour le mesurage de la puissance acoustique - Chaudière individuelle à gaz
- **NF E 51-705 - Code d'essai pour le mesurage de la puissance acoustique - Ventilateur d'extraction en caisson.**
- **NF EN 25-135 - Code d'essai pour le mesurage de la puissance acoustique - Bouches d'air**
- NF S 31-120 - Bruit émis par les pompes à chaleur air/extérieur/eau et eau/eau entraînées par moteur électrique - Code d'essai pour le mesurage de la puissance acoustique.

V.3.3 - Mesurages in situ

- **NF S 31-010 - Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement - Instruction de plaintes contre le bruit dans une zone habitée.**
- NF S 31-012 - Mesure de la durée de réverbération des auditoriums. (équival. ISO 3382)
- NF S 31-025 - Détermination de la puissance acoustique émise par les sources de bruit Partie 4 : Méthode d'expertise adaptée à des conditions de champ libre sur plan réfléchissant.
- NF S 31-047 - Evaluation des distances d'intelligibilité de la parole dans une ambiance bruyante.
- NF S 31-057 - Vérification de la qualité acoustique des bâtiments.
- NF S 31-990 - Instrumentation et méthode d'essai - Evaluation objective de l'intelligibilité de la parole dans les salles de conférence par méthode "RASTI" (Rapid Analysis of Speed Transmission Index).

VI - UN POINT SUR LA REFONTE DE LA RÉGLEMENTATION ET LES PRINCIPALES NOUVEAUTÉS

VI.1 - Logements

Arrêté du 28 octobre 1994: Caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation

Arrêté du 28 octobre 1994 : Modalités d'application de la réglementation acoustique.

1. Traitement acoustique des parties communes avec référence à un indice unique a_w [norme EN en attente].
2. Valeurs limites de niveau de pression acoustique normalisée engendrée par les appareils de chauffage ou de climatisation, dans les pièces principales et la cuisine du logement à la réception.
3. Isolement minimum de façade de 30 dB(A).

VI.2 - Bâtiments autres que d'habitation et leurs équipements

Décret n°95-20 du 9 janvier 1995 : Caractéristiques acoustiques des bâtiments autres que d'habitation et de leurs équipements.

1. Le texte concerne : "Les établissements d'enseignement, de santé, de soins, d'action sociale, de loisirs, de sport, ainsi que les hôtels et les établissements d'hébergement à caractère touristique" .
2. Des arrêtés [à paraître] fixent, pour les différentes catégories de locaux, les seuils et les exigences techniques applicables à la construction et à l'aménagement des dits locaux..

Nota : A ce jour, seul l'arrêté relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement a été publié (voir page 87).

Arrêté du 9 janvier 1995 : Limitation du bruit dans les établissements d'enseignement.

Les préconisations sont désormais remplacées par des valeurs réglementaires .

1. Valeurs des isolements acoustiques entre locaux .
2. Niveaux limites de pression acoustique normalisée à l'intérieur de l'ensemble des locaux.
3. Valeurs réglementaires d'isolement acoustique des locaux vis-à-vis de l'extérieur (bruit des transports terrestres) et définition des valeurs spécifiques pour les établissements situés dans les zones spécifiques telles que définies par les plans d'exposition au bruit des aérodromes.
4. Valeurs de durée de réverbération (locaux non meublés, non occupés, dans les bandes d'octaves centrées sur 500, 1000, et 2000 Hz).
5. Traitement absorbant des circulations, halls et préaux [sans référence cependant à l'indice unique a_w].

VI.3- Lieux de travail

Code du Travail - Article R 235-2-11 relatif à la conception et l'aménagement des locaux de travail. Arrêté du 30 août 1990 relatif à la correction acoustique des locaux de travail.

VI.4 - Objets bruyants et dispositifs d'insonorisation

Décret n° 95-79 du 23 janvier 1995 : objets bruyants et dispositifs d'insonorisation.

Arrêtés à paraître :

- Caractéristiques acoustiques pour chaque type ou famille d'objet : Valeurs admissibles.
- Agrément des organismes chargés d'effectuer ces mesurages.

VI.5 - Etablissements de loisirs et de sports

Arrêté à paraître :

- Limitation du bruit dans les établissements de loisirs et de sports.

VI.6 - Aérodomes civils

- Décret n°94-236 :
Etablissement des plans de gêne sonore.
Ce texte détermine les zones I, II et III des plans de gêne sonore, distinctes des zones A, B et C des plans d'exposition au bruit.

- Décret n°94-503 du 20 juin 1994 :
Opérations d'aide aux riverains des aérodomes sur lesquels est perçue la taxe ... (Arrêté du 21 septembre 1994 : Composition et règle de fonctionnement de la commission consultative d'aide aux riverains des aérodomes).

Ces deux textes sont entrés en application et donnent lieu au versement d'aides sous le contrôle de l'ADEME.

VI.7 - Infrastructures de transports

- Décret n° 95-21 du 9 janvier 1995 :
Classement des infrastructures de transports terrestres
 1. Recensement et le classement, par le préfet, des infrastructures de transports terrestres (rail, route).
 2. Un arrêté interministériel du 30 mai 1996 détermine, en fonction des niveaux sonores diurnes et nocturnes, 5 catégories de classement, ainsi que la largeur des secteurs affectés par le bruit.
 3. Un arrêté interministériel du 30 mai 1996 fixe les modalités de mesure des niveaux sonores, les modalités d'agrément des méthodes de mesure in situ, ainsi que les prescriptions que doivent respecter les logiciels de simulation acoustique.
 4. Sur la base du classement, un arrêté préfectoral détermine : les secteurs affectés par le bruit, les niveaux sonores que les constructeurs sont tenus de prendre en compte, les valeurs des isolements acoustiques de façade.
- Décret n° 95-22 du 9 janvier 1995 : Limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres.
 1. Limitation de la gêne sonore consécutive à la réalisation ou à la modification significative d'une infrastructure de transports terrestres.
 2. La gêne due au bruit d'une telle infrastructure est définie par des indicateurs... (Arrêté du 30 mai 1996).
 3. Les méthodes de contrôle des niveaux sonores in situ, ainsi que les prescriptions que doivent respecter les méthodes de calcul et les logiciels de simulation font l'objet d'un arrêté interministériel.

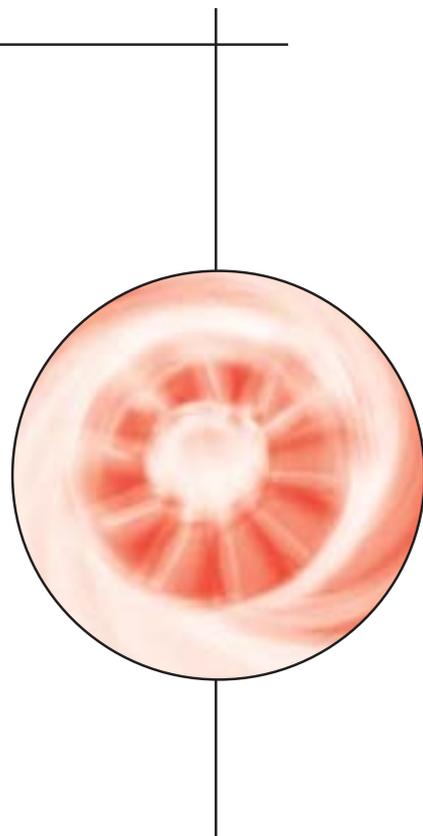
VI.8 - Environnement des installations classées

- Loi du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.
Arrêté du 20 août 1985

VI.9 - Autres textes en attente...

- Décret relatif aux lieux musicaux.
- Décret relatif aux activités bruyantes de plein air.
- Décret relatif aux prescriptions acoustiques applicables aux activités bruyantes qui ne figurent pas dans la nomenclature des installations classées pour l'environnement.

Annexe 4



GLOSSAIRE

GLOSSAIRE

	CHAPITRES	PAGES
A		
Absorption acoustique	L'acoustique en aéraulique	55 ; 62-66
Analyse par bande d'octave	Rappels généraux	48
Analyse par tiers d'octave	Rappels généraux	48
Atténuation du bruit	L'acoustique en aéraulique	63-66
B		
Bruit propagé	L'acoustique en aéraulique	40 ; 60-66
Bruit rayonné	L'acoustique en aéraulique	40 ; 60
Bruits blanc, rose et route	Rappels généraux	48
C		
Champ libre	Rappels généraux	54
Changements de sections	L'acoustique en aéraulique	67
Clapets	L'acoustique en aéraulique	68
Coefficients d'absorption du matériau	L'acoustique en aéraulique	64
Coudes	L'acoustique en aéraulique	64-65 ; 67
Courbes isophoniques	Rappels généraux	51
D		
Diffuseurs	L'acoustique en aéraulique	65 ; 66
Directivité	Rappels généraux	26-28 ; 51 ; 72
E		
Equilibrage	L'acoustique en aéraulique	68
F		
FIB'AIR	L'acoustique en aéraulique	63-64
Fréquence de pale	Les équipements	42 ; 62
M		
Manchettes	L'acoustique en aéraulique	60
N		
Niveau de bruit dans le réseau d'air (calcul)	L'acoustique en aéraulique	60-70
Niveau direct	Rappels généraux	55-57 ; 72-76
Niveau réverbéré	Rappels généraux	55-57 ; 72-76
Noise Reduction (courbes NR)	Rappels généraux	53
O		
OCTAVE	Les équipements	38-39 ; 43

GLOSSAIRE

P

Piquages	L'acoustique en aéraulique	65 ; 67
Plots antivibratoires	L'acoustique en aéraulique	60
Point de fonctionnement du ventilateur	Règles d'installation	16-18 ; 22 ; 40-43 ; 61
Pondération A [dB(A)]	Rappels généraux	51
Pression acoustique (dB)	Rappels généraux	48
Propagation	L'acoustique en aéraulique	40 ; 60-66
Propagations aériennes	L'acoustique en aéraulique	60
Propagations solidiennes	L'acoustique en aéraulique	60
Puissance acoustique (dB)	Rappels généraux	48

R

Réflexion finale	L'acoustique en aéraulique	65
Réflexion sonore	L'acoustique en aéraulique	60-66
Régénération du bruit	L'acoustique en aéraulique	66-69
Registres	L'acoustique en aéraulique	68
Réverbération (temps de)	Rappels généraux	48

S

Sabine (formule de)	Rappels généraux	55 ; 64
Silencieux	Les équipements	38-39 ; 43
Son	Rappels généraux	48
Son pur	Rappels généraux	48
Spectre sonore	Rappels généraux	56-57
Système (effet)	Les règles d'installation	16-18 ; 22

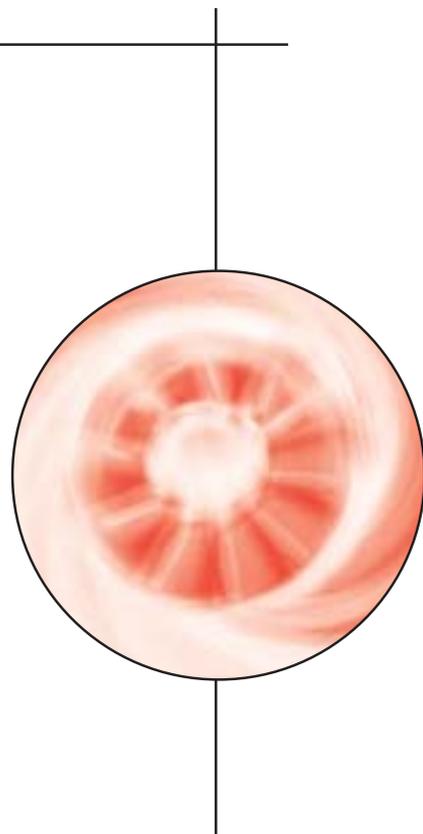
T

Tôles résonnantes	Les équipements	39
Traitement antivibratoire	Les équipements	60
Transmission sonore	L'acoustique en aéraulique	61

V

Ventilateurs	Les équipements	16-18 ; 40-43 ; 61
--------------	-----------------	--------------------

Annexe 5



ABRÉVIATIONS

ABRÉVIATIONS

<i>Abréviations</i>	<i>Signification</i>	<i>Chapitre</i>	<i>Page</i>
(A)	Pondération sur le spectre sonore	Rappels généraux	51
a	Coefficient d'absorption du local	Rappels généraux	55-57
Attn	Atténuation	Rappels généraux	62-66
dB	Décibels	Rappels généraux	48
dB(A)	Décibels avec Pondération A	Rappels généraux	51
dB(lin)	Appellation conventionnelle du dB non pondéré	Rappels généraux	48 ; 51
esp	Espacement entre baffles dans le silencieux	Rappels généraux	38
fp	Fréquence de pale = n.N/60	Les équipements	40 ; 62
Hz	Hertz, unité de fréquence	Rappels généraux	48
La _{eq} T	Niveau de pression acoustique équivalent		
Lp	Pression acoustique en dB	Rappels généraux	48
Lpd	Niveau de pression sonore direct	Rappels généraux	55-57 ; 72-76
Lpr	Niveau de pression sonore réverbéré	Rappels généraux	55-57 ; 72-76
Lw	Puissance acoustique en dB	Rappels généraux	48
N.R.A.	Nouvelle Réglementation Acoustique	Rappels généraux	82
NR	Noise Rating = critère ISO de gêne	Rappels généraux	53
P	Pression en Pascal	Rappels généraux	48
Po	Pression de référence, seuil d'audibilité = 2.10 ⁻⁵ Pascal	Rappels généraux	48
S	Surface totale des parois du local	Rappels généraux	55
Tr	Temps de réverbération (s)	Rappels généraux	55
V	Volume total du local	Rappels généraux	55
W	Puissance en Watt	Rappels généraux	48
W ₀	Puissance de référence = 10 ⁻¹² Watt	Rappels généraux	48
Dn _{AT}	Isolement normalisé entre locaux	Définitions	94
Dn _e	Isolement normalisé d'une entrée d'air	Définitions	94

DEFINITIONS

Ln_{AT}

Le niveau de pression acoustique normalisé LnAT est un niveau de pression acoustique exprimé en

niveau global pondéré A corrigé d'un facteur $10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$ (avec T durée de réverbération mesurée dans

le local, et T₀ durée de réverbération de référence fixée à 0,5 dans les locaux d'habitation).

Dn_e = Dn₁₀

L'isolement acoustique normalisé noté Dne ou Dn10 d'une entrée d'air caractérise l'isolement mesuré en laboratoire pour un spectre de bruit rose entre 2 locaux, le local de réception ayant une aire d'absorption de 10 m² (voir norme NF S 31-051).

Dn_{AT}

L'isolement normalisé noté DnAT permet de caractériser par une seule valeur globale exprimée en dB(A) l'isolement aux bruits aériens entre deux locaux vis-à-vis d'un bruit rose à l'émission. Pour chaque bande d'octave, l'isolement est caractérisé par la relation suivante :

$$D_{NT} = L_{PE} - L_{PR} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

Avec :

L_{PE} niveau de pression acoustique mesuré à l'émission

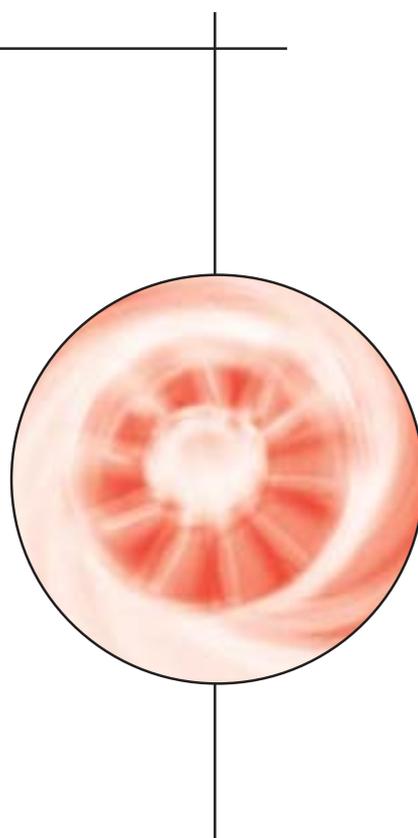
L_{PR} niveau de pression acoustique mesuré à la réception

T Durée de réverbération du local

T₀ Durée de réverbération de référence (0.5 seconde dans les locaux d'habitation)

L'isolement normalisé Dn_{AT} se déduit des valeurs par bande de fréquence selon la méthode définie dans la norme NF S 31057.

Annexe 6



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AICVF/COSTIC - *Guide Mise au point des Installations aérauliques* - PYC Editions.
- [2] ASHRAE - **Systems Handbook** - Ch. 35, *Sound and Vibration control* - Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc.
- [3] Léo. L. BERANEK - *Noise Reduction* - Mac Graw Hill, 1960.
- [4] Léo. L. BERANEK - *Noise and vibration control* - Mac Graw Hill, 1971.
- [5] C.E. BULLOCK - *Aerodynamic sound generation by ducts elements* - ASHRAE Transactions, 1970, Vol. 76, part II, p. 97 - 109.
- [6] CATED, **Centre d'Assistance Technique et de Documentation** - *L'isolation acoustique: Correction acoustique, bruit aérien - bruit d'impact, bruit d'équipement* - Le Moniteur, 1980.
- [7] CETIAT - *Guide pratique pour l'installation des ventilateurs*.
- [8] CIAT - *Acoustique et traitement du bruit* - Guide pratique CIAT.
- [9] F. CLAIN - *Le bruit des équipements* - Sedit, 1974.
- [10] Raymond H. DEAN - *Removing the roar : in-duct noise treatment* - Heating, Piping, Air Conditioning, Feb 1975, p. 28 - 35.
- [11] Cyril M. HARRIS - *Handbook of noise control* - Mac Graw Hill, 1979.
- [12] U. INGARD, A. OPPENHEIM, M. HIRSCHORNC - *Noise generation in ducts* - ASHRAE Transactions, 1968, Vol. 74, part I, p. V-1-1.
- [13] M.A. IQBAL, T.K. WILLSON, R.J. THOMAS - *Le traitement du bruit dans les installations de ventilation* - Les éditions parisiennes CFP 1980.
- [14] ISOVER, Saint Gobain - *Documents techniques en Isolation Acoustique* - Janvier 1967.
- [15] Mathias MEISSIER - *L'acoustique du bâtiment par l'exemple - Isolation et correction acoustiques dans le neuf et l'ancien : 50 cas réels analysés et commentés* - 2ème édition - Le Moniteur.
- [16] P. PONSONNET - *Bruit des ventilateurs et calcul acoustique des installations aérauliques* - Dunod, 1974.
- [17] P. POUBEAU, C. BARON - *Produits pour la correction acoustique* - CATED, 1991.
- [18] Jean PUJOLLE - *La pratique de l'isolation acoustique des bâtiments* - Le Moniteur, 1978.
- [19] D.D. REYNOLDS, J.M. BLEDSOE - **Sound attenuation of unlined and acoustically lined rectangular ducts** - ASHRAE Transactions, 1989, Vol. 95.
- [20] Ian SHARLAND - *Woods Practical Guide to Noise Control*
- [21] B. SUNER - *Circuits aérauliques et Acoustique* - Revue Pratique du Froid : N° 714, 20 Septembre 1990, p. 108 - 117 et N° 716, 24 Octobre 1990, p. 88 - 96.
- [22] R.H. WARRING - *Handbook of noise and vibration control, 5th edition* - Trade & Technical Press Ltd (England)
- [23] J. D. WEBB, T.P.C. BRAMER, J.R. COWELL - *Noise Control in Mechanical Services* - R.I. Woods Mihve.

FICHE DE CALCUL SIMPLIFIÉ

1. Niveau de puissance = 40 dB(A) (1)

2. Niveau de pression direct

- Distance à l'auditeur = ... 2 ... m
- Se référer à la figure n°1-

Correction = ... 17 ... dB (2)

- Directivité
- Se référer à la figure n°2-

Correction = ... 3 ... dB (3)

Lpd = ... 26 ... dB(A) (4) = (1) + (2) + (3)

3. Niveau de pression réverbéré

(nul en champ libre (extérieur))

- Volume du local = ... 125 ... m³
- Se référer à la figure n°3-

Correction = ... 7 ... dB (5)

- Temps de réverbération = ... 0,6 ... s
- Se référer à la figure n°4-

Correction = ... 3 ... dB (6)

Lpr = ... 30 ... dB(A) (7) = (1) + (5) + (6)

4. Niveau final

- Se référer à la figure n°5-

30 - 26 = 4 → valeur à rajouter : 1 dB

Lp = Lpd + Lpr = ... 37 ... dB(A)

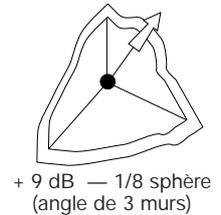
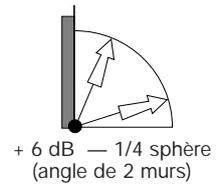
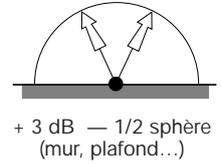
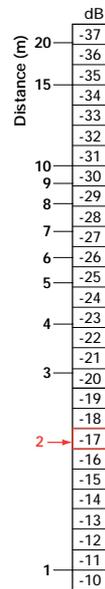


Fig. 1 : distance à l'auditeur

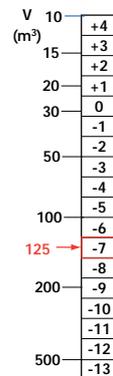


Fig. 2 : directivité

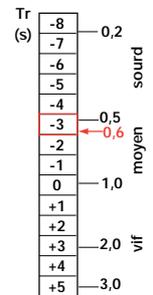


Fig. 3 : volume du local

Fig. 4 : temps de réverbération

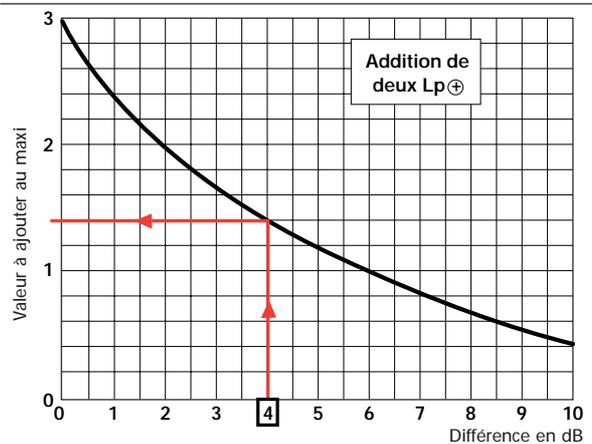


Fig. 5 : addition de 2 niveaux sonores

Le résultat peut être vérifié par la méthode complète de calcul suivante :

Le niveau final a pour expression :

$$L_p = L_w - 10 \log (Q/4 p r^2 + 4/A)$$

Nous devons donc déterminer la valeur de la constante de la salle :

$$A = S a / (1 - a)$$

qui est fonction du coefficient moyen d'absorption du local (Formule de Sabine)

$$a = (0,161 * V) / (S * Tr),$$

$$\text{avec } V = x*y*z \text{ et } S = 2 (xy + yz + xz)$$

Application numérique :

$$V = (10 * 5 * 2,5) = 125 \text{ m}^3$$

$$S = 2 (10 * 5 + 10 * 2,5 + 5 * 2,5) = 175 \text{ m}^2$$

$$a = (0,161 * 125) / (175 * 0,6)$$

$$a = \mathbf{0,192}$$

donc

$$A = (0,192 * 175) / (1 - 0,192)$$

$$A = \mathbf{41,49 \text{ m}^2 \text{ Sabine}}$$

et finalement

$$L_p = 40 - 10 \log (2 / 4 p 2^2 + 4 / 41,49)$$

$$L_p = \mathbf{31 \text{ dB(A)}}$$

On retrouve effectivement le résultat de la fiche de calcul simplifié.



Siège
Rue des Barronnières - B.P. 406
01704 Beynost cedex
Tél. 04 72 88 11 11
Fax 04 78 55 25 63
www.france-air.com
e-mail :
demande@france-air.com



France Air Export
Tél. 04 42 18 79 80
Fax 04 42 18 79 89

Aubagne
Tél. 04 42 03 30 32
Fax 04 42 03 35 24

Bordeaux
Tél. 05 56 34 42 47
Fax 05 56 34 40 43

Lille
Tél. 03 20 61 37 30
Fax 03 20 84 39 91

Lyon
Tél. 04 72 90 16 40
Fax 04 72 90 40 39

Metz
Tél. 03 87 21 88 88
Fax 03 87 21 12 01

Montpellier
Tél. 04 67 42 47 60
Fax 04 67 42 36 96

Nantes
Tél. 02 51 77 84 10
Fax 02 51 78 61 23

Nice
Tél. 04 93 31 40 10
Fax 04 93 14 48 14

Paris Est
Tél. 01 43 04 34 00
Fax 01 43 04 33 75

Paris Ouest
Tél. 01 60 49 00 33
Fax 01 47 85 33 72

Paris Sud
Tél. 01 69 34 85 00
Fax 01 69 34 86 00

Rennes
Tél. 02 23 35 52 80
Fax 02 23 30 72 75

Rouen
Tél. 02 32 91 29 85
Fax 02 32 91 31 95

Strasbourg
Tél. 03 88 78 70 99
Fax 03 88 65 92 10

Toulouse
Tél. 05 61 43 68 38
Fax 05 61 43 68 31

Clients nationaux
Tél. 01 56 83 82 23
Fax 01 47 84 62 95

NOUVEAU

2 numéros Indigo pour mieux vous répondre :

► **N° Indigo 0 820 820 626**

0,28 € TTC/Min

= Accueil client pour parler directement à votre assistante commerciale.

► **N° Indigo 0 825 815 810**

0,28 € TTC/Min

= Pour bénéficier d'une assistance technique sur vos projets.