

Cours de Biophysique

2023/2024
2^{ème} semestre

Pr. Youssef Mir

Université Privée de la Santé et des Sciences d'Agadir
UPSSA

Chapitre III : Biophysique de l'audition

Plan

III.1. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES ONDES SONORES

III.1.1. Les sons purs

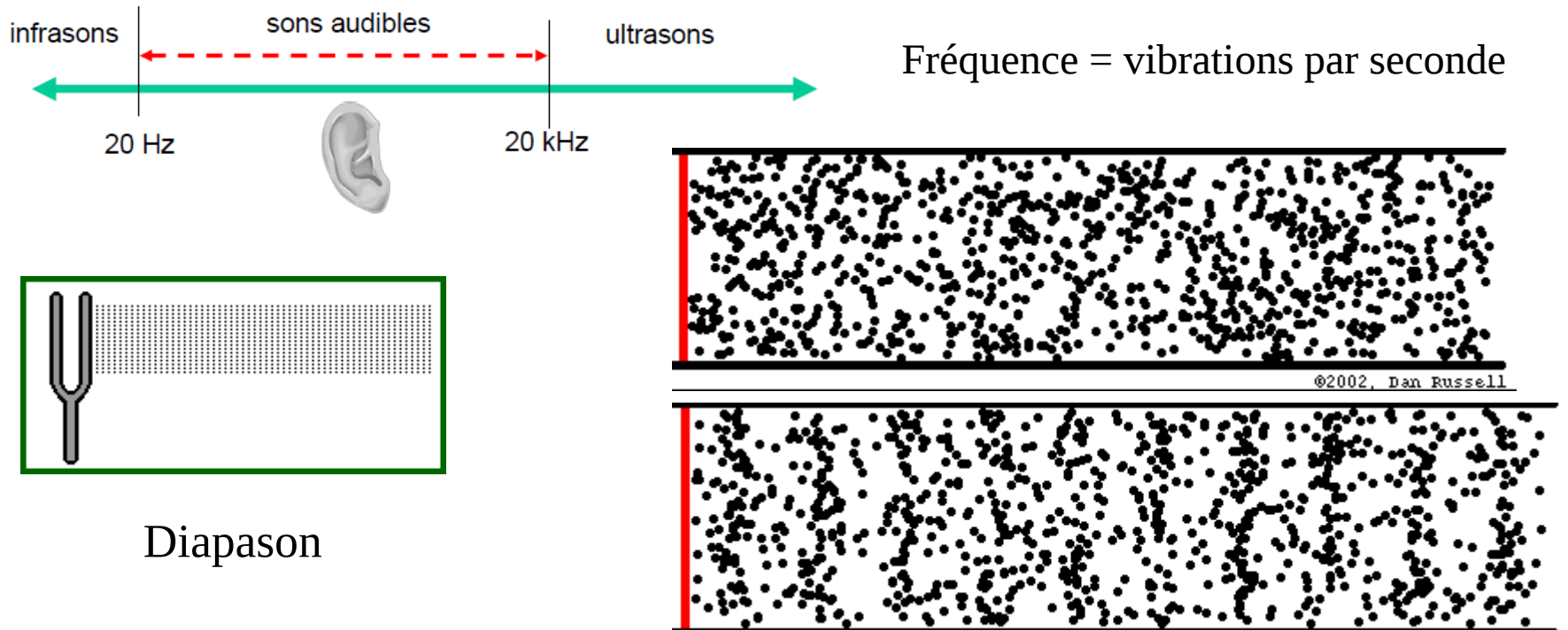
III.1.2. Les sons complexes

III.1.3. Les bruits

Chapitre III : Biophysique de l'audition

Nature des ondes sonores

- Les **ondes sonores** sont des ondes caractérisées par des **fluctuations de densité et de pression** (20 Hz à 20 000 Hz).
- Les **infrasons** ont des fréquences inférieures à 20 Hz.
- Les **ultrasons** ont des fréquences supérieures à 20 000 Hz.



Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

L'onde sonore est une onde mécanique qui nécessite un milieu matériel élastique et déformable pour se propager

La célérité ne dépend que des caractéristiques du milieu:

Les sons vont d'autant plus vite que les milieux sont solides.

Dans l'air: $c = 330 \text{ à } 340 \text{ m/s}$

Dans l'eau: $c = 1450 \text{ m/s}$

Dans le tissu mou: $c = 1540 \text{ m/s}$

Dans le sang: $c = 1566 \text{ m/s}$

Dans la peau: $c = 1600 \text{ m/s}$

Dans l'os: $c = 3300 \text{ m/s}$



La vitesse est plus élevée dans les liquides que dans les gaz et encore plus élevée dans les solides.

Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Le son se propage par changement de la pression dans le milieu où il circule. Cette variation de pression est induite par un mouvement des particules du milieu.

Pression acoustique

P_M = pression instantanée du fluide au point M

P_0 = pression du fluide à l'équilibre

$$P = P_M - P_0$$

Z est l'impédance acoustique du milieu. Elle représente une résistance à la propagation de l'onde.

v est la vitesse des particules dans le milieu.

$$P = Z * v$$

ρ est la masse volumique du milieu et c la célérité du son dans ce même milieu.

$$Z = \rho * c$$

Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Énergie acoustique

L'énergie totale E_T à l'équilibre est égale à l'énergie cinétique maximale

$$E_T = E_C(\max) = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

Intensité sonore

S une surface perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde sonore et W, la puissance sonore (Watt)

$$I = \frac{W}{S}$$

L'intensité sonore (W/m^2) est le flux d'énergie par unité de surface d'onde.

L'intensité du son diminue avec l'inverse du carré de la distance.

Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Le niveau sonore

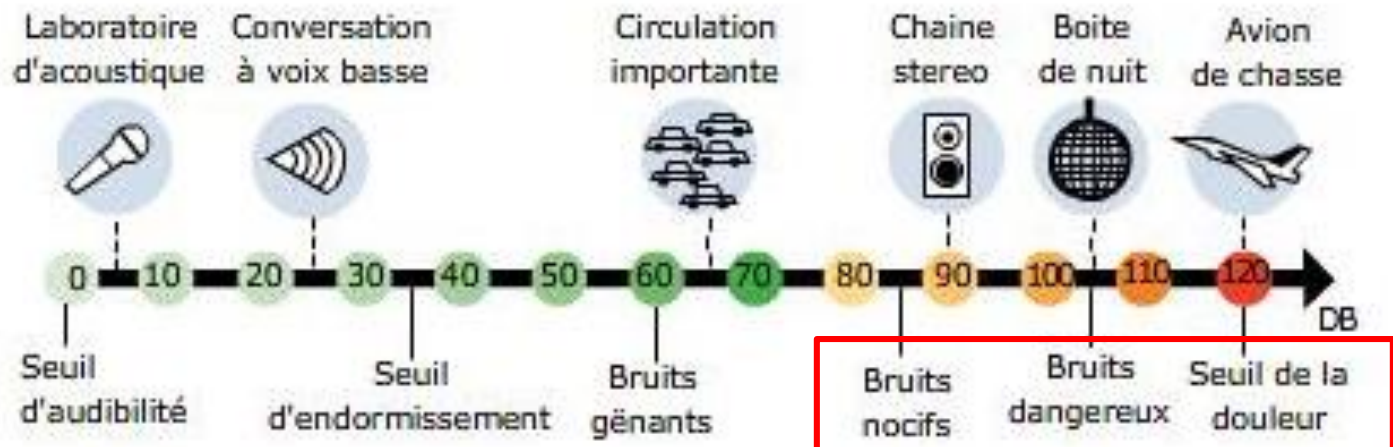
Le niveau sonore L_B d'un son d'intensité I par rapport à un son d'intensité I_0 est égal en bels (B) à:

$$L_B = \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

Le bel, étant une unité grande on utilise le décibel (dB)

$$L_B = 10 \times \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

I_0 représente une intensité de référence égale à 10^{-12} W/m² (seuil d'audibilité à la fréquence de 1000 Hz pour un sujet normal).



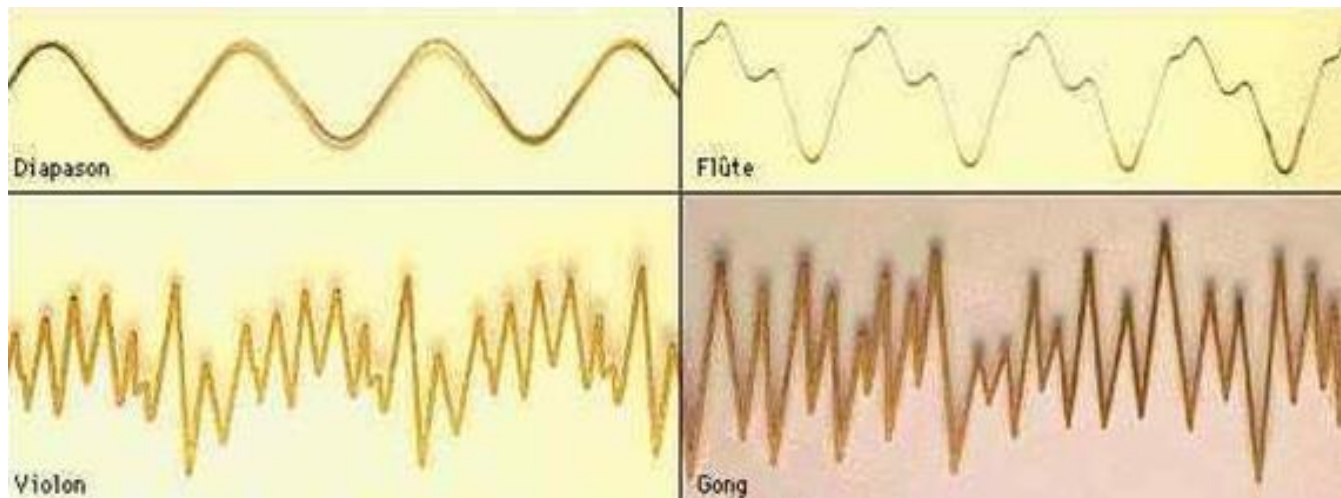
Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Le timbre

Le timbre d'un son est lié à sa composition spectrale (présence, importance et durée des harmoniques) et à son évolution au cours du temps. Il permet de distinguer les sons émis par divers instruments. Il permet de différencier le type de source sonore et de l'identifier.

Le timbre d'un instrument ou d'une voix est donc défini par le nombre de fréquences harmoniques ainsi que par leurs intensités respectives.

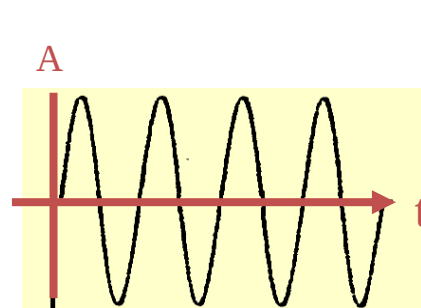
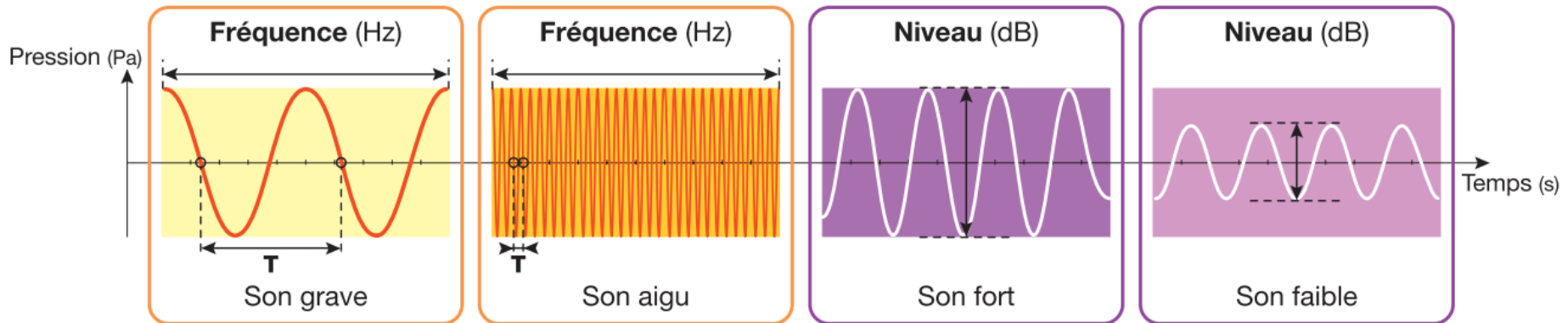


Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Représentation graphique d'un son

Représentation graphique de son de différentes fréquences (**hauteur**). Plus l'oscillation est rapide plus la fréquence est élevée.



Représentation temporelle



Représentation fréquentielle

Chapitre III : Biophysique de l'audition

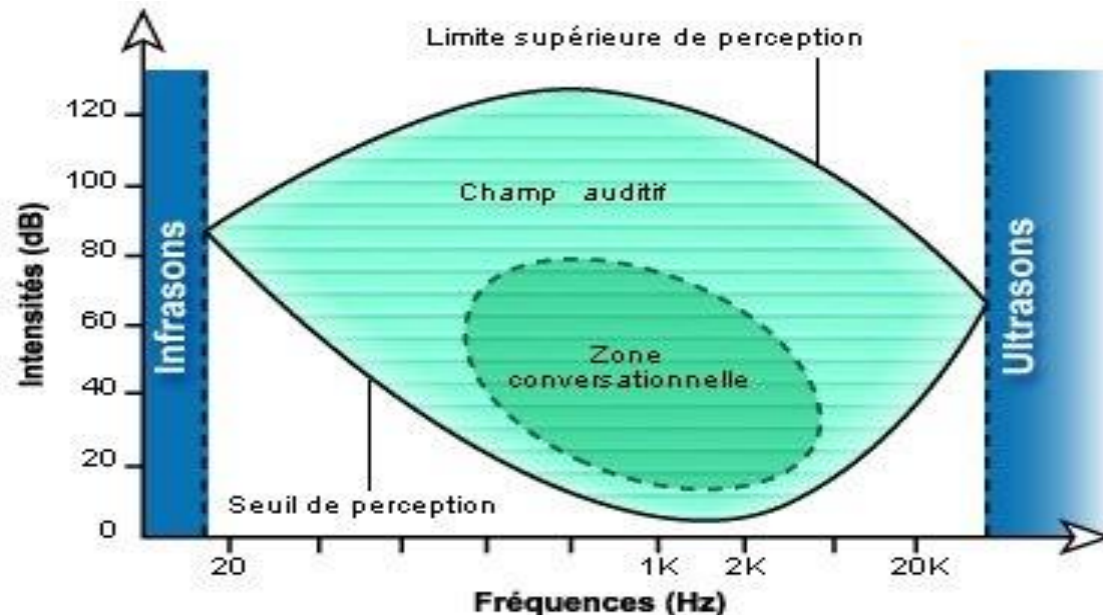
Propriétés physiques des ondes sonores

Seuil différentiel

On appelle seuil différentiel de niveau la plus petite variation de niveau que l'oreille humaine puisse percevoir. Sa valeur est d'environ 1 dB.

Une variation de 1dB peut-être perçue dans des conditions de laboratoire.

La sensibilité auditive dépend de la fréquence



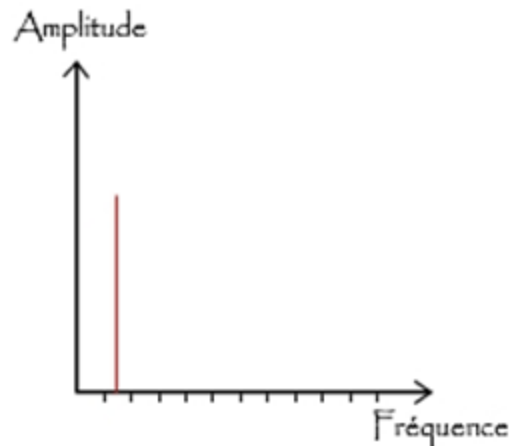
Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

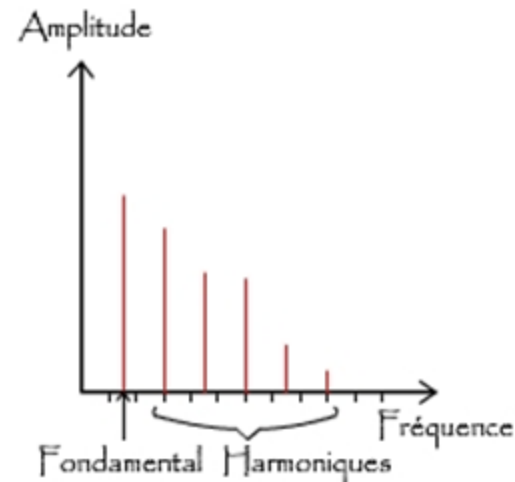
Fondamental et harmoniques

Le spectre peut être représenté sur un diagramme où l'axe des abscisses correspond aux fréquences, celui des ordonnées correspond aux amplitudes et où chaque fréquence est représentée par un trait.

Lorsqu'un son est complexe, la plus faible fréquence qu'il comporte est appelée "fondamental". Toutes les autres fréquences sont appelées "harmoniques" et leurs fréquences sont des multiples de celle du fondamental.



Spectre d'un son pur

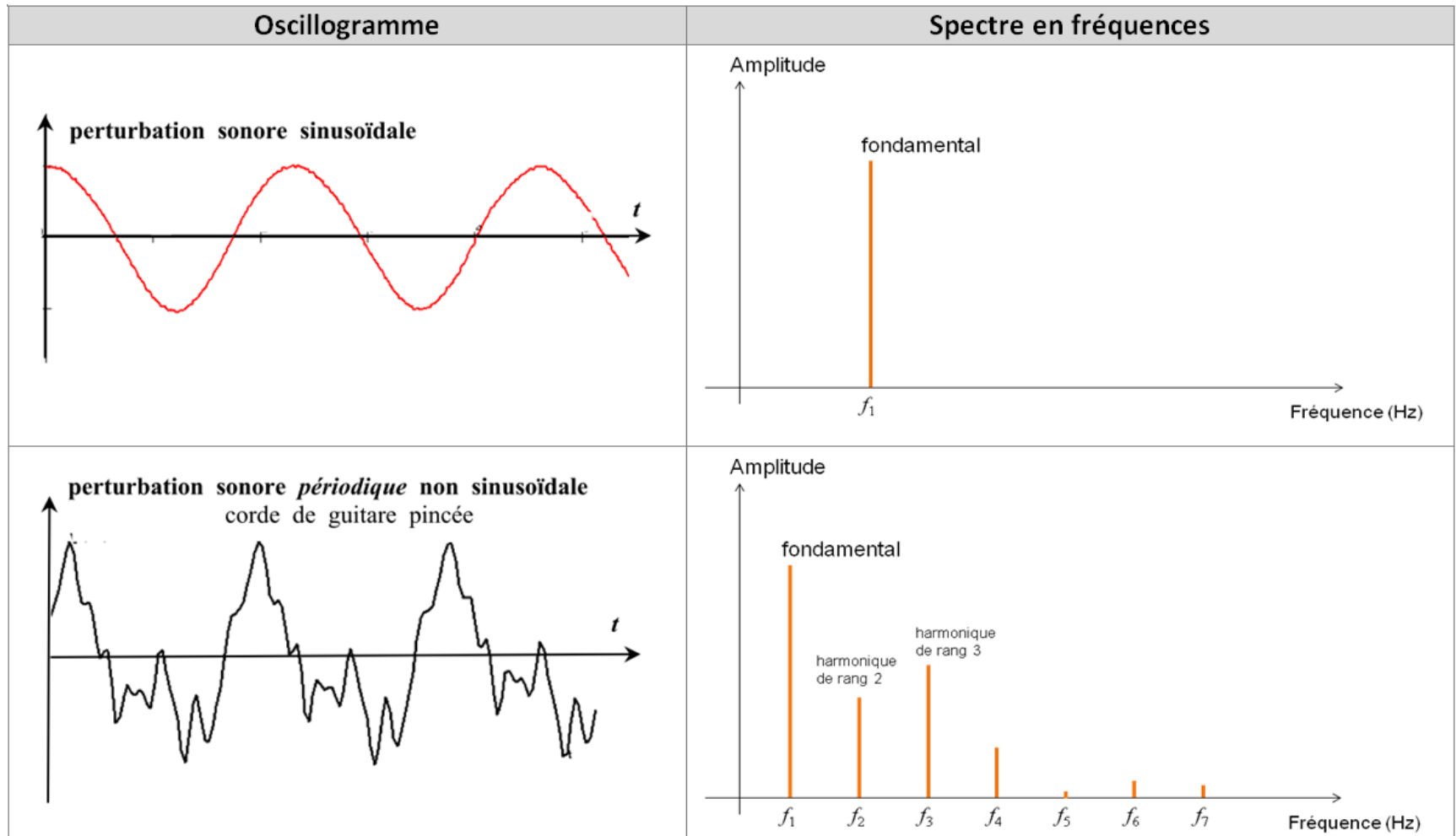


Spectre d'un son complexe

Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Fondamental et harmoniques



Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Caractéristiques d'un signal sonore

L'onde sonore est une onde mécanique progressive qui se propage dans un milieu matériel élastique (gaz, liquides, solides), mais ne se propage pas dans le vide comme les ondes électromagnétiques. On distingue:

- Son **périodique**:
 - Son pur
 - Son complexe
- **Bruit**:
 - Vibration aléatoire

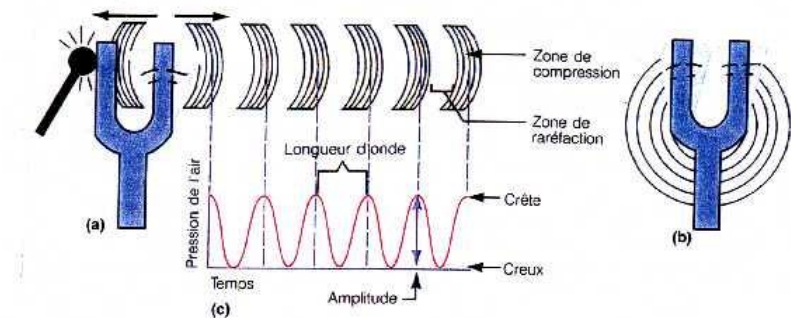
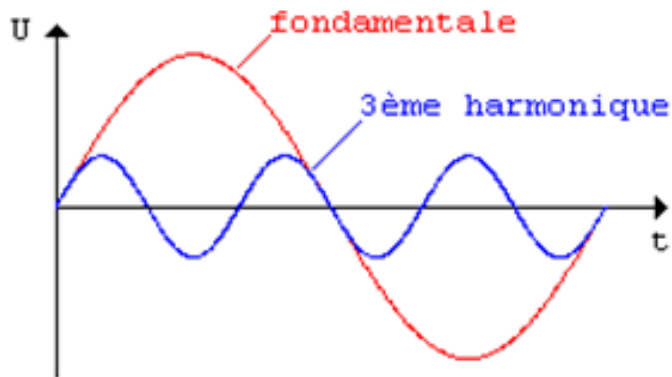
Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Sons périodiques

Un son périodique peut-être simple ou complexe:

- Un son périodique simple est composé d'une seule sinusoïde
 - Exemple: Le diapason
- Une onde périodique complexe est composée d'une somme d'ondes sinusoïdales simples.
 - Exemple: Les sons de la parole sont des ondes complexes.



Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Sons périodiques - les sons purs

- Le son pur correspond à une unique fréquence et est représenté par un mouvement vibratoire simple, la sinusoïde.

$$y(t) = A \sin(2\pi f_1 t)$$

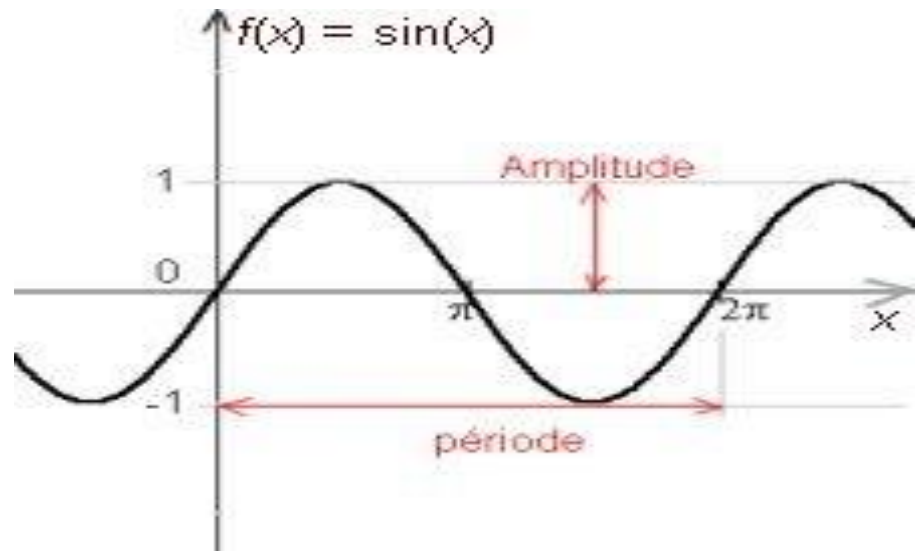
- Caractéristiques physiques:

- Période
- Fréquence
- Amplitude

A: amplitude du mouvement

f₁: fréquence de vibration

t: temps



Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

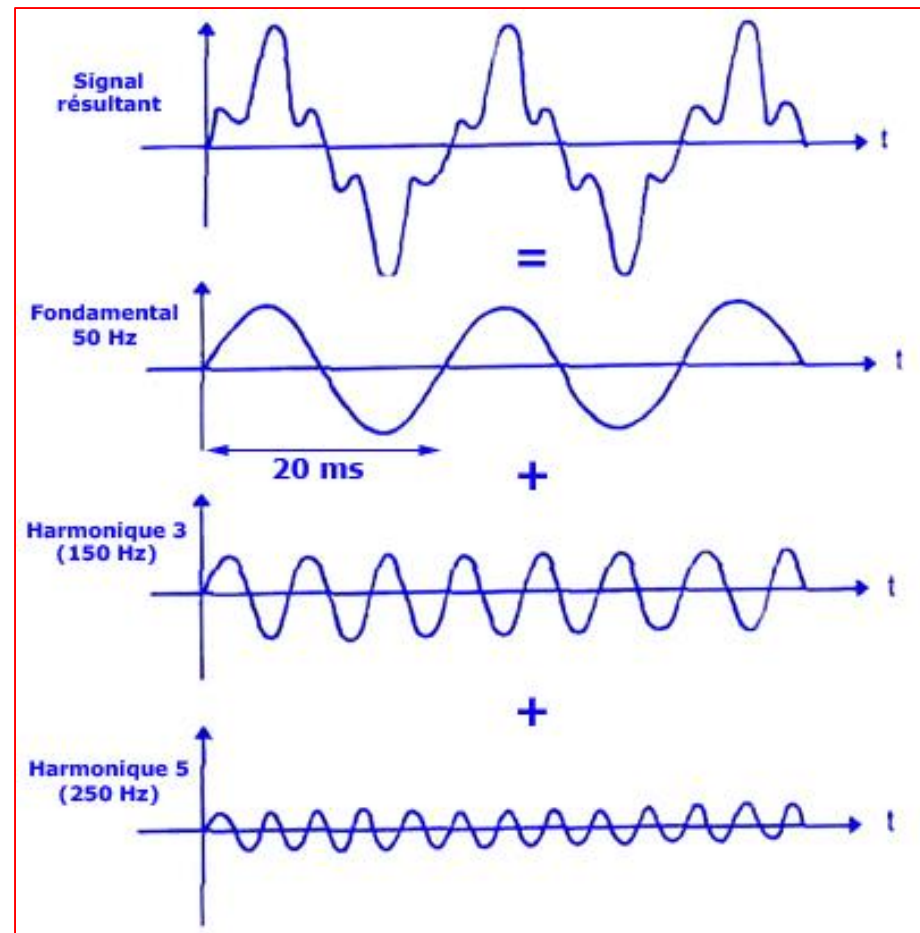
Sons périodiques - les sons complexes

Un son complexe correspond à l'addition de plusieurs sons purs.

- Lorsqu'un point reçoit au même instant t trois oscillations $X_1(t)$, $X_2(t)$ et $X_3(t)$ la résultante est la somme des trois oscillations:

- $X(t) = X_1(t) + X_2(t) + X_3(t)$

Son complexe formé par l'addition de trois sons purs dont les fréquences sont différentes.



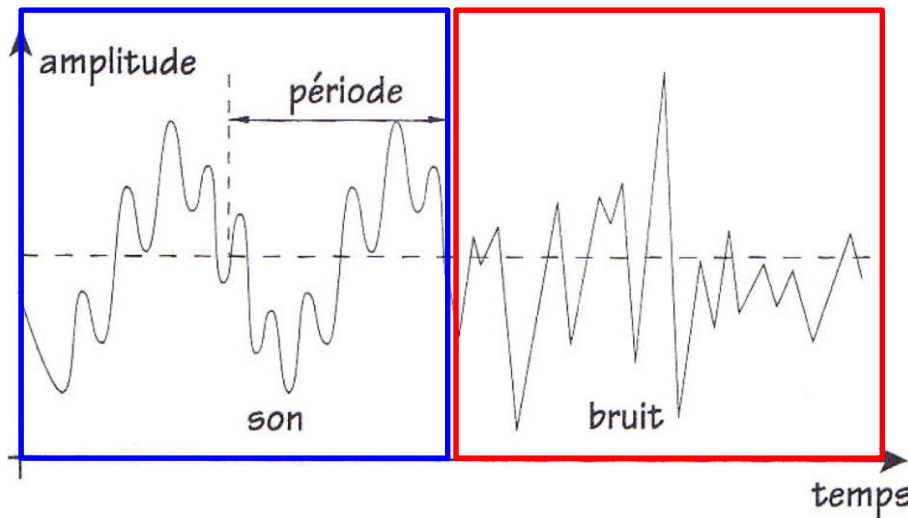
Chapitre III : Biophysique de l'audition

Propriétés physiques des ondes sonores

Sons non périodiques: Les bruits

Les bruits sont des sons non périodiques, en général de courte durée (bruit transitoire) sans fréquence caractéristique.

Dans un son agréable, la fréquence des harmoniques est un multiple de celle de la fondamentale. À l'inverse, les fréquences des harmoniques d'un bruit ne sont pas liées à celles de la fondamentale.



Les courbes ci-contre, montrent l'opposition de la représentation d'une onde sonore à celle d'un bruit.

L'onde sonore est régulière, périodique tandis que le bruit est une courbe chaotique, une onde irrégulière.