



Le Centre Urbain
De Stadwinkler

Cycle de formations introductives en isolation acoustique

Inleidende vormingscyclus in geluidsisolatie



2007



Manuel Van Damme, ing.
Division Acoustique – Laboratoire Acoustique
CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction
Tél. : 02/655.77.11 – manuel.vandamme@bbri.be

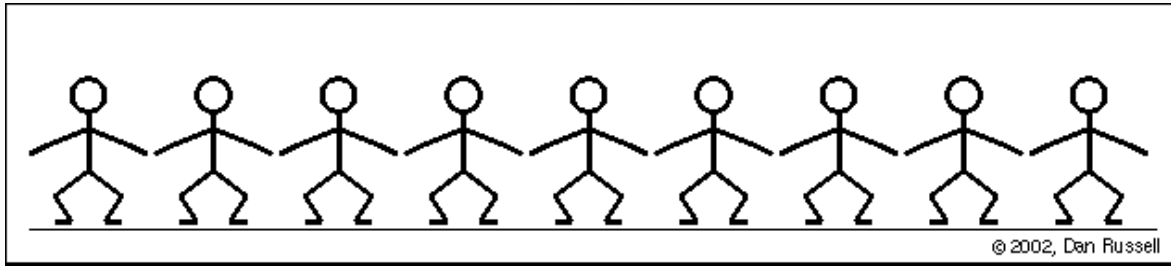


NOTIONS DE BASE EN ACOUSTIQUE BASISBEGRIPPEN VAN AKOESTIEK

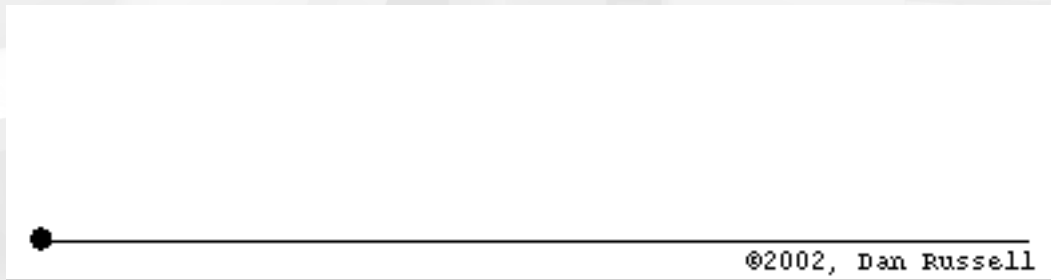




Qu'est-ce qu'une onde ? Wat is een golf?

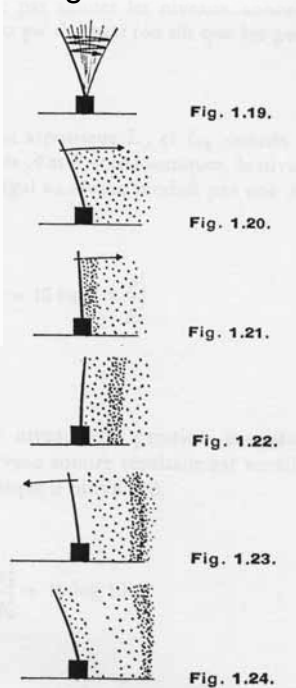


- Perturbation → Transfert d'énergie → A travers un milieu
- Verstoring → Energie-overdracht → Door een omgeving heen
- Variation locale mais pas de déplacement de matière
- Lokale variatie maar geen verplaatsing van materie



D'où vient le bruit ? Vanwaar komt het geluid?

Le Bruit Het geluid



= onde acoustique résultant de la vibration de l'air due à une suite de pressions et de dépressions

= geluidsgolf afkomstig van de luchtrilling door een opeenvolging van druk en depressie

Dans l'air à 20°C : 340 m/sec

In de lucht aan 20°C: 340 m/sec

Milieu nécessaire au transport

Noodzakelijke omgeving voor transport

En un point de l'onde, la pression fluctue un certain nombre de fois par seconde (fréquence) autour de la P_{atm}

In een golfpunt fluctueert de druk een bepaald aantal keren per seconde (frequentie) rondom de P_{atm}

Deux aspects : l'intensité et la hauteur.

Twee aspecten : de intensiteit en de hoogte.





Vitesse de déplacement du bruit

Snelheid van de geluidsverplaatsing

Célérité d'une onde acoustique

Voortplantingsnelheid van een geluidsgolf

Référence : 340 m/s dans l'air

Variation avec la température (en kelvin) selon :

$$c = 20\sqrt{T}$$

Referentie : 340 m/s in de lucht

Variatie met de temperatuur (in kelvin) naargelang : *Exemple / Voorbeeld* : $T = 0^\circ\text{C} \rightarrow c = 330 \text{ m/s}$

Dans les autres milieux :

Caoutchouc souple	70 m/s
Vapeur d'eau	402 m/s
Hélium	970 m/s
Hydrogène à 0°C	1270 m/s
Eau	1400 m/s
Béton	3000 m/s
Acier, verre	5000 m/s

NB : l'air = milieu *non dispersif*

NB : lucht = *niet-verstrooiende omgeving*

In de andere omgevingen :

Soepele rubber	70 m/s
Waterdamp	402 m/s
Helium	970 m/s
Waterstof aan 0°C	1270 m/s
Water	1400 m/s
Beton	3000 m/s
Staal, glas	5000 m/s

Notions de base



Le niveau d'un bruit

Het niveau van een geluid

Niveau de pression acoustique d'un bruit

Geluidsdruk niveau van een geluid

En un point de l'onde, la pression fluctue un certain nombre de fois par seconde autour de la pression atmosphérique.

La pression acoustique en ce point est la différence entre :

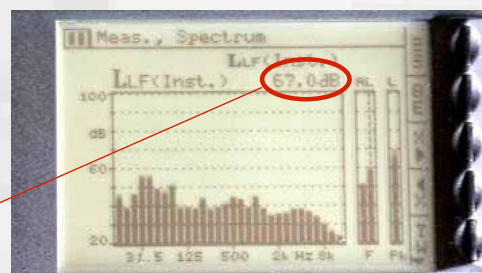
- la pression atmosphérique et
- la pression de l'air en présence d'ondes acoustiques.

In een golfpunt fluctueert de druk een bepaald aantal keren per seconde rond de atmosferische druk.

De geluidsdruk in dit punt is het verschil tussen :

- De atmosferische druk en
- De luchtdruk in aanwezigheid van geluidsgolven.

$$L_p = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$



Notions de base



L'échelle des dB De decibelschaal

Définitions Definities

L'échelle des niveaux de pression est logarithmique car :

- "Loi" de Weber-Fechner,
- Echelle linéaire trop étendue :

Variation de pression minimale audible : 0,00002 Pa

Variation de pression correspondant au seuil de la douleur : 20 Pa.

Soit une échelle des pressions de 1 à 100,000,000

→ Difficile à manipuler.

De schaal van de drukniveaus is logaritmisch wegens :

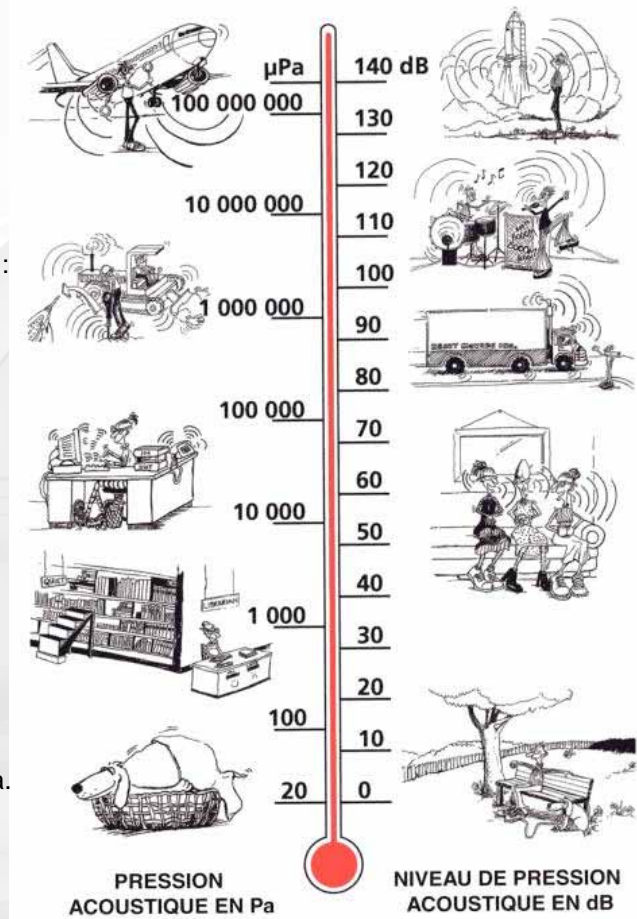
- "Wet" van Weber-Fechner,
- Te uitgebreide lineaire schaal :

Minimaal hoorbare drukvariatie : 0,00002 Pa

Drukvariatie overeenstemmend met de pijngrens : 20 Pa.

Ofwel een schaal met druk van 1 tot 100,000,000

→ Moeilijk hanteerbaar.



La relation entre la pression et le dB Relatie tussen de druk en de dB

Pourquoi utiliser le dB et non le Pa pour mesurer la pression acoustique ?

Le niveau en décibels (dB) est donné par la formule suivante :

Waarom de dB en niet de Pa gebruiken voor het meten van de geluidsdruk?

Het niveau in decibel (dB) wordt gegeven door de volgende formule :

$$L_p = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) = 10 \lg \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

Où : **P** : pression acoustique de l'onde exprimée en Pa

P₀ : pression acoustique de référence égale à 2.10⁻⁵ Pa

Waarbij : **P** : geluidsdruk van de golf uitgedrukt in Pa

P₀ : referentiegeluidsdruk gelijk aan 2.10⁻⁵ Pa

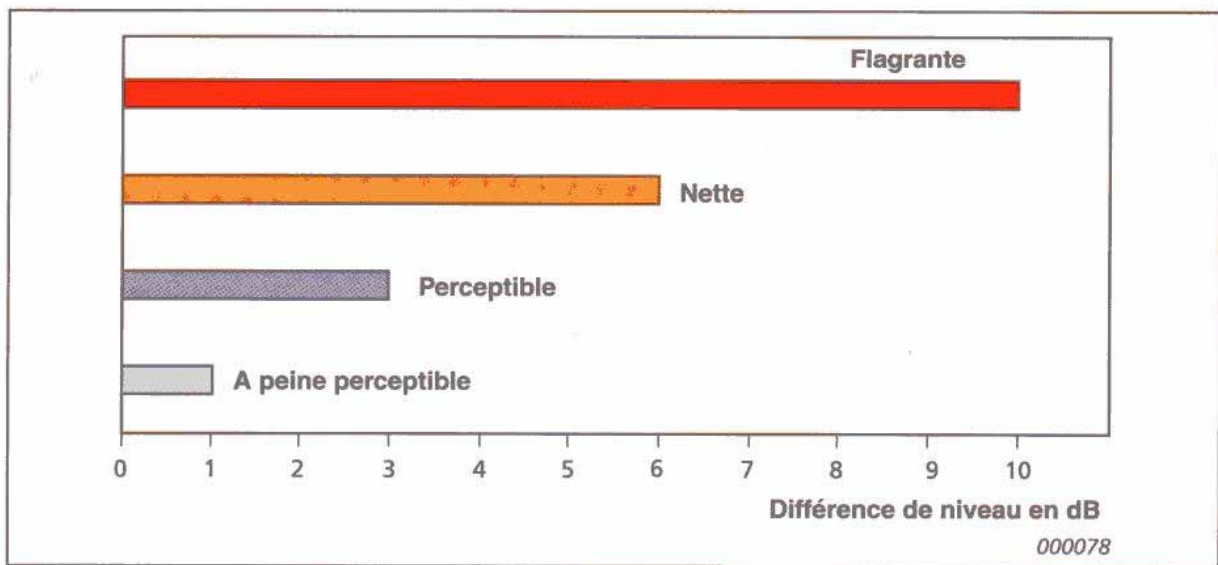


Exemple: Un klaxon émet un bruit de 100 dB, ceci correspond à une variation de pression de 2 Pa par rapport à la pression de référence.

Voorbeeld: Een claxon brengt een geluid van 100 dB voort, dit komt overeen met een drukvariatie van 2 Pa in verhouding tot de referentiedruk.



Perception d'une différence de niveau Waarneming van een niveauverschil



Perception d'une différence de niveau Waarneming van een niveauverschil

Exemple: Que représentent 10 dB ?

Voorbeeld: Wat geven 10 dB weer?



Son de référence : x dB

Referentieklink : x dB



x + 10 dB



x + 20 dB



La sonie d'un bruit De luidheid van een geluid

Attention ! Opgelet!

Niveau de pression ou d'intensité en dB : ne représente pas parfaitement la sensation de gêne (= la sonie d'un bruit).

Drukniveau of intensiteitsniveau in dB : geeft het gevoel van hinder (= luidheid van een geluid) niet perfect weer.

- De nombreuses méthodes complexes pour évaluer plus fidèlement la sonie existent
- Vele ingewikkelde methodes om de bestaande luidheid nauwkeuriger te beoordelen.

- Des méthodes plus simples également : voir pondération fréquentielle.
- Ook eenvoudigere methodes : zie frequentieële weging.



Les autres niveaux acoustiques De andere geluidsniveaus

Nous avons parlé jusqu'ici du niveau de **pression** L_p (dB) = $20 \log P/P_0$

Où : **P** : pression acoustique de l'onde exprimée en Pa

P₀ : pression acoustique de référence égale à $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Tot hier toe hadden we het over het **druk** niveau L_p (dB) = $20 \log P/P_0$

Waarbij : **P** : geluidsdruk van de golf uitgedrukt in Pa

P₀ : referentiegeluidsdruk gelijk aan $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Il existe aussi le niveau d'intensité acoustique L_I (dB) → **mesures particulières**

I₀ : intensité acoustique de référence égale à 10^{-12} W/m²

Er bestaat ook het niveau van geluidsintensiteit L_I (dB) → **specifieke metingen**

I₀ : referentie geluidsintensiteit gelijk aan 10^{-12} W/m²

Et le niveau de puissance acoustique L_W (dB) → **caractérise un élément**

W₀ : puissance acoustique de référence égale à 10^{-12} W

En het niveau van het akoestisch vermogen L_W (dB) → **kenmerkt een element**

W₀ : referentie akoestisch vermogen gelijk aan 10^{-12} W

ATTENTION ! ON NE PEUT PAS LES COMPARER DE MANIÈRE SIMPLE

Par exemple : une tondeuse pour laquelle $L_W = 60$ dB génèrera un $L_p = 32$ dB en plein air.

Analogie : Puissance thermique d'un radiateur et température émise dans le local par celui-ci.

OPGELET ! MEN MAG ZE NIET ZOMAAR VERGELIJKEN

Bijvoorbeeld : een tondeuse waarvoor $L_W = 60$ dB zal een $L_p = 32$ dB voortbrengen in open lucht.

Analogie : Thermisch vermogen van een radiator en de door deze uitgestraalde temperatuur in het lokaal.

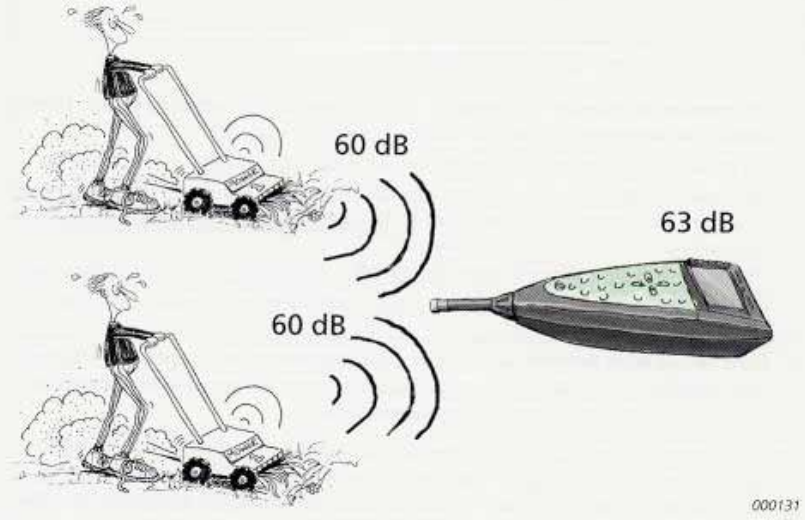


La sommation du bruit De optelling van het geluid

Règles de sommation de niveaux Optelregels voor de niveaus

Mais attention, une échelle logarithmique est beaucoup plus difficile à utiliser qu'une échelle linéaire :
"compter" en acoustique est plus difficile

Maar opgelet, een logaritmische schaal is veel moeilijker te gebruiken dan een lineaire schaal :
"tellen" in akoestiek is moeilijker



~~60 '+' 60 = 120 dB~~

60 '+' 60 = 63 dB

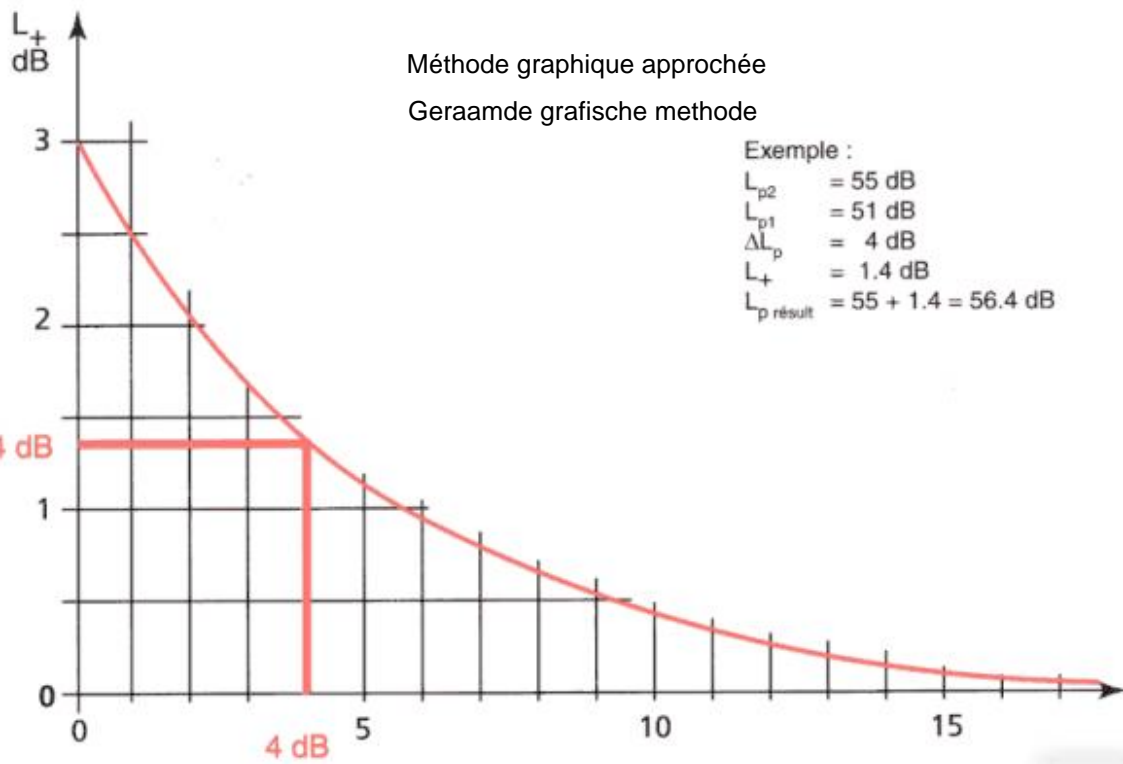
Et... 70 '+' 60 = 70 dB

En... 70 '+' 60 = 70 dB



La sommation du bruit De optelling van het geluid

Règles de sommation de niveaux - Optelregels van de niveaus

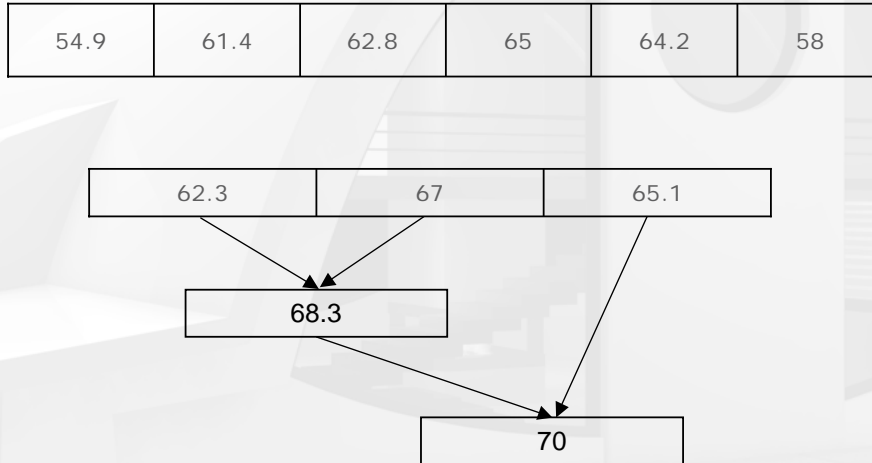




La sommation du bruit : exemple De optelling van het geluid: voorbeeld

Règles de sommation de niveaux - Optelregels van de niveaus

- ☞ Méthode graphique approchée appliquée à l'exemple précédent
- ☞ Geraamde grafische methode toegepast op het vorige voorbeeld



La sommation simplifiée du bruit De vereenvoudigde optelling van het geluid

Règles de sommation de niveaux - Optelregels van de niveaus

Méthode simplifiée (attention précision) - Vereenvoudigde methode (opgelet nauwkeurigheid)

Principe :

Avec-met $L_{p1} > L_{p2}$ (dB)

L_{p1} (dB) '+' L_{p2} (dB) = ?

D (dB) = $L_{p1} - L_{p2}$	D' (dB)
0 ou/of 1	3
2 ou/of 3	2
4 à/tot 9	1
10 ou plus/of meer	0

$$L_p = L_{p1} + D'$$

Exemple :

Voorbeeld:



$$60 - 60 = 0 \rightarrow D = 3$$

$$L_p = 60 + 3' = 63 \text{ dB}$$



La sommation du bruit : exemple

De optelling van het geluid: voorbeeld

Règles de sommation de niveaux - optelregels van de niveaus

Conséquences - Gevolgen

~~$60 + 60 = 120 \text{ dB}$~~

$60 + 60 = 63 \text{ dB}$

Et... $70 + 60 = 70 \text{ dB}$

En... $70 + 60 = 70 \text{ dB}$



La sommation du bruit : exemple

De optelling van het geluid : voorbeeld

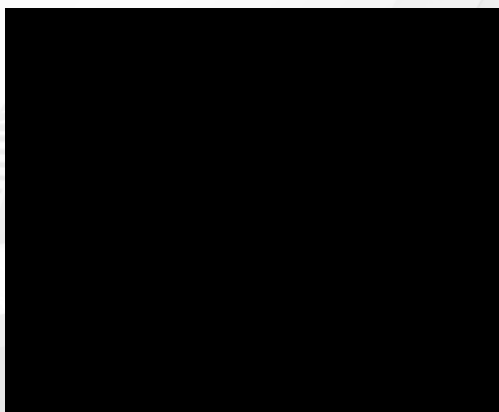
Evaluation de l'intensité des bruits

Beoordeling van de geluidsintensiteit

Règles de sommation de niveaux - Optelregels van de niveaus

Conséquences

Gevolgen



Démonstration – écoute et visualisation sommation : 51 sec.

$94 + 94 = 97 \text{ dB}$

$94 + 88 = 95 \text{ dB}$

$94 + 84 = 94 \text{ dB}$



La hauteur du bruit De hoogte van het geluid



BANDE D'OCTAVE Fréquence centrale	BANDES DE TIERS D'OCTAVE Fréquence centrale
16 000 Hz	20 000 Hz
	16 000 Hz
	12 500 Hz
	10 000 Hz
8000 Hz	8000 Hz
	6300 Hz
	5000 Hz
4000 Hz	4000 Hz
	3150 Hz
	2500 Hz
2000 Hz	2000 Hz
	1600 Hz
	1250 Hz
1000 Hz	1000 Hz
	800 Hz
	630 Hz
500 Hz	500 Hz
	400 Hz
	315 Hz
250 Hz	250 Hz
	200 Hz
	160 Hz
125 Hz	125 Hz
	100 Hz
	80 Hz
63 Hz	63 Hz
	50 Hz
	40 Hz
31,5 Hz	31,5 Hz
	25 Hz

On parle des bandes de tiers d'octave caractérisant les :
Men spreekt van tertsbanden die de kenmerken geven van :

Basses fréquences : 100 à 315 Hz

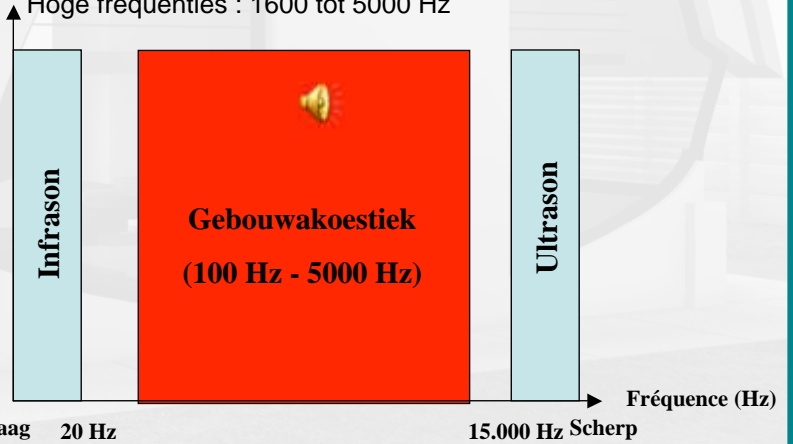
Lage frequenties : 100 tot 315 Hz

Moyennes fréquences : 400 à 1250 Hz

Gemiddelde frequenties : 400 tot 1250 Hz

Hautes fréquences : 1600 à 5000 Hz

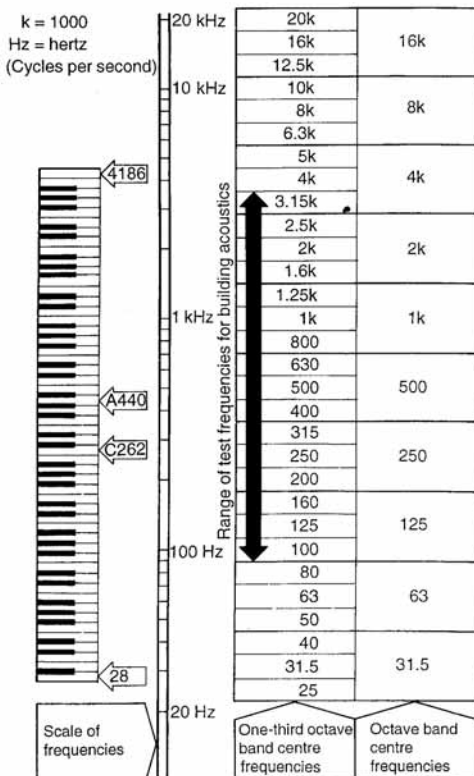
Hoge frequenties : 1600 tot 5000 Hz



Notions de base



Les bandes de tiers d'octave De tertsbanden



Spectre audible

Hoorbaar spectrum

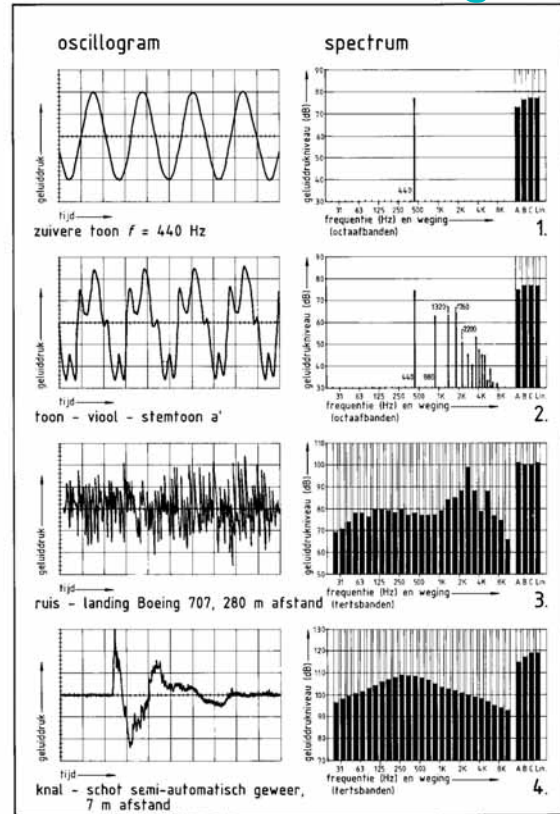
Acoustique du Bâtiment

Gebouwakoestiek

Notions de base



La différence entre un son et un bruit Het verschil tussen een klank en een geluid



Notions de base



Les spectres acoustiques De geluidsspectra

Spectre d'un bruit - Geluidsspectrum

Niveau en fonction de la fréquence.

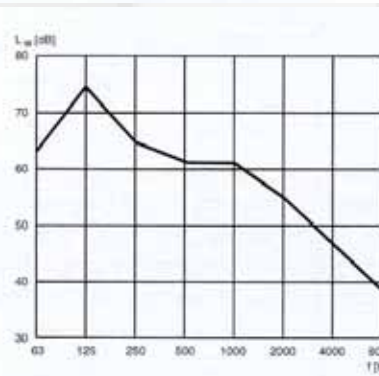
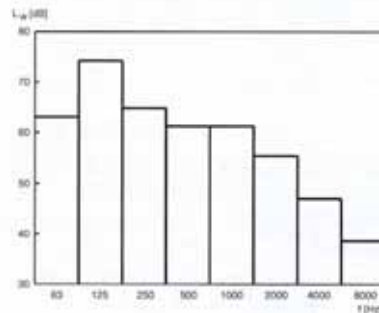
Niveau in functie van de frequentie

Représentation stricte : histogramme

Nauwkeurige weergave: histogram

Représentation courante

Courante weergave



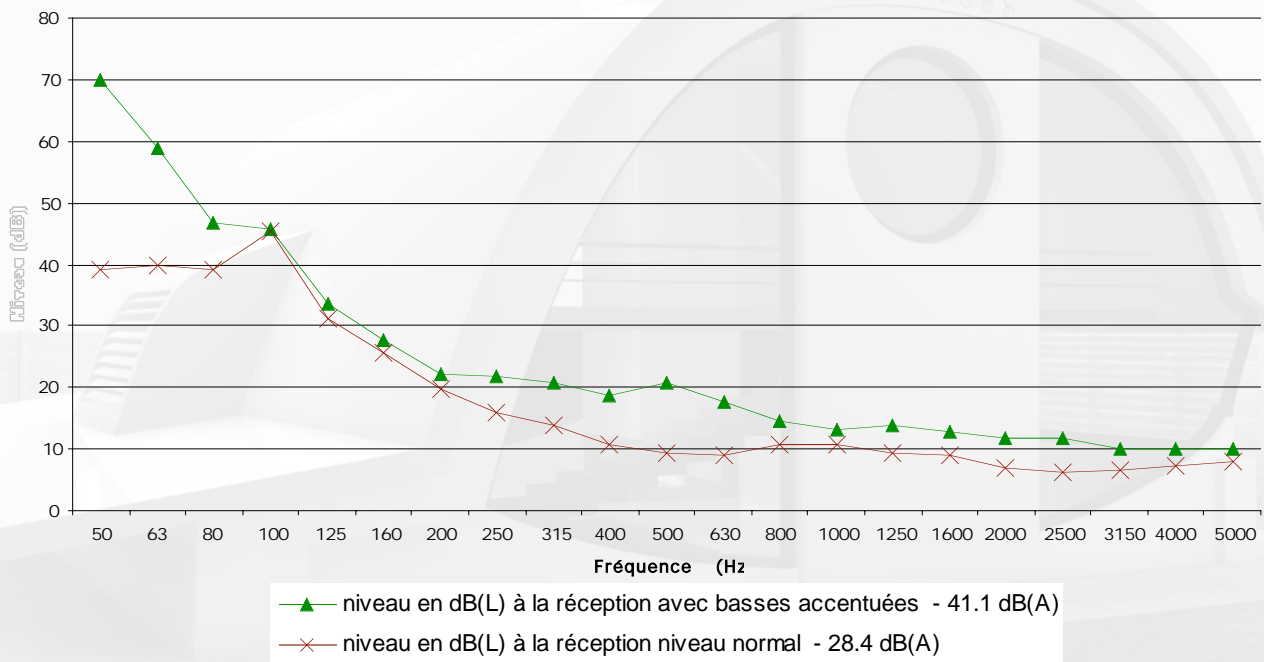
Notions de base



Représentation graphique du bruit Grafische weergave van het geluid

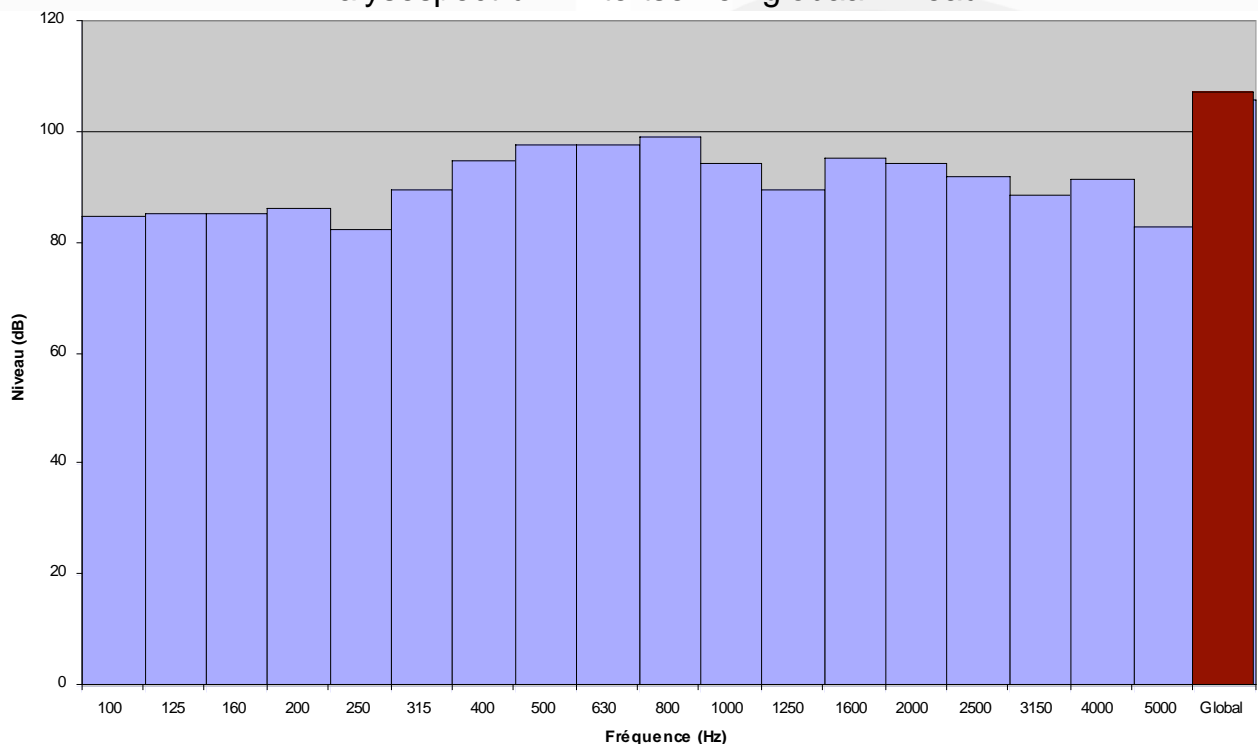
Les spectres acoustiques

De geluidsspectra



Représentation graphique du bruit Grafische weergave van het geluid

Spectre d'analyse en tiers d'octave et niveau global
Analysespectrum in tertsen en globaal niveau





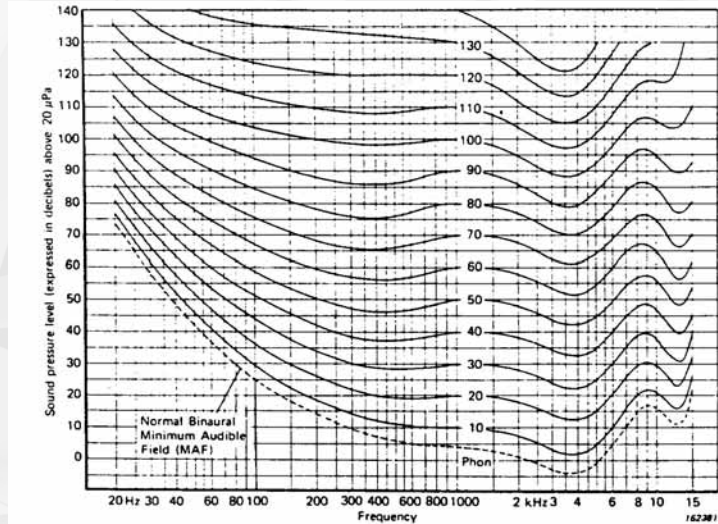
Courbes isosoniques de Fletcher et Munson Isofonen van Fletcher en Munson

Variation de l'intensité avec la fréquence
Intensiteitsvariatie met de frequentie

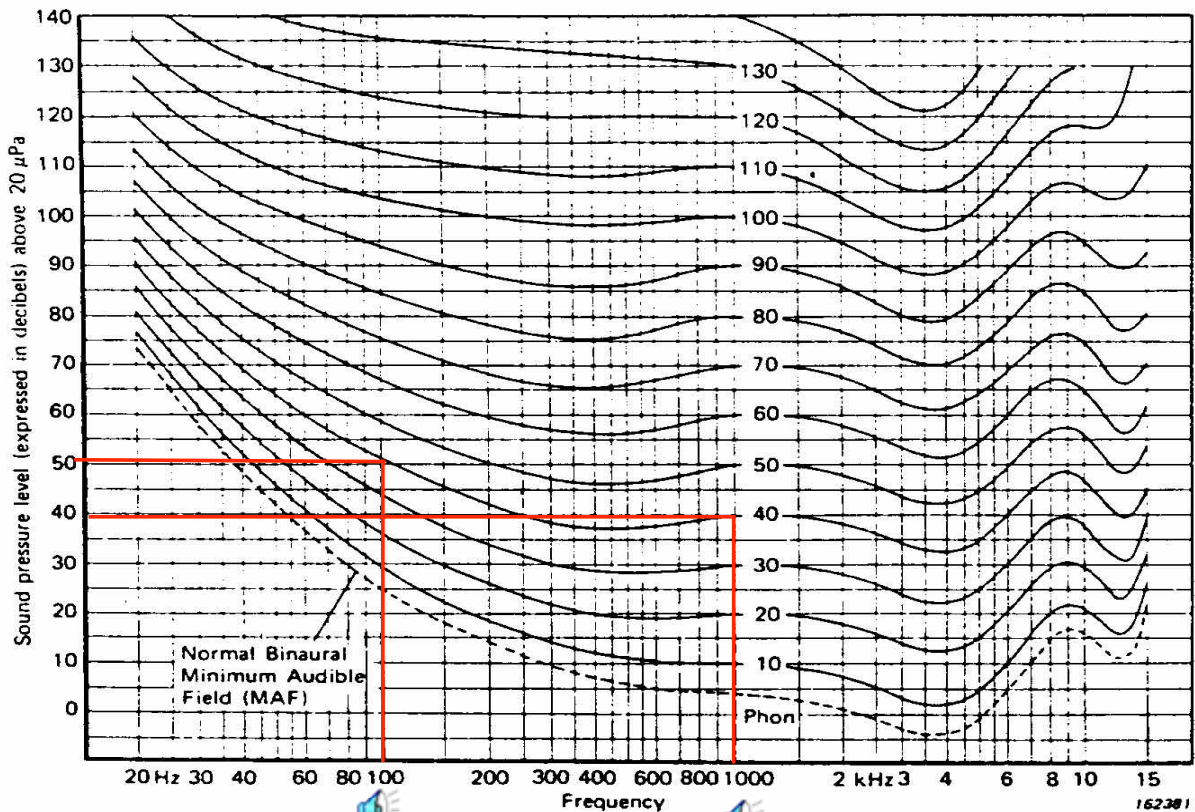
“L'oreille n'entend pas avec la même force deux sons de fréquences différentes qui ont la même intensité physique ou le même niveau de pression acoustique.”

“Het oor hoort niet met dezelfde kracht twee tonen van verschillende frequentie die dezelfde fysische intensiteit hebben of hetzelfde akoestische drukniveau.”

Courbes de Fletcher et Munson (1930)
Curven van Fletcher en Munson



Les courbes isosoniques- De isofonen





La pondération du bruit- De geluidsweging

Pondération des intensités des bruits

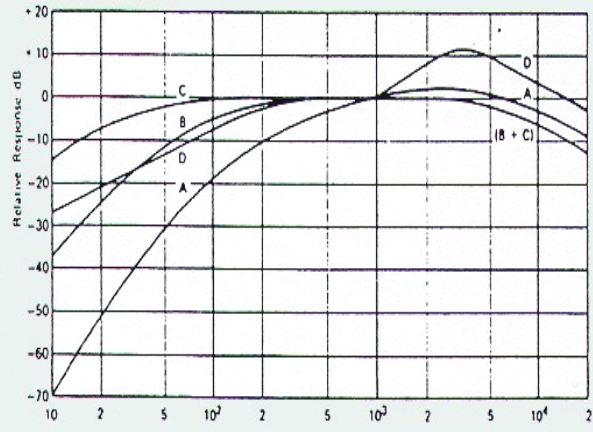
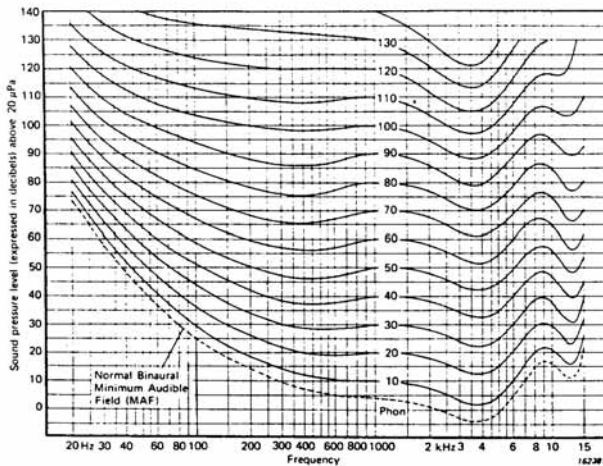
Weging van de intensiteit van geluid

Pondérations A, B, C : issues des courbes de Fletcher, en fonction du niveau (40 dB, 70 dB, 100 dB)

Wegingen A, B, C : afkomstig van de curven van Fletcher, in functie van het niveau (40 dB, 70 dB, 100 dB)

Pondération D : surtout pour les bruits d'avions

Weging D: vooral voor vliegtuiglawaaï



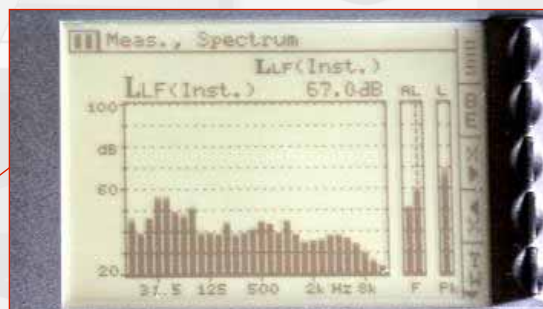
La mesure du bruit De meting van het geluid

Le “sono”-“mètre”

De geluidsniveaumeter

Pondérations A, B, C : mesure de la sensation réelle (sonie).

Wegingen A,B,C : meting van de reële waarneming (luidheid)

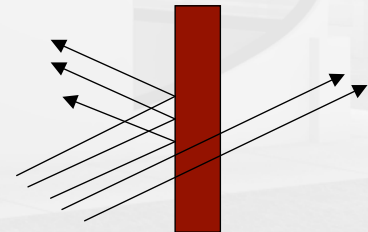
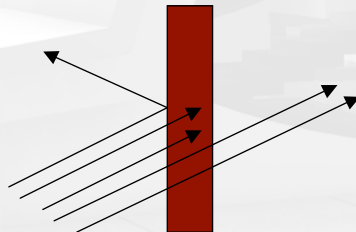
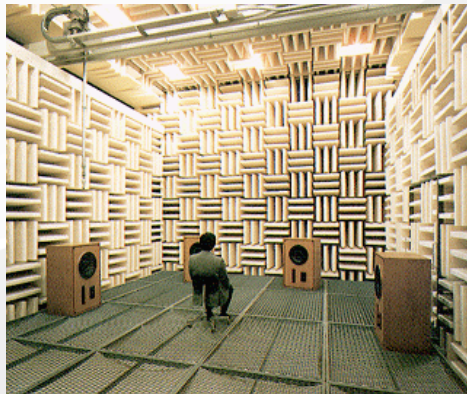




L'absorption acoustique De akoestische absorptie

Correction acoustique et isolation acoustique

Akoestische correctie en geluidsisolatie



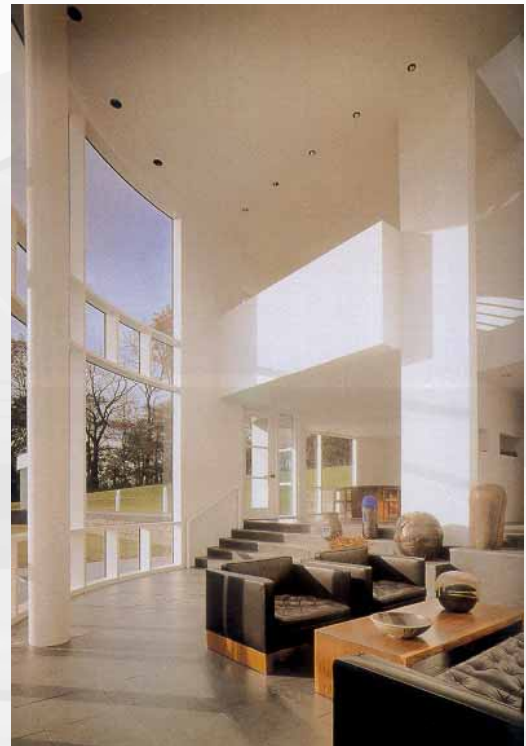
Notions de base



La réverbération d'un local De weerkaatsing van een lokaal

Correction acoustique et isolation acoustique

Akoestische correctie en geluidsisolatie



- La **réverbération** est dépendante du volume et de l'ameublement, du local.
- le traitement de la réverbération (tentures, mousse, cartons d'oeufs...) permet d'améliorer la situation intérieure mais n'isole pas vers les locaux voisins.
- De **weerkaatsing** hangt af van het volume en van de meubilering, van het lokaal.
- Door het behandelen van de weerkaatsing (wandbekleding, schuim, eierkarton...) kan de interne situatie verbeterd worden maar het isoleert niet tegen de naburige lokalen.

Notions de base



La réverbération de weerkaatsing

Temps de réverbération
Weerkaatsingstijd

Architecture moderne : TR élevé.
Moderne architectuur: hoge WT.



Notions de base



Conclusions du chapitre

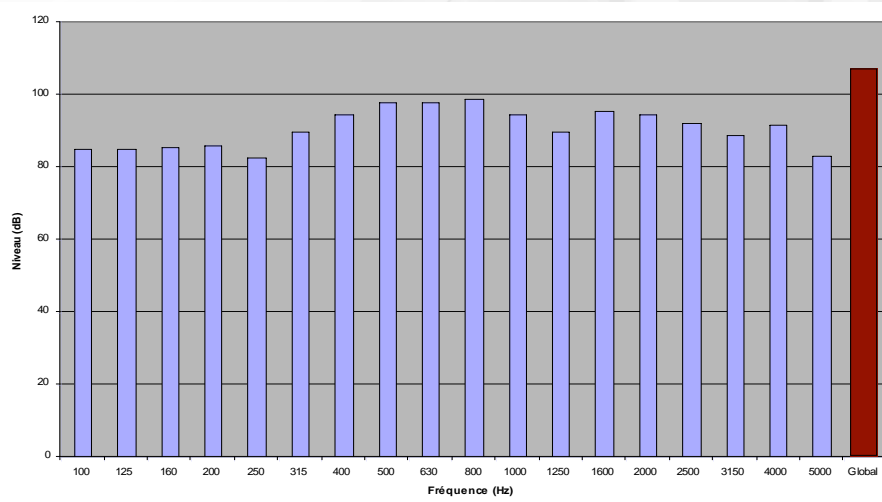
L'analyse d'un bruit comporte deux aspects : son niveau et son contenu fréquentiel :

Son niveau se mesure en dB, par le niveau de pression acoustique L_p . Le dB est une unité logarithmique, les règles de calcul sont donc particulières.

Son contenu fréquentiel s'analyse par bandes de tiers d'octave, allant de 100 Hz (basses fréquences) à 3150 Hz (hautes fréquences).

La forme du spectre du bruit a de l'importance pour le choix de l'isolation.

L'absorption (ou "la correction") acoustique et l'isolation acoustique sont deux disciplines différentes. Les traitements sont également différents. Améliorer l'un n'est pas forcément bénéfique pour l'autre.



Notions de base



Conclusies van het hoofdstuk

De analyse van een geluid bestaat uit twee aspecten : zijn niveau en zijn frequentieële inhoud :

Zijn niveau wordt in dB gemeten, door het akoestische drukniveau L_p . De dB is een logaritmische eenheid, de rekenregels zijn dus specifiek.

Zijn frequentieële inhoud wordt geanalyseerd door tertsbanden, gaande van 100 Hz (lage frequenties) tot 3150 Hz (hoge frequenties).

De vorm van het geluidsspectrum is van belang voor de keuze van de isolatie.

De akoestische absorptie (of “correctie”) en de geluidsisolatie zijn twee verschillende disciplines. De behandelingen zijn ook verschillend. Verbetering van de een is niet noodzakelijk gunstig voor de ander.

