

## Acoustic Design

### φυσικές παράμετροι των ήχων #02

*Nicolas REMY*

nremy@uth.gr



# 3 parameters of sound

## 3 φυσικές παράμετροι του ήχου

The ear is sensitive to 3 different parameters of sound :  
Το αυτί είναι ευαίσθητο σε 3 διαφορετικές παραμέτρους του ήχου

- Sound level

Η ηχητική πίεση

- Frequencies

Οι συχνότητες

- Timbre

Η χροιά

# Sound level pressure

## Η ηχητική πίεση

The ear is sensitive to variations of acoustic pressure (Pa or Pascals). It is very sensitive since the report/ratio of the acoustic pressure between the "first audible sound" and a painful sound is 1 million ( $10^6$ ).

Το αυτί είναι ευαίσθητο στις διακυμάνσεις της ηχητικής πίεσης (Pa ή PASCALS).

Το αυτί μπορεί να ακούσει μια πολύ μικρή ηχητική πίεση περίπου 20mP. Είναι το όριο της ακουστικότητας (auditory threshold  $P_0 = 20\text{mPa}$  ou  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ )

Το αυτί μπορεί επίσης να ακούσει ήχους ιδινατούς μέχρι 20 Pa. Είναι το όριο του πόνου (threshold of pain  $P = 20\text{Pa}$ )

# Sound level pressure

## Η ηχητική πίεση

Source of sound	RMS sound pressure Pa
Theoretical limit for undistorted sound at 1 atmosphere environmental pressure	101,325
1883 Krakatoa eruption	
Stun grenades	
rocket launch equipment acoustic tests	
threshold of pain	100
hearing damage during short-term effect	20
jet engine, 100 m distant	6–200
jackhammer, 1 m distant / discotheque	2
hearing damage from long-term exposure	0.6
traffic noise on major road, 10 m distant	0.2–0.6
moving automobile, 10 m distant	0.02–0.2
TV set – typical home level, 1 m distant	0.02
normal talking, 1 m distant	0.002–0.02
very calm room	0.0002–0.0006
quiet rustling leaves, calm human breathing	0.00006
auditory threshold at 2 kHz – undamaged human ears	0.00002

1 εκατομμύριο  
πιθανών τιμών

# Sound level pressure

## Η ηχητική πίεση

As the human ear can detect sounds with a very wide range of amplitudes, sound pressure is often measured as a level on a logarithmic **decibel** scale.

The sound pressure level (SPL) or  $L_p$  is defined as

Για να μειωθεί η πιθανή ποσότητα τιμών, η ηχητική πίεση μετριέται σε μια λογαριθμική κλίμακα (decibel).

Η ηχητική πίεση (SPL) ή  $L_p$  είναι:

$$L_p = 10 \log_{10} \left( \frac{p^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{p}{p_{\text{ref}}} \right) \text{ dB}$$

where  $p$  is the **root-mean-square** sound pressure and  $p_{\text{ref}}$  is a reference sound pressure. Commonly used reference sound pressures, defined in the standard **ANSI S1.1-1994**, are  $20 \mu\text{Pa}$  in air and  $1 \mu\text{Pa}$  in water. Without a specified reference sound pressure, a value expressed in decibels cannot represent a sound pressure level.

# Sound level pressure

## Η ηχητική πίεση

Source of sound	RMS sound pressure Pa	sound pressure level dB re 20 $\mu$ Pa
Theoretical limit for undistorted sound at 1 atmosphere environmental pressure	101,325	191
1883 Krakatoa eruption		approx 180 at 100 miles
Stun grenades		170-180
rocket launch equipment acoustic tests		approx. 165
threshold of pain	100	134
hearing damage during short-term effect	20	approx. 120
jet engine, 100 m distant	6–200	110–140
jackhammer, 1 m distant / discotheque	2	approx. 100
hearing damage from long-term exposure	0.6	approx. 85
traffic noise on major road, 10 m distant	0.2–0.6	80–90
moving automobile, 10 m distant	0.02–0.2	60–80
TV set – typical home level, 1 m distant	0.02	approx. 60
normal talking, 1 m distant	0.002–0.02	40–60
very calm room	0.0002–0.0006	20–30
quiet rustling leaves, calm human breathing	0.00006	10
auditory threshold at 2 kHz – undamaged human ears	0.00002	0

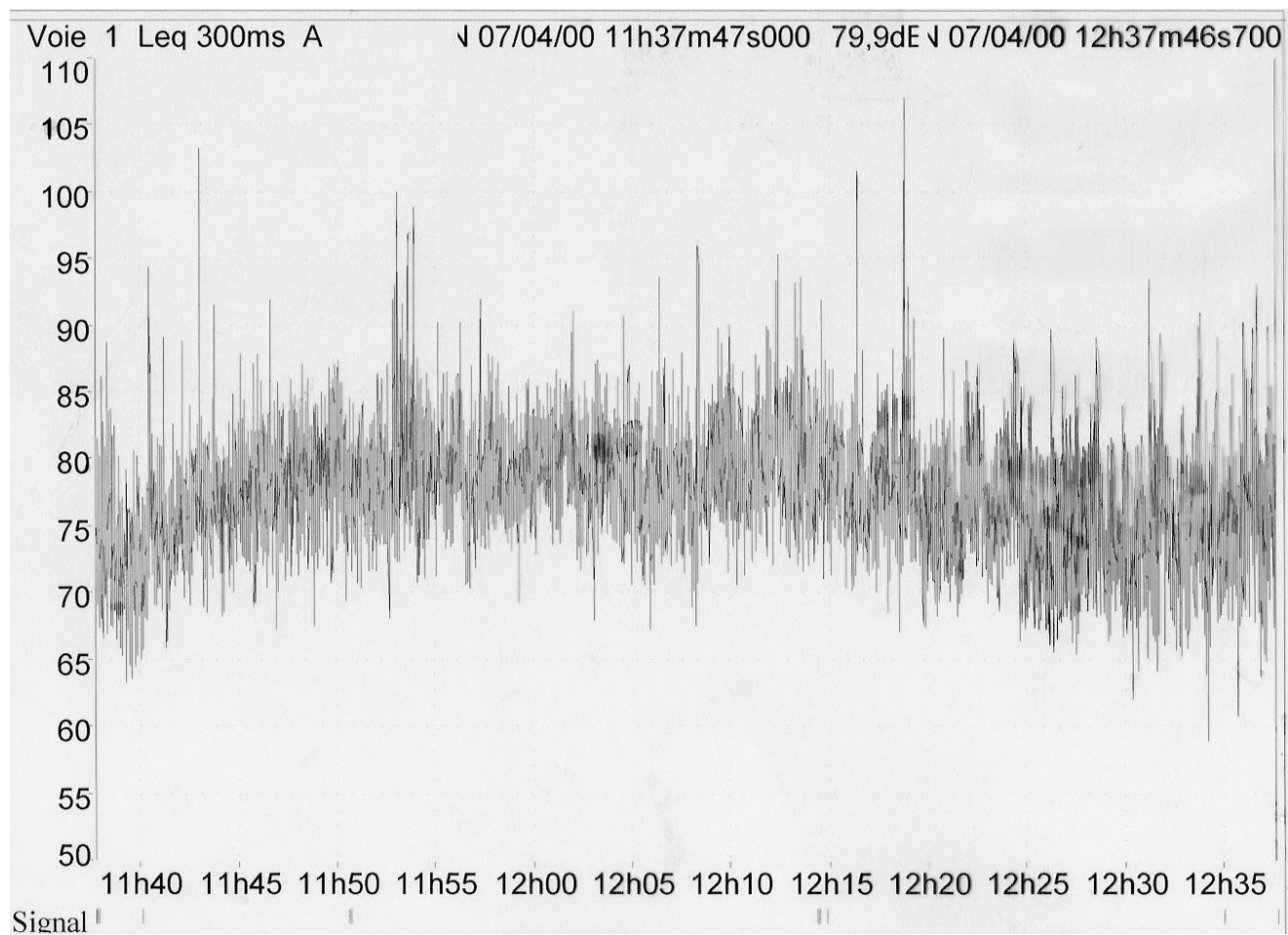
# Sound level pressure

## Η ηχητική πίεση



# Sound level pressure

## Η ηχητική πίεση

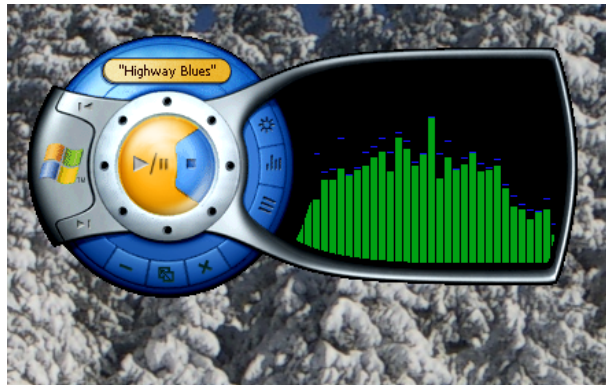




# Frequencies Συχνότητες

For humans, hearing is limited to frequencies between about 20 [Hz](#) and 20,000 Hz (20 [kHz](#)), with the upper limit generally decreasing with age.

Το αυτί είναι ευαίσθητο σε ένα μεγάλο σύνολο συχνοτήτων  
Μπορεί να ακούσει πολύ χαμηλές συχνότητες (μπάσους ήχους)  
(20Hz) και πολύ υψηλές συχνότητες (οξείς ήχους)(20 000 Hz).

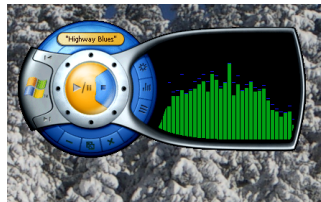


φασματική ανάλυση του ήχου

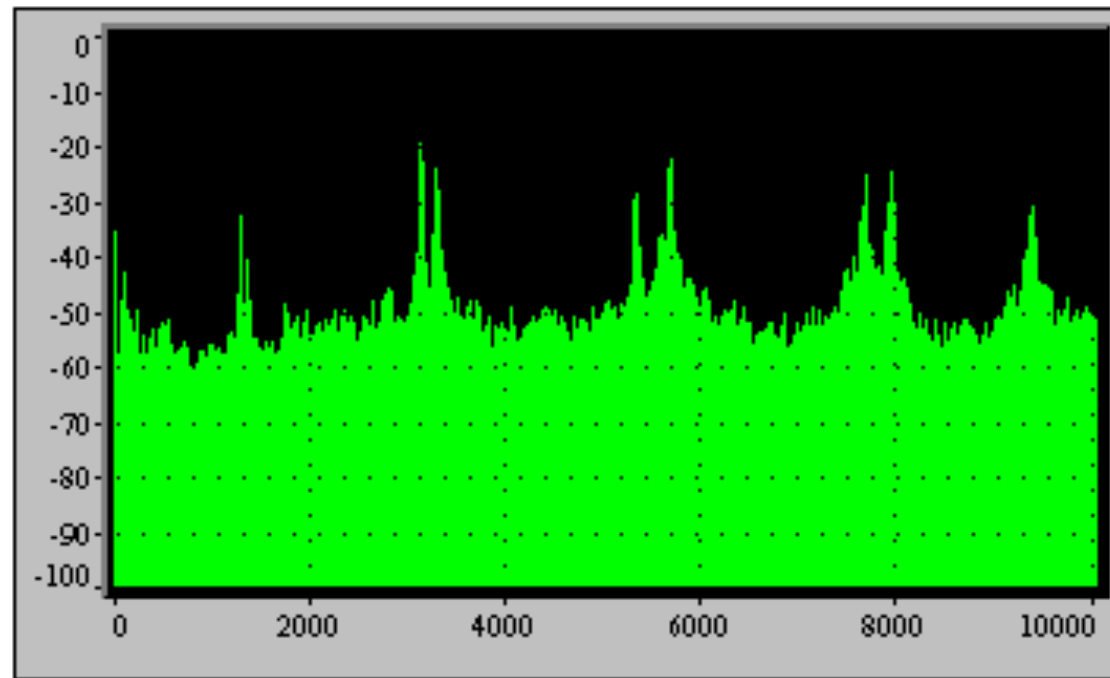
# Frequencies Συχνότητες

This great field of sensitivity is divided into packages of frequencies which are ordered in a regular way for the ear. They are, for example, the octaves. When one passes from an octave to another, one has the auditive feeling that the frequencies of sound has been doubled.

Αυτό το μεγάλο πεδίο ευαισθησίας διαιρείται σε ζώνες συχνοτήτων που διατάσσονται με έναν κανονικό τρόπο για το αυτί. Είναι, για παράδειγμα, οι ζώνες οκτάβας ή οι ζώνες ενός τρίτου οκτάβας.



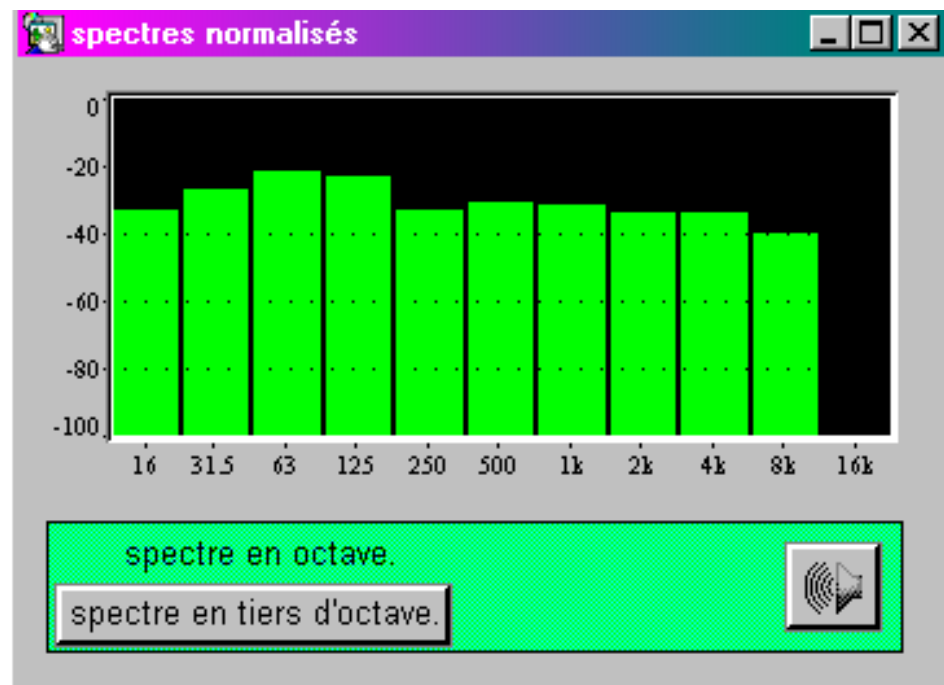
# Frequencies Συχνότητες



Hz

Téléphone  
dans bruit de fond

# Frequencies Συχνότητες



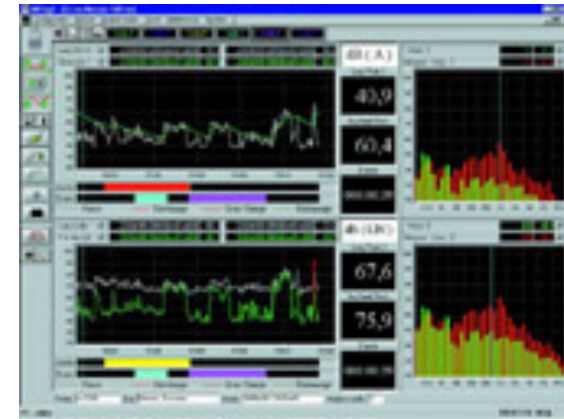
# Frequencies Συχνότητες

## Παραδείγματα

- electric generator 100-120hz
- LA from the phone 440 Hz
- human voice 300-4000 Hz
- Clavecin (το κλαβεσέν) 63-18 000 Hz



# Frequencies Συχνότητες



## ***Ταξινόμηση των ήχων***

- bass sounds - μπάσους ήχους - χαμηλές συχνότητες
- medium sounds - μεσαιες συχνότητες
- trebble sound - οξείς ήχους - υψηλες συχνότητες

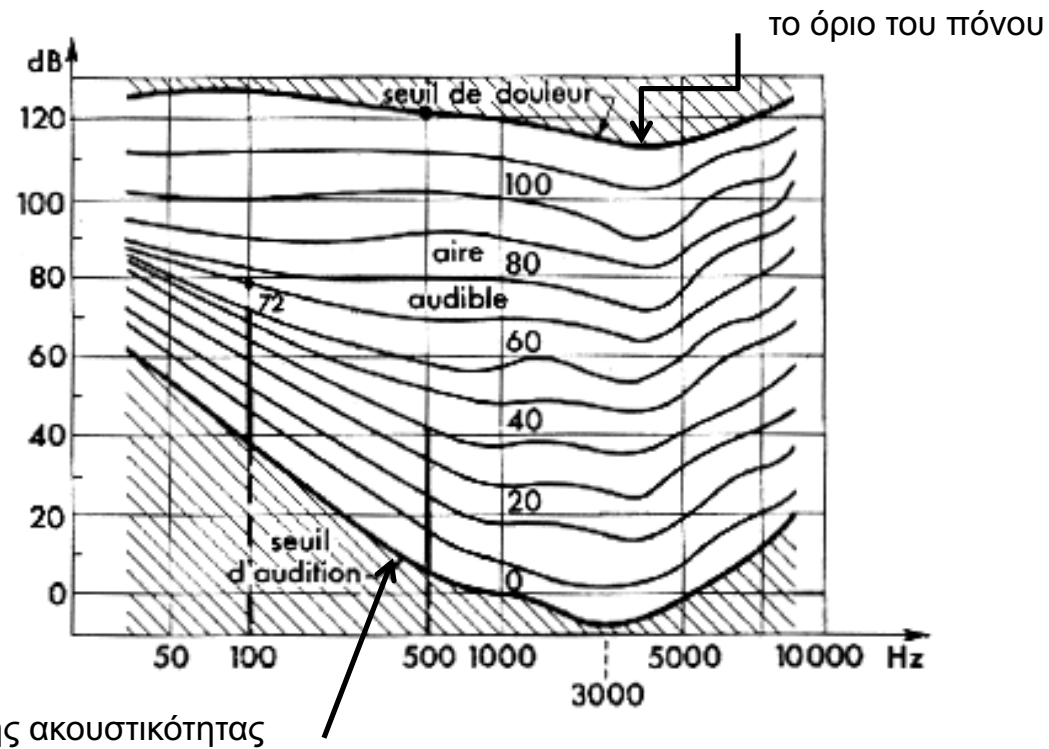
**20-353 Hz**

**353-1414 Hz**

**1414-16000Hz**

# Fletcher et Munson, 1933

## Οι καμπύλες τους Fletcher και Munson



# dB(A)

A noise level expressed in decibel (dB) is not really representative of the human feeling because the ear is not very sensitive to the very low or very high frequencies (physiological reason).

Η ηχητική πίεση που εκφράζεται σε decibel (dB) δεν είναι πραγματικά αντιπροσωπευτική του ανθρώπινου αισθήματος επειδή το αυτί δεν είναι πολύ ευαίσθητο στις πολύ χαμηλές ή πολύ υψηλές συχνότητες (Fletcher and Munson)



# dB(A)

The noise level must thus be weighted by a coefficient depend on the frequency of the emitted sound, in order to "penalize" the low registers and the treble ones compared to the mediums.

Πρέπει τότε να εφαρμόζεται ένα φίλτρο στις τιμές ντεσιμπέλ που αντιπροσωπεύει το φυσικό φίλτρο του αυτιού.  
Είναι οι καμπύλες συντελεστών βαρύτητας στάθμης ηχητικής πίεσης dB(A)

<i>dB(A)</i>							
<i>Octave (Hz)</i>	<i>125Hz</i>	<i>250Hz</i>	<i>500Hz</i>	<i>1kHz</i>	<i>2kHz</i>	<i>4kHz</i>	<i>8kHz</i>
<i>Pondération A (dB)</i>	<i>-15,5</i>	<i>-8,5</i>	<i>-3</i>	<i>0</i>	<i>+1</i>	<i>+1</i>	<i>-1</i>

# Sound scale in dB(A)

## Ηχητική κλίμακα

Activities	dB(A)	Effects
Plane Takeoff	120	Shock, short-term deafness
Noise level limits for work	85	8H exposition*
From 30m to highway (4000 veh/h)	80	Vegetative disorders, disturb nervous
Busy street	70	Difficult comprehension of a conversation
Low traffic in town, noise inside room, vaccum cleaner	60	Disorders of the drowsiness, insomnia
Residential area, calm restaurant or office	50	
Class room, very calm apartment,	35	Zone of the sleep ; Time of recovery for the ear
Very calm apartment, rural area far away from noisy sources and without wind.	30	
Very insulated room	20	Oppression feelings
Absolute calm, level never found in « real situation « ...	10	Deaf room

\* Exposition time divided by 2 si +3dB(A)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.6**

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΜΕ ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ<sup>15</sup>

ΧΡΗΣΗ ΧΩΡΟΥ	L <sub>A</sub> - dB(A)	NR- dB	NC- dB	RC- dB	ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΑΙΣΘΗΣΗ
Αίθουσα συναυλιών, μελοδράματος, στούντιο ηχογράφησης ή εκπαιδευτική ομιλίας, μεγάλες συνεδριακές αίθουσες, μεγάλα θέατρα, υπνοδομεία σε ήσυχη περιοχή	20-30	10-20	10-20	15-20	Πολύ ήσυχος χώρος
Στούντιο τηλεόρασης, στούντιο ηχογράφησης, μικρά συνεδριακά αίθουσες διδασκαλίας βιβλιοθήκες, δωμάτια σε ξενοδοχεία, κατοικίες, νοσοκομειακοί θάλαμοι, διευθυντικά γραφεία	30-35	25	25	25-30	
Καθιστικά, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων, μικρές αίθουσες συσκέψεων, διδασκαλίας, βιβλιοθήκες, γραφεία, νοσοκομειακοί θάλαμοι	35-40	30	30	30	Ήσυχος χώρος
Εργαστήρια (ανάλογα με τις εργασίες), εστιατόρια, μπαρ ξενοδοχείων <sup>1</sup>	40-45	35	35	35	
Εργαστήρια (ανάλογα με τις εργασίες), Χώροι υποδοχής, κτίρια αεροδρομίων, καταστήματα	45-50	40	40	40	Μέτρια θορυβώδης
Καφενεία, εστιατόρια, γραφεία σε ανοιχτό χώρο	50-55	40	35-45	35-40	
Κουζίνες, σουπερμάρκετ, πλυντήρια	55-65	50-55	50-55	50	Θορυβώδης

<sup>15</sup> AS2107-1977 Office Buildings. CIBSE Guide. Beranek(1971). ASHRAE Handbook:1991. Ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός αριθ.12

Sou  
H r

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1.7

#### ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ

P(Pa)	L <sub>A</sub> dB(A)	ε	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΗΓΩΝ
200	140	5	Κινητήρας jet σε απόσταση 20m
112	135	5	
63,2	130	5	
35,6	125	5	Όριο πόνου
20,0	120	4	Συναυλίες rock κοντά στα ηχεία, Δοκιμή κινητήρα jet σε απόσταση 25m
11,2	115	4	Κέντρο διασκέδασης κοντά στα ηχεία
6,32	110	4	Χώρος εφεδρικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους χωρίς ειδικά μέτρα
3,56	105	4	Ντίσκο
2,00	100	3	Αερόσφουρα σε απόσταση 1m
1,12	95	3	Τρομπέτα σε χώρο δοκιμών
0,63	90	3	Θορυβώδες εργοστάσιο
0,36	85	3	Βαριά οδική κυκλοφορία σε απόσταση περίπου 10 μέτρων
0,200	80	2	Μηχανοστάσια, Δυνατή ομιλία σε απόσταση ενός μέτρου Χώροι συγκέντρωσης κοινού
0,112	75	2	Σύνηθες εστιατόριο
0,063	70	2	Θορυβώδες γραφείο
0,036	65	2	Κανονική ομιλία σε απόσταση ενός μέτρου

SOL  
H1

0,020	60	1	Ήσυχο γραφείο
0,0112	55	1	Κανονική ομιλία σε απόσταση ενός μέτρου
0,0063	50	1	Ήσυχο εστιατόριο
0,0036	45	1	Οικιστική περιοχή (τη νύχτα)
0,0020	40	1	Ήσυχη βιβλιοθήκη,
0,0011	35	0	Όριο εσωτερικού κατοικίας από θόρυβο οδικής κυκλοφορίας
0,00063	30	0	Ήσυχο υπνοδωμάτιο στην εξοχή
0,00036	25	0	Κανονική αναπνοή σε απόσταση ενός μέτρου
0,00020	20	0	Studio ηχογράφησης
0,00011	15	0	
0,00006	10	0	Ανηχοϊκός θάλαμος μετρήσεων
0,00004	5	0	
0,00002	0	0	Όριο ακοής

# Addition - Πρόσθεση - $L_p$



# Addition - Πρόσθεση - $L_p$

$$Lp_{total} = 10 \times \log\left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{Lp_i}{10}}\right)$$

Παράδειγμα

30dB(A)  $\oplus$  60dB(A)  $\oplus$  70dB(A)  $\oplus$  70dB(A)

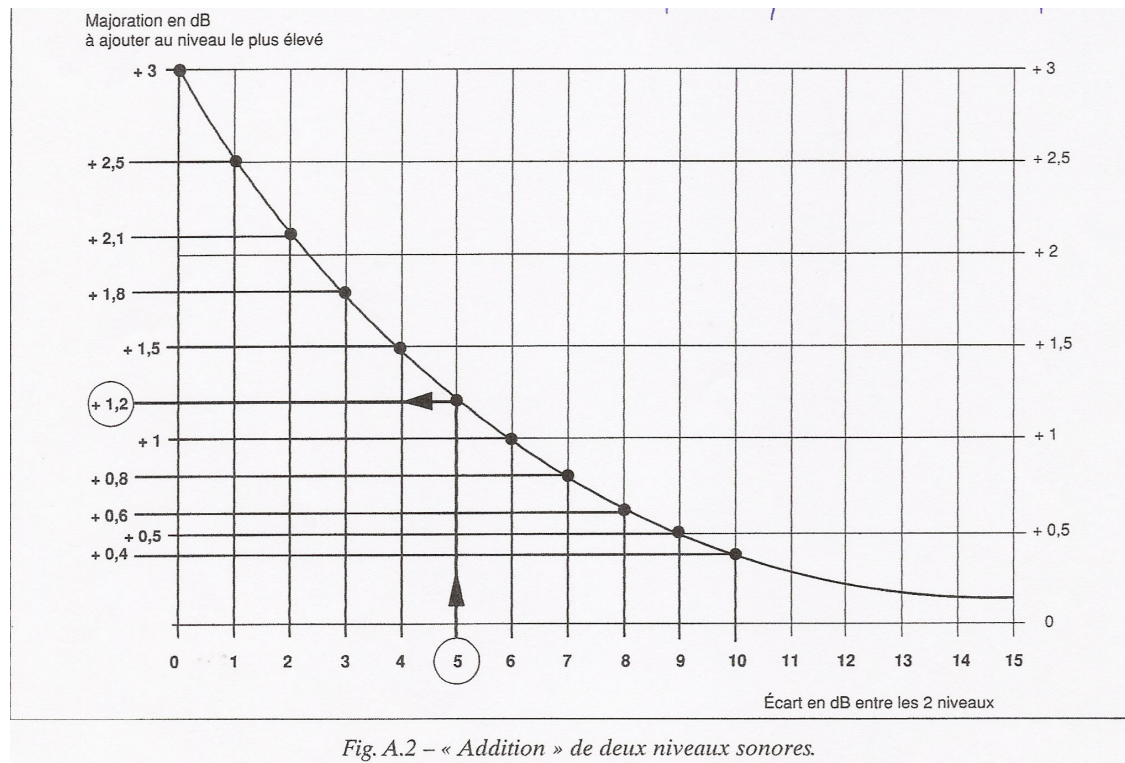
$$Lp_{total} = 10 \times \log(10^{\frac{30}{10}} + 10^{\frac{60}{10}} + 10^{\frac{70}{10}} + 10^{\frac{70}{10}})$$

$$Lp_{total} = 10 \times \log(10^3 + 10^6 + 10^7 + 10^7)$$

$$Lp_{total} = 73,2dB(A)$$

# Addition - Πρόσθεση - $L_p$

γραφική μέθοδος





# Addition de niveaux sonores

## Πρόσθεση ηχητικών επιπέδων

γραφική μέθοδος

$$30\text{dB(A)} \oplus 60\text{dB(A)} \oplus 70\text{dB(A)} \oplus 70\text{dB(A)}$$

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

$$\Rightarrow +0$$

$\oplus$

$$\Delta\text{dB(A)} = 0$$

$$\Rightarrow +3$$

$$60\text{ dB(A)}$$

$\oplus$

$$73\text{ dB(A)}$$

$$\Delta\text{dB(A)} = 13$$

$$\Rightarrow +0,2$$

$$\mathbf{73,2\text{ dB(A)}}$$

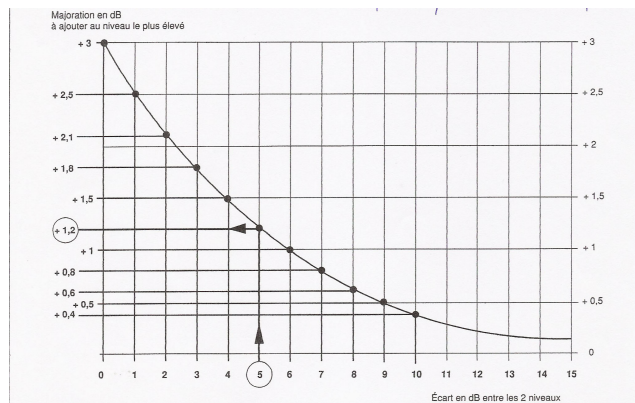



Fig. A.2 - « Addition » de deux niveaux sonores.

# Τιμbre η Χροιά



---

 **χροιά** η [χιριά] Q24 : 1α. απόχρωση: *Η ~ της επιδερμίδας / του προσώπου του είναι υποκίτρινη.*  
β. το γνώρισμα ενός ήχου που μας επιτρέπει να τον διακρίνουμε από έναν άλλο που έχει την ίδια οξύτητα και ένταση. 2. (μτφ.) για έννοια που διατυπώνεται μάλλον υπαινικτικά παρά άμεσα:  
*Έδωσε στο λόγο του πολιτική ~. Τα λόγια του είχαν μια ~ απειλής / ειρωνείας.*

[λόγ.: 1α: αρχ. χροιά· 1β, 2: σημδ. γαλλ. ton]

---

<http://www.greek-language.gr/greekLang/index.html>

# Να θυμάστε

- 1 (ένα) dBA) είναι η πιό μικρή μονάδα αντιληπτή από το αυτί ... στη θεωρία, στο εργαστήριο.
- συνήθως, αισθανόμαστε μια αλλαγή της ηχητικής πίεσης εάν είναι ίση με 3dB (A)
- $60 \text{ dB(A)} \oplus 60 \text{ dB(A)} = 63 \text{ dB(A)}$
- Για να έχουμε την αίσθηση ότι η ηχητική πίεση έχει διαιρεθεί στα 2, πρέπει να την μειώσουμε κατά 10 dB(A)