

Acoustique musicale et physique des sons

I Intensité et niveau sonore

I.a Activité P 78

- 1) L'unité est le $W.m^{-2}$, c'est la puissance exprimée en W qui traverse une surface de $1 m^2$
- 2) On propose : avec $\mathcal{P}$ la puissance en W et S la surface en m^2

$$I = \frac{\mathcal{P}}{S}$$

- 3) L'échelle est logarithmique car la définition utilise la fonction logarithme décimale $\log$
- 4) On prend une valeur de référence $I_0 = 10^{-12} W.m^{-2}$ car c'est la plus petite intensité sonore et du coup le niveau sonore sera de 0 dB (puisque $\log 1 = 0$)
- 5) Le domaine de fréquence audible est de l'ordre de 40 Hz à 17 000 Hz
- 6) Tout d'abord voyons le cas où l'intensité est multipliée par 2

$$L' = 10 \log \frac{2I}{I_0} = 10(\log 2 + \log \frac{I}{I_0}) = 3dB + 10 \log \frac{I}{I_0}$$

On constate que si l'intensité est multipliée par 2 le niveau sonore est augmenté de 3 dB

- Maintenant si le niveau augmente de 10 dB alors :

$$L' = L + 10 dB$$

$$L' = 10 \log \frac{I}{I_0} + 10 dB$$

$$L' = 10 \log \frac{I}{I_0} + 10 \log x \text{ avec } 10 \log x = 10 dB$$

$$L' = 10 \log \frac{I \times x}{I_0} \text{ et } x = 10$$

Décibels ajoutées	x : coefficient multiplicateur de l'intensité
10 dB	10
20 dB	100
4 dB	$10^{0,4} = 2,5$

I.b Intensité sonore

$$I = \frac{\mathcal{P}}{S}$$

P est la puissance sonore en W transférée à travers la surface S en m^2

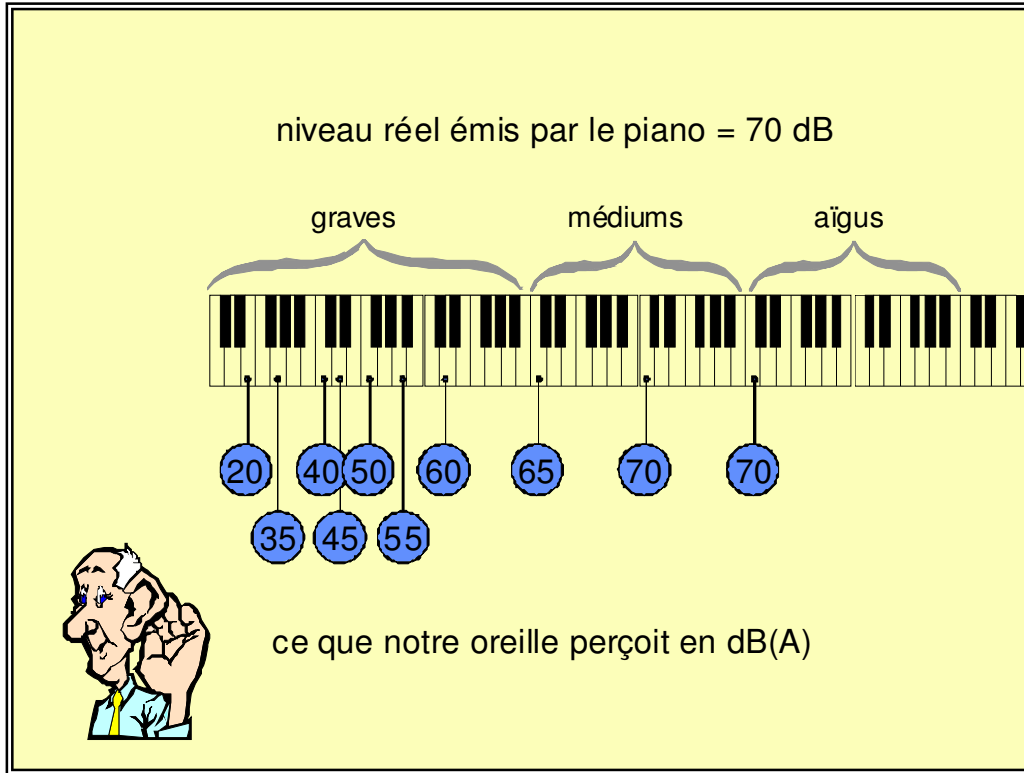
I.c Niveau sonore

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

II Sensibilité de l'oreille

II.a Echelle de mesure dB et dB(A)

Notre oreille n'est pas sensible de la même manière à toutes les fréquences.



Pour évaluer le bruit que nous percevons effectivement, il faut tenir compte de la variation fréquentielle de sensibilité de l'oreille humaine.

Elle est surtout sensible dans les fréquences médiums comprises entre 500 et 2 000 Hz.

Elle est d'autant moins sensible que l'on s'écarte de ces valeurs tant vers les graves (20 à 500 Hz) que vers les aigus (2 000 à 20 000 Hz).

- La prise en compte de cette variation de sensibilité se fait en ajoutant ou en soustrayant des dB par bande de fréquences.

Ces opérations constituent le système de pondération A.

Le dBA utilisé pour mesurer les niveaux sonores émis représente la sensation effectivement perçue par l'oreille humaine.

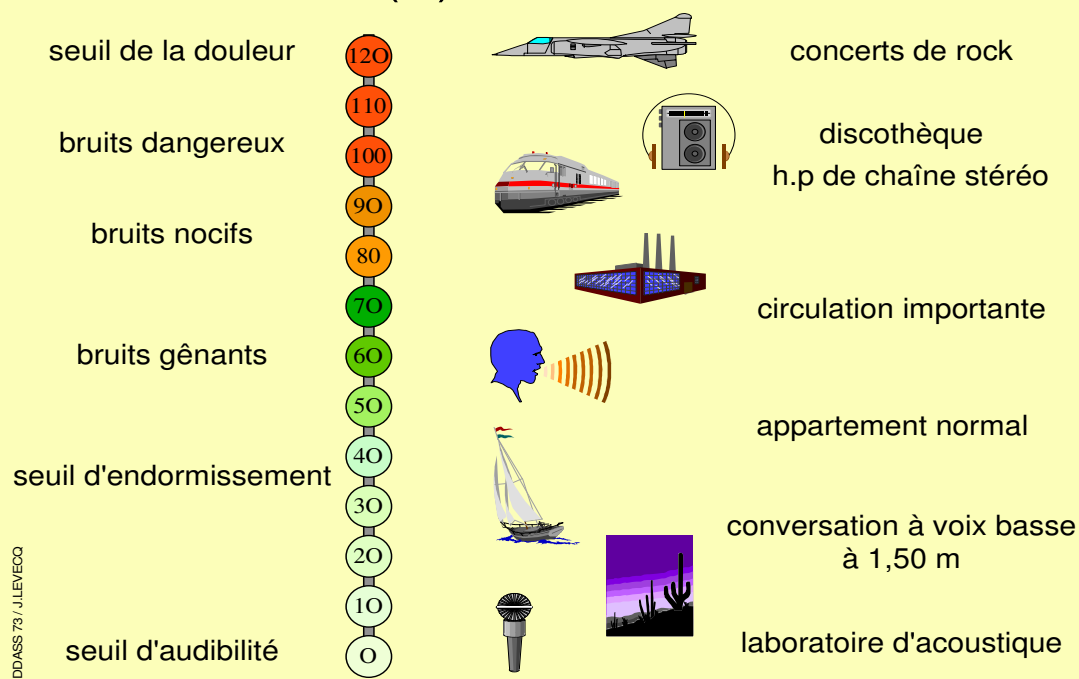
Exemple de pondération

fréquences (Hz)	spectre de bruit rose (dB)	pondération (A)	spectre de bruit rose dB(A)
125	80	-16.1	63.9
250	80	-8.6	71.4
500	80	-3.2	76.8
1000	80	0	80
2000	80	1.2	81.2
4000	80	1	81
niveau résultant somme énergétique	87.8 (dB)		86.25 dB(A)

DDASS 73 / J.LEVECO

II.b Exemple de niveaux sonores

niveaux en dB(A)



DDASS 73 / J.LEVECO

9, 10,11 P 88 intensité et niveau sonore

II.c Mécanisme de l'audition

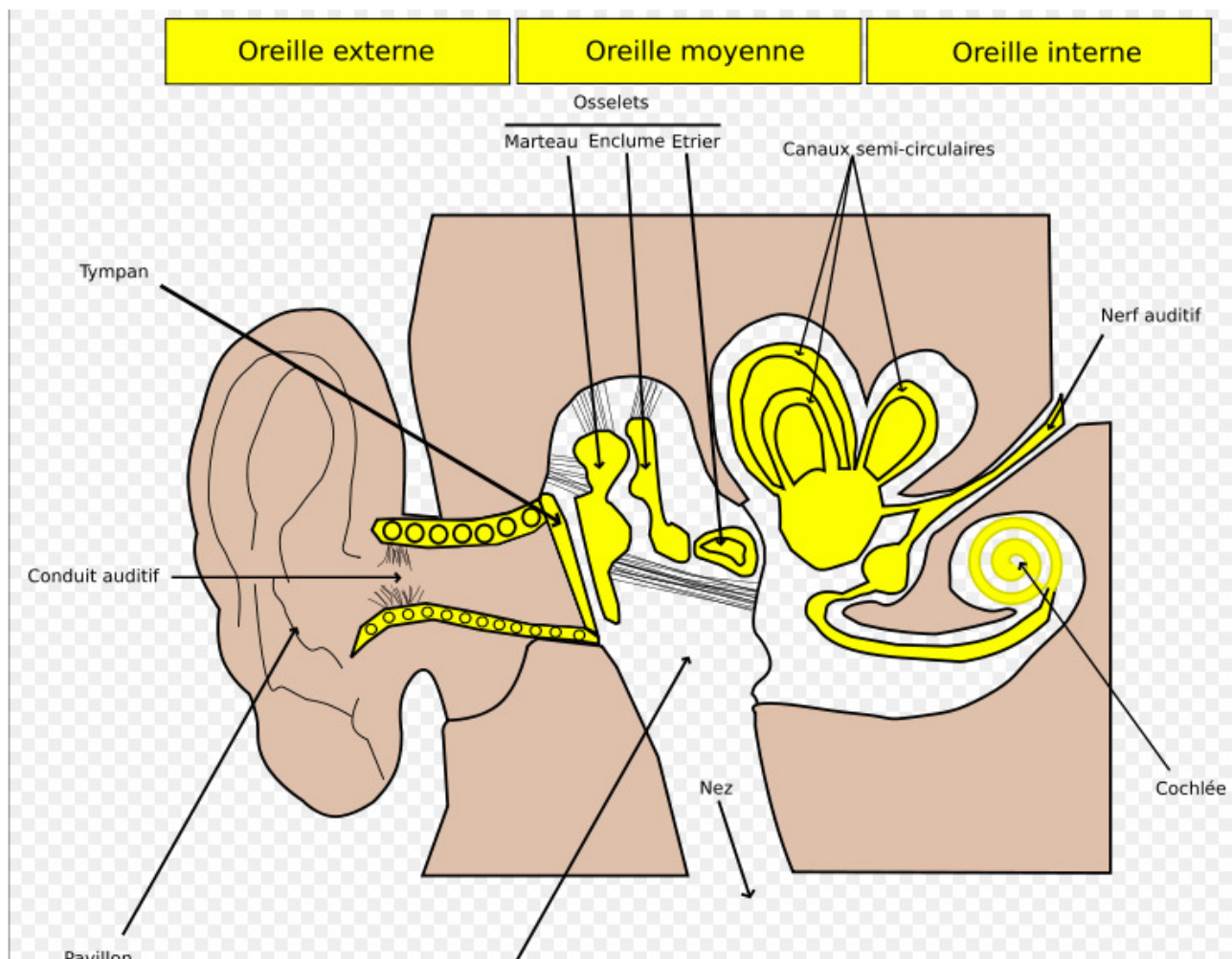
Il existe des appareils de mesure du bruit aux performances exceptionnelles, capables de :

- mesurer la pression acoustique sur une gamme étendue de 0 à 120 dB(A),
- percevoir une différence de tonalité ou de fréquence de 1 Hz entre 64 et 4000 Hz,
- distinguer, à niveau de pression égale deux notes identiques de musique jouées par des instruments différents (timbre),
- localiser une source sonore dans l'espace,
- déterminer le sens de son déplacement,
- identifier une source sonore en la comparant à une banque de sons connus,
- sélectionner une source sonore au milieu d'un ensemble de bruits.

Ces appareils d'une technologie inégalée et d'une autonomie de fonctionnement de soixante dix ans en moyenne datent de plusieurs millions d'années.

Ce sont nos oreilles.

II.d - LE FONCTIONNEMENT DE L'OREILLE



L'oreille comporte trois parties fonctionnelles :

- **l'oreille externe** se compose du pavillon et du conduit auditif. Elle est fermée par le tympan.
- **l'oreille moyenne** débute par le tympan et est constituée d'une cavité contenant de l'air (la caisse tympanique) où se trouvent trois osselets : le marteau, l'enclume et l'étrier. Elle est fermée par la fenêtre ovale (semelle de

l'étrier) et la fenêtre ronde. Elle est ouverte sur le rhinopharynx par la trompe d'eustache qui assure l'aération indispensable à la caisse du tympan.

- **L'oreille interne** est divisée en deux parties : la cochlée faisant partie de l'appareil auditif et le vestibule (contenant les canaux circulaires) qui est l'appareil de l'équilibre.

Leurs rôles sont les suivants :

☞ **L'oreille externe** concentre vers le tympan les vibrations des particules de l'air grâce au pavillon qui dirige les ondes sonores vers le conduit auditif.

□ Le conduit auditif, par sa forme et sa taille est adapté aux fréquences de la parole (une longueur moyenne de 27 mm, pour une section de 40 mm²).

□ Elle est fermée par le tympan, une membrane fibreuse élastique et résistante, d'un diamètre de 1 cm et d'une épaisseur de 0,1 mm. Il vibre sous l'effet de la variation de pression (comme la membrane d'un microphone ou la peau d'un tambour).

☞ **L'oreille moyenne** transmet les vibrations du tympan à l'oreille interne. A cet effet, les osselets (le marteau, l'enclume et l'étrier) constituent un système de bras de levier réalisant un transfert mécanique d'énergie entre les sons aériens dans le conduit auditif et les sons liquidiens dans l'oreille interne.

□ A l'instar de l'iris de l'œil en présence d'une forte lumière, la contraction du muscle de l'étrier permet de protéger l'oreille interne des sons intenses depuis les fréquences graves jusqu'à 3000 Hz. C'est le réflexe stapédien, il n'est pas instantané, et donc inopérant pour les sons survenant trop rapidement (tirs).

□ Le tendon du muscle de l'étrier, sur commande des centres de l'audition, se contracte à chaque fois que l'intensité du bruit dépasse 80 dBA. Il tire l'étrier en arrière et vers le bas et permet le blocage de celui-ci. Il n'est plus efficace à partir de 3000 Hz. Seul un son explosif intense peut entraîner une rupture de la chaîne ossuaire.

□ L'oreille moyenne contient aussi la trompe d'Eustache qui relie le pharynx à l'oreille moyenne. Cette dernière permet l'égalisation de la pression statique (à l'intérieur de l'oreille) à la pression atmosphérique.

Exemples :

- En plongée, l'augmentation de pression va créer une douleur qui peut être supprimée en rééquilibrant les pressions de part et d'autre du tympan en se bouchant le nez et en soufflant.

- En montagne, le phénomène est inversé, on rééquilibrera les pressions en avalant.

☞ **L'oreille interne** est un système hydrodynamique complexe. C'est dans la cochlée (ou limaçon) que s'effectue la perception des sons. C'est l'organe qui recueille par des liquides la vibration provenant du tympan. Grâce à des cellules neuro-sensorielles (les cellules ciliées), la vibration des liquides est transformée en information électrique parvenant au cerveau par le nerf auditif.

□ On peut comparer les cellules ciliées à des algues dans l'eau qui vont et viennent sous l'effet d'une vague. Leur mouvement provoque l'émission d'un signal sélectif transmis au cerveau.

**115 dB(A) pendant 30 minutes peuvent suffire
à les endommager de façon irréversible.**

□ Lorsque la cochlée est saine et les cellules ciliées en bon état : un très petit nombre de cellules ciliées internes est activé par une fréquence donnée. La bonne discrimination en fréquence, base de l'intelligibilité du langage, est donc liée à l'état des cellules ciliées externes.

□ Lorsque ces cellules sont endommagées : notre oreille perd sa sensibilité et ne peut plus discriminer les fréquences. **L'intelligibilité du langage est altérée.**

III Hauteur et timbre

III.a Hauteur

La hauteur d'un son est mesurée par la fréquence de son fondamental

III.b Timbre

Le timbre d'un son dépend de l'importance relative des différentes harmoniques qui le composent et de ses transitoires d'attaque et d'extinction.

IV Gamme tempérée

IV.a Les intervalles

L'oreille est un organe surprenant. Lorsqu'on monte de LA en LA, on a l'impression qu'on ajoute à chaque fois le même intervalle d'une octave. Pour un musicien, **l'intervalle d'une octave est égal à 12 demi-tons, soit 6 tons**, quelle que soit la hauteur où se situe cette octave. 2 octaves font 12 demi-tons, etc. Or de son côté, **le physicien constate la multiplication de la fréquence par 2**. En somme l'oreille a la propriété de transformer des multiplications en additions! En mathématique, la fonction qui réalise la même chose s'appelle un *logarithme*.

Cela vous évoque-t-il quelque chose? C'est pourquoi on dit parfois que l'oreille est logarithmique.

IV.b Gamme tempérée :

1/2 ton
1 ton
1 ton
1 ton
1/2 ton
1 ton
1 ton

$$\frac{f_{12}}{f_0} = 2 \text{ d'après la physique}$$

On définit l'intervalle I comme :

$$I = \log \frac{f_{12}}{f_0} = \log 2$$

$$I = \log \frac{f_{12}}{f_{11}} + \log \frac{f_{11}}{f_{10}} + \dots \log \frac{f_1}{f_0} \text{ or tous les intervalles sont égaux}$$

c'est à dire $\log \frac{f_{i+1}}{f_i}$ vaut toujours un demi ton de plus l'intervalle

$\log 2$ (octave) comporte 12 demi – tons

D'où $\log 2 = 12 \log \frac{f_{i+1}}{f_i}$

L'intervalle d'un demi – ton est $I = \log \frac{f_{i+1}}{f_i} = \frac{\log 2}{12}$

et le rapport de la hauteur entre 2 demi – ton est:

$$\frac{f_{i+1}}{f_i} = 10^{\frac{\log 2}{12}} = (10^{\log 2})^{1/12} = 2^{1/12}$$

rappel: $(10^n)^p = 10^{np}$

IV.c Activité 3 P 81

- 1) On a 12 demi-ton, lorsque la fréquence est multipliée par 2.

$$I = \log \frac{f_{12}}{f_0} = \log 2$$

De plus tous les intervalles sont égaux

Donc $\log 2 = 12 \log \frac{f_{i+1}}{f_i}$ le rapport de la hauteur entre 2 demi-ton est :

$$\frac{f_{i+1}}{f_i} = 10^{\frac{\log 2}{12}} = (10^{\log 2})^{1/12} = 2^{1/12}$$

Donc le rapport entre n demi-ton est :

$$\frac{f_{i+n}}{f_i} = 2^{\frac{n}{12}}$$

- 2) Il y a un demi-ton entre Mi/Fa et Si/Do

Nom	Do	Ré	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
Fréquence en Hz	f_1	$f_1 \times 2^{1/12}$	$f_1 \times 2^{2/12}$	$f_1 \times 2^{3/12}$	$f_1 \times 2^{4/12}$	$f_1 \times 2^{5/12}$	$f_1 \times 2^{6/12}$	$2f_1$
Valeur de la fréquence en Hz	262	294	330	349	392	440	494	523

$$f_1 \times 2^{9/12} = 440 \text{ Hz d'où } f_1 = \mathbf{262 \text{ Hz}}$$

- 3) La hauteur du sol3 est 392 Hz
4) Bla

L'intervalle de la quinte est de 7 demi ton soit un intervalle de $2^{\frac{7}{12}} \approx 1,498$, on est assez proche de $3/2$

- 5) Do3/sol3 est une quinte. Ce sont les harmoniques du do2. (Do2 : f_1 / Do3 : $2f_1$ / Sol3 : $3f_1$)
L'intervalle Do3 et sol3 est bien une quinte car le rapport des frequencies est égale à $3/2$
- 6) Les notes Do/sol sont consonantes car l'intervalle dans la gamme naturelle est de 1,5, proche de l'intervalle dans la gamme tempérée (1,498)
- 7) La hauteur du Ré# est $f_1 \times 2^{\frac{3}{12}} = 311,57 \text{ Hz}$ et la hauteur du Mi_b est $f_1 \times 2^{\frac{3}{12}} = 311,57 \text{ Hz}$
Ces notes sont donc à la même hauteur.
- 8) Le Do3 sera remplacé par la mi3. Le mi3 par sol#. Et le si3 par ré3#

7P 88 hauteur d'un son

12P 89 quinte et octave

16 P 89 cordes d'un violon

18 P 89 Flute de pan