

Rappels techniques

ACOUSTIQUE



PRINCIPES DE BASE

Que ce soit en climatisation, ventilation ou même chauffage, l'acoustique est un critère déterminant de la **qualité d'une installation**. On rappelle ici quelques principes de base : **définitions et règle d'addition de niveaux sonores** en attirant votre attention sur le dessin ci-joint ayant pour but d'éviter la confusion fréquente entre les niveaux L_p ou L_w .

PRESSION ACOUSTIQUE P et niveau de pression L_p

L'oreille humaine n'est pas directement sensible à la puissance acoustique de la source, mais à l'amplitude de l'onde sonore qui se propage depuis la source, cette amplitude est la pression acoustique :

- **P (Pa)** : pression acoustique (peu utilisée)
- **L_p (dB)** : niveau de pression acoustique, donné par $L_p = 94 + 20 \cdot \log(P)$

On notera que pour une source sonore donnée (ex. : une bouche d'extraction) le niveau de puissance acoustique L_w est une caractéristique intrinsèque de la source, alors que le niveau de pression acoustique L_p créé par cette source dépend de L_w mais aussi de l'observateur : le bruit perçu (c.a.d. L_p) est d'autant plus élevé qu'on est proche de la source et que le local est réverbérant (ex. : Si on met de la moquette dans un local, le bruit L_p diminue car le local devient moins réverbérant).

FRÉQUENCE D'UN SON

Elle permet de distinguer les sons graves des sons aigus.

Pour un son pur, c'est le nombre de périodes de l'onde sonore par seconde qui s'exprime en Hertz (Hz). Par ex., une onde de 50 Hz correspond à 50 périodes / seconde. L'oreille humaine est sensible aux fréquences comprises entre 25 Hz = sons graves et 15000 Hz = sons aigus. Comme les sons réels ne sont pas purs, ils sont caractérisés par leur spectre sonore.

SPECTRE SONORE

Pour un bruit donné, le niveau sonore dépend de la fréquence. Si l'on représente le niveau de ces sons en fonction des fréquences on obtient un graphique tel que celui de la fig. 1 appelé spectre sonore. Pour simplifier la représentation, on choisit une échelle dont l'échelon est l'octave (parfois le 1/3 d'octave) pour plus de précision. Les valeurs normalisées des bandes d'octave sont caractérisées par leur fréquence médiane indiquée à la 1^{re} colonne du tableau ci-après. On notera enfin, qu'en génie climatique, les bruits d'équipement sont plus particulièrement gênants dans les basses fréquences.

MODE D'EXPRESSION DU BRUIT

La gêne due au bruit dépend de la combinaison des niveaux sonores dans chaque bande d'octave ; il y a différentes façons de « pondérer », c'est-à-dire d'additionner ou composer le niveau de bruit dans chaque bande, ce qui a donné lieu à plusieurs types de pondération :

• PONDÉRATION LINÉAIRE dBLin :

Ce mode de pondération, le plus simple, n'est utilisé que pour des applications spéciales car il rend mal compte de la gêne auditive. Dans ce mode, pour obtenir la puissance sonore d'une source sur l'ensemble de la gamme audible, il suffit d'additionner la puissance en Watt correspondant à chaque bande d'octave. En pratique, comme on est en écriture logarithmique L_p ou L_w , les calculs ne sont pas aussi simples et il faut utiliser les relations donnant L_p ou L_w , comme indiqué en fin de fiche.

• PONDÉRATION A, B, C :

Elles permettent, pour chaque bande d'octave, de « corriger » le niveau acoustique dans cette bande de façon à tenir compte de la variation de sensibilité de l'oreille aux différentes fréquences. En effet, à niveau acoustique égal, l'oreille humaine est davantage sensible aux fréquences aiguës qu'aux graves. Ci-contre les corrections correspondant à la pondération A qui, en pratique, est la seule utilisée.

• INDICE NR (Noise Rating ratio) ou ISO :

L'indice NR, encore appelé ISO, est un mode de caractérisation de L_p ou parfois de L_w : au lieu d'effectuer une pondération comme pour le calcul des dBLin ou dB(A), on retient le niveau de bruit correspondant à la fréquence la plus gênante qui est définie par rapport aux courbes types du tableau. On peut aussi utiliser la fig. 1 sur laquelle on a représenté une courbe de pression acoustique : la fréquence la plus gênante est 4000 Hz, ce qui correspond à un indice NR ou ISO égal à 47.

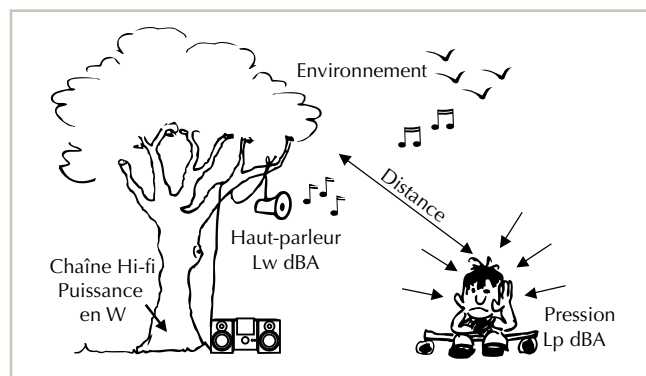
PUISSANCE ACOUSTIQUE W NIVEAU DE PUISSANCE L_w

- **W (Watt)** : puissance acoustique de la source sonore
- **L_w (dB)** : niveau de puissance acoustique, donné par : $L_w = 120 + 10 \cdot \log(W)$

Exemples : Avion à réaction : $L_w = 160$ dB, Piano : $L_w = 103$ dB,

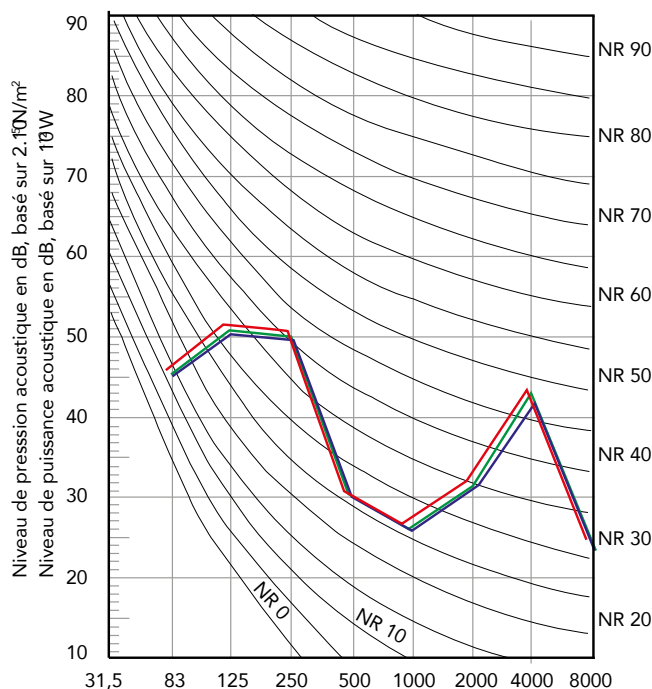
Conversation : $L_w = 73$ dB,

Chuchotements : $L_w = 30$ dB, Seuil d'audibilité : $L_w = 0$ dB

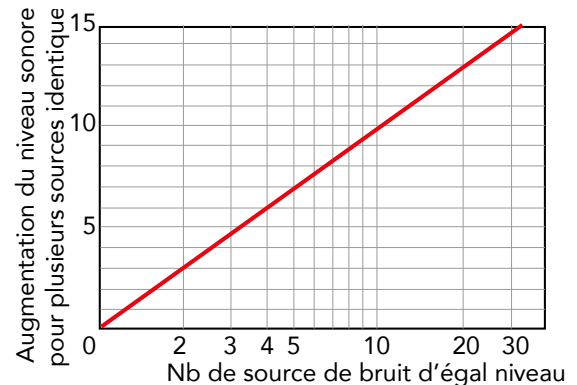
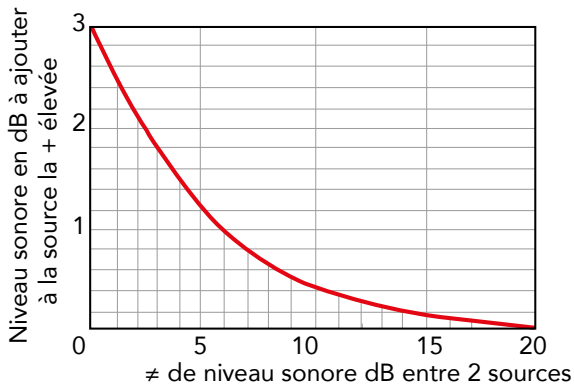


BANDE D'OCTAVE EN Hz fréquence médiane	CORRECTION EN dB pour pondération A
31,5	-39,4
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0,0
2000	1,2
4000	1,0
8000	-1,1

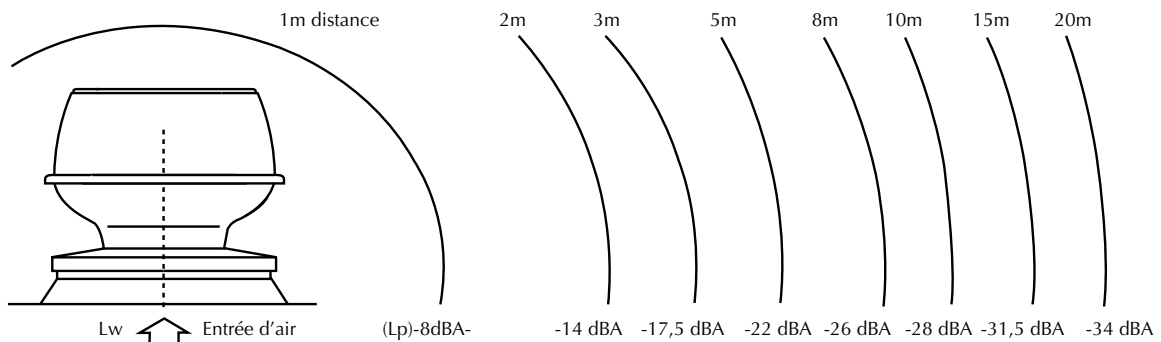
Figure 1



COMPOSITION DES SOURCES



AUGMENTATION DES ONDES SONORES EN CHAMP LIBRE



L'augmentation des ondes sonores en champ libre.

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2}$$

$L_p = L_w - 8 - 20 \log r$: r étant dans ce contexte, la distance jusqu'à la source en mètres.

Dans ce contexte, $Q = 2$

La figure ci-contre représente cette influence.

L_p = niveau de pression sonore par rapport à 2×10^{-5} n Pa
 L_w = niveau de capacité sonore source par rapport à 10 W
 Q = facteur de direction
 r = distance en m
 $Q = 1$ = sphère complète
 $Q = 2$ = demi-sphère
 $Q = 4$ = quart de sphère
 $Q = 8$ = 8° de sphère

NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUES

L_p des limites iso et nr

ISO	Fréquences centrales des bandes d'octave en Hz										Niveaux globaux		
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		dBA	dBB	dB(C)
10	62,2	43,4	30,7	21,3	14,5	10	6,6	4,2	2,3		21	34	41
15	65,6	47,3	35,0	25,9	19,4	15	11,7	9,3	7,4		25	38	46
20	69,0	51,3	39,4	30,6	24,3	20	16,8	14,4	12,6		30	43	50
25	72,4	55,2	43,7	35,2	29,2	25	21,9	19,5	17,7		35	47	55
30	75,8	59,2	48,1	39,9	34,0	30	26,9	24,7	22,9		39	51	59
35	79,2	63,1	52,4	44,5	38,9	35	32,0	29,8	28,0		44	55	63
40	82,6	67,1	56,8	49,2	43,8	40	37,1	34,9	33,2		48	59	67
45	86,0	71,0	61,1	53,6	48,6	45	42,2	40,0	38,3		53	63	71
50	89,4	75,0	65,5	58,5	53,5	50	47,2	45,2	43,5		58	68	75
55	92,9	78,9	69,8	63,1	58,4	55	52,3	50,3	48,6		62	72	79
60	96,3	82,9	74,2	67,8	63,2	60	57,4	55,4	53,8		67	76	83
65	99,7	86,8	78,5	72,4	68,1	65	62,5	60,5	58,9		72	80	87
70	103,1	90,8	82,9	77,1	73,0	70	67,5	65,7	64,1		77	85	91
75	106,5	94,7	87,2	81,7	77,9	75	72,6	70,8	69,2		82	89	95
80	109,9	98,7	91,6	86,4	82,7	80	77,7	75,9	74,4		87	93	100
85	113,3	102,6	95,9	91,0	87,6	85	82,8	81,0	79,5		92	98	104
90	116,7	106,6	100,3	95,7	92,5	90	87,8	86,2	84,7		96	102	108
95	120,1	110,5	104,6	100,3	97,3	95	92,9	91,3	89,8		101	107	112

CONSEIL DANS LE CHOIX D'UN SILENCIEUX

Les performances d'un silencieux à baffles dépendent des paramètres suivants :

- **Vitesse d'air** : la régénération dynamique d'un silencieux est proportionnelle à la vitesse dans les voies d'air, elle doit être de 10 dB inférieure à la puissance acoustique résultante.
- **Épaisseur** : un baffle de 200 mm amortit mieux dans les basses fréquences, alors qu'un baffle d'épaisseur 100 mm est plus performant dans les hautes fréquences.
- **Longueur** : l'atténuation de 2 silencieux montés en série se cumule, sous la condition de réaliser une zone de détente entre les 2.
- **Écartements entre les baffles** : si le fait de resserrer les baffles améliore l'atténuation du silencieux, attention à bien vérifier la régénération induite. Il est possible de monter 2 silencieux en série avec des baffles d'un écartement différent afin d'atténuer sur des bandes de fréquences différentes.

Conception, réalisation d'équipements **ACOUSTIQUES** et **AÉRAULIQUES**

ÉTABLISSEMENTS HOSPITALIERS

Recommandations. Durée de réverbération de 1 seconde.

Bruit d'équipements	Bruit maximal admissible en dB(A)	
	Chambre	Bureau ⁽¹⁾ , Salle soins ⁽²⁾ , Salle d'opérations ⁽³⁾
Équipement quelconque	33	-
Équipement hydraulique et sanitaire chambre voisine	38	-
Équipement collectif à fonctionnement permanent	30	38 ⁽¹⁾ / 48 ⁽²⁾ / 43 ⁽³⁾
Installation de ventilation collective	35	30
Autres équipements collectifs	38	30

RÈGLEMENTS APPLICABLES aux bruits de voisinage

• Arrêté du 23 Janvier 1997 (J.O. du 27 Mars 1997)

Limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement.

Ce texte fixe les zones à émergence réglementée et les émergences admissibles engendrées par les émissions sonores, les niveaux de bruit à ne pas dépasser de jour et de nuit (tableau ci-contre). La méthode de mesure des émissions sonores est décrite en annexe.

Émergences admissibles pour les installations classées existantes modifiées (arrêté du 23 Janvier 1997)

Niveau de bruit ambiant existant dans zones à émergence réglementée (incluant bruit de l'établissement)	Émergence admissible pour la période 7h à 22h (sauf dimanches et jours fériés)	Émergence admissible pour la période 22h à 7h ainsi que les dimanches et jours fériés
> 35 dB(A) et ≤ 45 dB(A)	6 dB(A)	4 dB(A)
> 45 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

LUTTE CONTRE LES BRUITS DE VOISINAGE

S'applique à tous les bruits de voisinage à l'exception de ceux qui proviennent des infrastructures de transport et des véhicules qui y circulent, des aéronefs et d'autres activités particulières (installations classées notamment). Ce texte fixe la définition de l'émergence :

- Entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause et celui du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels
- Les valeurs d'émergence max. admises en dB(A) en périodes diurne et nocturne

Valeurs maxi tolérées dB(A) pour l'émergence des bruits de voisinage en périodes diurne et nocturne - Décret n°95-408 du 18 Avril 1995

Durée Cumulée d'Apparition du Bruit T	Jour (7h à 7h)	Nuit (22h à 7h)
30 s < T ≤ 1 min	14	12
1 min < T ≤ 2 min	13	11
2 min < T ≤ 5 min	12	10
5 min < T ≤ 10 min	11	9
10 min < T ≤ 20 min	10	8
20 min < T ≤ 45 min	9	7
45 min < T ≤ 2 h	8	6
2 h < T ≤ 4 h	7	5
4 h < T ≤ 8 h	6	5
T > 8 h	5	3

Tonalité marquée détectée dans un spectre non pondéré de 1/3 d'octave quand ≠ de niveaux entre la bande de 1/3 d'octave et les 4 bandes de 1/3 d'octaves les + proches (les 2 bandes immédiatement < et >) atteint ou dépasse les niveaux indiqués dans le tableau : l'analyse se fera à partir d'une acquisition min. de 10 secondes

63 Hz à 315 Hz	400 Hz à 1,25 kHz	1,6 kHz à 6,3 kHz
10 dB	5 dB	5 dB

Bandes définies par fréquence centrale de 1/3 d'octave : examiner séparément la ≠ de niveau avec la moyenne énergétique des 2 bandes inf et la ≠ de niveau avec la moyenne énergétique des 2 bandes sup. ≠ de niveau non calculée si on ne dispose pas d'au moins 2 bandes adjacentes

SALLES SPORTIVES

Aucun texte réglementaire mais des recommandations suivant la norme NF P 90-207 «Salles sportives - Acoustiques».

SALLES DE SPECTACLE

Aucun texte réglementaire mais la norme internationale ISO/DIS-9568 relative à la cinématographie donne comme niveau de bruit de fond les valeurs : **NR 0** à **NR 25** dans les salles de vision, **NR 30** dans les salles de répétition.

HÔTELS

• Arrêté du 25 Avril 2003 (J.O. du 28/05/2003)

Art. 1 : Conformément aux dispositions des art. R. 111-23-2 du code de la construction et de l'habitation et L. 147-3 du code de l'urbanisme, le présent arrêté fixe les seuils de bruit et les exigences techniques applicables aux hôtels classés ou non dans la catégorie «de tourisme», à l'exception des résidences classées «de tourisme» et autres hébergements touristiques assimilables à des logements. Il s'applique aux bâtiments neufs ou parties nouvelles de bâtiments existants. Les résidences classées «de tourisme» et autres hébergements touristiques assimilables à des logements sont soumis à la réglementation concernant les bâtiments à usage d'habitation, au regard de laquelle les locaux collectifs de la résidence sont considérés comme des locaux d'activité.

Art. 4 : Dans des conditions normales de fonctionnement, le niveau de pression acoustique normalisé, LnAT, du bruit engendré dans les chambres par un équipement, collectif ou individuel, du bâtiment ne doit pas dépasser 30 dB(A). Cette valeur est portée à 35 dB(A) lorsque l'équipement est implanté dans la chambre (chauffage, climatisation).

LOCAUX D'ENSEIGNEMENT

• Arrêté du 09 Janvier 1995 (J.O. du 10/01/1995)

Les exigences en matière d'isolement acoustique normalisé au bruit aérien DnAT, les valeurs limites de transmission au bruit de chocs LnAT, les niveaux de pression acoustique normalisés LnAT du bruit des équipements, l'isolement acoustique au bruit de l'espace extérieur DnAT et les caractéristiques de durée de réverbération des locaux. Les modalités de mesures de vérification de la qualité acoustique des locaux. Les exigences d'isolement aux bruits des transports terrestres sont identiques à celles imposées aux logements.

TRIBUNAUX ET CITÉS JUDICIAIRES

Aucun texte réglementaire : 30 dB(A) dans les bureaux, salles de réunions et salles d'audience et 35 dB(A) dans les autres locaux

RÈGLEMENTS APPLICABLES AUX ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES

• Décret n°84-1094 du 7 Déc. 1984

«Les installations de ventilation doivent assurer le renouvellement de l'air en tout point des locaux. Ces installations ne doivent pas provoquer, dans les zones de travail, de gêne résultant notamment de la vitesse, de la T °C et de l'humidité de l'air, des bruits et vibrations ; en particulier ces installations ne doivent pas entraîner d'augmentation significative des niveaux sonores résultants des activités envisagées dans les locaux».

- **Décret n° 88-405 du 21 Avril 1988** - Protection des travailleurs contre le bruit. Ce texte définit des contraintes concernant :

L'EMPLOYEUR :

- Contrôle de l'exposition au bruit de façon à identifier les travailleurs soumis à une exposition quotidienne de 85 dB(A) ou à un niveau de crête de 135 dB.
- Prévention collective par un programme de nature technique ou d'organisation du travail destiné à réduire l'exposition au bruit si le niveau journalier dépasse 90 dB(A) ou le niveau de crête 140 dB.
- Prévention individuelle par mise à disposition de protections individuelles si le niveau journalier dépasse 85 dB(A) ou le niveau de crête 135 dB(A).
- a. Prévention individuelle par mise à disposition de protections individuelles et mise en place de dispositions pour qu'elles soient utilisées si le niveau journalier dépasse 90 dB(A) ou le niveau de crête 140 dB(A).
- b. Surveillance médicale des travailleurs exposés à un niveau journalier > à 85 dB(A).
- c. Information et formation des travailleurs soumis à une exposition quotidienne de 85 dB(A) ou à un niveau de crête de plus de 135 dB.
- d. Signalisation et réglementation de l'accès aux zones où l'exposition journalière dépasse 90 dB(A) ou le niveau de crête 140 dB.

ISOLATEUR DE VIBRATION

ATTÉNUATION ET EFFICACITÉ

On peut éviter de transmettre à la structure un pourcentage des vibrations donné. Pour ce faire, on installe la machine qui crée une vibration à une fréquence d'excitation (en général la vitesse de rotation de la machine) sur un système élastique qui résonne à sa fréquence propre. Cette dernière doit être beaucoup plus basse que la fréquence perturbatrice. Une machine tournante peut disposer de plusieurs vitesses de rotation. Dans ce cas, il est nécessaire de considérer celle qui est la plus basse.

$$f_0 \text{ ou fréquence propre : } f_0 = \frac{5}{\sqrt{d}} \quad d = \text{flexion sous charge en cm}$$

Cette relation simplifiée permet de déterminer la fréquence propre d'une installation connaissant l'écrasement du matériau élastique. Elle suppose que la réponse de l'écrasement sous charge soit linéaire (cas du ressort parfait) et sans amortisseur excessif. Lorsque le rapport de la fréquence d'excitation à la fréquence propre est de l'ordre de 3, théoriquement on élimine 90% de la vibration. Ces phénomènes sont traduits dans l'équation simplifiée ci-dessous (cas de ressort parfait).

Équation théorique pour le calcul de l'atténuation (%)

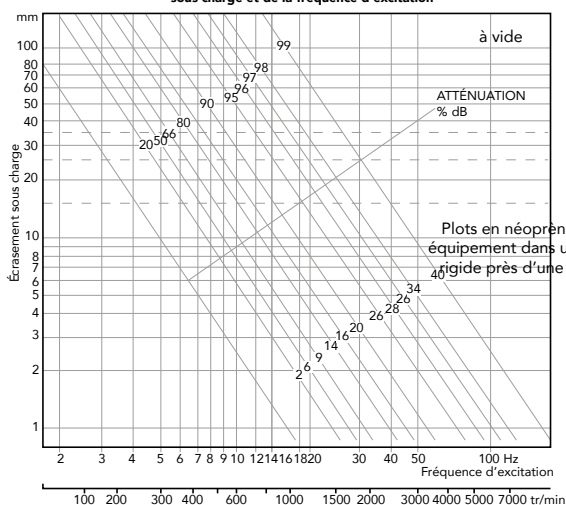
$$E = 100 \left[1 - \frac{1}{\left(\frac{f}{f_0} \right)^2 - 1} \right]$$

E = atténuation ou pourcentage de vibration filtrée

f = fréquence d'excitation en fréquence perturbatrice

f₀ = fréquence propre de l'isolateur

Abaque d'atténuation donnée par un ressort en fonction de sa flexion sous charge et de la fréquence d'excitation



SÉLECTION

Pour réaliser une très bonne isolation des équipements, plusieurs questions se posent :

1) Vitesse de rotation la plus faible > 1200 tr/min ?

- Réponse négative : envisager d'utiliser des ressorts
- Réponse positive : se reporter au 2)

Les vibrations des machines tournant à de faibles vitesses ou bien à des vitesses variables peuvent passer à travers les isolateurs à faible flexion et même être amplifiées.

2) Posé sur une structure béton rigide ou une structure flexible ?

- Structure rigide : utiliser des plots en néoprène à double flexion voire des ressorts.
- Structure flexible : utiliser des ressorts

3) Quel est le centre de gravité de la machine et par conséquent la charge qui va être appliquée sur chaque point de support ?

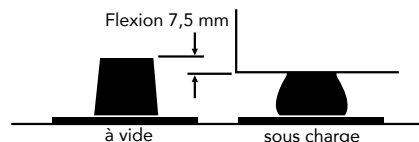
La capacité nominale de charge de l'isolateur doit correspondre à la charge qu'il va supporter. En général, les différents points de support ont des charges qui diffèrent les uns des autres et de ce fait, les capacités en charge des isolateurs de vibration correspondants seront elles-mêmes différentes.

FLEXION

La capacité de la plupart des matériaux à contrôler les vibrations dépend de leur flexion sous la charge du matériel supporté. **La flexion est la différence de hauteur du matériau lorsqu'il est non chargé, puis chargé.** C'est ce facteur décisif qui va déterminer l'efficacité du filtrage aux vibrations.

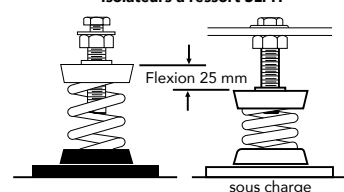
- La flexion sous charge d'un matériau élastique agit directement sur sa fréquence propre.

Isolateurs en néoprène ND



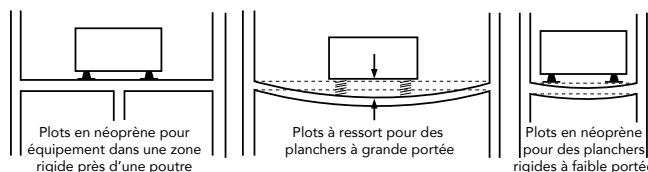
- La flexion a un effet direct sur la fréquence perturbatrice ou fréquence d'excitation du matériel supporté (vitesse de rotation de la machine tournante). En général, plus un isolateur fléchit (sans aller au delà des limites tolérées) plus il est efficace dans l'atténuation des vibrations.
- Les isolateurs à ressort ont une flexion supérieure aux isolateurs en néoprène et par conséquent, offrent une meilleure efficacité au filtrage des vibrations. Les matelas en élastomère sont ceux qui fléchissent le moins et sont surtout utilisés pour désolidariser 2 surfaces en contact.

Isolateurs à ressort SLFH



EMPLACEMENT

La rigidité de l'immeuble auquel l'équipement est rattaché est un autre facteur important pour l'efficacité au contrôle des vibrations. Une structure de support très rigide comme une dalle de béton à même le sol assure le fonctionnement optimal des isolateurs. Par contre, dans les étages du bâtiment, la structure peut être très réceptive aux vibrations et il faut prêter une grande attention au phénomène et à ses conséquences. Cela peut être le cas en particulier pour les étages supérieurs des bâtiments, là où la flexibilité importante des planchers à grande portée rend négligeable la performance des isolateurs à faible flexion, comme les matelas en néoprène au point que la transmission de la presque totalité des vibrations se fait à travers ces derniers vers la structure du bâtiment.



L'idée maîtresse pour une bonne sélection d'isolateurs de vibrations avec des planchers à grande portée est de s'assurer que la flexion de l'isolateur est **au minimum 3 fois supérieure à la flèche du plancher**. C'est pourquoi, les ressorts sont plus fréquemment utilisés dans ce cas de figure.

L'emplacement de l'équipement dans le bâtiment permet de déterminer s'il faut utiliser des isolateurs à ressort ou bien en néoprène.

- Les zones rigides autour des poutres de la structure ne nécessitent généralement que des **plots néoprène à haute flexion**.
- Des **suspentes ou plots à ressort** sont nécessaires dans les parties plus flexibles du bâtiment comme les planchers à très grande portée. Il faut noter que pour des équipements dont la vitesse de rotation est < à 1200 tr/min et suivant l'emplacement du matériel, il faut envisager la mise en place des plots à ressort.