

FONCTION SENSORIELLE

CAS de l' AUDITION



FONCTION SENSORIELLE (AUDITION)

plan

- I fonction sensorielle
- II paramètres physiques de l'audition
- III paramètres physiologiques
- IV anatomie
- V transduction
- VI voies nerveuses : PA
- VII exploration de l'audition

I fonction sensorielle

1 définition

2 propriétés des capteurs

3 message sensoriel

4 plan d'étude

I fonction sensorielle

1 définition :

interface environnement – représentation
cérébrale

simple : température ou complexe : lecture

principe :

signal physique → représentation subjective

rem : 5 sens :

vision, audition, goût, odorat, toucher

+ sens de la position du corps et des membres

+ perception des accélérations

I fonction sensorielle

1 définition

2 propriétés des capteurs

3 message sensoriel

4 plan d'étude

2 propriétés des capteurs biologiques

- **spécifiques**
- **sensibilité +++** (sentir 1 molécule)

bande passante fonction de l'espèce:

(= domaine efficace)

son : oreille humaine 20Hz à 20kHz

chien > 30 kHz (ultrasons)

vision : oeil humain 400-700 nm

oeil moustique > IR

2 propriétés des capteurs biologiques

- **grande dynamique** :

adaptable aux signaux **très faibles**
et **très intenses**

luminance 10^{15}

audition 10^{12}

I fonction sensorielle

1 définition

2 propriétés des capteurs

3 message sensoriel

4 plan d'étude

I fonction sensorielle

3 caractères du message sensoriel

- **subjectif**

- **non obligatoirement ordonné** (timbre)

- relation **non linéaire**
avec signal physique
souvent **log(I)**

I fonction sensorielle

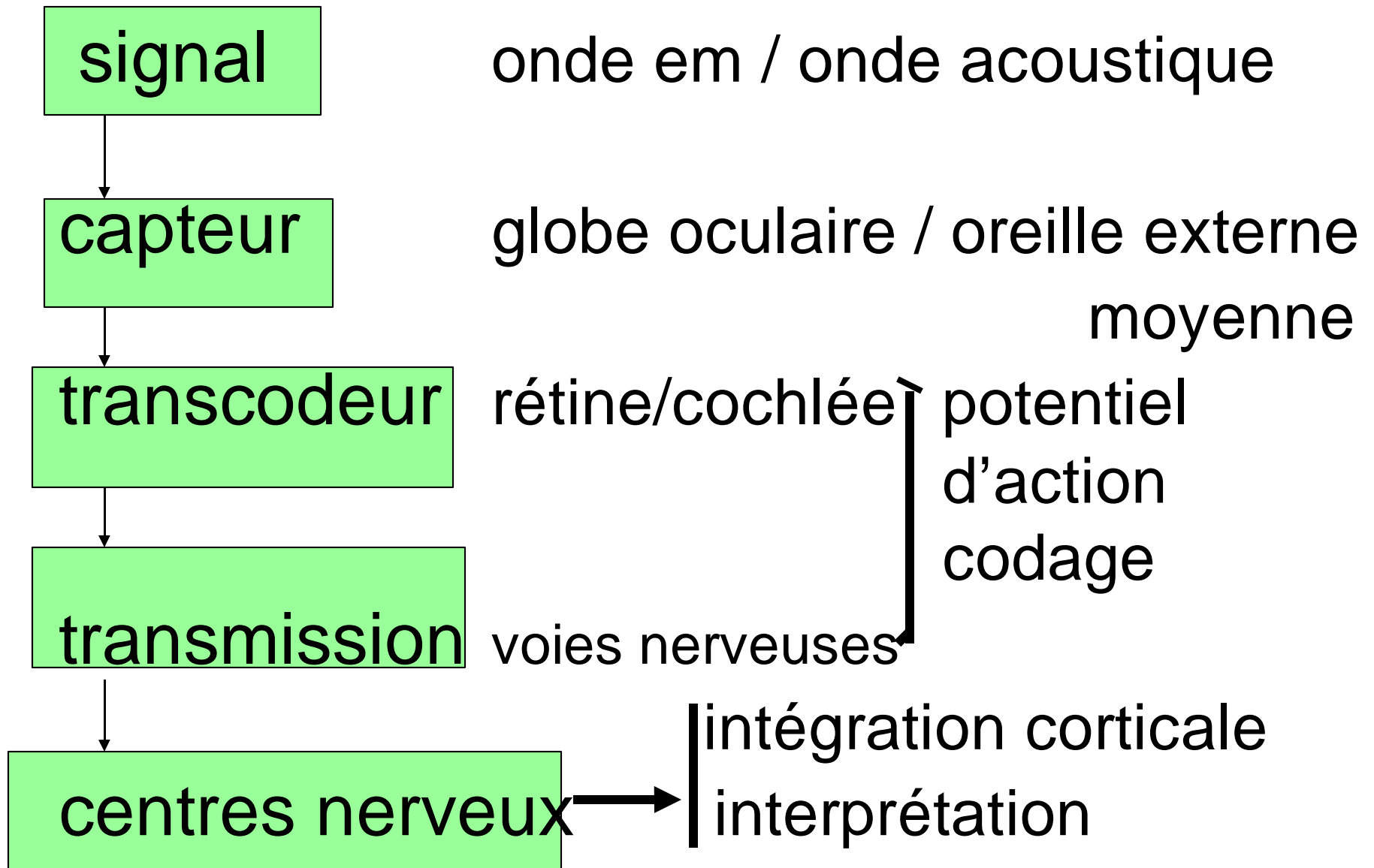
1 définition

2 propriétés des capteurs

3 message sensoriel

4 plan d'étude

4 plan d'étude d'une fonction sensorielle



FONCTION SENSORIELLE AUDITION

I fonction sensorielle

II paramètres physiques de l'audition

III paramètres physiologiques

IV anatomie

V transduction

VI voies nerveuses : PA

VII exploration de l'audition

II paramètres physiques

**1 caractères de l'onde
acoustique**

2 son pur

3 son complexe

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

A définition

B fréquence

C propagation et vibration

D vitesse et célérité

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

A définition :

onde de vibration longitudinale
progressive se propageant de proche
en proche dans un milieu matériel

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

A définition

B fréquence

C propagation et vibration

D vitesse et célérité

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

B caractérisée par sa **fréquence** :
IF; sons audibles 16-20 000 Hz; US

* propagation en **ligne droite**

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

A définition

B fréquence

C propagation et vibration

D vitesse et célérité

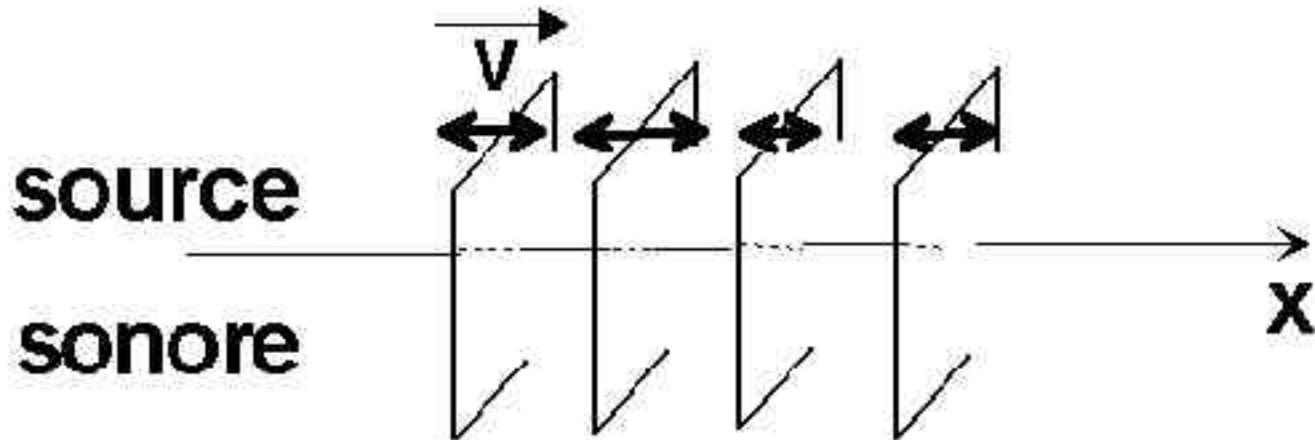
II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

C propagation et vibration

propagation en **ligne droite**

vibration **longitudinale**



II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

amplitude des mouvements des
particules :
son faible 10^{-10} m,
son douloureux 0,25 mm

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

A définition

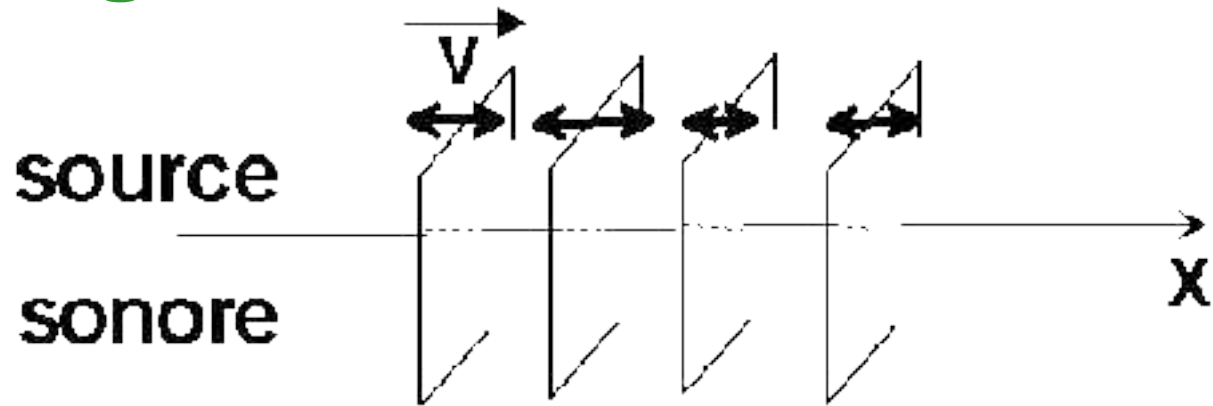
B fréquence

C propagation et vibration

D vitesse et célérité

1 caractères de l'onde acoustique

D distinguer vitesse et célérité :



v = vitesse de déplacement instantané des particules

1 caractères de l'onde acoustique

D distinguer vitesse et célérité :

c = célérité du son :

vitesse de propagation de l'onde



II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

2 son pur

A définition - propriétés

B pression acoustique

C propagation

D énergie acoustique

a puissance surfacique

b dB

3 son complexe

2 CAS DU SON PUR A définition

Onde **sinusoïdale plane** :

déplacement longitudinal **U** autour d'un point d'équilibre d'amplitude **$U = a \sin \omega t$**

ω = pulsation

$\omega = 2\pi F$ fréquence en Hz

$T = \frac{1}{F}$ période en s

longueur d'onde **$\lambda = cT = \frac{c}{F}$**

distance parcourue par le son pendant 1 période

2 CAS DU SON PUR

A propriétés

déplacement $u = a \sin \omega t$

vitesse : dU/dt

$$v = a\omega \sin \omega \left(t + \frac{T}{4} \right)$$

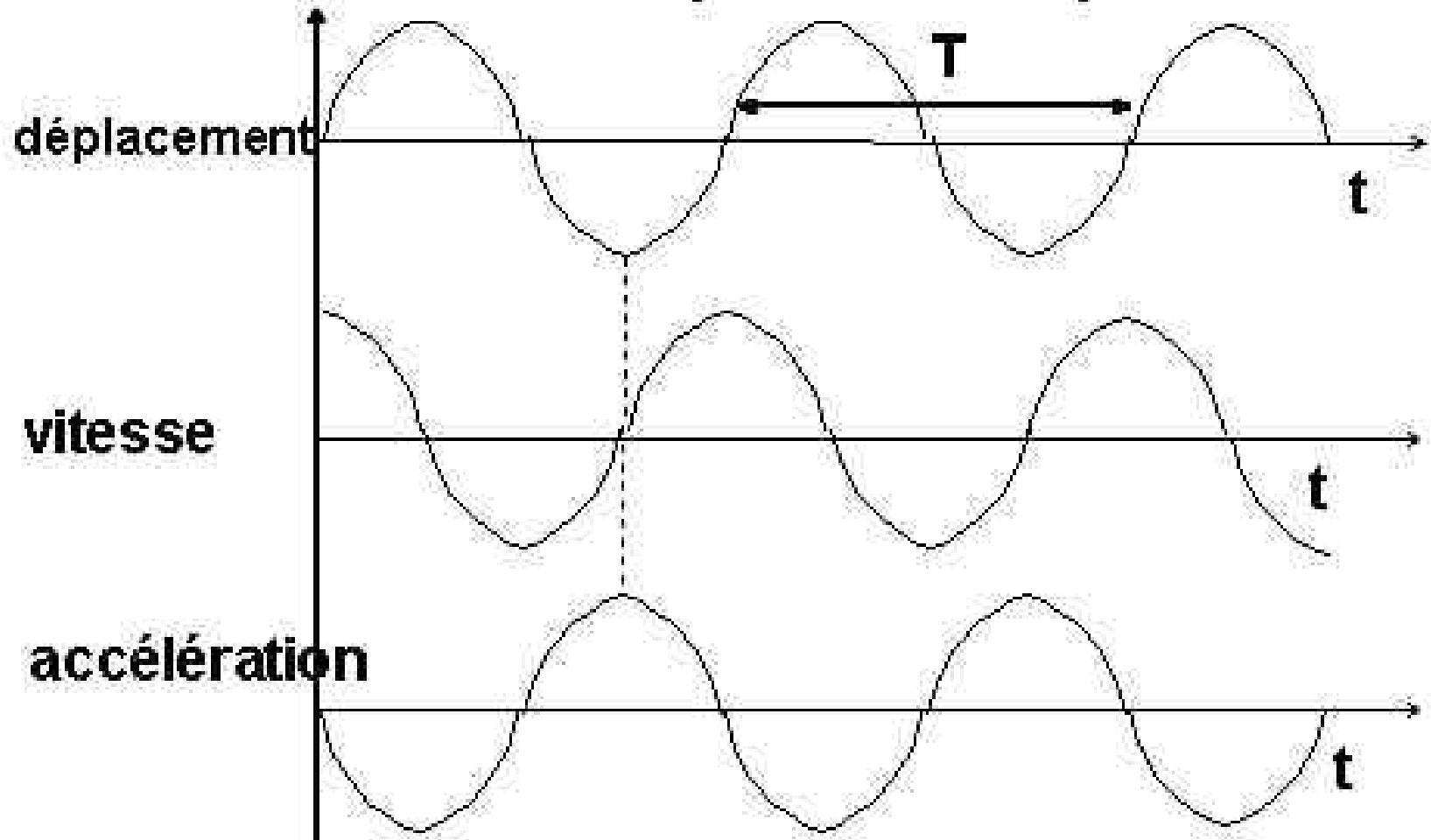
accélération = dV/dt

$$\gamma = a\omega^2 \sin \omega \left(t + \frac{T}{2} \right)$$

2 CAS DU SON PUR

A propriétés

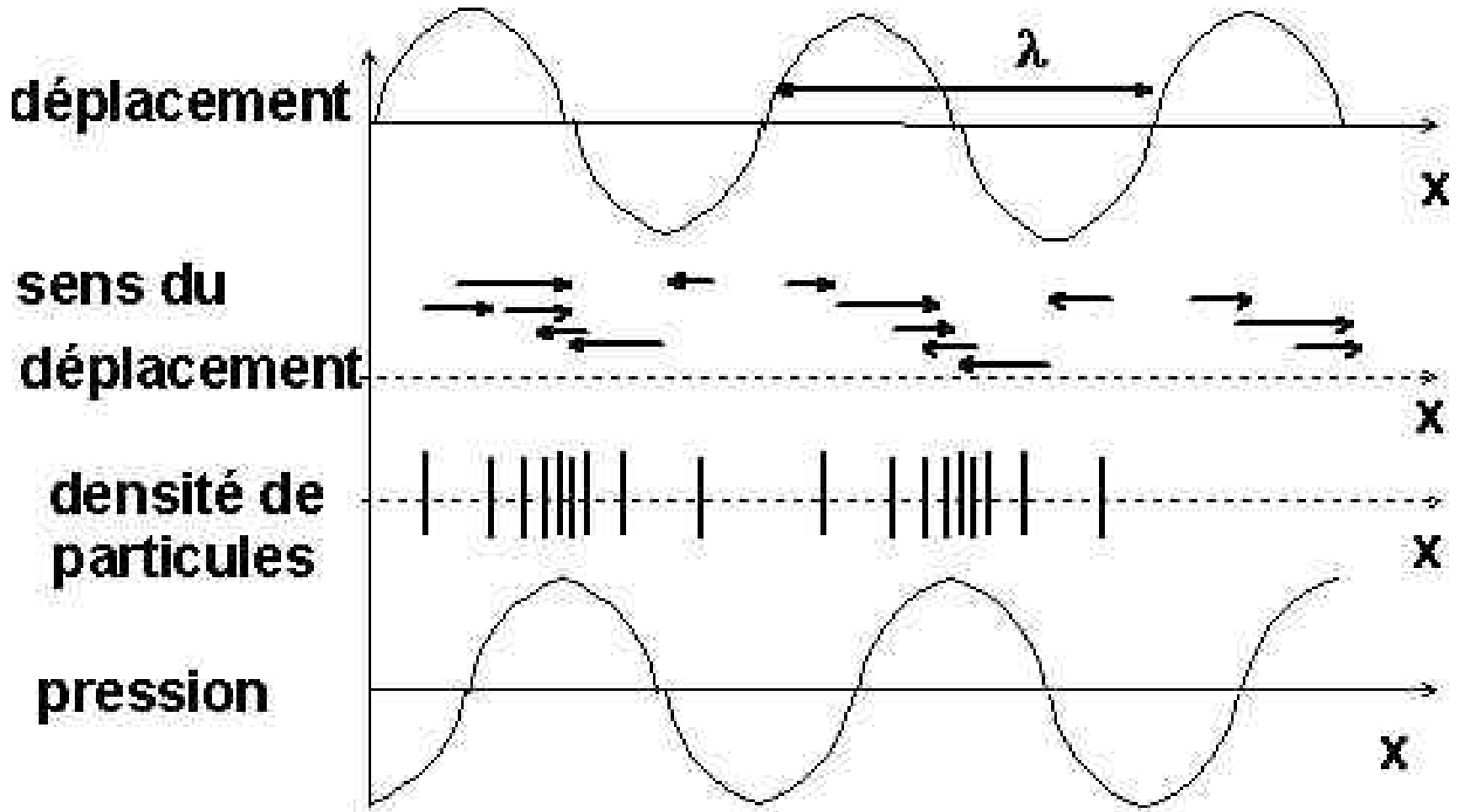
mouvements des particules au point x



2 CAS DU SON PUR

A propriétés

mouvements des particules à l'instant t



II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

2 son pur

A définition - propriétés

B pression acoustique

C propagation

D énergie acoustique

a puissance surfacique

b dB

3 son complexe

II PARAMETRES PHYSIQUES 2 son pur

B pression acoustique

variation locale instantanée de la densité
de particules $p_a = \rho c v$

v = vitesse des particules due à l'onde acoustique

ρc = impédance acoustique par analogie avec

$$U = Z i$$

s'ajoute à la pression atmosphérique

$$P_{\text{totale}} = P_{\text{acoustique}} + P_{\text{atmosphérique}}$$

en général : $P_{\text{acoustique}} \ll P_{\text{atmosphérique}}$
de qqPa à 10^5Pa

grande amplitude de variation de 1 à 10^6

rem : microphone, tympan

= capteurs de pression

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

2 son pur

A définition - propriétés

B pression acoustique

C propagation

D énergie acoustique

a puissance surfacique

b dB

3 son complexe

II PARAMETRES PHYSIQUES 2 son pur

C propagation

transfert d'énergie à distance sans transport de matière

= **onde de pression** acoustique :

$$p(x,t) = p \sin \omega(t - x/c) = p \sin 2\pi F(t - x/c)$$

fréquence F

indépendante du milieu

$$\lambda = cT = \frac{c}{F}$$

longueur d'onde

II PARAMETRES PHYSIQUES 2 son pur

C propagation

fréquence **F** indépendante du milieu

longueur d'onde

fonction du milieu et de $F := \frac{c}{\lambda}$

célérité

$$c = \frac{1}{\sqrt{\beta\rho}}$$

β = coefficient de compressibilité

ρ = masse volumique

fonctions du milieu

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

2 son pur

A définition - propriétés

B pression acoustique

C propagation

D énergie acoustique

a puissance surfacique

b dB

3 son complexe

D'énergie acoustique a puissance surfacique

définition :

quantité d'énergie qui traverse l'unité de surface par unité de temps exprimée en Wm^{-2}

travail des forces de pression pendant dt :

$$d\tau = F dx = p_a \times Surface \times dx$$

puissance surfacique :

$$W = \frac{d\tau}{S \cdot dt} = \frac{P_a \cdot S \cdot dx}{S \cdot dt} = P_a \frac{dx}{dt} = P_a \times v$$

D énergie acoustique

a puissance surfacique

puissance surfacique :

$$W = \frac{d\tau}{S \cdot dt} = \frac{P_a \cdot S \cdot dx}{S \cdot dt} = P_a \frac{dx}{dt} = P_a \times v$$

$$P_a = \rho c v \Rightarrow v = \frac{P_a}{\rho c}$$

$$\Rightarrow W = \frac{P_a^2}{\rho c}$$

W varie de 1 à 10^{12}

le plus souvent énergie faible;

pour obtenir quelques Watt/m² il faut

plusieurs millions de personnes parlant

à voix normale

D énergie acoustique

b UNITE PRATIQUE : le BEL

définition du **niveau d'intensité** en Bel :

$$L_{Bel} = \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

W = puissance surfacique

W₀ est l'**intensité de référence** :

- soit **relative**
- soit seuil **absolu** d'audibilité à 1000 Hz
c-à-d 10^{-12} Watt/m²

décibel :

niveau en dB :

$$L_{dB} = 10 \times \log_{10} \frac{W}{W_0}$$

D énergie acoustique b décibel

propriétés du dB :

- niveau (dB) du seuil absolu = 0 dB
- sons audibles : de 0 à 120 dB

addition de 2 sources sonores de même intensité:

$$L_{dB} = 10 \times \log_{10} \frac{2W}{W_0}$$

$$L_{dB} = 10 \times \log 2 + 10 \times \log \frac{W}{W_0}$$

$$L_{dB} = 3 + L_{1_source}$$

exemple : 2 sources de 15 dB
chacune, au total : 18 dB

D énergie acoustique b décibel

ordres de grandeur :

voix chuchotée = 20 dB

voix normale = 50 dB

voix bruyante = 80 dB

baladeur = 110 dB

studio d'enregistrement = 120 dB

moteur d'avion = 130 dB

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

2 son pur

3 son complexe

A périodique et non périodique

B théorème de Fourier

C généralisation du th de Fourier

D bande passante

II PARAMETRES PHYSIQUES

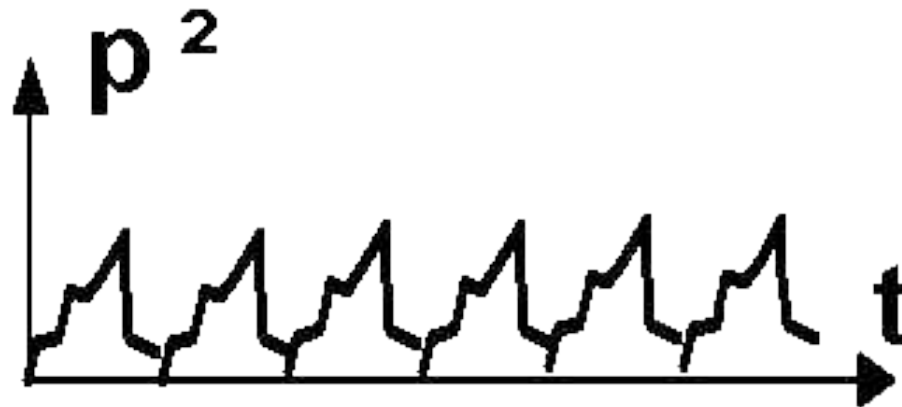
3 son complexe

A périodique et non périodique

on distingue :

- son complexe **périodique** :

répété identique à lui-même au bout d'un temps T (violon, flûte): **permanent**

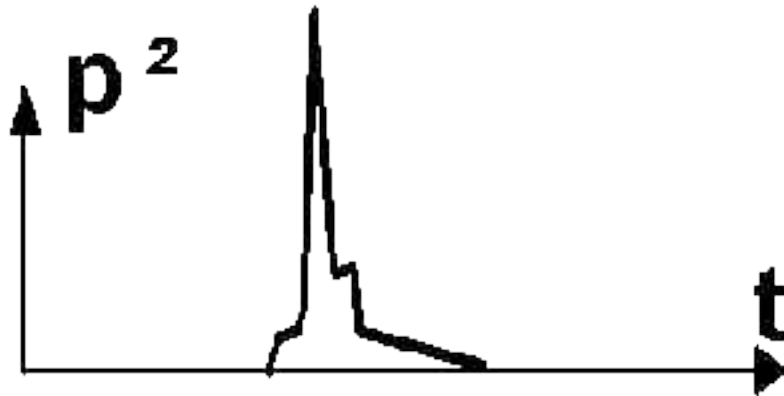


II PARAMETRES PHYSIQUES

3 son complexe

A périodique et non périodique

- son complexe **non périodique** :
bruit (tambour) : **transitoire**



II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

2 son pur

3 son complexe

A périodique et non périodique

B théorème de Fourier

C généralisation du th de Fourier

D bande passante

B analyse d'un son complexe périodique : théorème de Fourier

un son complexe périodique peut être représenté par une somme de sinusoïdes de fréquences multiples d'une fréquence F dite **fondamentale**

$$A = A_0 + A_1 \sin(2\pi Ft + \phi_1) \\ + A_2 \sin(2\pi \times 2Ft + \phi_2) \\ + \dots + A_n \sin(2\pi \times nFt + \phi_n)$$

harmonique de rang n

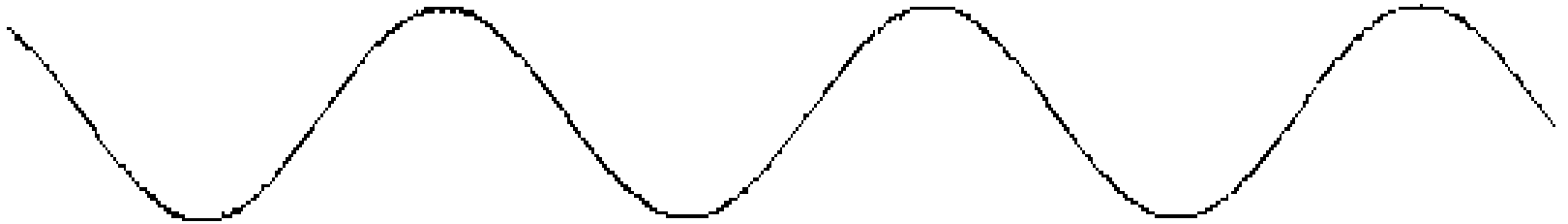
un son complexe est caractérisé

par F, A_i, ϕ_i

B théorème de Fourier

exemples de sons complexes
périodiques simples

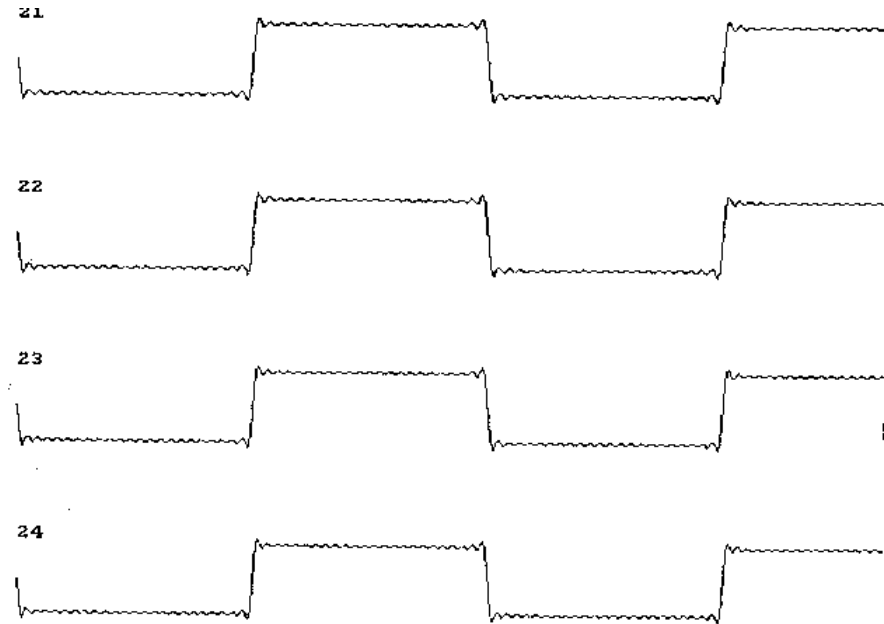
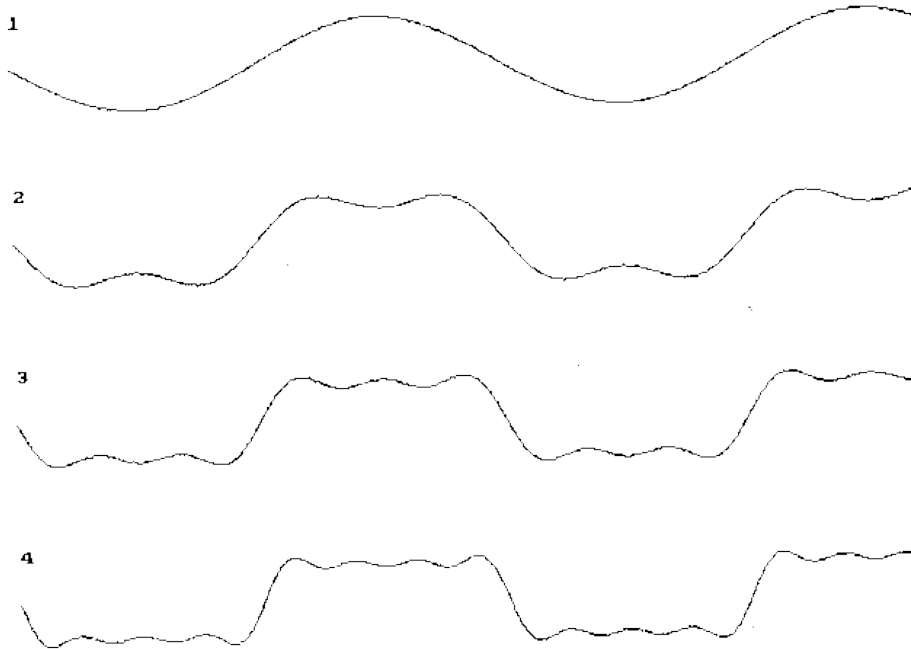
1 son pur $y = a \sin(2\pi Ft)$



B théorème de Fourier

2 signal carré

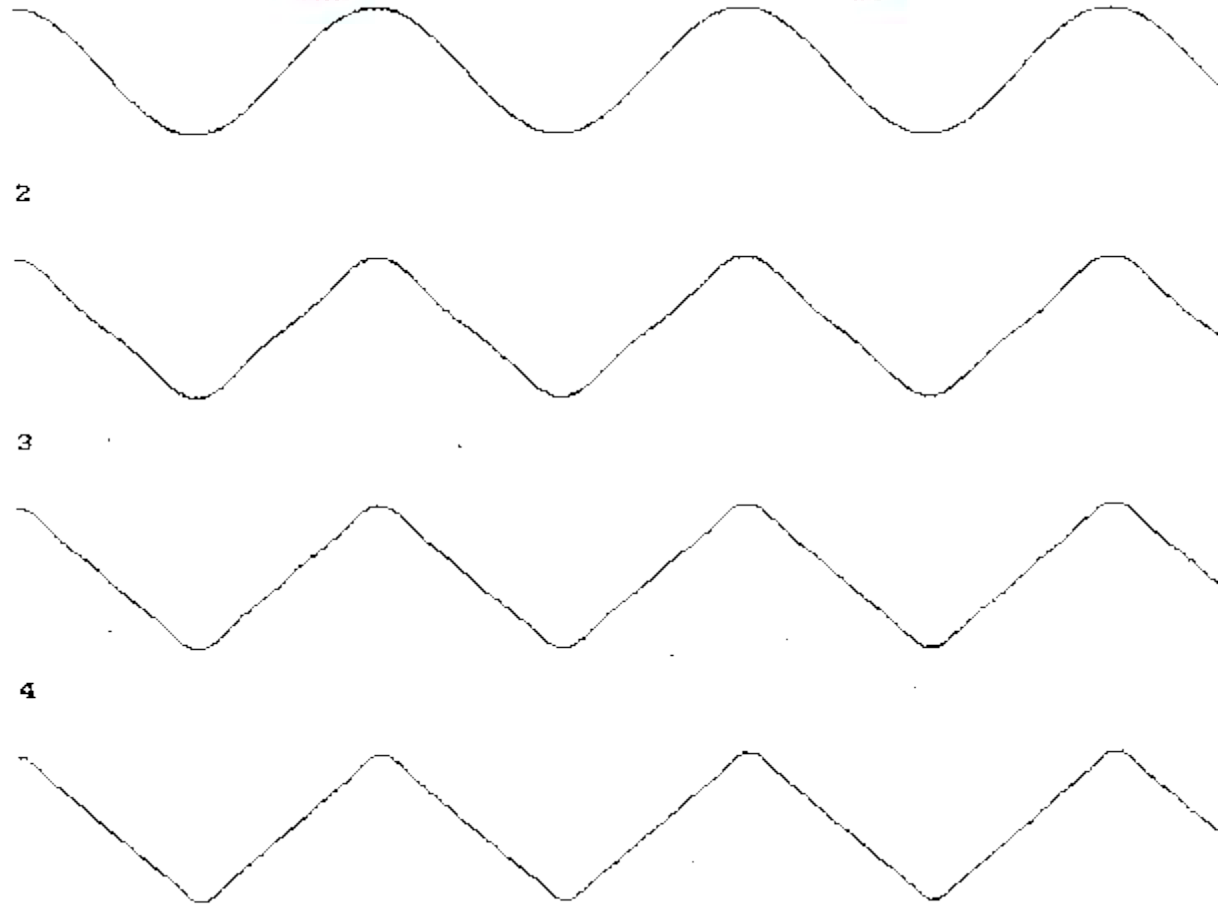
$$y = a \sin(2\pi Ft) + \frac{a}{3} \sin(2\pi 3Ft) + \frac{a}{5} \sin(2\pi 5Ft).$$



B théorème de Fourier

3 signal triangulaire

$$y = a \sin(2\pi Ft) + \frac{a}{3^2} \sin(2\pi 3Ft) + \frac{a}{5^2} \sin(2\pi 5Ft) \dots$$



B théorème de Fourier

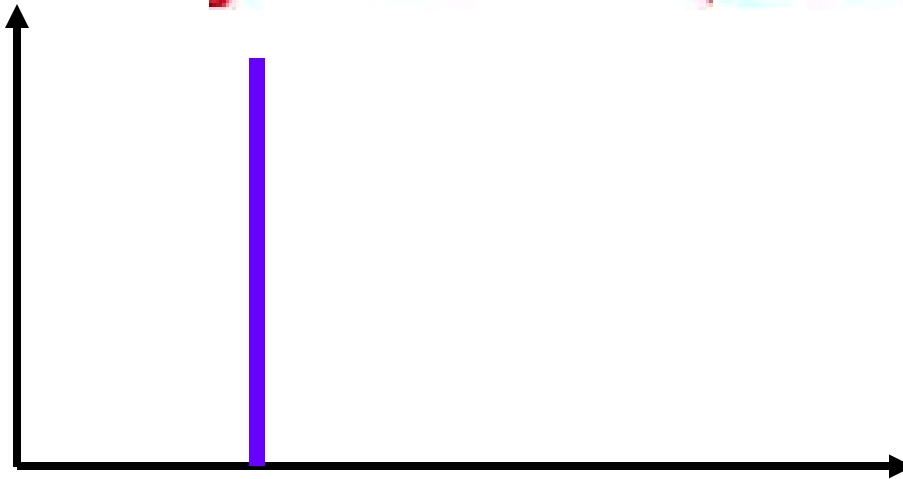
représentation :

spectre des fréquences

1 son pur

$$y = a \sin(2\pi Ft)$$

**amplitude
de la
sinusoïde**

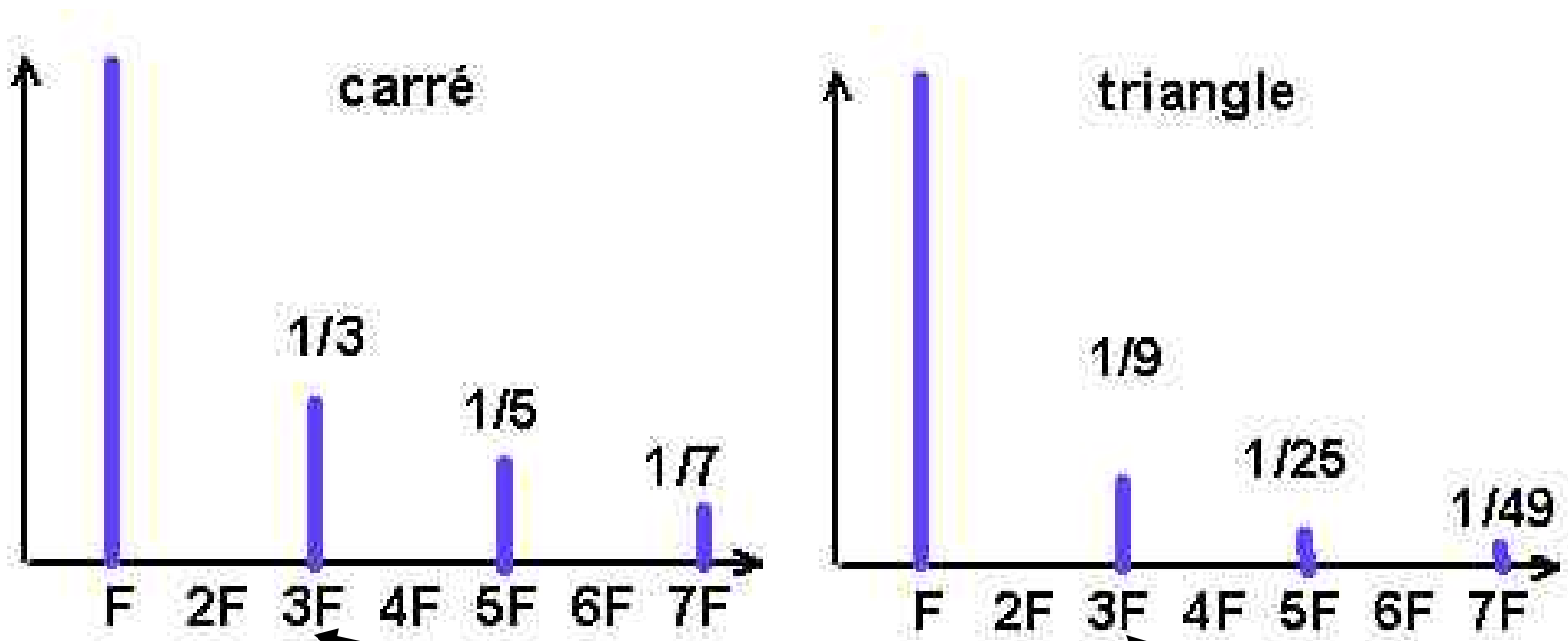


F

fréquence

B théorème de Fourier

représentation **spectre des fréquences**

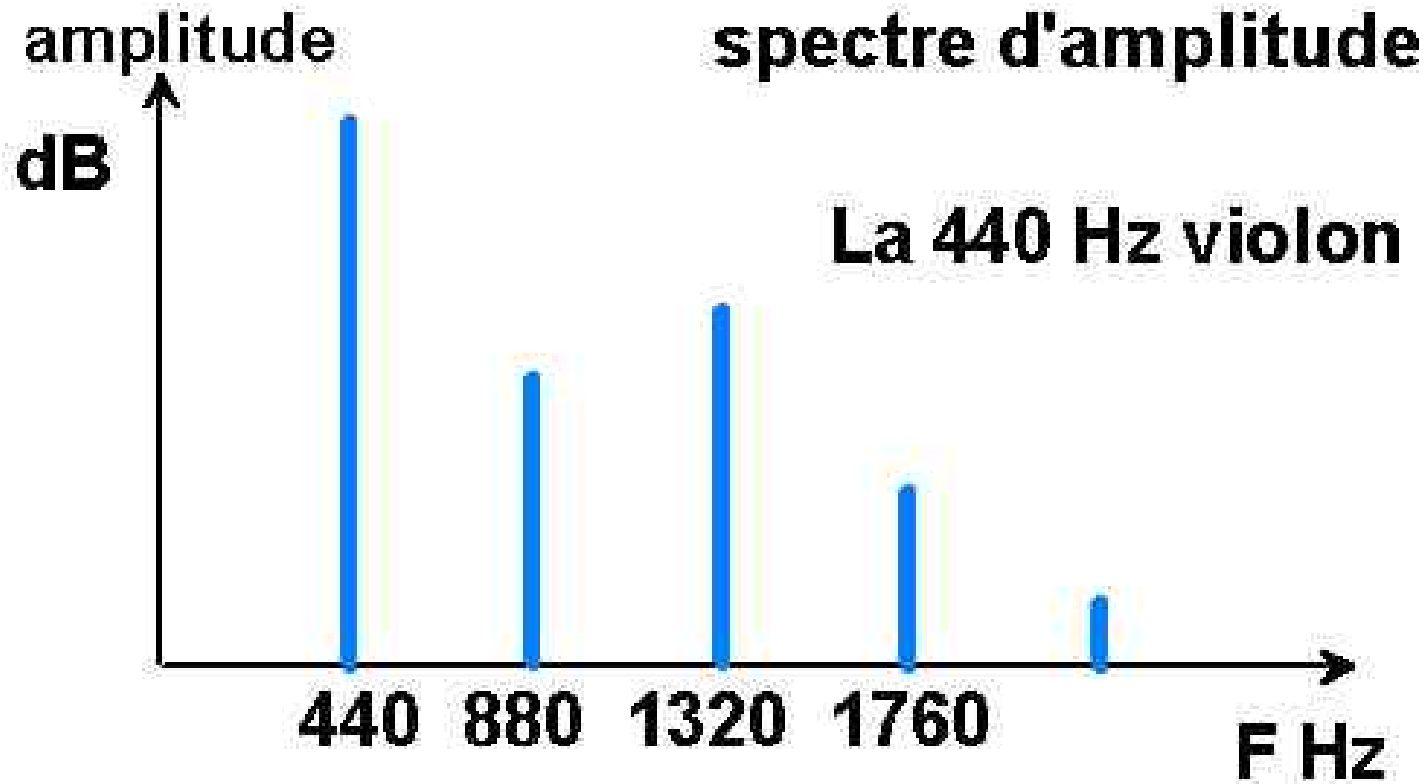


amplitude harmonique de rang 3

B théorème de Fourier

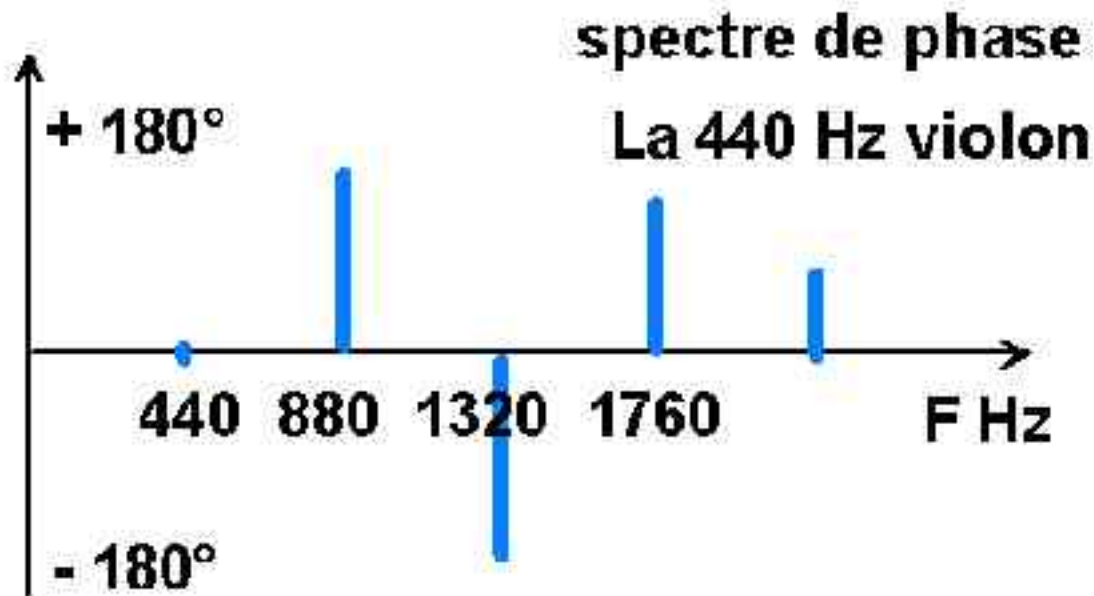
spectre des fréquences

représentation du **La 440 Hz du violon**



B théorème de Fourier

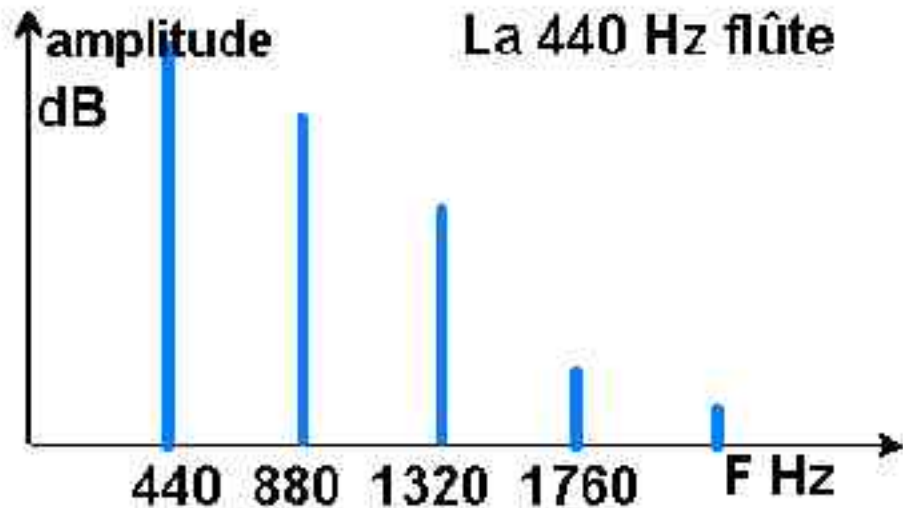
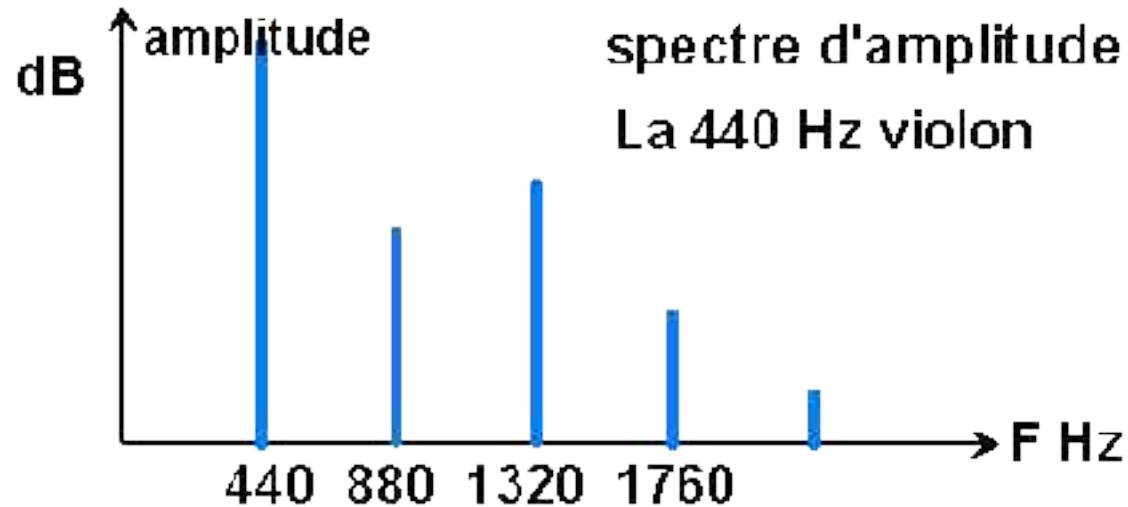
représentation du **La 440 Hz du violon**
spectre de phase (ϕ)



au total, représentation complète = F,
spectre d'amplitude, spectre de phase

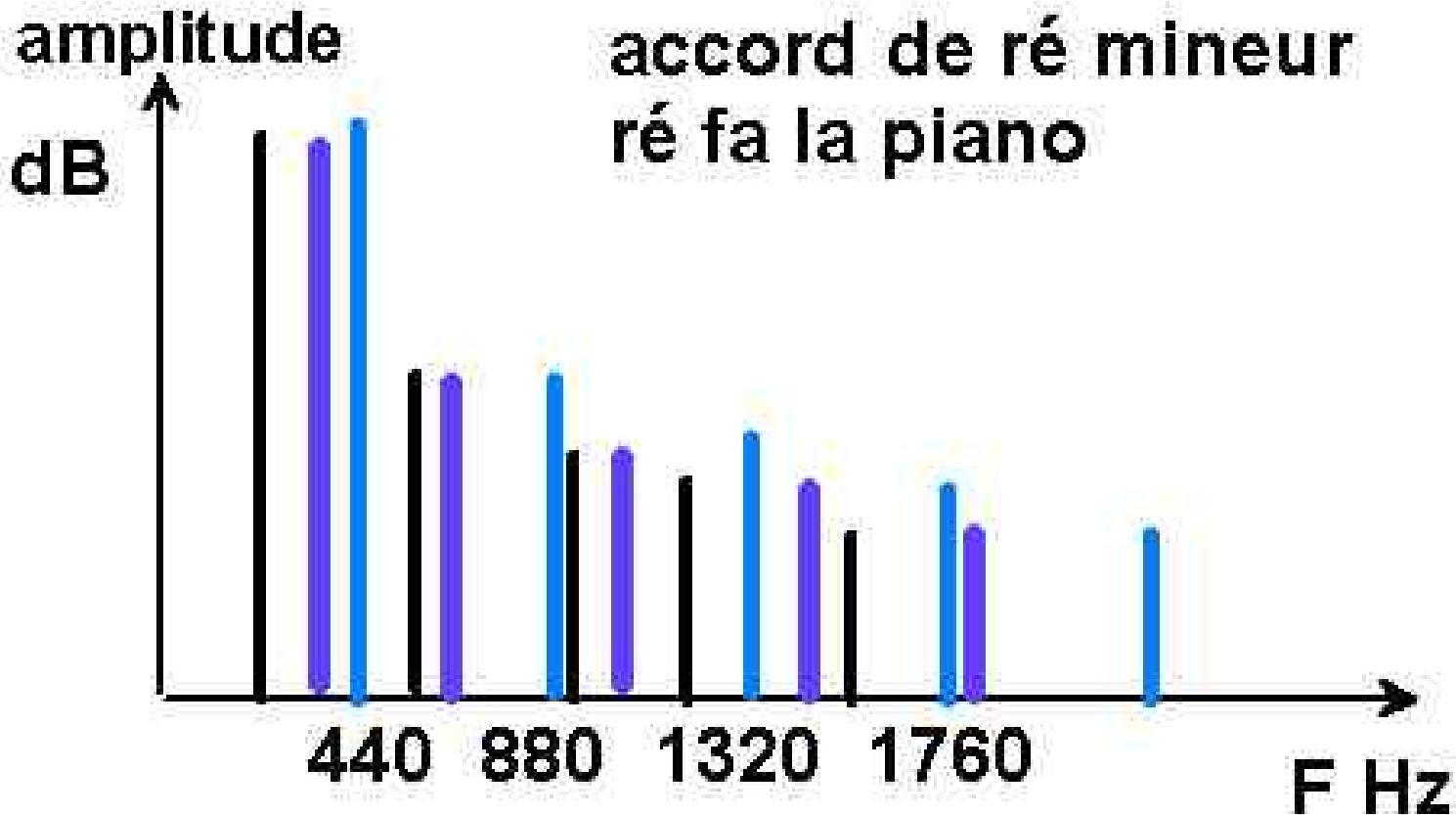
B théorème de Fourier

exemples de sons complexes périodiques



B théorème de Fourier

exemple de son complexe périodique



II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

2 son pur

3 son complexe

A périodique et non périodique

B théorème de Fourier

**C généralisation du théorème
de Fourier**

D bande passante

II PARAMETRES PHYSIQUES

3 son complexe

C généralisation du th de Fourier

notion de bruit :

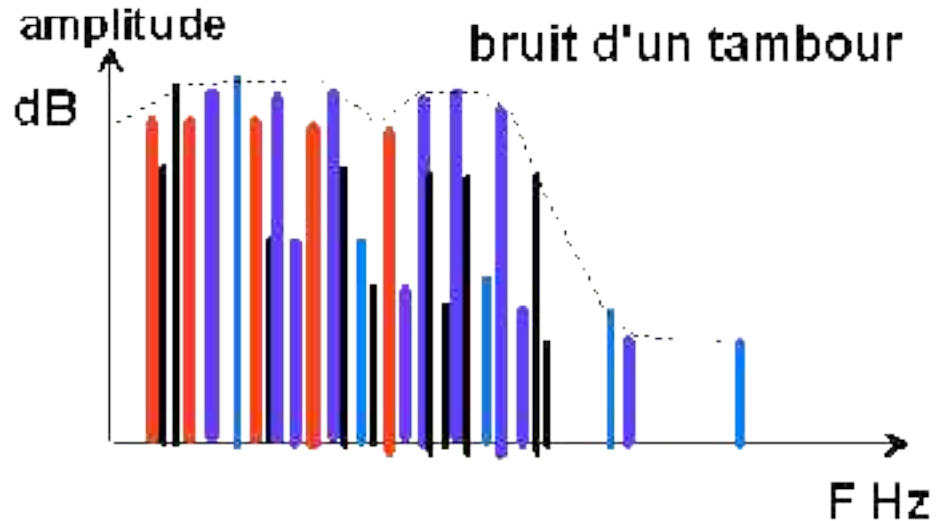
nombreuses fréquences présentes

plus le bruit est sec plus le nombre de fréquences présentes est élevé

C généralisation du th. de Fourier

notion de bruit :

nombreuses fréquences présentes
plus le bruit est sec plus le nombre de
fréquences présentes est élevé



bruit **blanc** :

à la limite le spectre est **continu**,
contenant toutes les fréquences

C généralisation du th. de Fourier

th. de Fourier > signal périodique

analyse d'une fonction quelconque non périodique

hypothèse : fonction quelconque
= fonction périodique de période **infinie**

conséquence :
représentation en fréquences d'une fonction de période **infinie** nécessite une **infinité** de fréquences

> **intégrale** de Fourier

C généralisation du théorème de Fourier

intégrale de Fourier :

$$\Phi(F) = \int a(x) \exp(-i2\pi Fx) dx$$

= transformée de Fourier (TF)

propriétés de la TF :

transformation **linéaire** :

$$\Phi(a + b) = \Phi(a) + \Phi(b)$$

transformation **inversible** :

$$\Phi^{-1} = \int \Phi(F) \exp(i2\pi Fx) dF = a(x)$$

$$\text{TF}^{-1}(\text{TF}(a)) = a$$

C généralisation du théorème de Fourier

Applications de la Transformée de Fourier

a **Analyse** harmonique

analyse des fréquences contenues dans un signal temporel

b **synthèse** d'un signal

c exemples :

- analyse du spectre sonore
- spectrométrie RMN

II PARAMETRES PHYSIQUES

1 caractères de l'onde acoustique

2 son pur

3 son complexe

A périodique et non périodique

B théorème de Fourier

C généralisation du th de Fourier

D bande passante

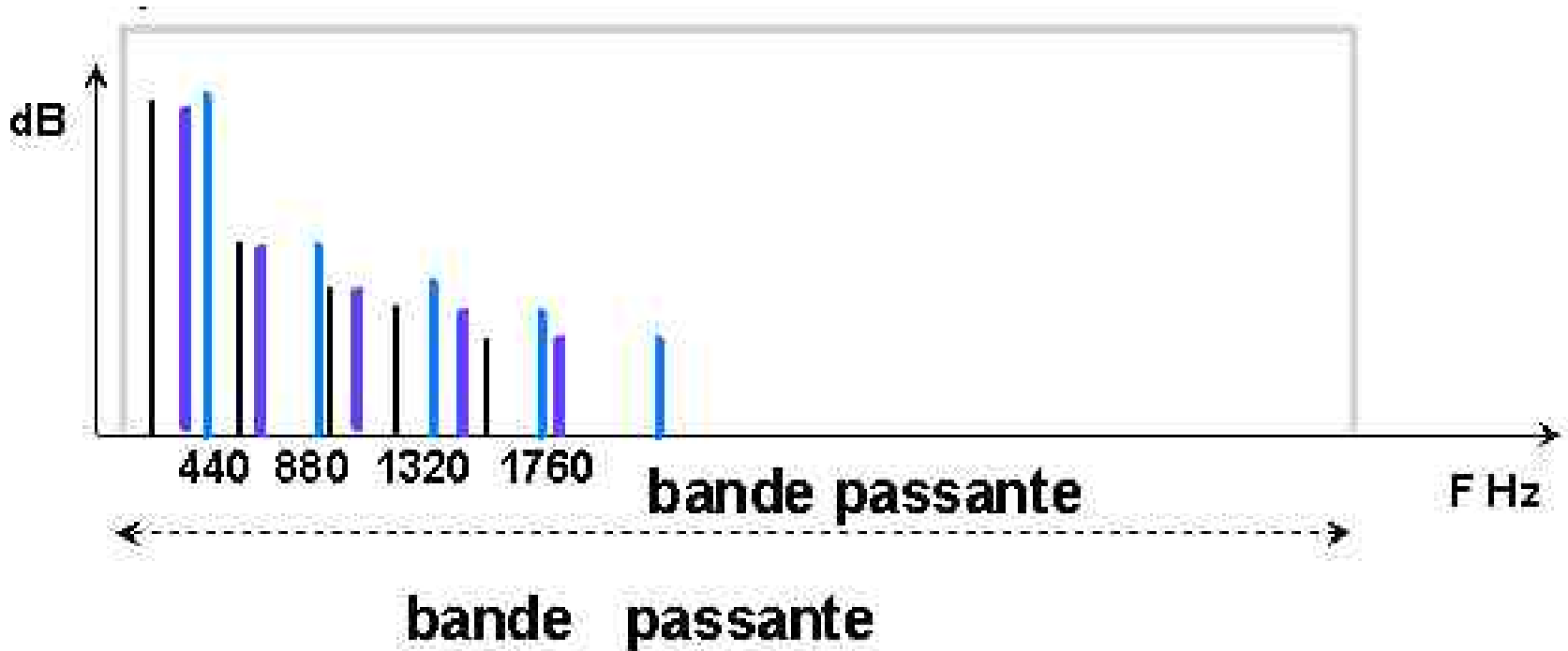
D sons complexes et bande passante



- spectre complet jusqu'à F infini
- pratiquement l'amplitude des harmoniques décroît avec la fréquence
- fréquences "**utiles**" pour l'oreille, sont limitées à une bande de fréquences dite **bande passante**

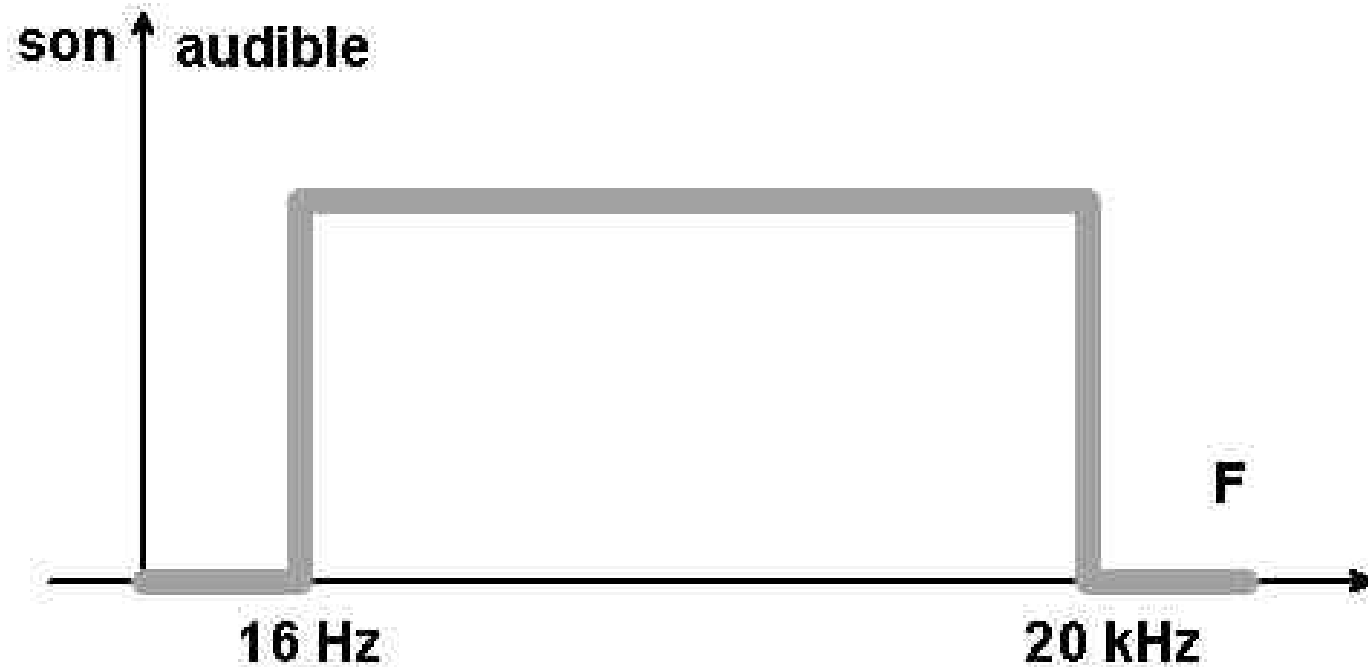
D notion de bande passante en fréquence

def : domaine des fréquences **efficaces**



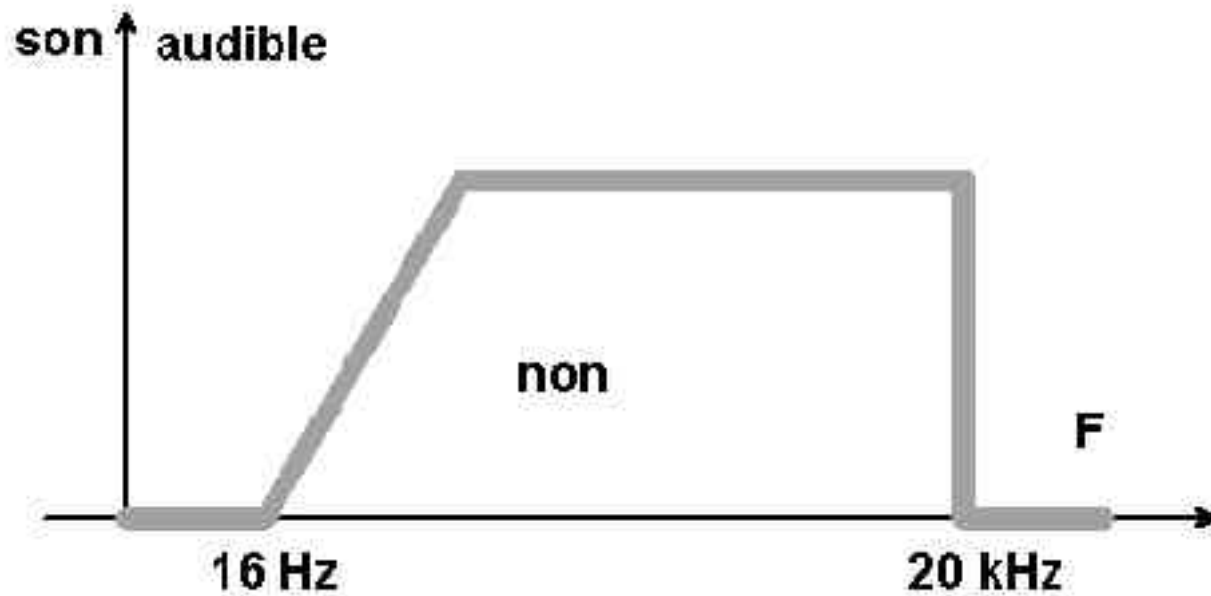
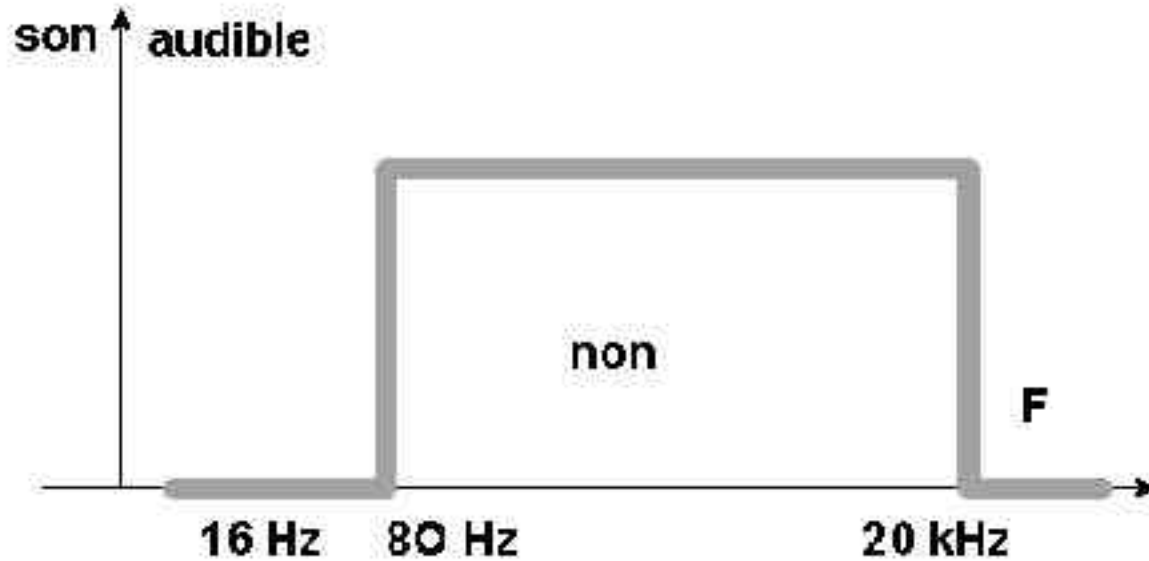
D notion de bande passante en fréquence

récepteur : oreille



émetteur idéal = même bande passante

D émetteurs à bandes passantes inadaptées



FONCTION SENSORIELLE - AUDITION

I fonction sensorielle

II paramètres physiques

III paramètres physiologiques

IV anatomie

V transduction

VI voies nerveuses : PA

VII exploration de l'audition

III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

A qualités physiologiques du son :

1 hauteur

a liaison avec paramètres physiques

b comparaison des sensations

c seuil différentiel

d quantification

2 intensité

3 timbre

B musicologie

C sons subjectifs

III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

A qualités physiologiques du son :

1 hauteur ou tonie

a liaison avec paramètres physiques

- dépend de la **fréquence**

- mais également de l'**intensité**

forte intensité = + grave

faible intensité = pas de hauteur

-limites : 16 à 20 000 Hz

1 hauteur ou tonie

b - comparaison des sensations Loi de WEBER (loi générale)

La plus petite différence de stimulus perceptible est proportionnelle à l'intensité du stimulus

dI proportionnel à I ou $dI / I = \text{constante}$

c - application à la tonie :

Seuil Différentiel Relatif de hauteur d'un son $dF / F = \text{constante}$

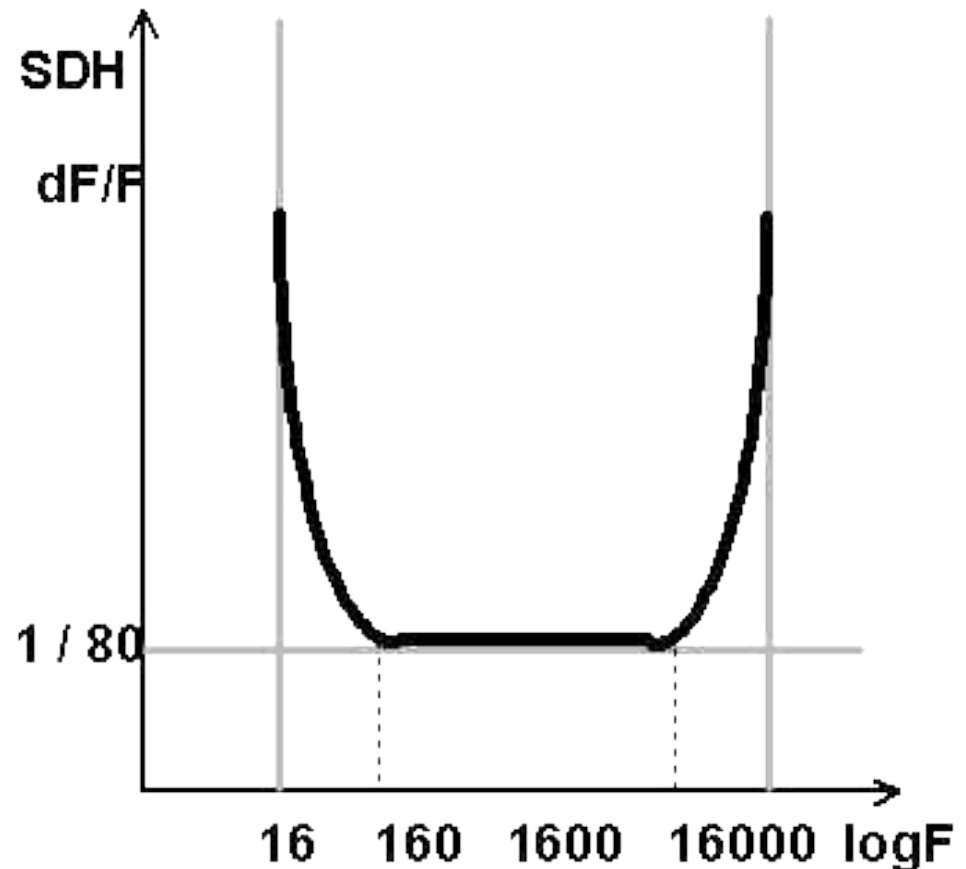
1 hauteur ou tonie

c - application à la tonie :

Seuil Différentiel Relatif de hauteur d'un son

$dF / F = \text{constante}$ SDH

vrai pour des
fréquences
moyennes :
200-10000 Hz



1 hauteur ou tonie

d comparaison de 2 fréquences

- loi de Weber : $dF/F = \text{constante}$
 - pour une variation finie :
 - différence de sensation **$dS = K dF/F$**
- * Hypothèse de **FECHNER** intégrale :

$$S_2 - S_1 = \int dS = K \int \frac{dF}{F} = K \ln \frac{F_2}{F_1}$$

III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

A qualités physiologiques du son :

1 hauteur

2 intensité

3 timbre

B musicologie

C sons subjectifs

III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

A qualités physiologiques du son :

2 intensité ou sonie

a dépend de la **puissance surfacique**

dépend de la **fréquence** :

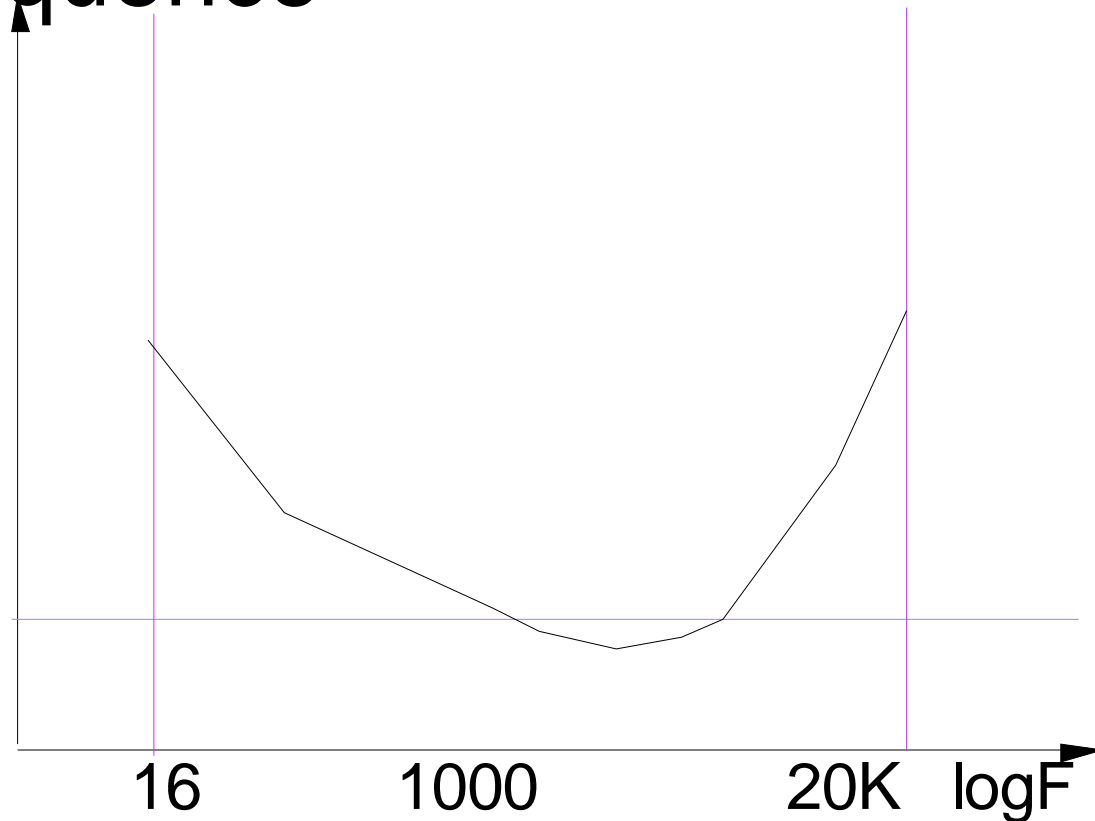
- seuil absolu en fréquence 16Hz-20kHz
- sensibilité maximum vers 1000 Hz

diagramme de **WEGEL** :

seuil liminaire d'audibilité en fonction de la fréquence

2 intensité ou sonie

diagramme de **WEGEL** :
seuil liminaire d'audibilité en fonction
de la fréquence



2 intensité ou sonie

b courbes d'égale sonie: **isosoniques**

* **définition**

même sensation d'intensité pour différentes fréquences

• unité : **phone**

- sans dimension
- purement physiologique
- caractérise un niveau de sonie

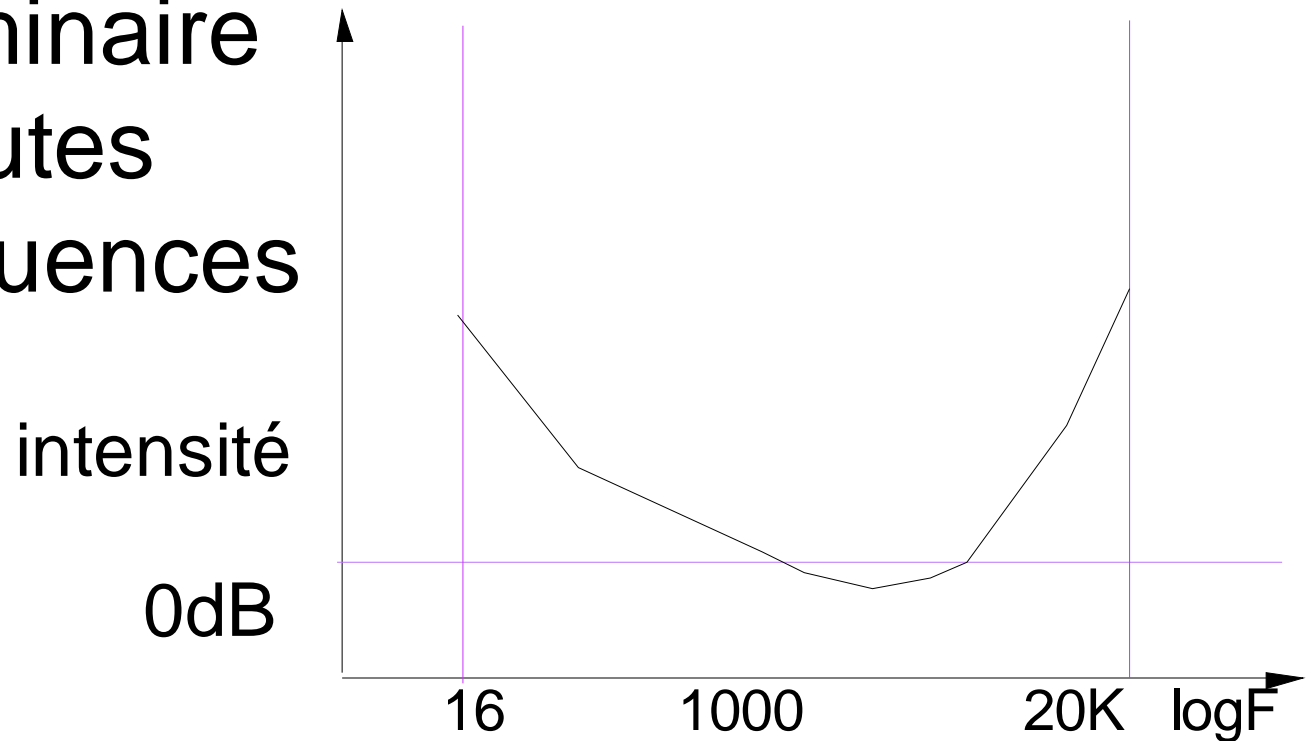
2 intensité ou sonie

b construction des courbes **isophoniques**

méthode **1^{ère} étape** :

établir la courbe isophonique 0 phones:

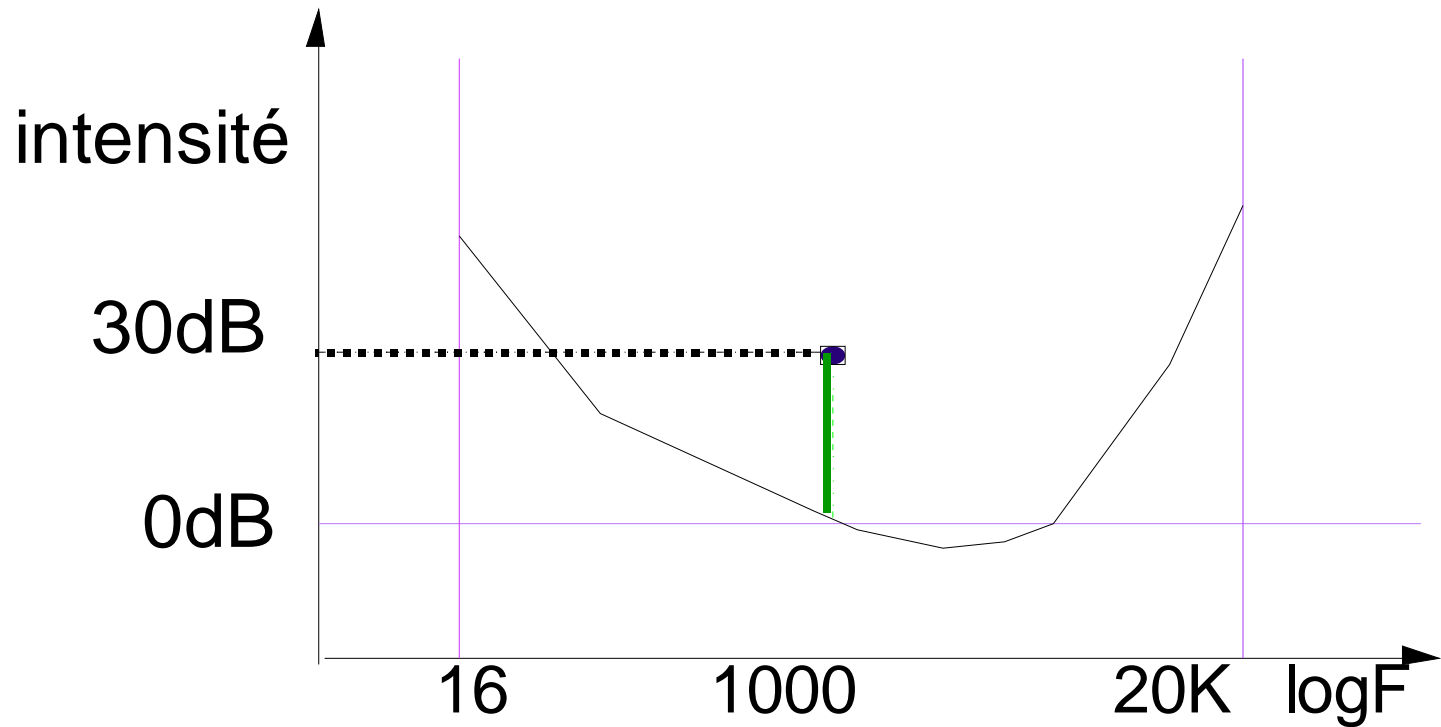
seuil liminaire
pour toutes
les fréquences



2 intensité ou sonie

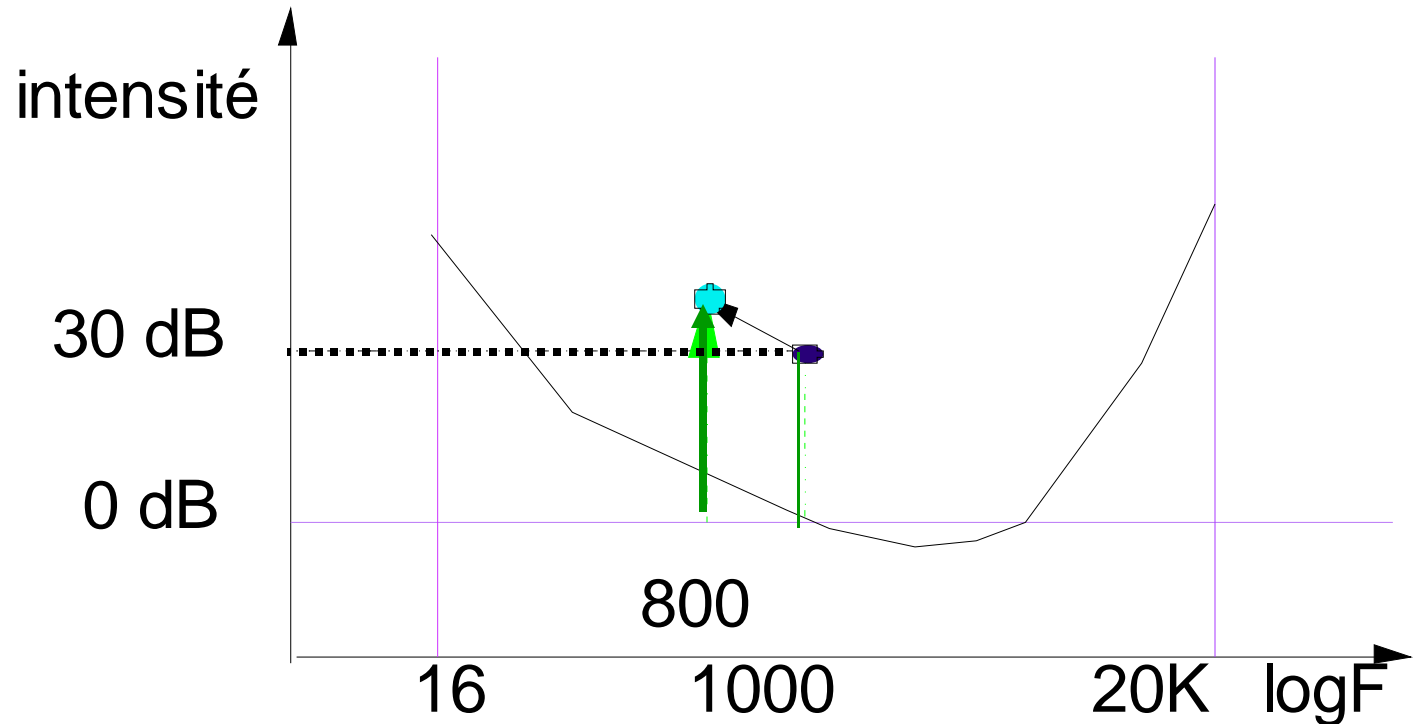
b construction des courbes isosoniques

2eme étape : construction de l'isosonique 30 phones : ajouter 30 dB à la courbe 0 phone à 1kHz



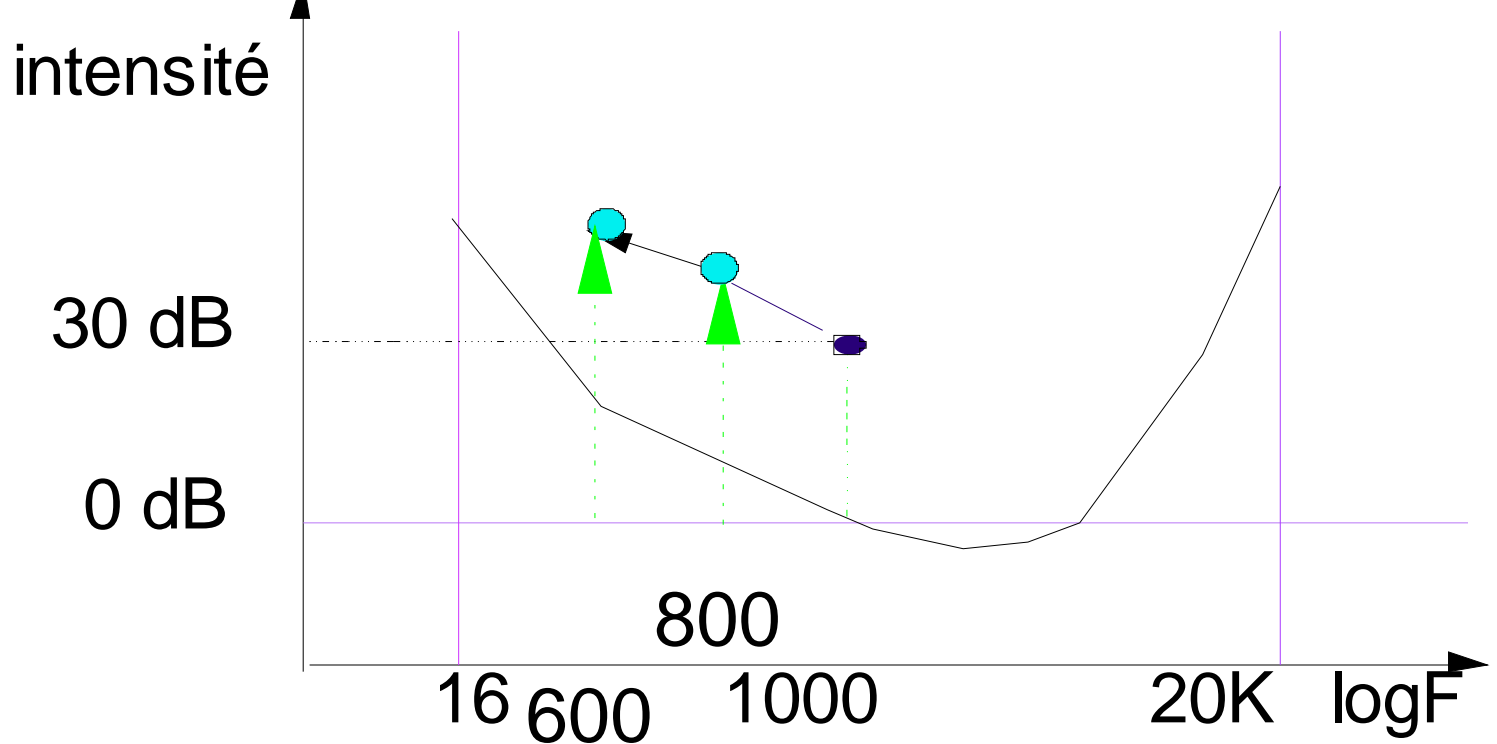
b 2^{ème} étape construction de l'isophonique 30 phones

- ajouter 30 dB à la courbe 0 phone à 1kHz
- changer de fréquence (ex 800 Hz)
- comparer 30 dB 1kHz au signal à 800Hz
- ajuster l'intensité du signal 800 Hz pour avoir la **même sensation** d'intensité



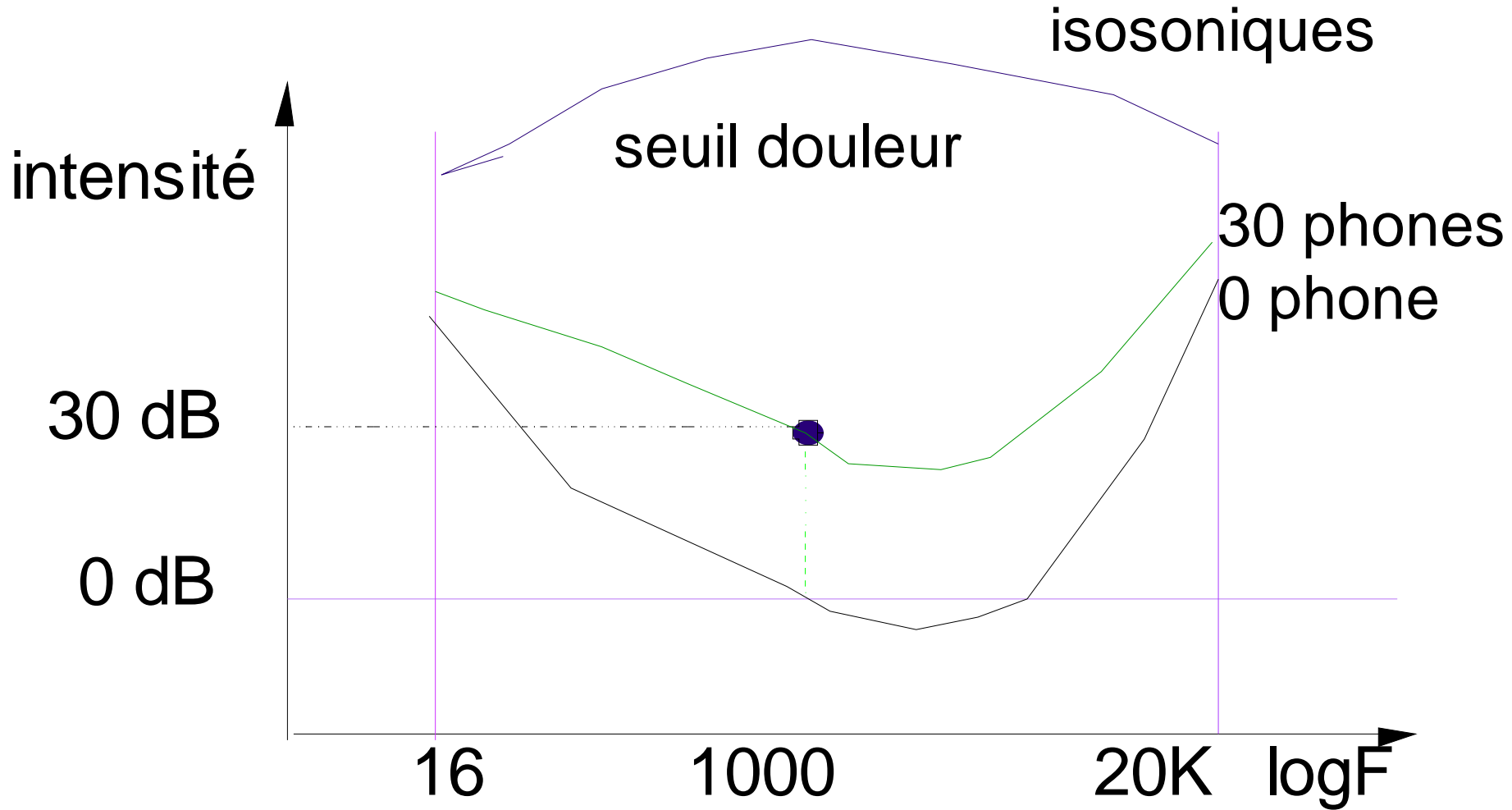
b 2^{eme} étape

- changer de fréquence (ex 600 Hz)
- comparer 30 dB 800Hz au signal 600Hz
- ajuster l'intensité du signal 600 Hz pour avoir la **même sensation** d'intensité



2 intensité ou sonie

courbes isosoniques



III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

A qualités physiologiques du son :

1 hauteur

2 intensité

3 timbre

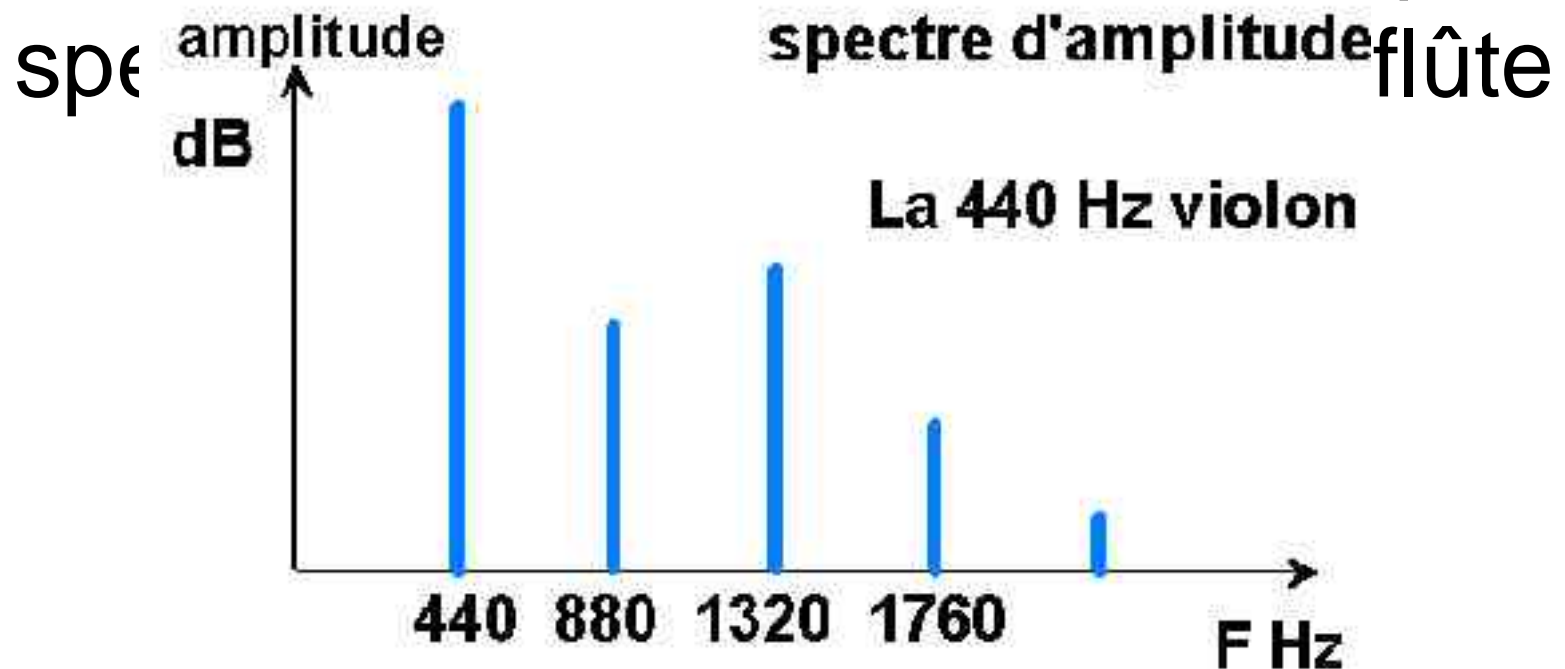
B musicologie

C sons subjectifs

III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

A qualités physiologiques du son : 3 timbre

son complexe : défini par l'amplitude relative des différentes harmoniques :



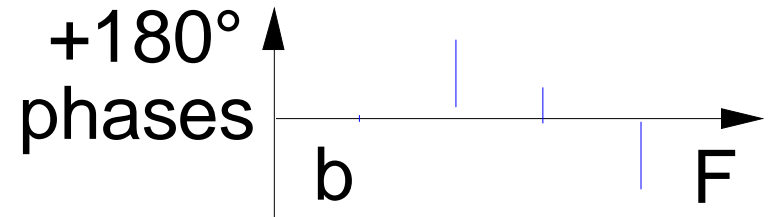
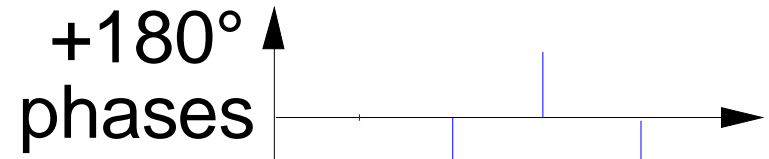
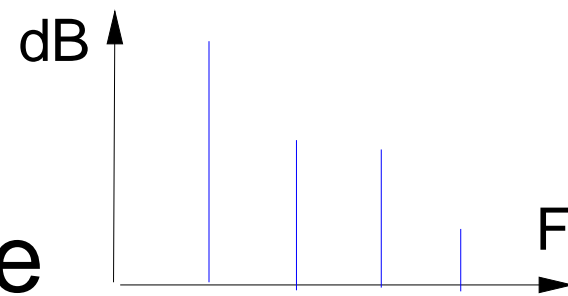
3 timbre

rem : 2 sons

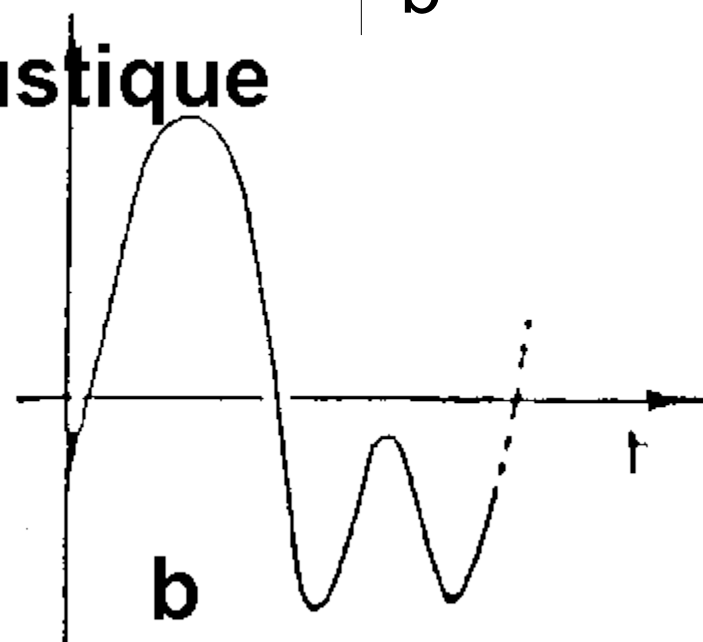
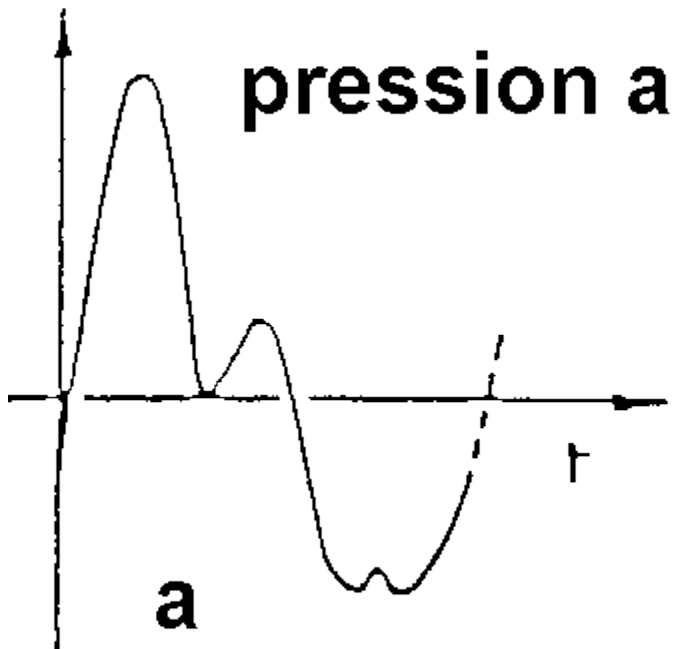
mêmes spectres d'amplitude

spectres de phase différents

= même timbre



pression acoustique



3 timbre

loi d'Ohm

en audition **monaurale**, deux sons distincts seulement par leur spectre de phase ne sont pas discernables.

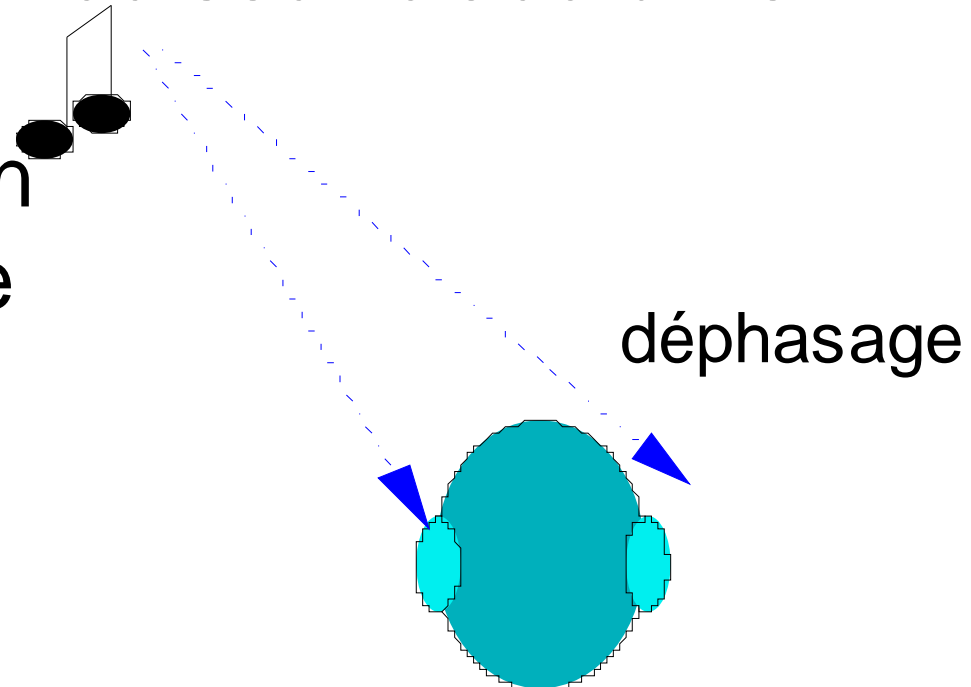
3 timbre

loi d'Ohm : en audition **monaurale**, 2 sons distincts seulement par leur spectre de phase ne sont pas discernables.

audition **binaurale**

abaissement de **3 dB** du seuil d'audibilité

l'audition binaurale permet la localisation spatiale de la source sonore par analyse du déphasage



III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

A qualités physiologiques du son :

1 hauteur

2 intensité

3 timbre

B musicologie

C sons subjectifs

B musicologie

liens entre définitions musicologiques
et paramètres physiques / physiologiques

comma = $dF / F = 1 / 80 = \text{SDH}$

octave = rapport de fréquence égal à **2**

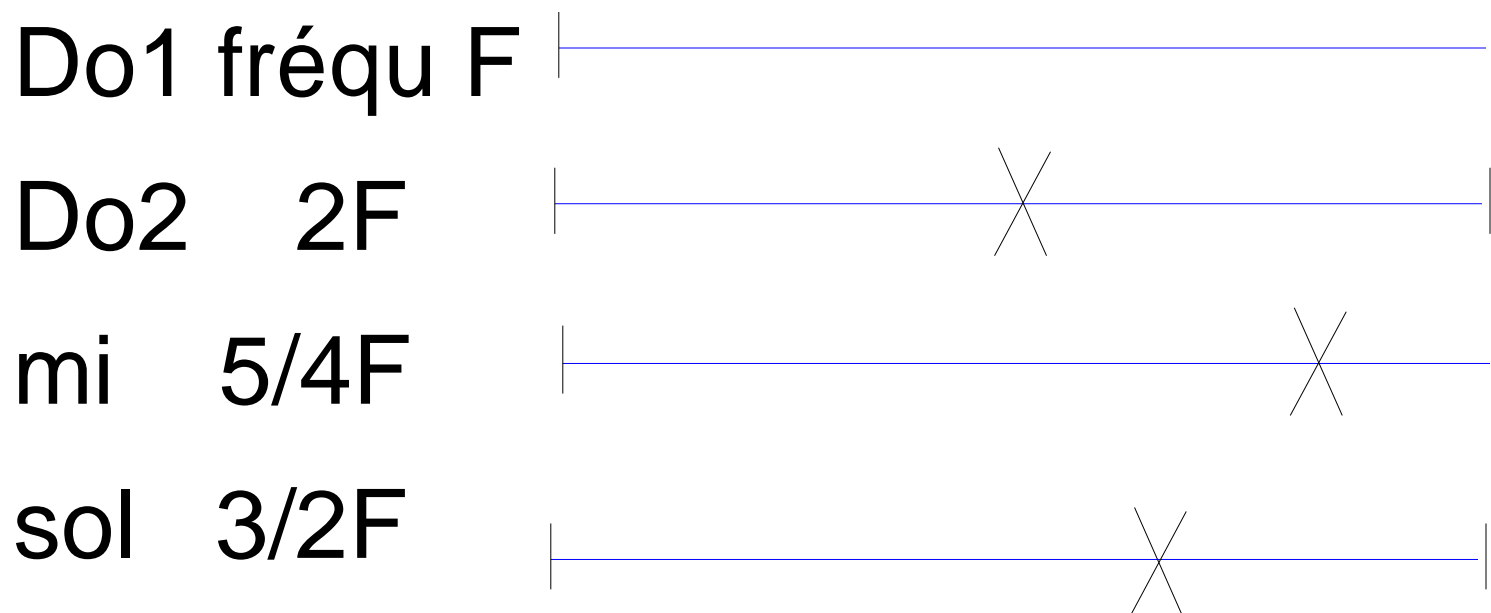
gamme naturelle

rapport	do	ré	mi	fa	sol	la	si	do
F/F_{do}	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

B musicologie

gamme naturelle

construction de la gamme à partir d'une
corde vibrante



B musicologie

gamme naturelle

rapport	do	ré	mi	fa	sol	la	si	do
F/F_{do}	1	$9/8$	$5/4$	$4/3$	$3/2$	$5/3$	$15/8$	2

intervalles inégaux: ré/do= $9/8$
mi/ré = $10/9$

erreur de l'ordre du **comma**

erreur corrigée par gamme tempérée

12 demi-tons égaux de rapport

$12\sqrt{2}$

III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

A qualités physiologiques du son :

1 hauteur

2 intensité

3 timbre

B musicologie

C sons subjectifs

III PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

C sons subjectifs et autres phénomènes subjectifs

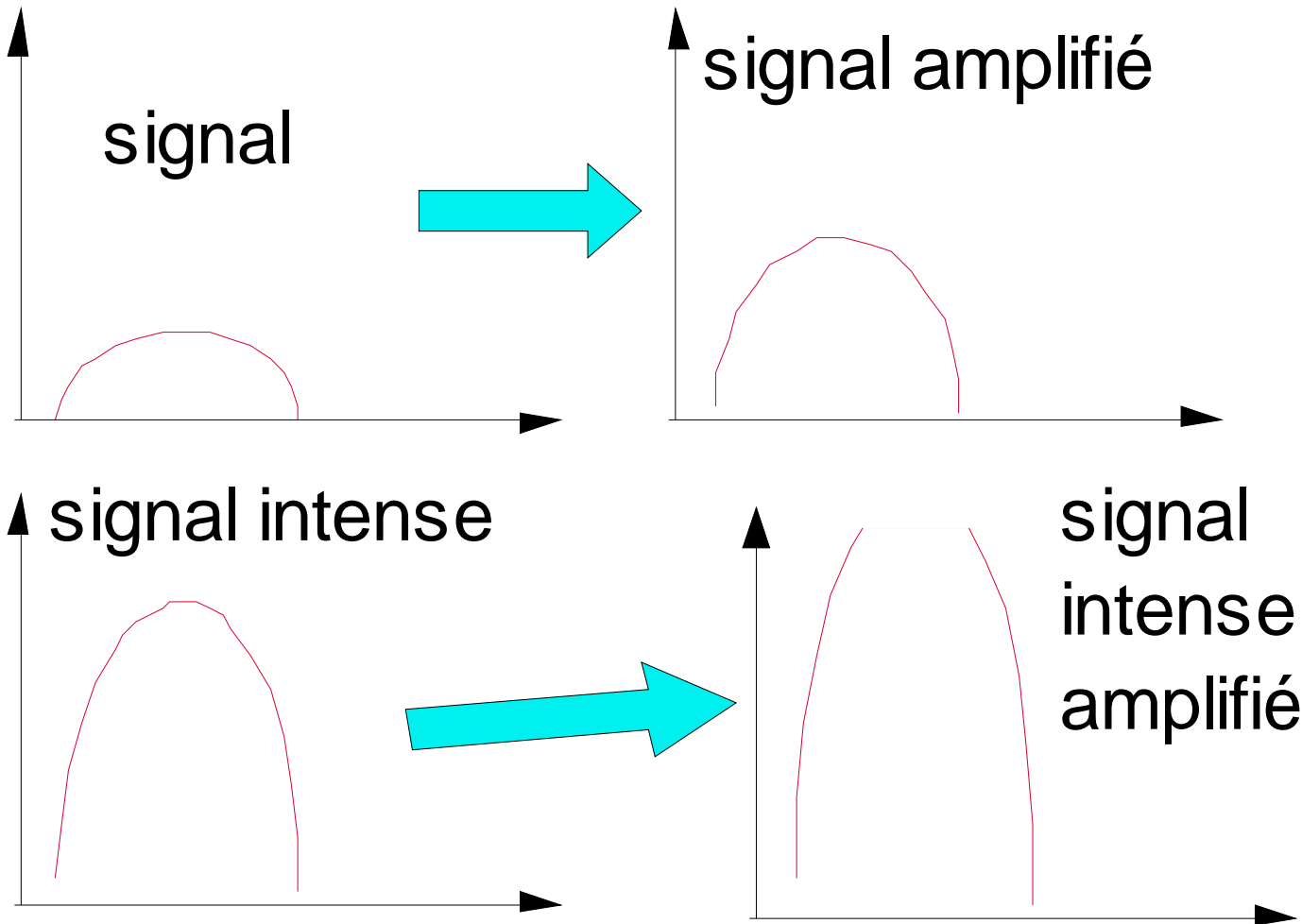
sons subjectifs :

définition: sons perçus bien que non émis

1- son pur **puissant** > entendu avec des harmoniques

C sons subjectifs

1 son pur puissant entendu avec des harmoniques
mécanisme : **distorsion non linéaire**



C sons subjectifs

2 2 sons puissants de fréquences F_1
et F_2

sons entendus : son **additif** $F_1 + F_2$

son **différentiel** $F_1 - F_2$

C sons subjectifs

2 2 sons puissants de fréquences F_1 et F_2

sons entendus : son **additif** $F_1 + F_2$

son **différentiel** $F_1 - F_2$

$$u_1 = a \cos(2\pi F_1 t) \quad u_2 = a \cos(2\pi F_2 t)$$

$$\cos p + \cos q = 2 \cos \frac{(p+q)}{2} \times \cos \frac{(p-q)}{2}$$

$$u = U_1 + U_2$$

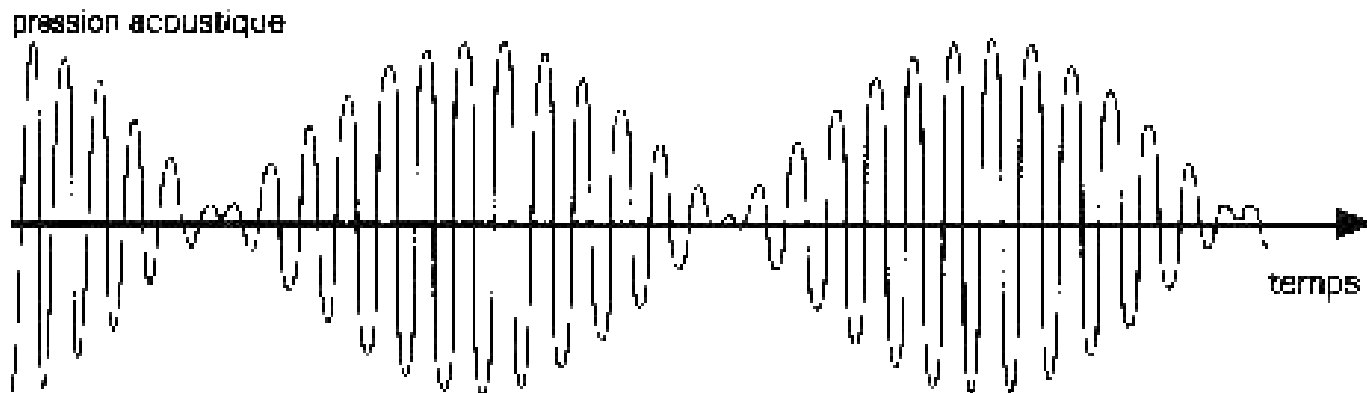
$$u = 2a \cos \left(2\pi \frac{F_1 - F_2}{2} t \right) \times \cos \left(2\pi \frac{F_1 + F_2}{2} t \right)$$

C sons subjectifs

2 2 sons puissants de fréquences F_1 et F_2

$$u = 2a \cos\left(2\pi \frac{F_1 - F_2}{2} t\right) \times \cos\left(2\pi \frac{F_1 + F_2}{2} t\right)$$

← Amplitude → = **battements**



C sons subjectifs et autres phénomènes subjectifs

3 effet BURTON

audition **successive** de 2 sons purs

- de même fréquence

- d'intensité très différente

>> le sons intense semble **plus grave**

4 effet de MASQUE

son **intense** F_1 masque un son $F_2 > F_1$

de faible intensité

C sons subjectifs et autres phénomènes subjectifs

4 effet de MASQUE

son **intense** F_1 masque un son $F_2 > F_1$
de faible intensité

5 FATIGUE AUDITIVE

après audition d'un son intense le seuil absolu
d'audibilité s'élève

6 son descendant **perpétuellement**

FONCTION SENSORIELLE - AUDITION

IV anatomie

1 oreille - externe

2 - moyenne

3 - interne a labyrinthe
 b cochlée

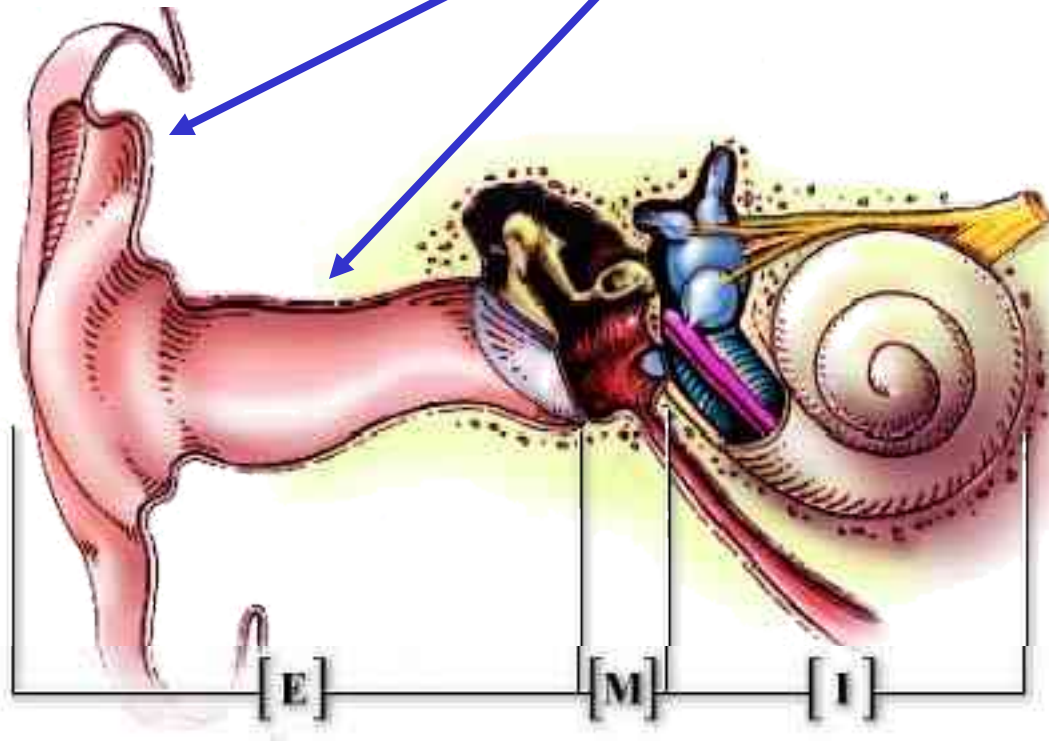
4 voies nerveuses

IV rappels d'anatomie

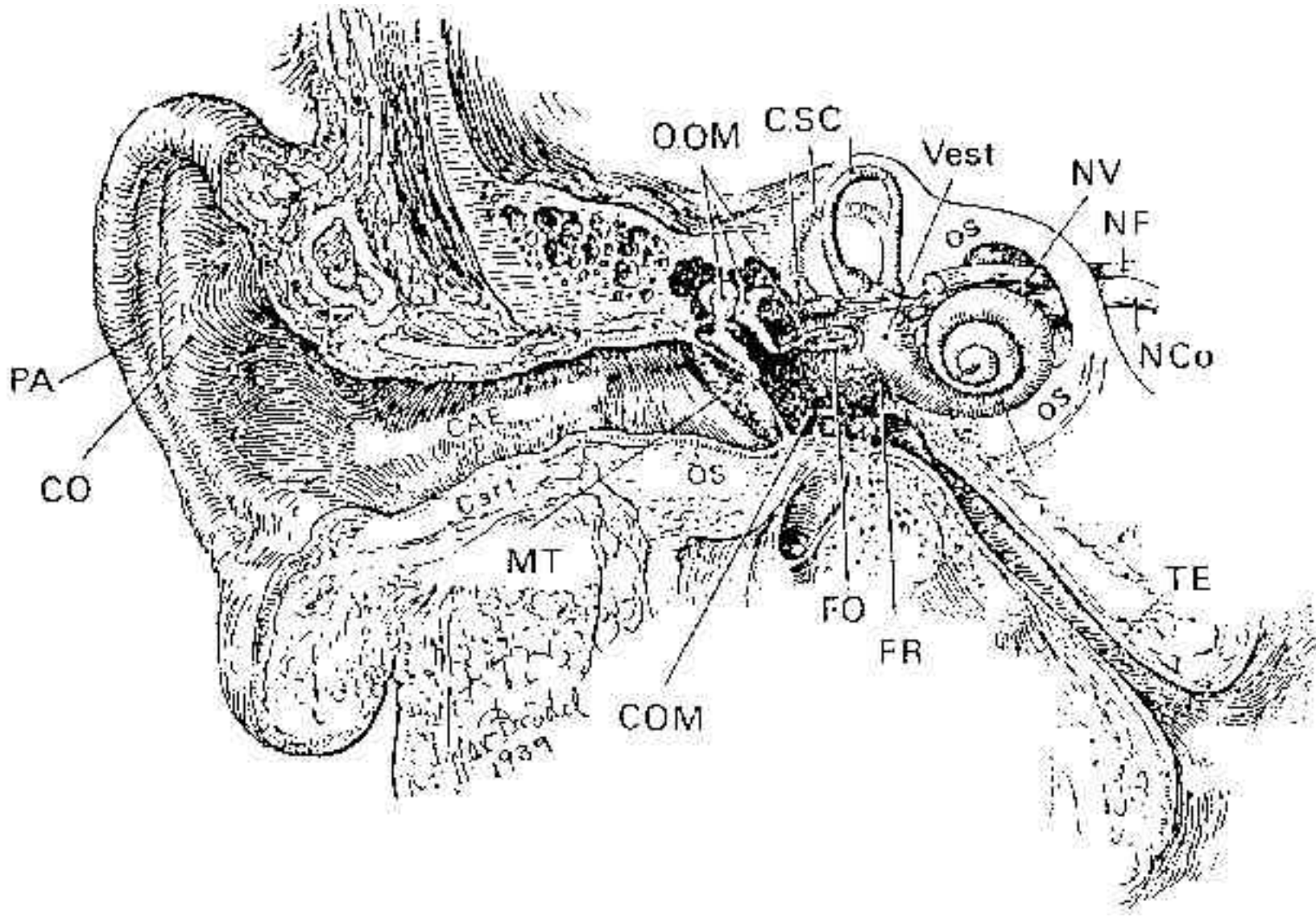
oreille : audition + équilibre

1 oreille externe : pavillon

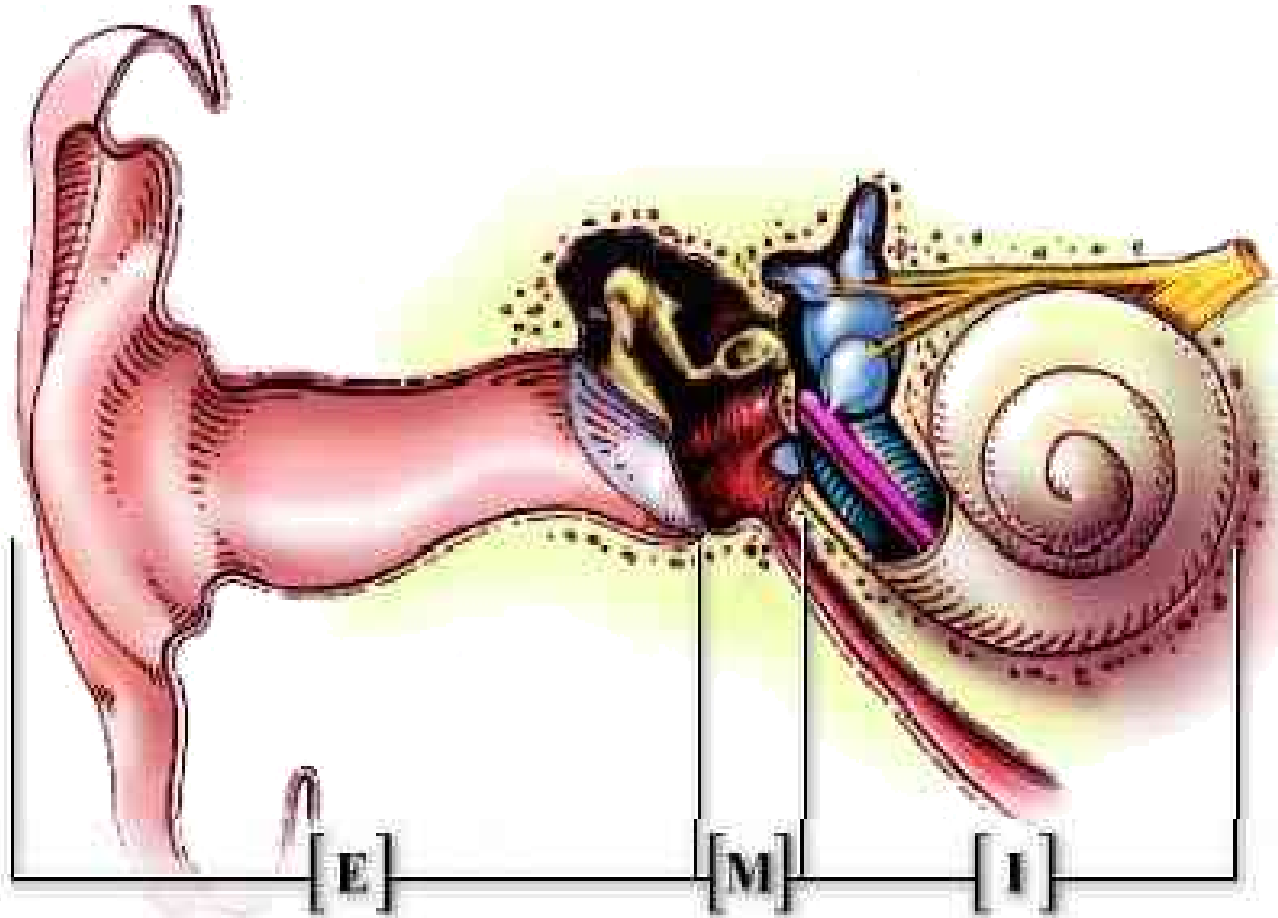
conduit auditif externe



R Pujol



2 oreille moyenne



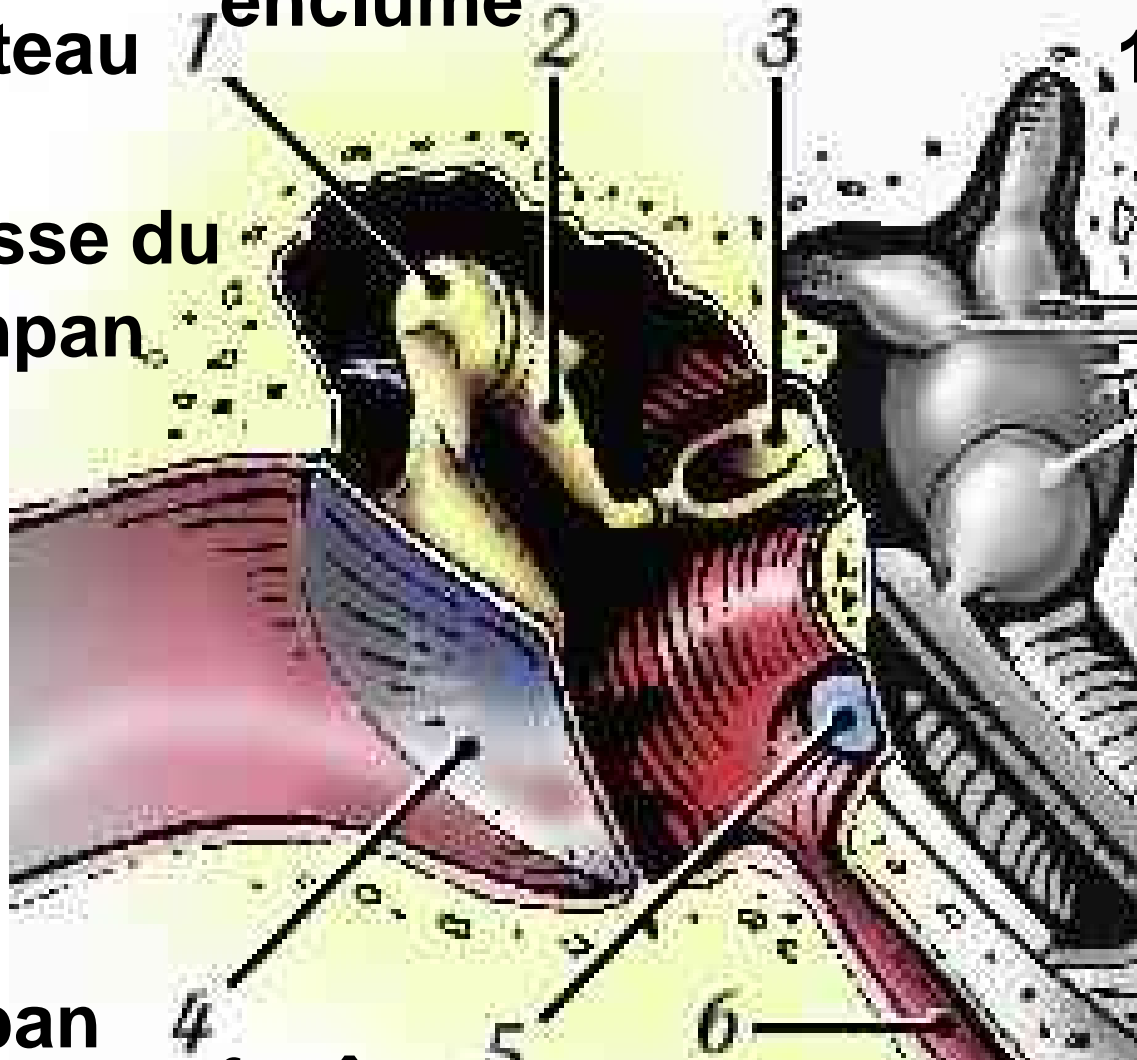
R Pujol

2 oreille moyenne

1 marteau
2 enclume

3 étrier et fenêtre ovale
1,5/4mm

caisse du tympan



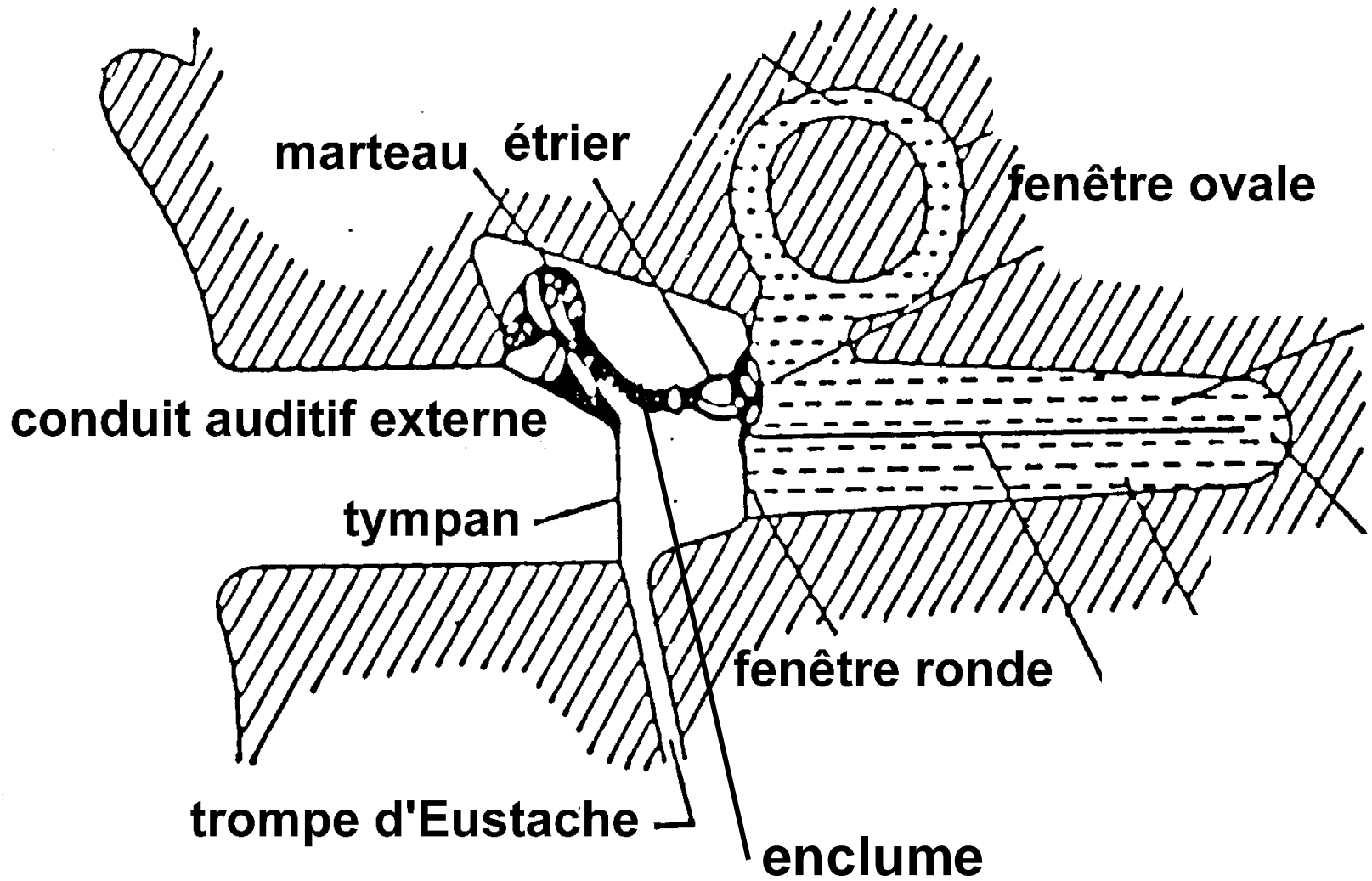
4 tympan

5 fenêtre
ronde 2mm

6 trompe d'Eustache

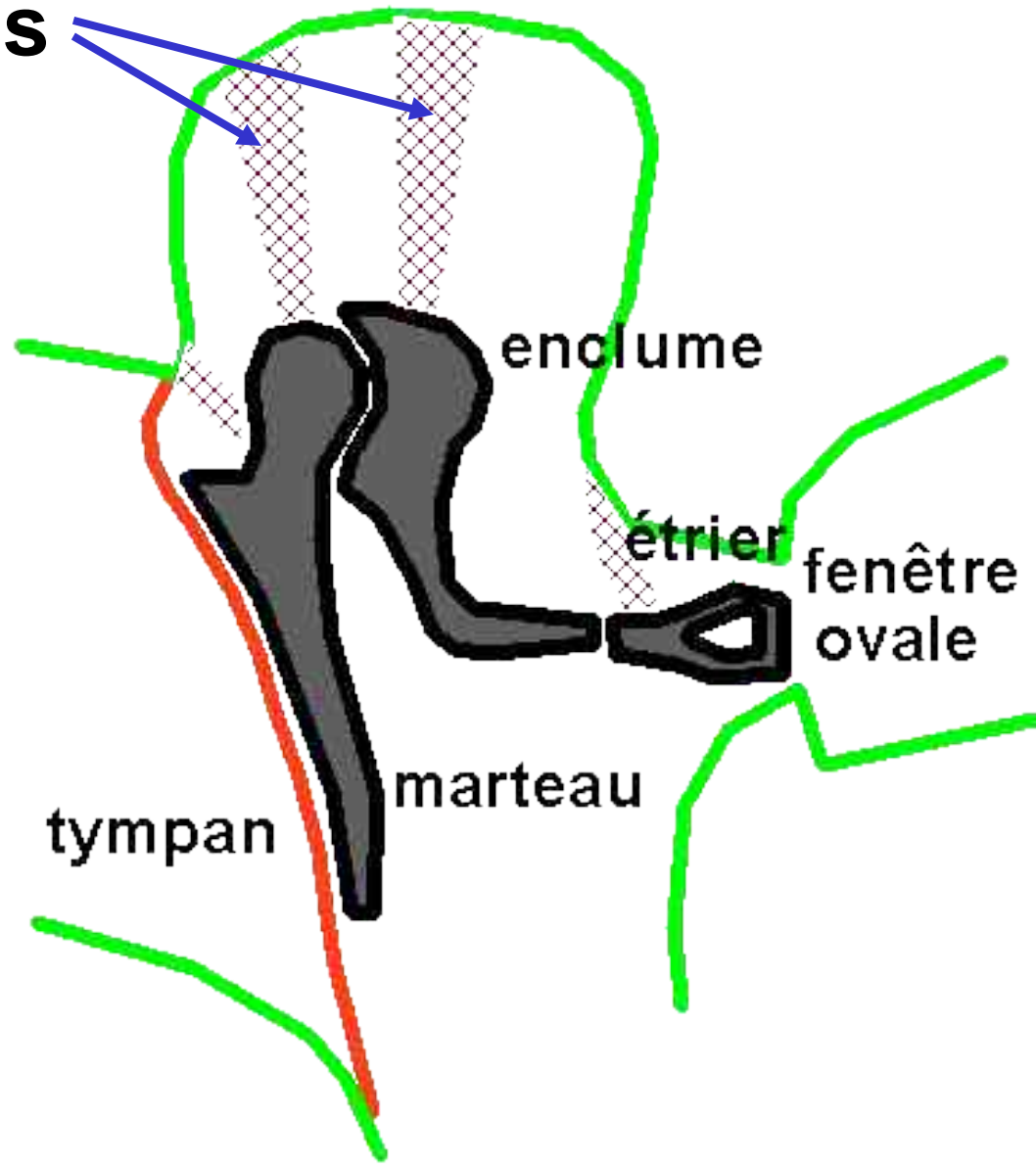
R Pujol

2 oreille moyenne



2 oreille moyenne

muscles



ACOUSTIQUE - AUDITION

IV anatomie

1 oreille - externe

2 - moyenne

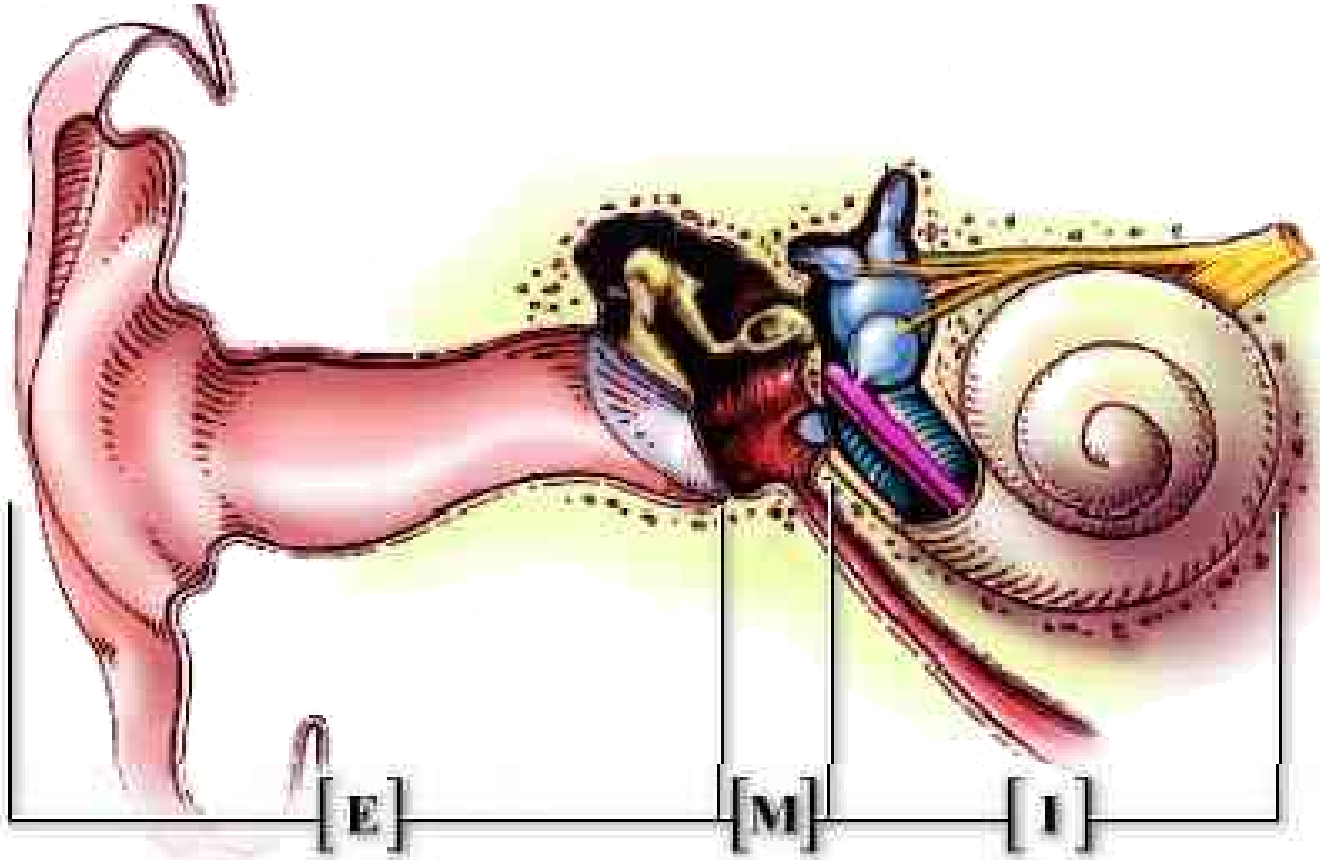
3 - interne

a labyrinthe

b cochlée

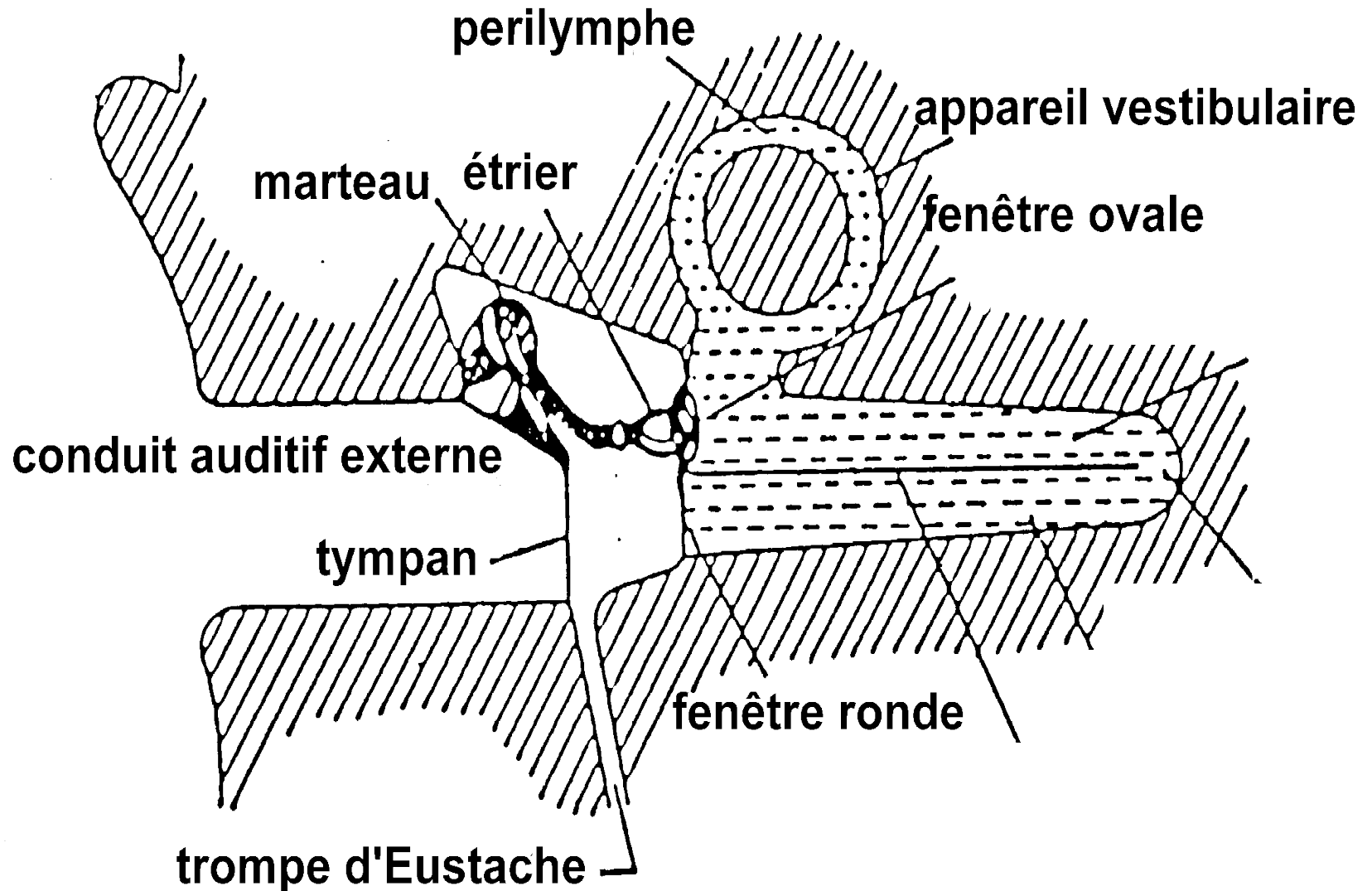
4 voies nerveuses

IV anatomie 3 oreille interne



R Pujol

3 oreille interne **A labyrinthe osseux :** vestibule : canaux semi-circulaires



IV anatomie

3 oreille interne

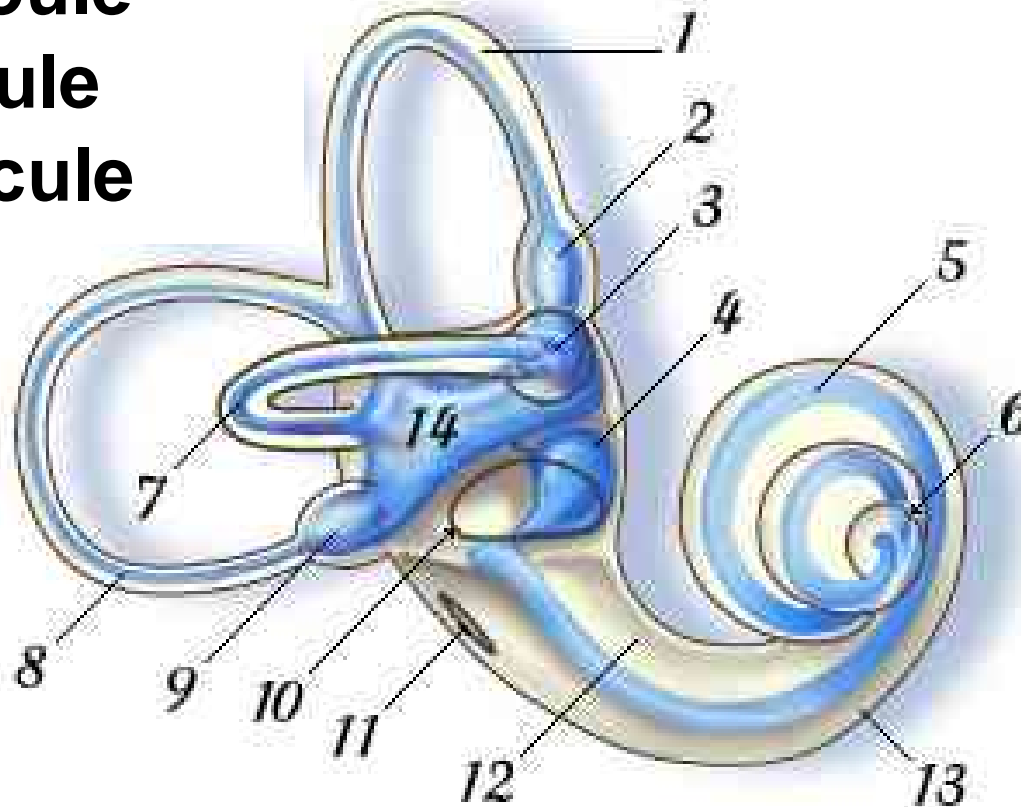
a labyrinthe

1 canal semi-circulaire

2 ampoule

4 saccule

14 utricule



© S. Blatrix/CRIC 99

R Pujol

ACOUSTIQUE - AUDITION

IV anatomie

1 oreille - externe

2 - moyenne

3 - interne

a labyrinthe

b cochlée

4 voies nerveuses

3 oreille interne

12 rampe vestibulaire

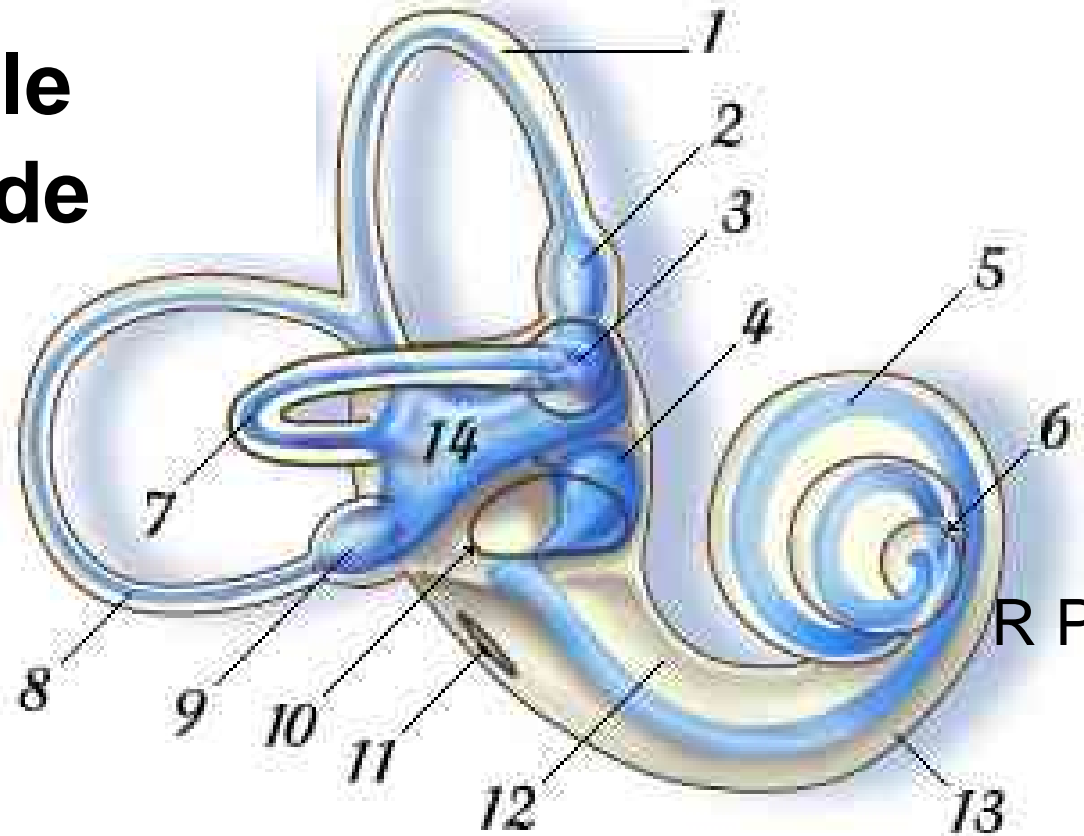
13 rampe tympanique

6 hélicotréma

10 fenêtré ovale

11 fenêtré ronde

b cochlée :

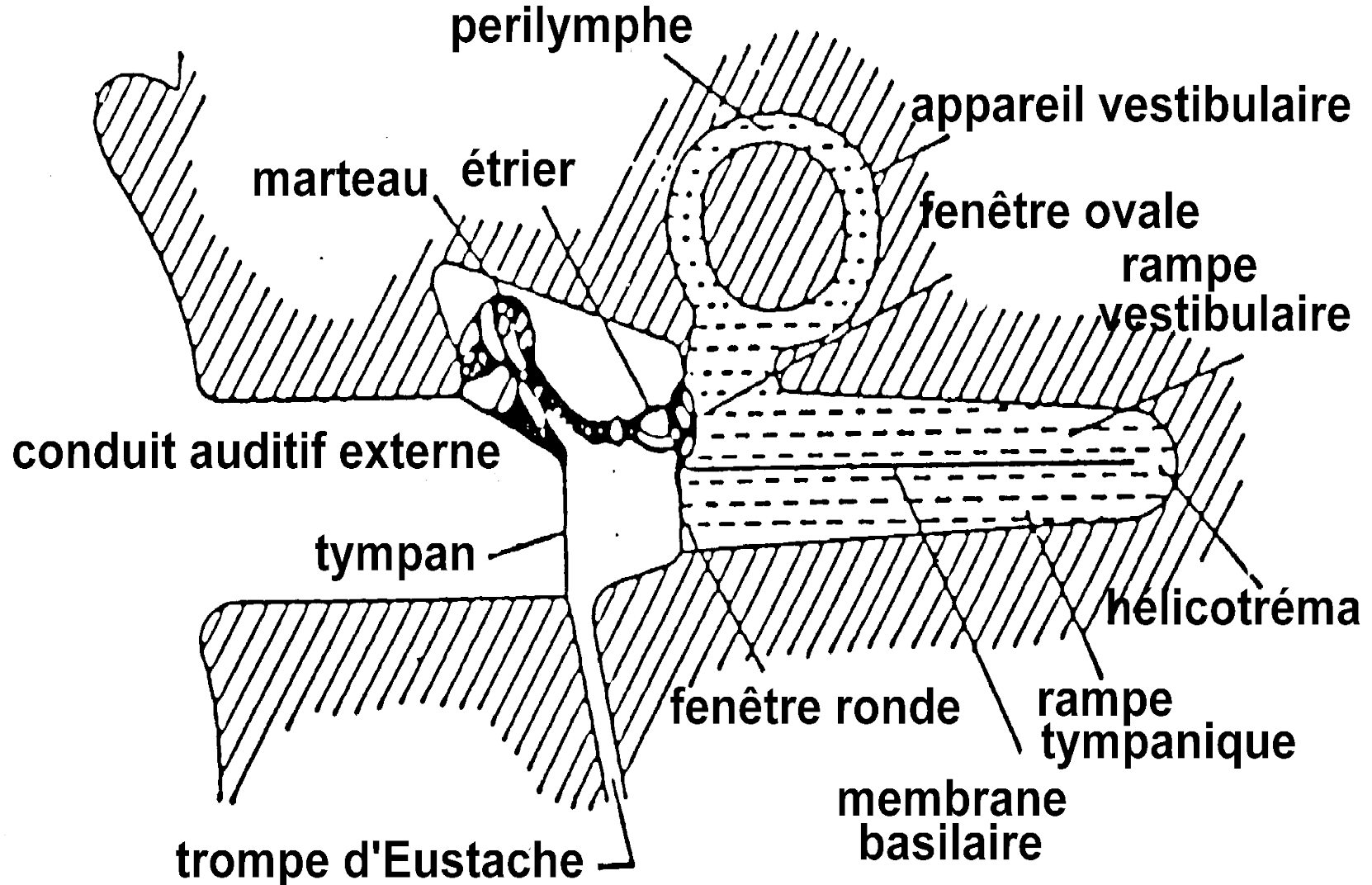


© S. Blatrix/CRIC 99

R Pujol

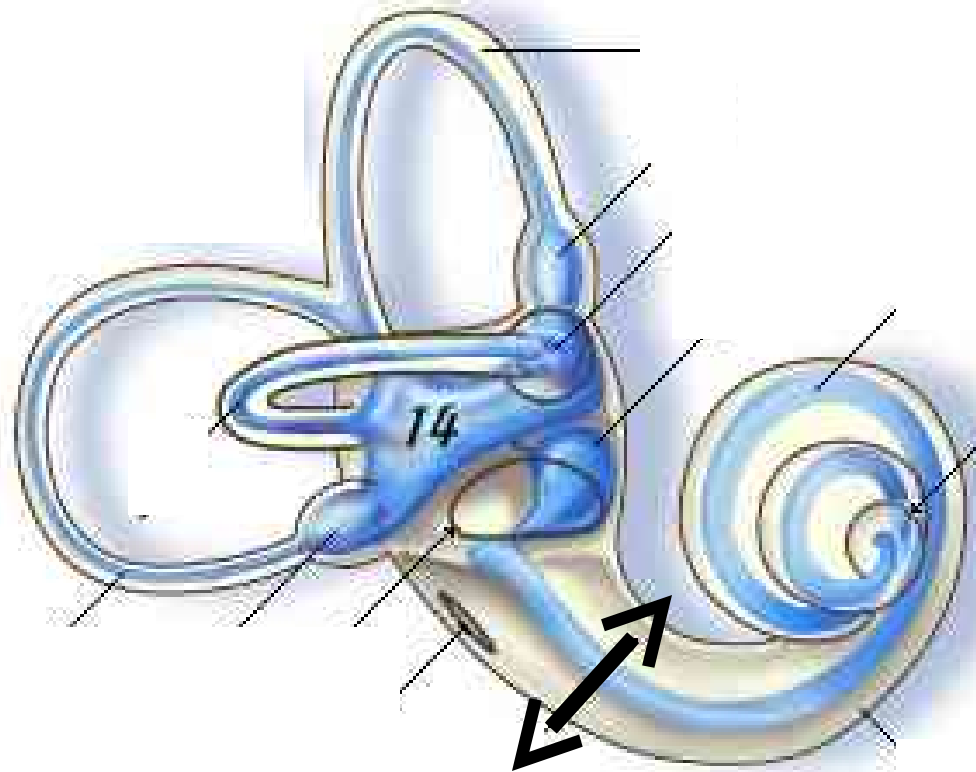
3 oreille interne **B** cochlée :

rampes vestibulaire, tympanique,
cochléaire organe de Corti



3 oreille interne **B** cochlée :

rampes vestibulaire, tympanique, cochléaire organe de Corti

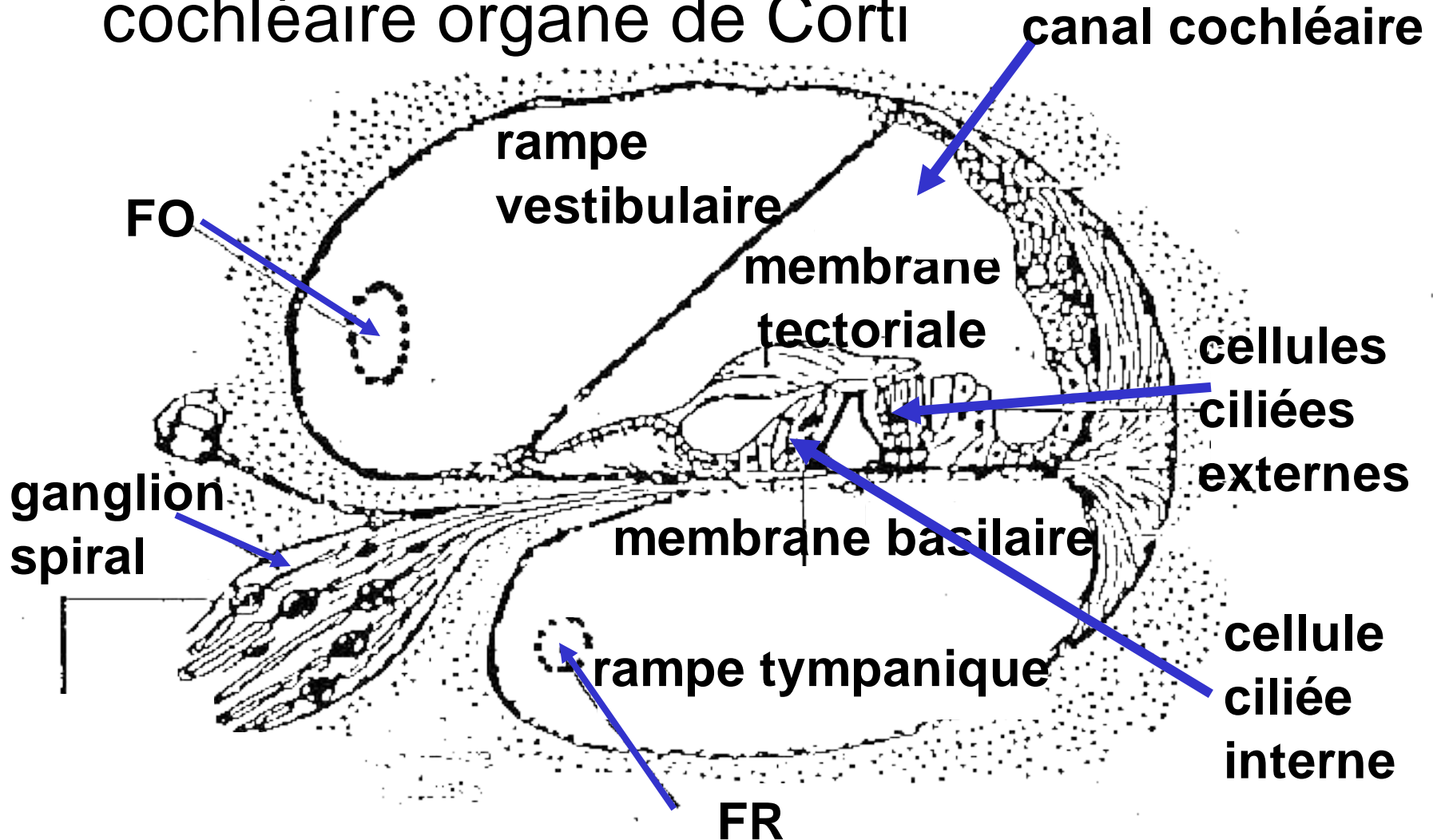


© S. Blatrix/CRIC 99

R Pujol

3 oreille interne **B** cochlée :

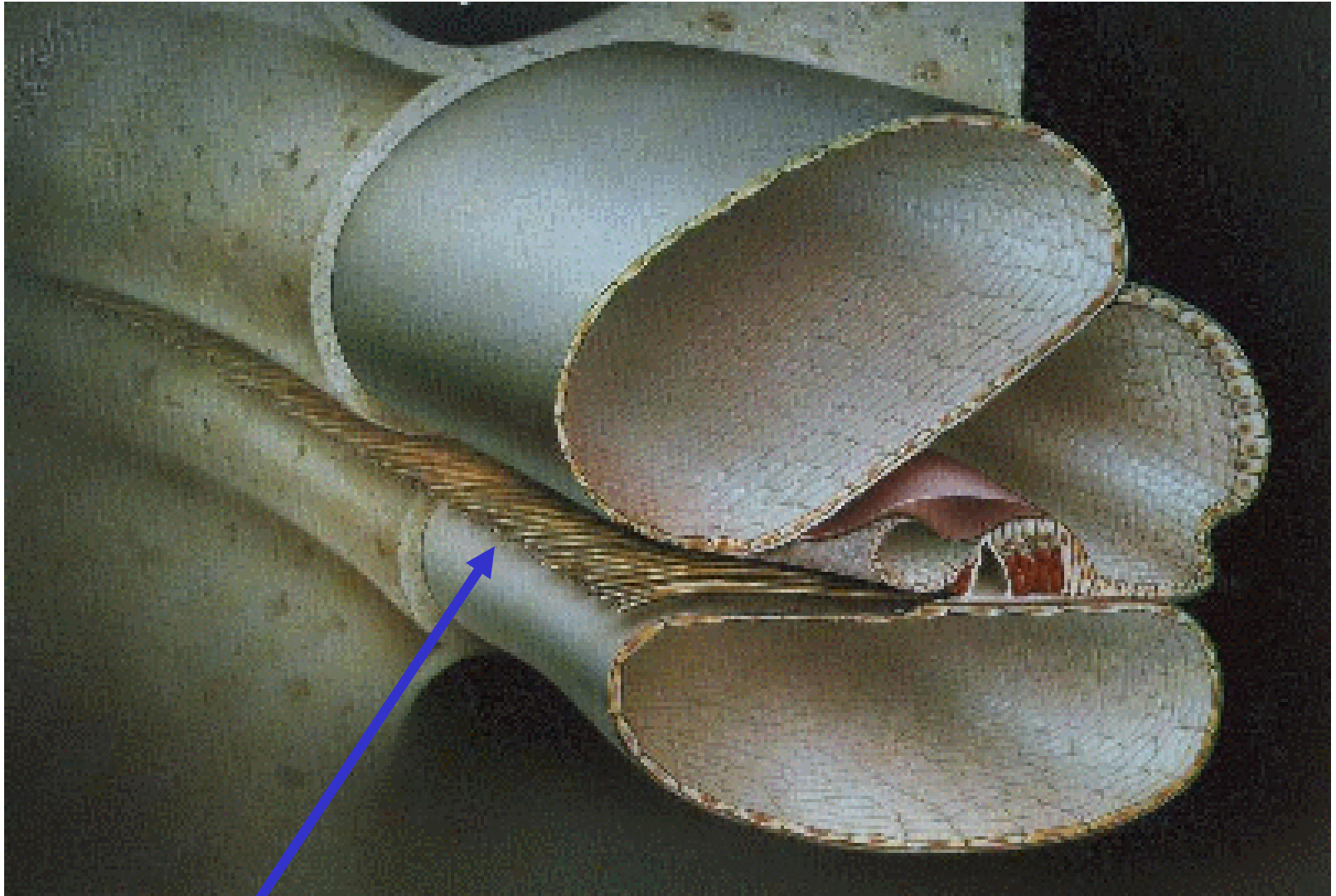
rampes vestibulaire, tympanique,
cochléaire organe de Corti



Coupe schématique d'une spire cochléaire
(d'après Rasmussen, 1943).

3 oreille interne

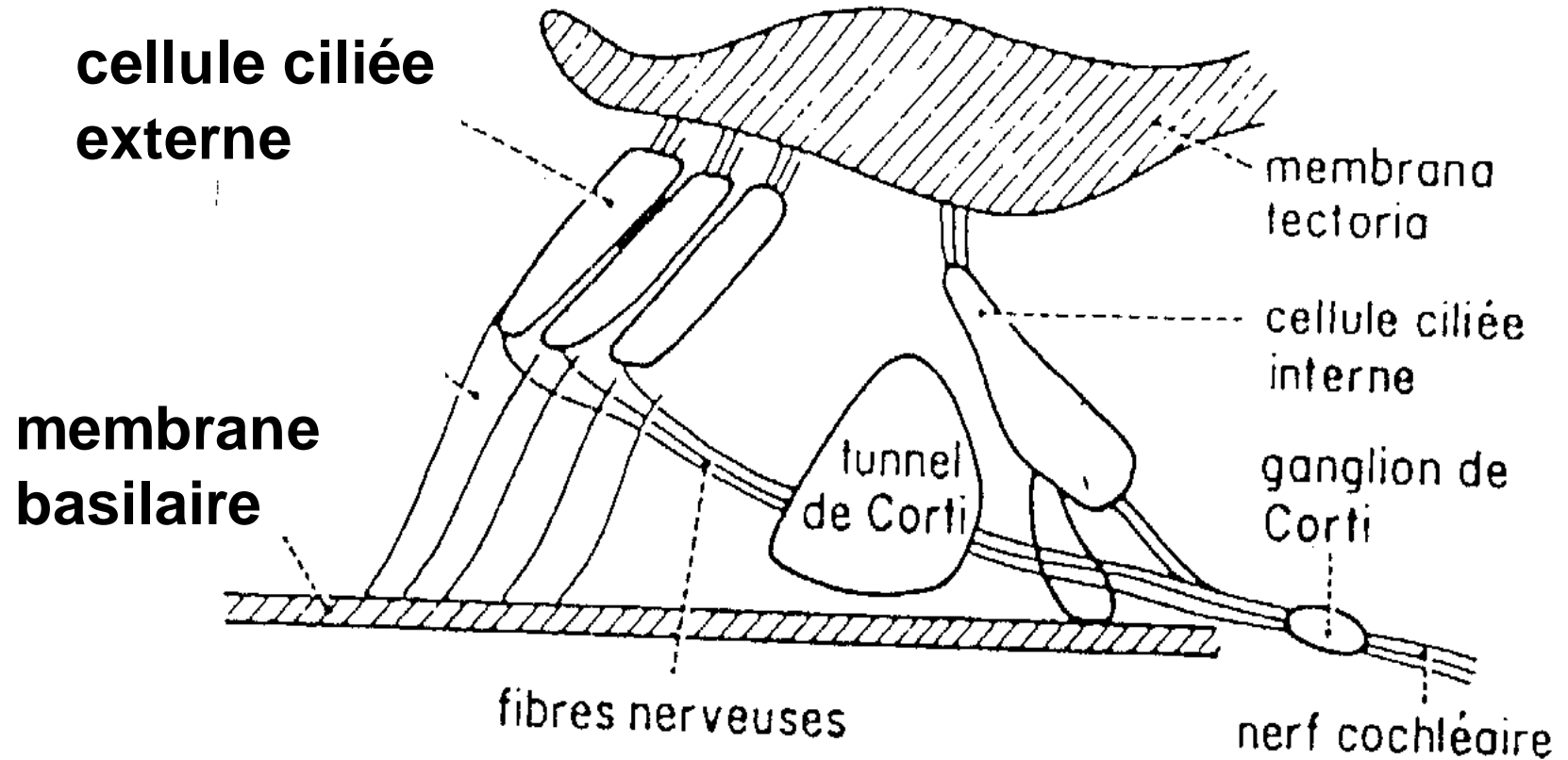
b cochlée :



fibres du nerf cochléaire

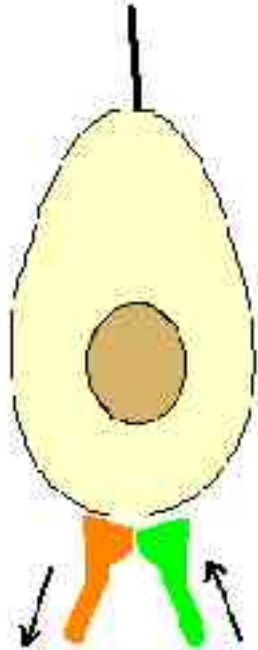
3 oreille interne **B** cochlée :

rampes cochléaires, organe de Corti

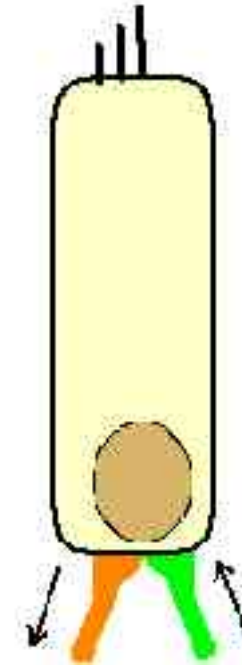


3 oreille interne b cellules ciliées

CCI



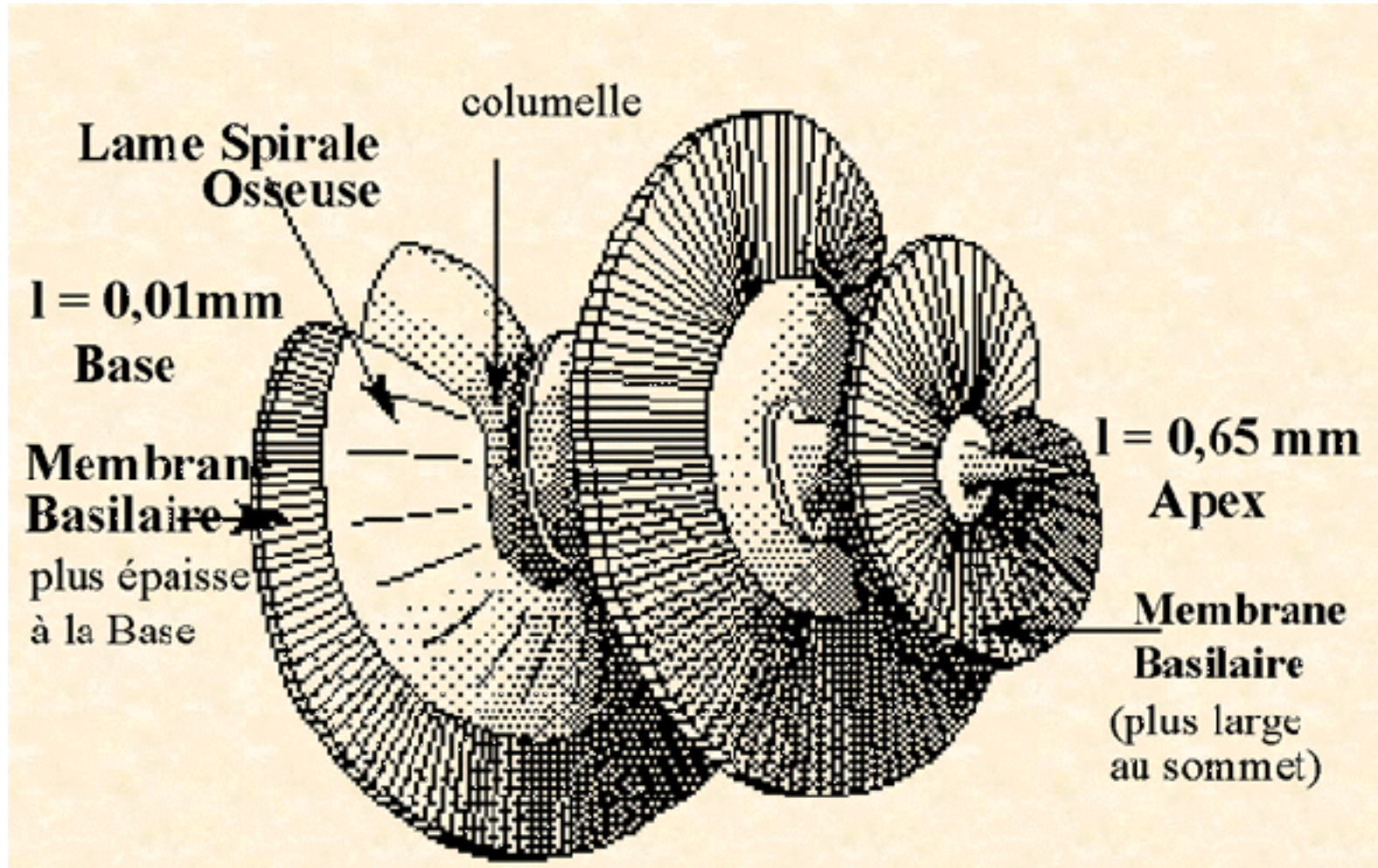
CCE



hauteur base : 25 μm
apex : 70 μm

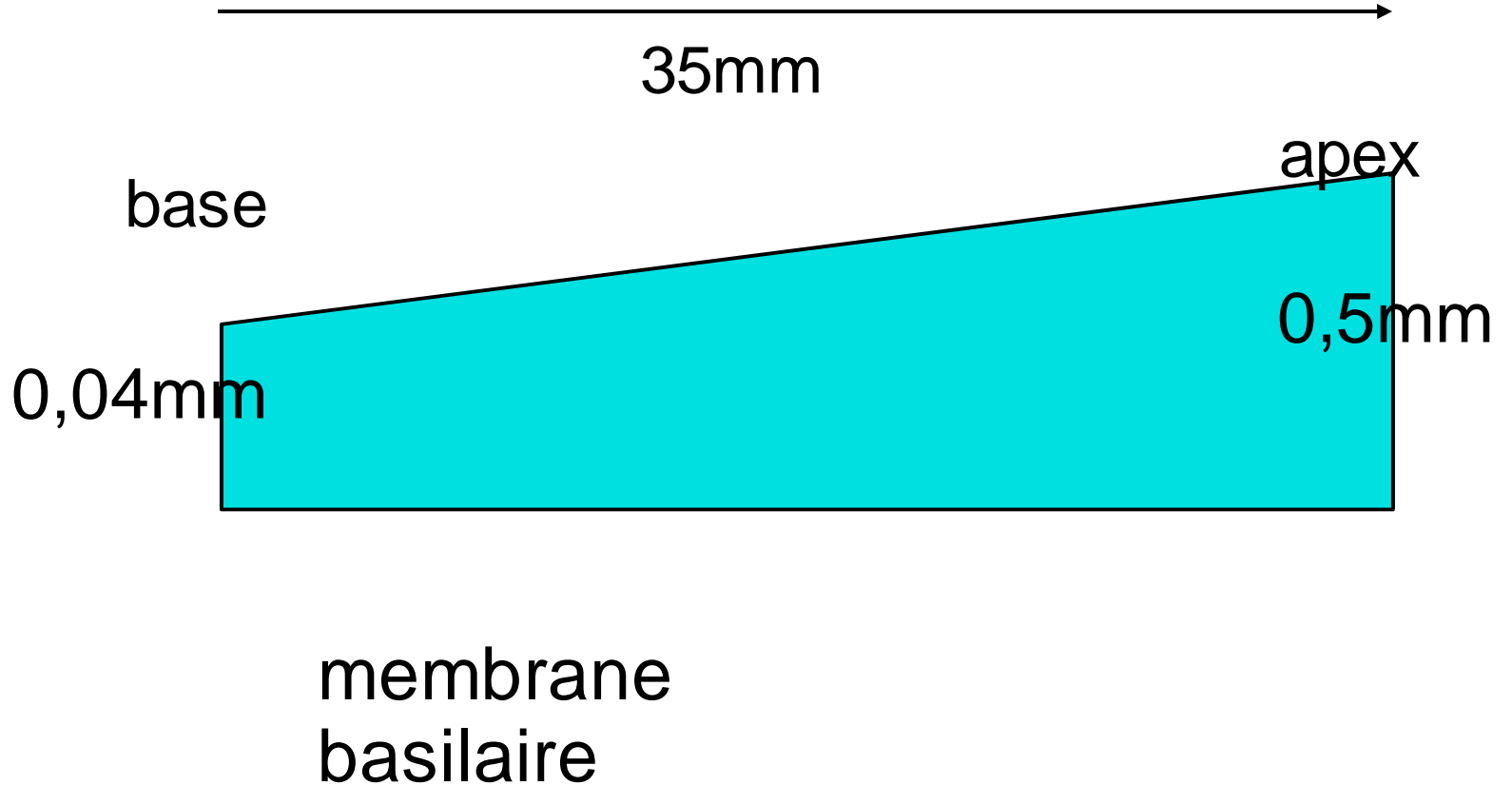
3 oreille interne

b cochlée



membrane basilaire

3 oreille interne B cochlée



ACOUSTIQUE - AUDITION

IV anatomie

1 oreille - externe

2 - moyenne

3 - interne

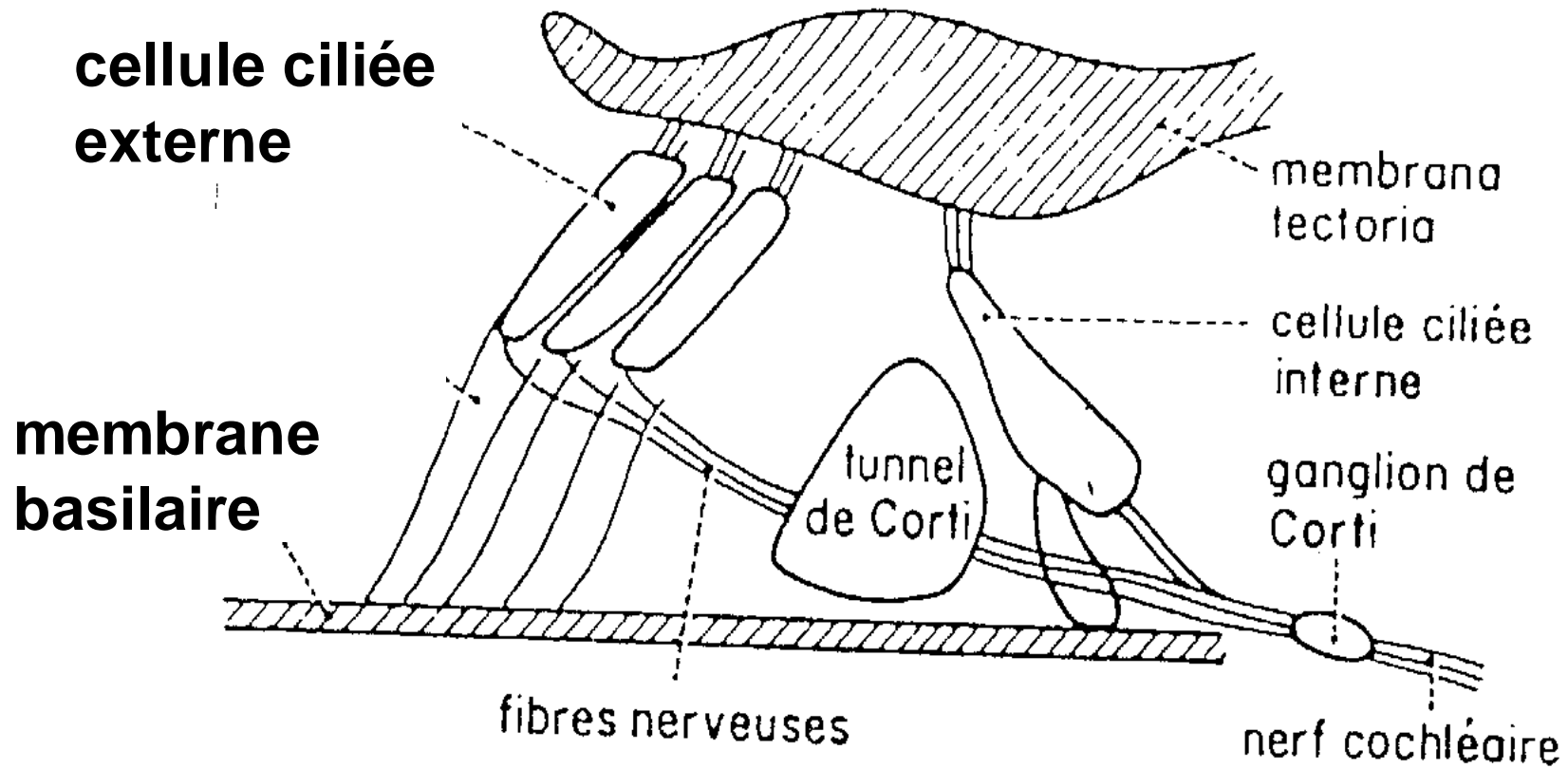
a labyrinthe

b cochlée

4 voies nerveuses

4 voies nerveuses

cellules ciliées > ganglion de Corti

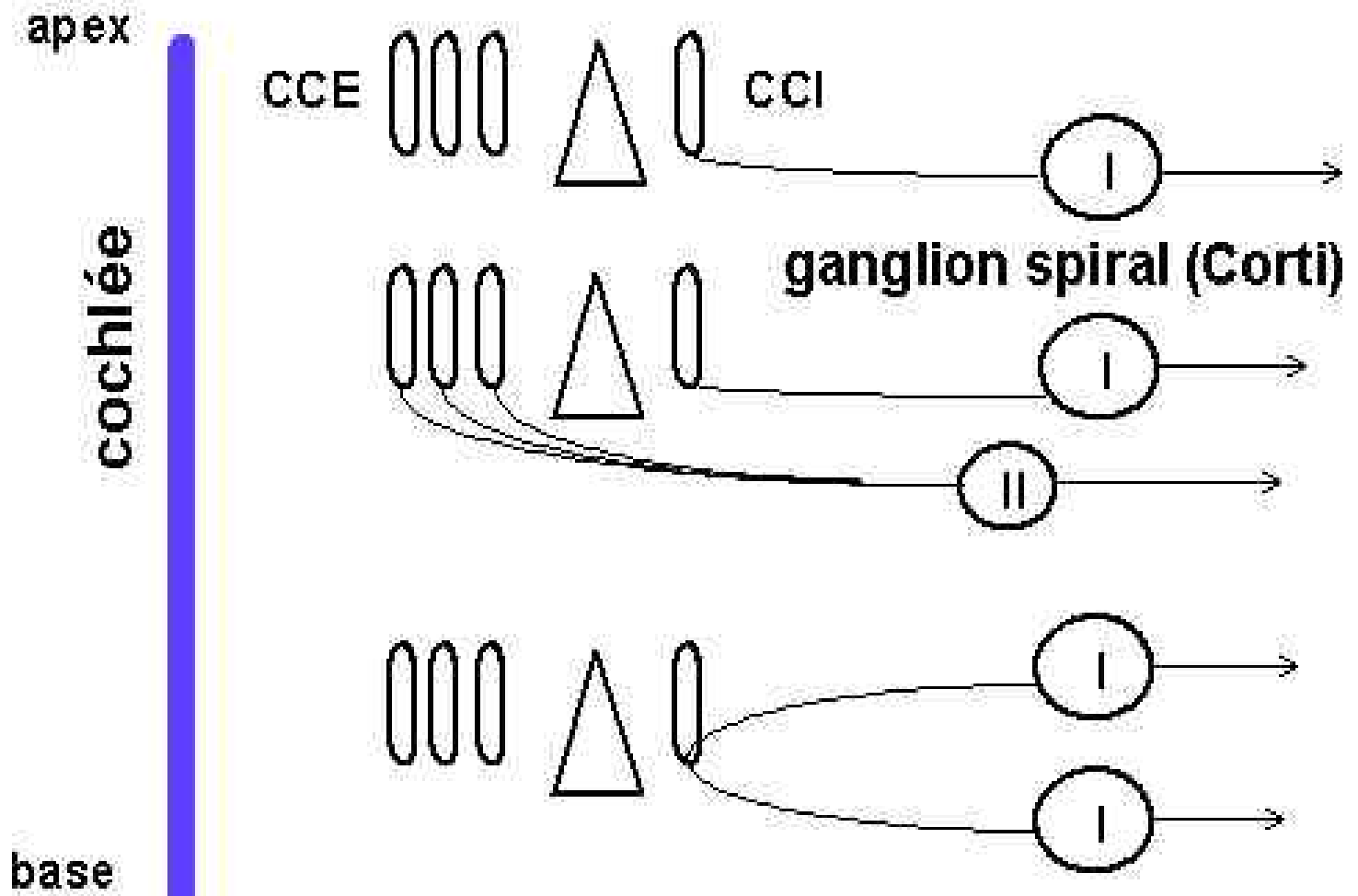


4 voies nerveuses :

cellules ciliées > ganglion de Corti

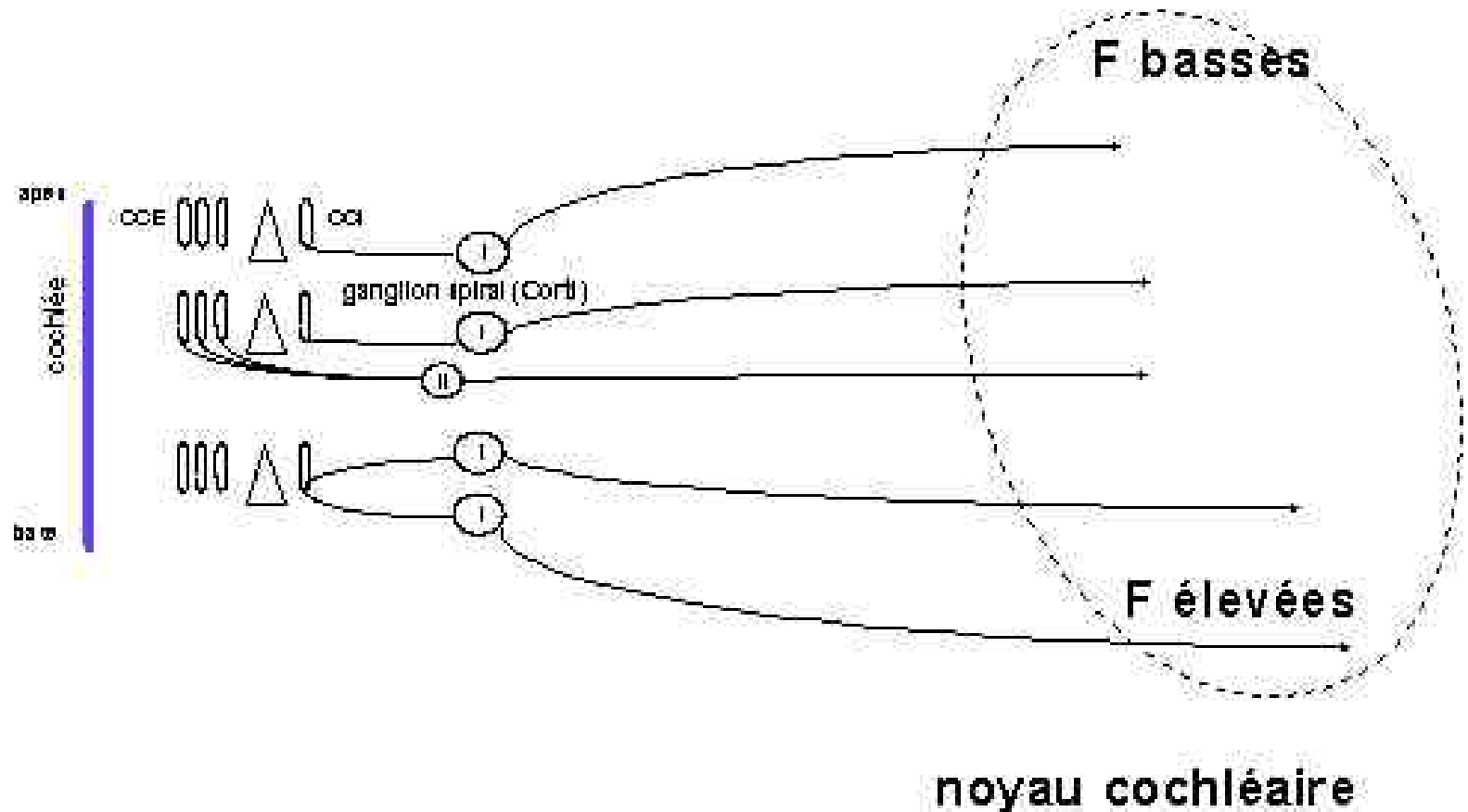
> nerf VIII cochléo-vestibulaire

VIII : nerf auditif = 30 000 fibres



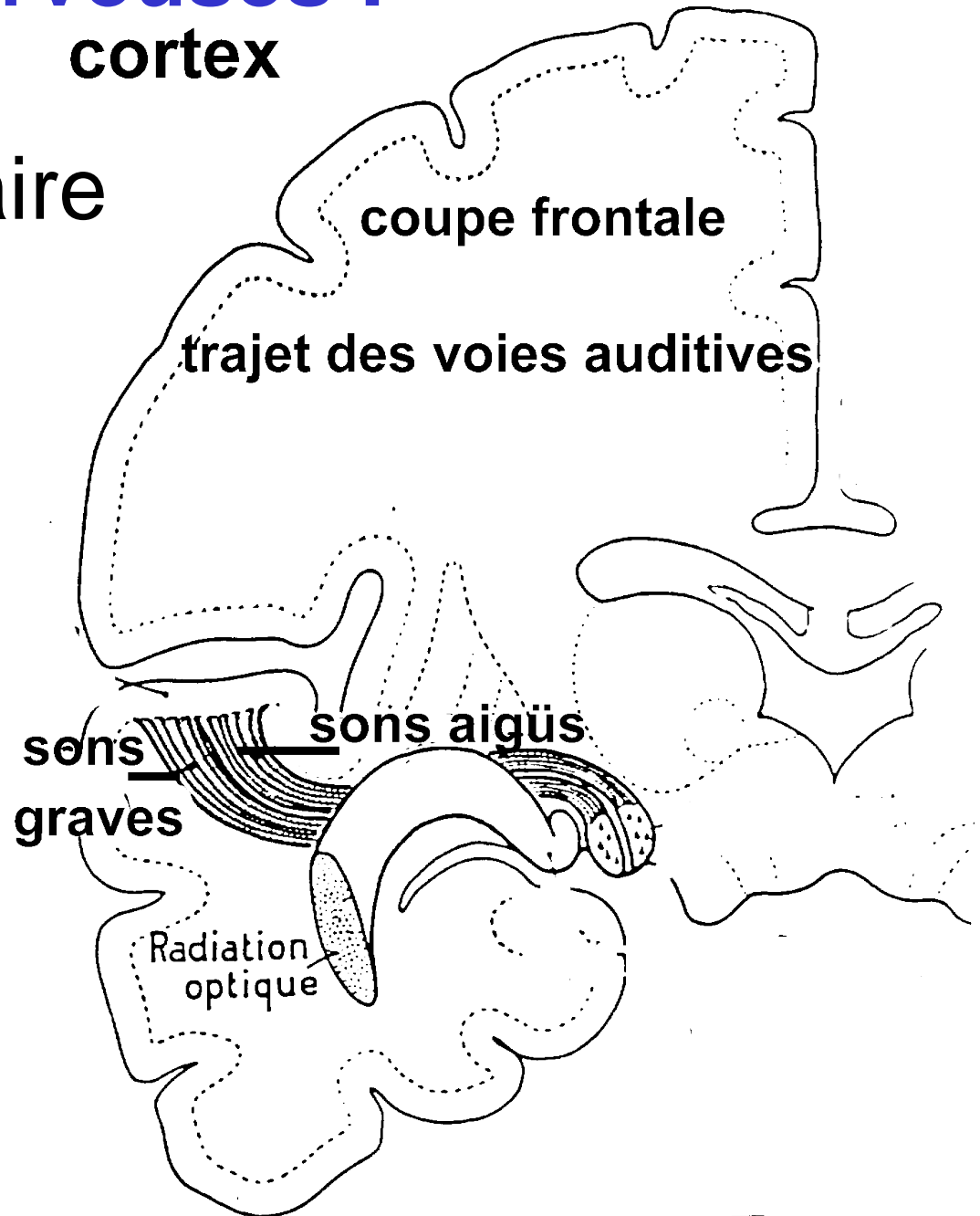
4 voies nerveuses :

cellules ciliées > ganglion de Corti
> nerf VIII cochléo-vestibulaire

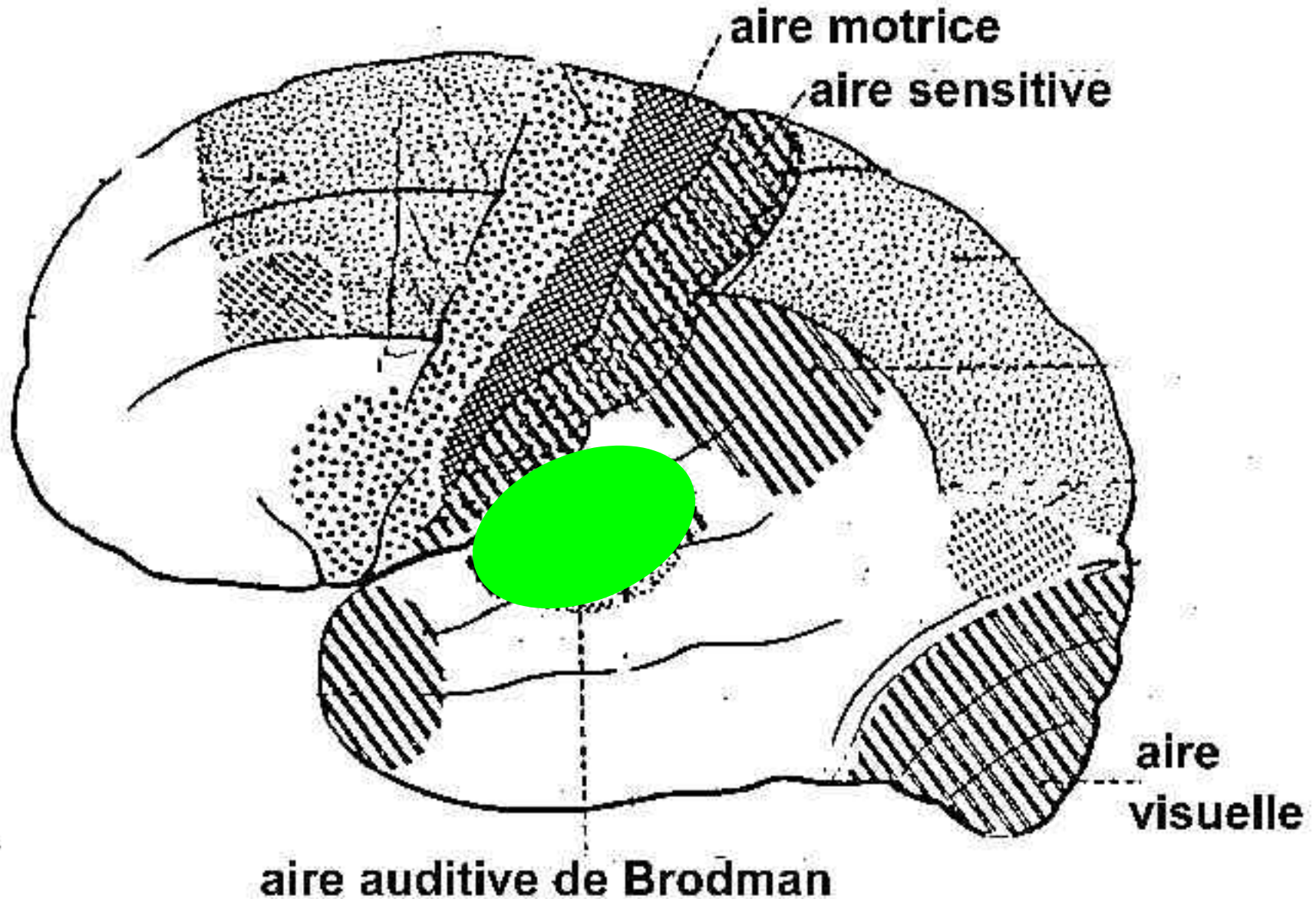


4 voies nerveuses : cortex

relais bulbaire
thalamus



4 voies nerveuses :



— Aires corticales de la face externe de l'hémisphère cérébral gauche.

4 voies nerveuses :

cellules ciliées

> ganglion de Corti

> nerf VIII cochléo-vestibulaire

> relais bulbaire > thalamus

> aire corticale de Brodman

+ voies efférentes : réflexe auditif

FONCTION SENSORIELLE - AUDITION

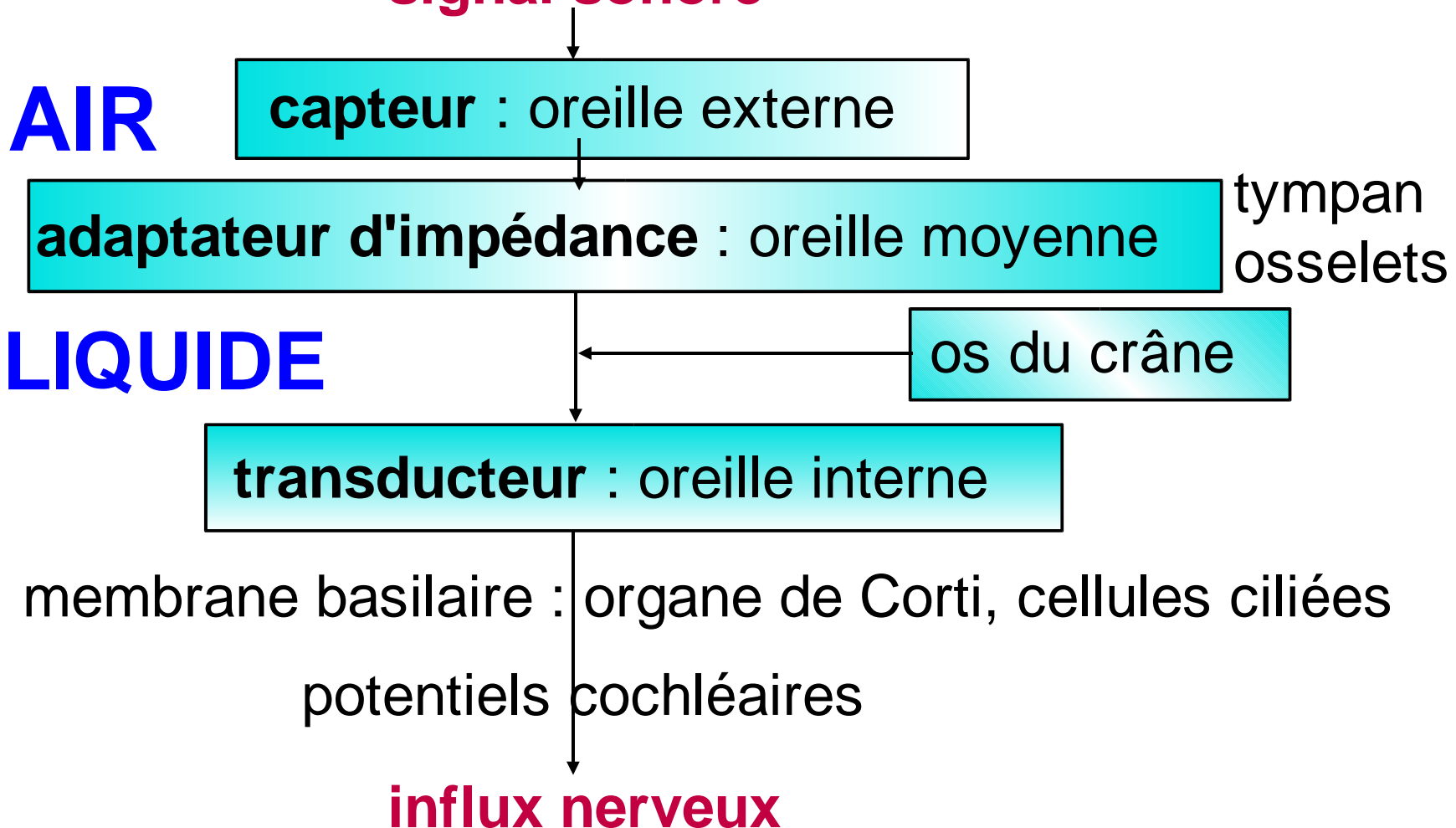
V transduction

A adaptation d'impédance

B mouvements de la membrane basilaire

C potentiels cochléaires

schéma général de la
traduction
des ondes acoustiques en PA
signal sonore



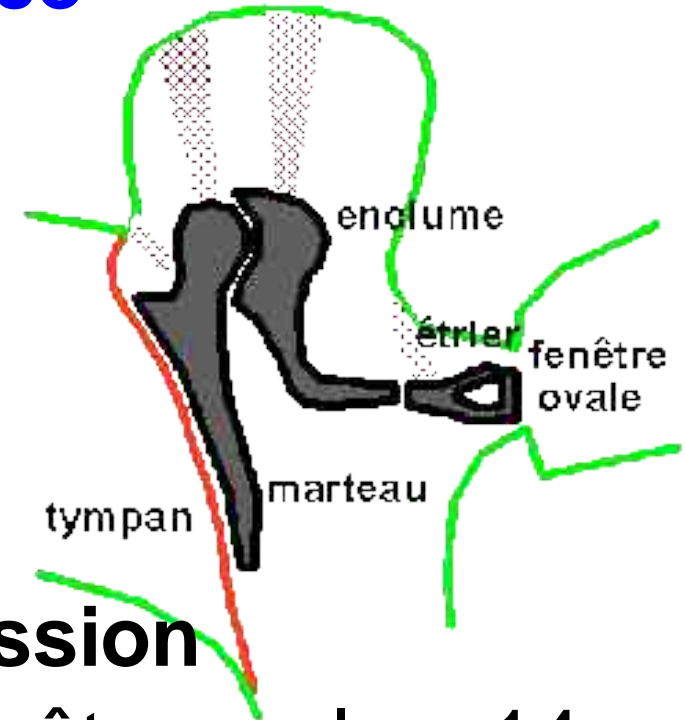
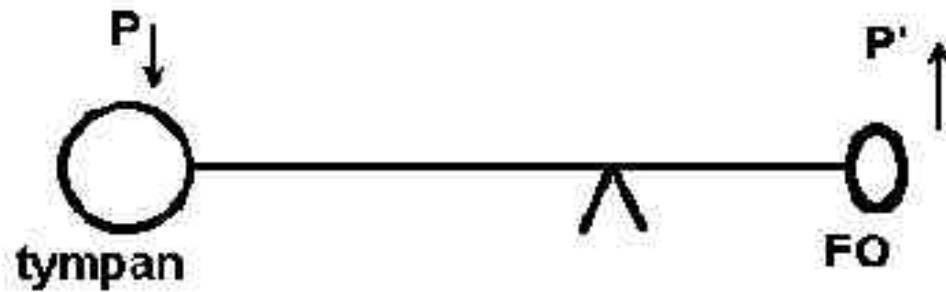
A - adaptation d'impédance

OREILLE MOYENNE

transmission du stimulus sonore du milieu
AERIEN (OE) au milieu LIQUIDIEN (OI)

> problème d'**adaptation d'impédance** :
amortissement des vibrations
au passage air-liquide

A - adaptation d'impédance



rôle des osselets :

- augmentation de la pression

1 surface tympan / surf. fenêtre ovale = 14

2 effet de levier = 1,3

gain total $1,3 \times 14 = 18$

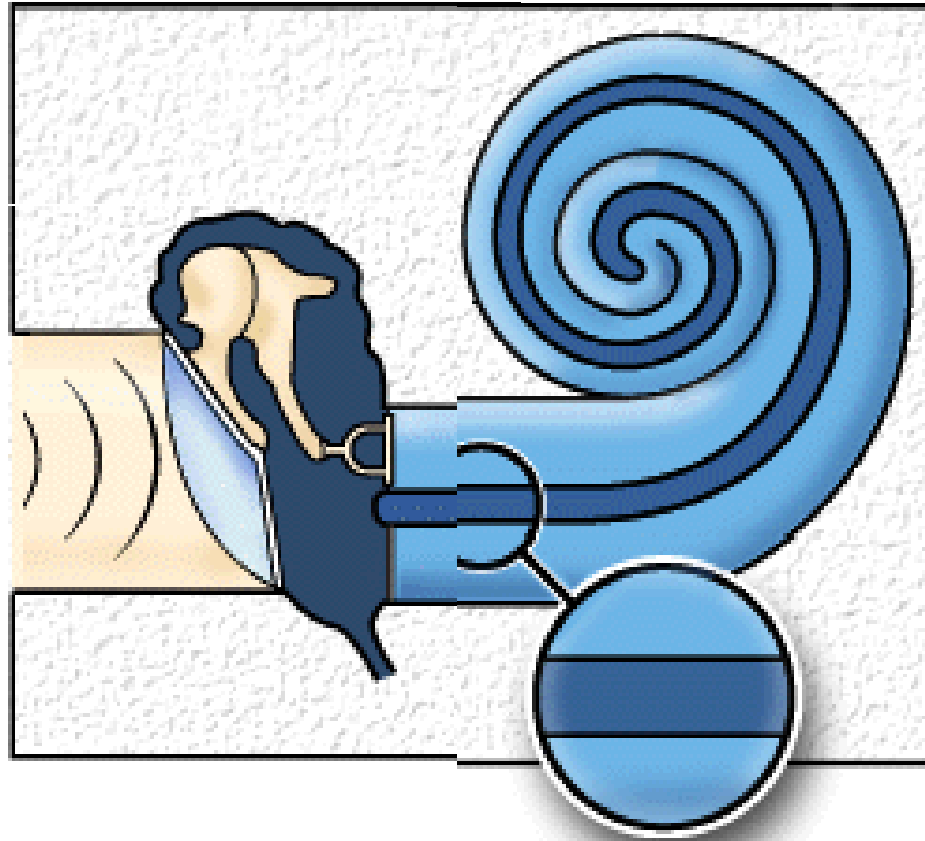
V transduction

A adaptation d'impédance

**B mouvements de la membrane
basilaire**

C potentiels cochléaires

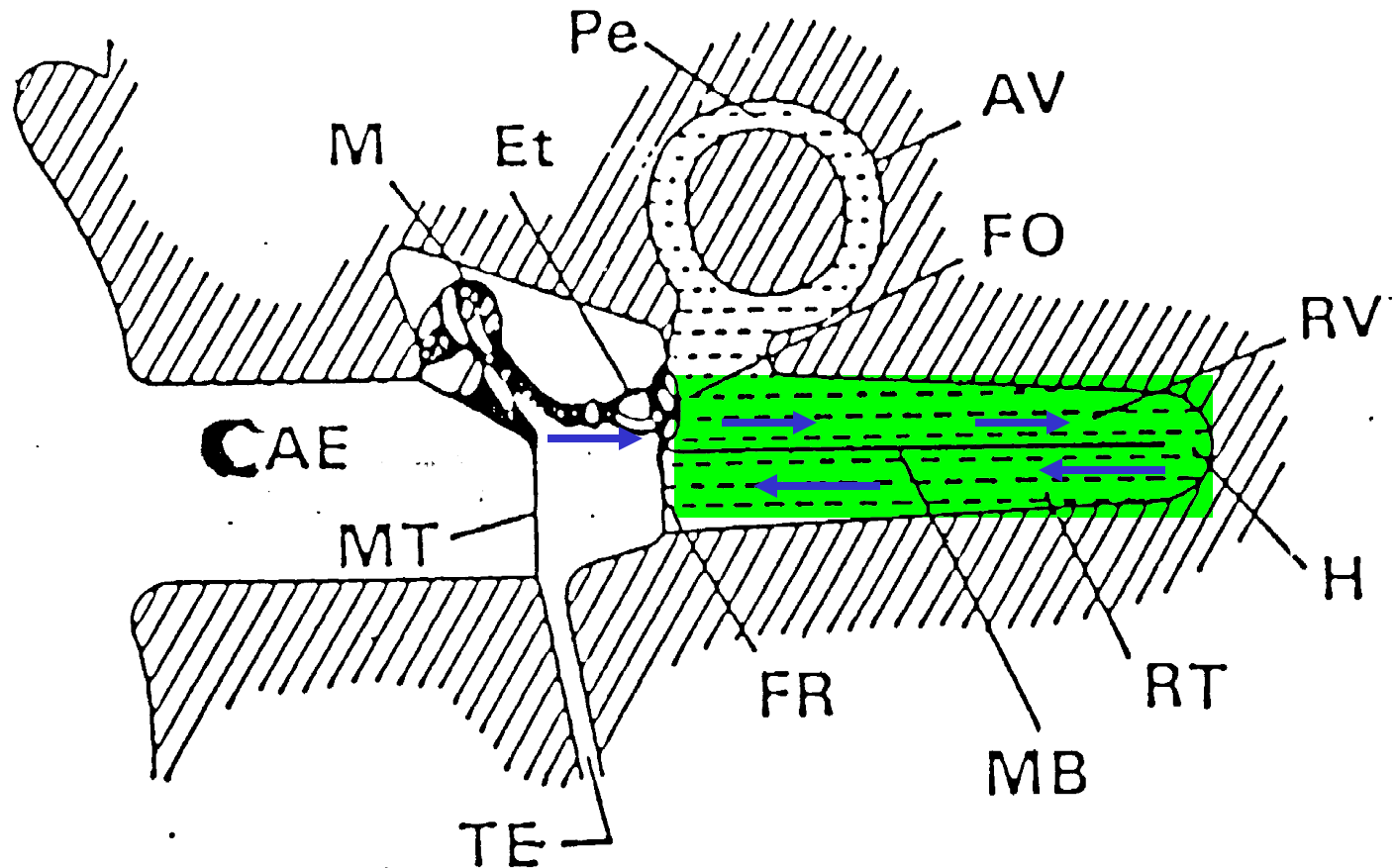
B mouvements de la membrane basilaire



R Pujol

B oreille interne - membrane basilaire

transducteur
pression acoustique > potentiel d'action



B membrane basilaire transducteur
pression acoustique > potentiel d'action

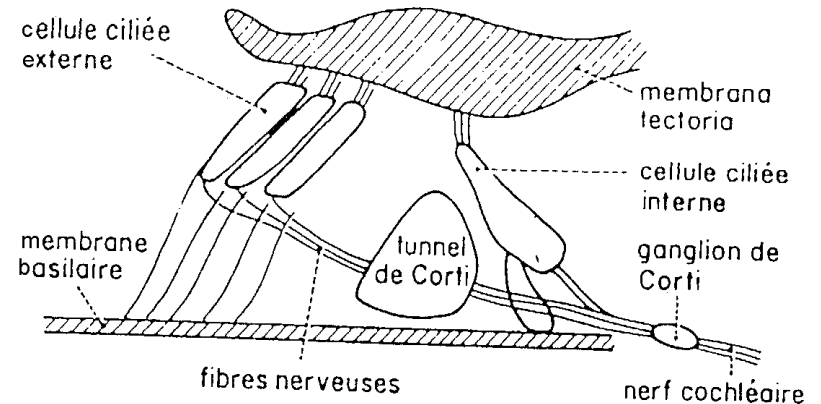
onde de pression

déplacement de la
membrane basilaire

> mouvement des cellules ciliées

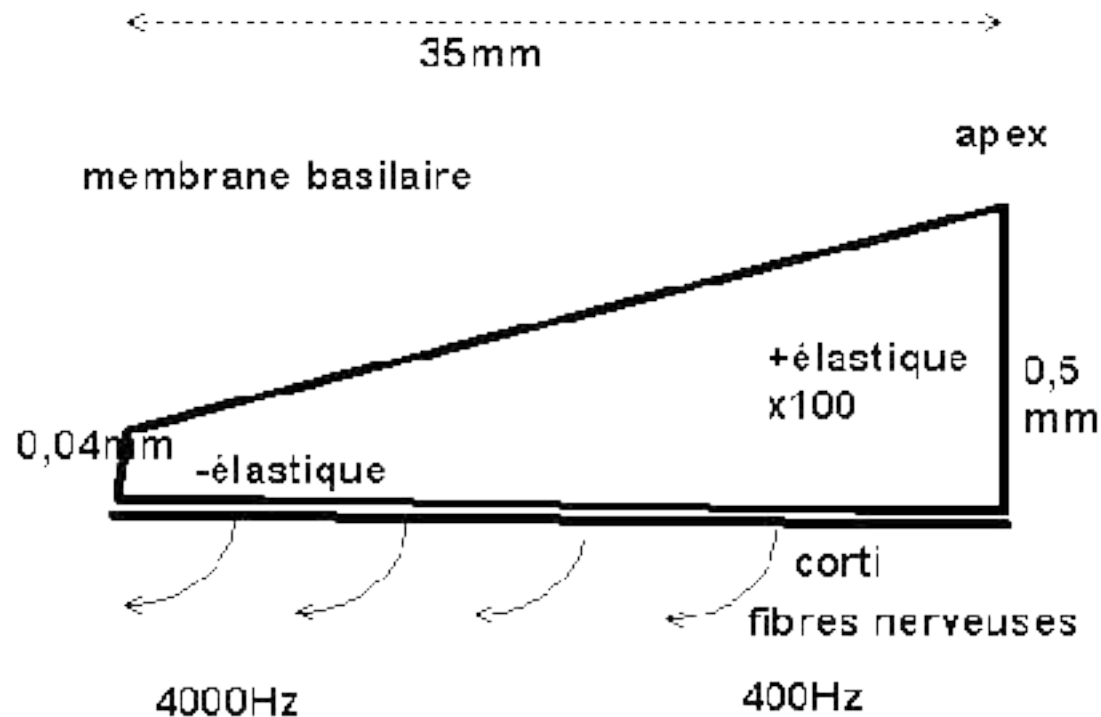
> PA

possible grâce à la fenêtré ronde :
absorbe les mouvements de la
périlymphe



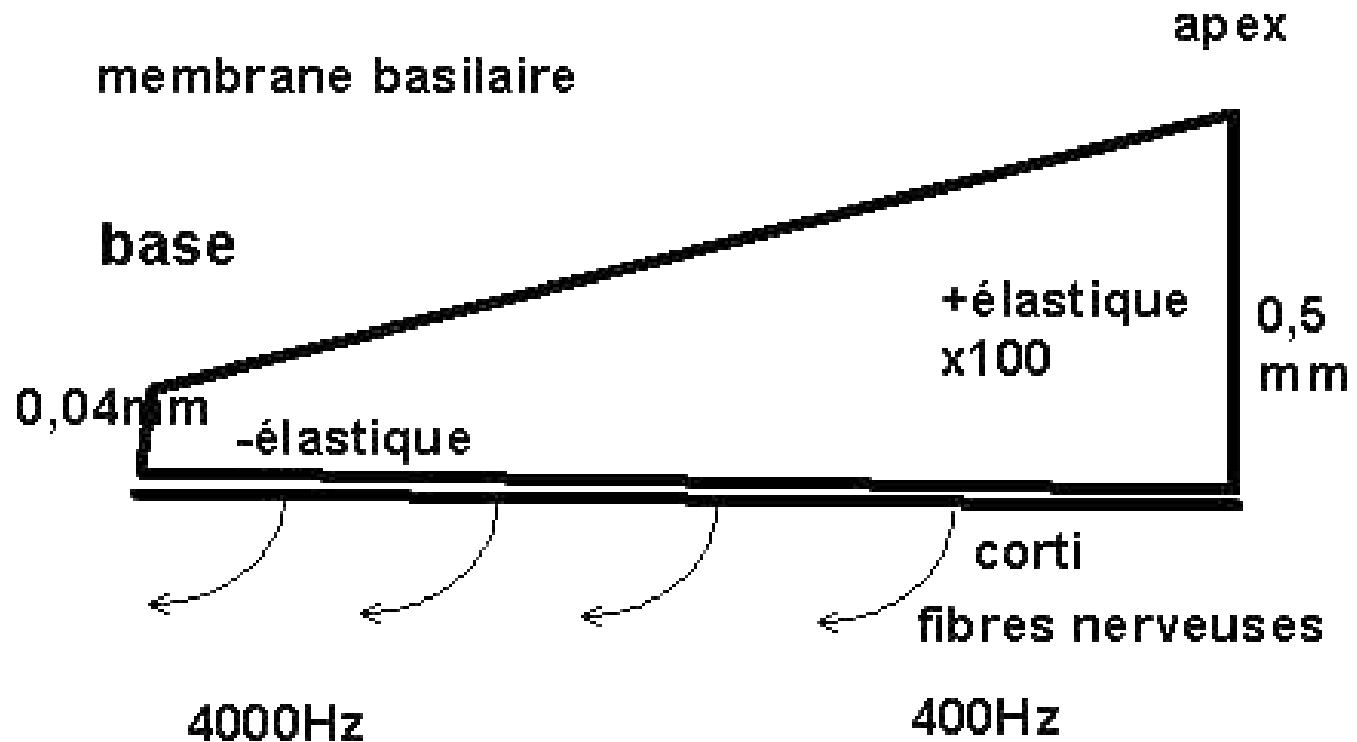
B MEMBRANE BASILAIRE : PROPRIETES

- largeur augmente de la base à l'apex
(0,04 mm >> 0,5 mm)
- inertie augmente de la base à l'apex
- raideur décroît de la base à l'apex (100 à 1)
- membrane non tendue



B MEMBRANE BASILAIRE : PROPRIETES

>> fréquence de résonance dépend du site



B MEMBRANE BASILAIRE : PROPRIETES

>> fréquence de résonance dépend du site

caractère des mouvements de la MB :
position de résonance fonction
de la fréquence

analyse spatiale en fréquence

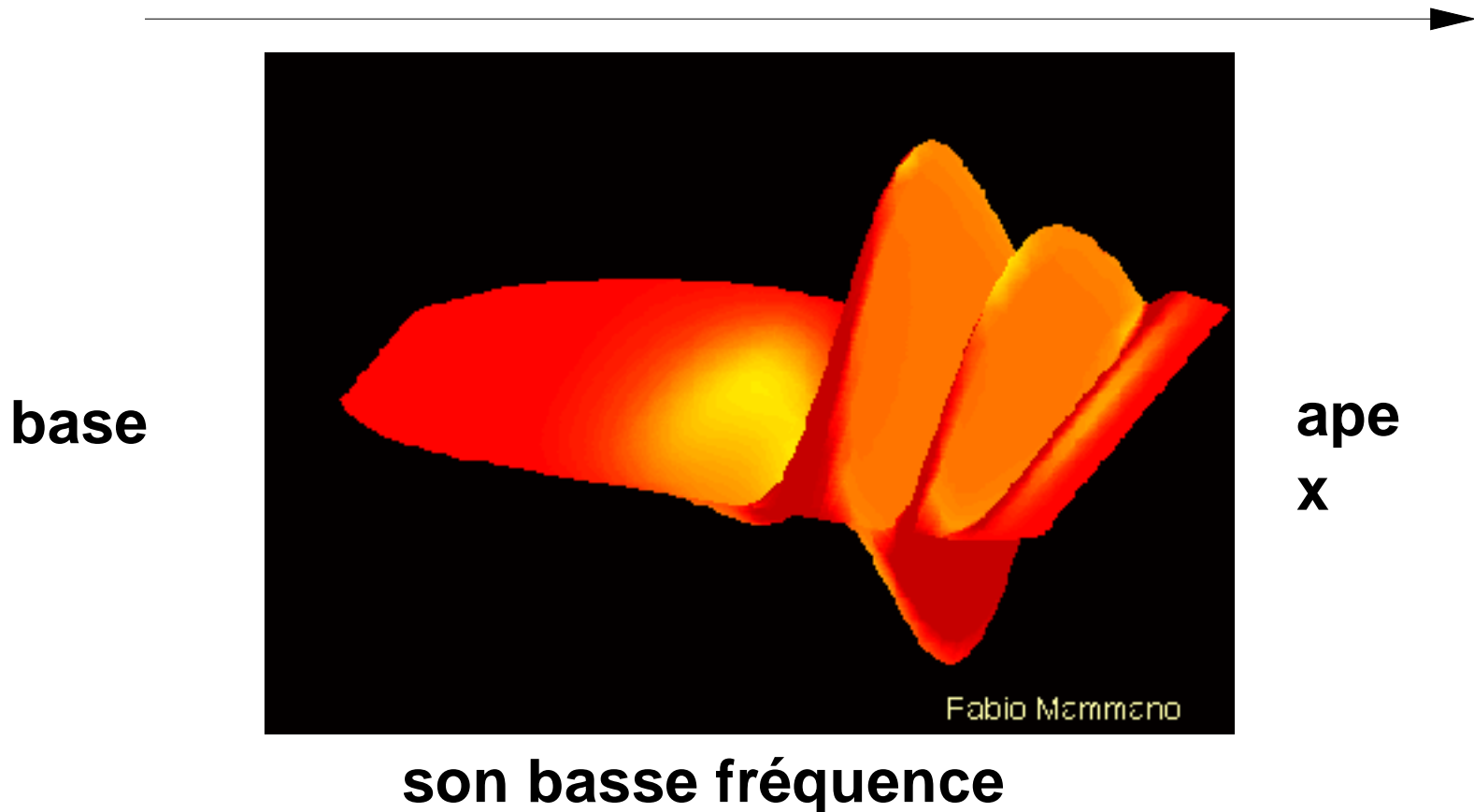
= tonotopie

B MEMBRANE BASILAIRE : PROPRIETES

position de résonance fonction de la fréquence

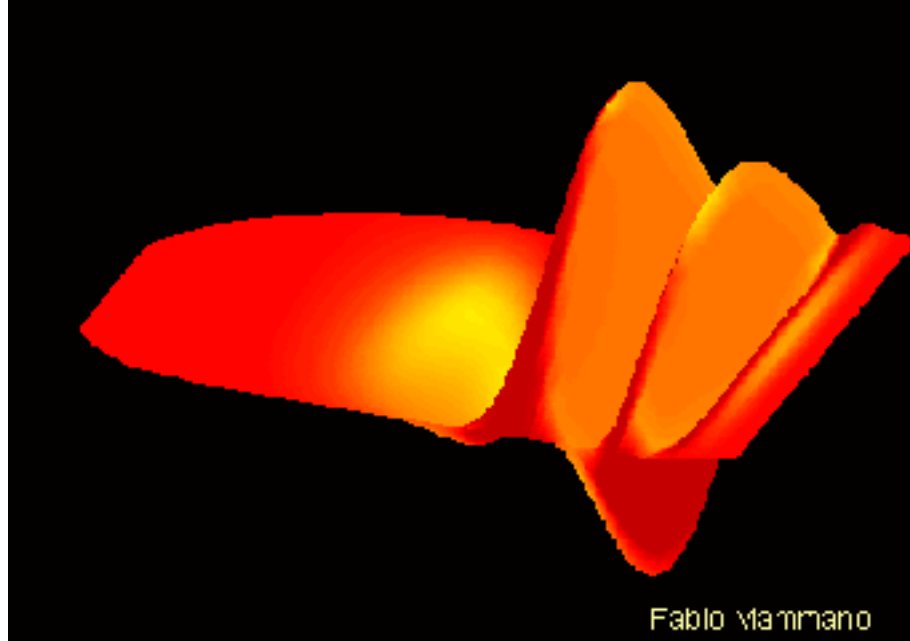
> analyse spatiale en fréquence

propagation onde sonore



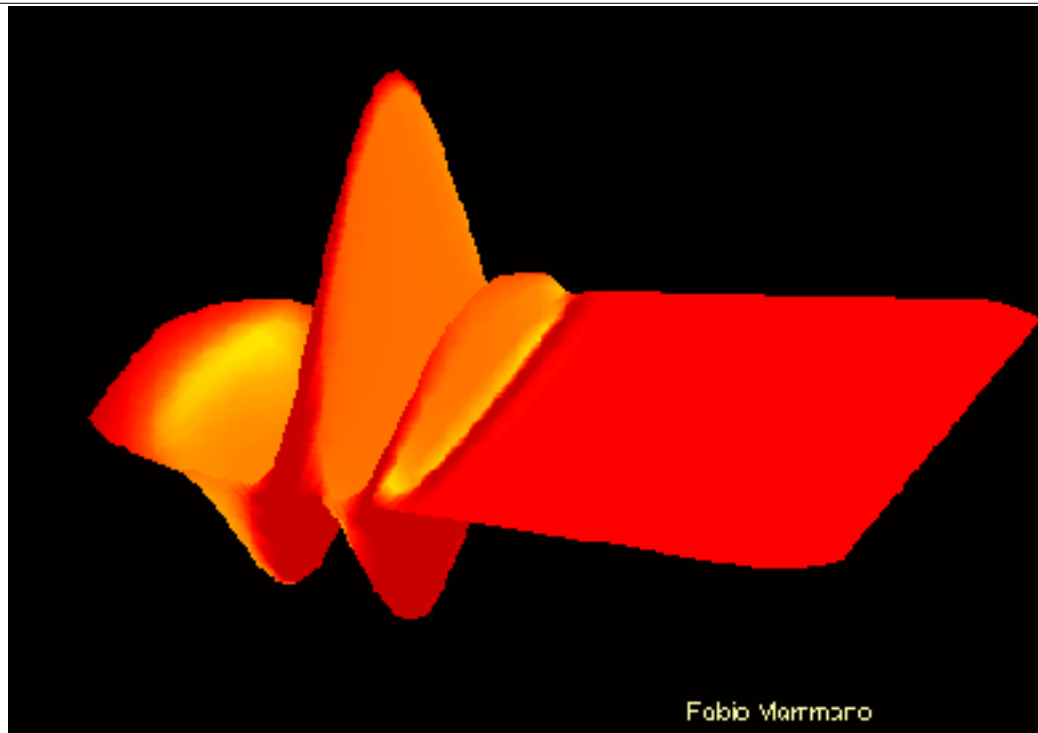
**son basse
fréquence**

**bas
e**



**ape
x**

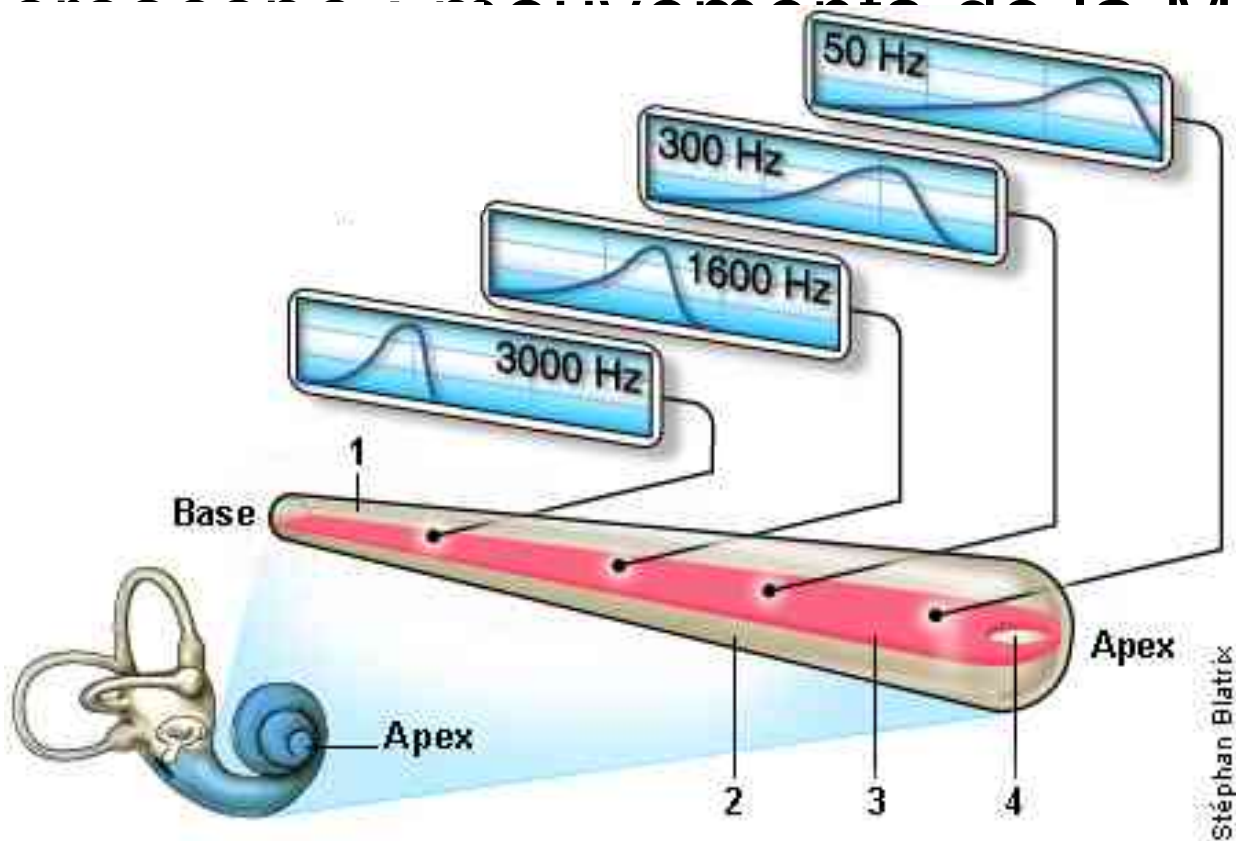
**son haute
fréquence**



B MEMBRANE BASILAIRE

expérience de Von Békésy

- stimulation de la FO par vibration contrôlée
- mesure des déplacements de la MB



R Pujol

V transduction

A adaptation d'impédance

B mouvements de la membrane
basilaire

C potentiels cochléaires

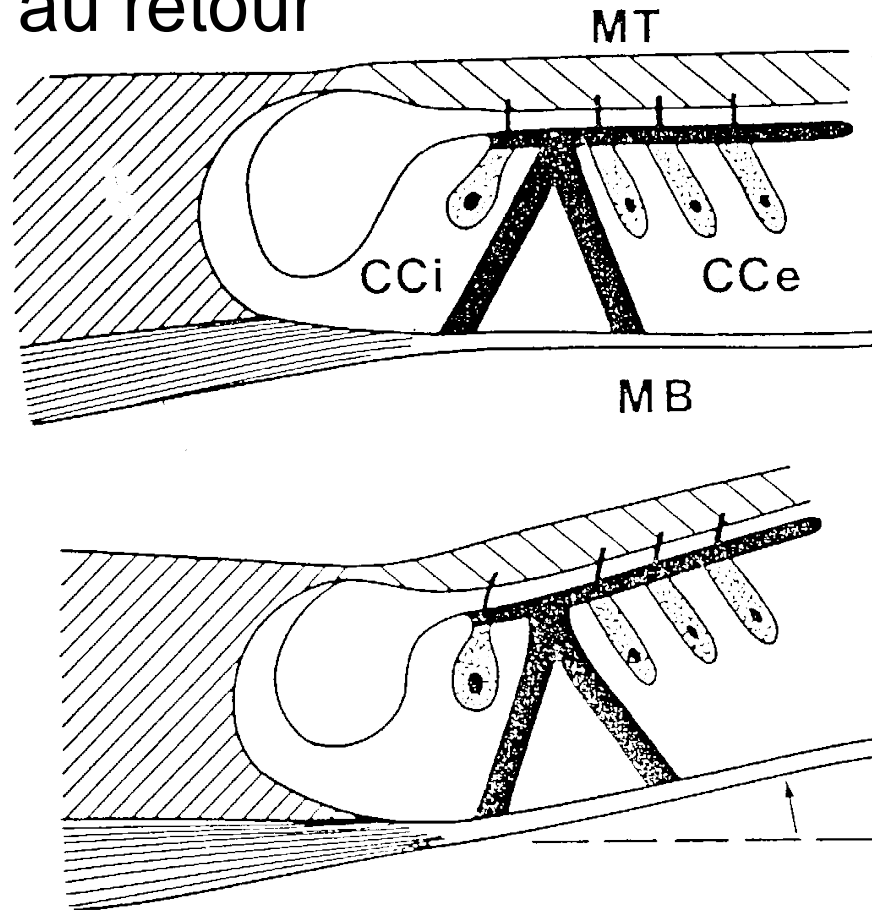
C potentiels cochléaires Transduction

stimulus > mouvement MB

> effet de **cisaillement** des cils

> dépolarisation cellulaire

> hyperpolarisation au retour



C potentiels cochléaires Transduction

cils = myosine

mouvements > ouverture des canaux ioniques

afflux de K^+ dans les cellules

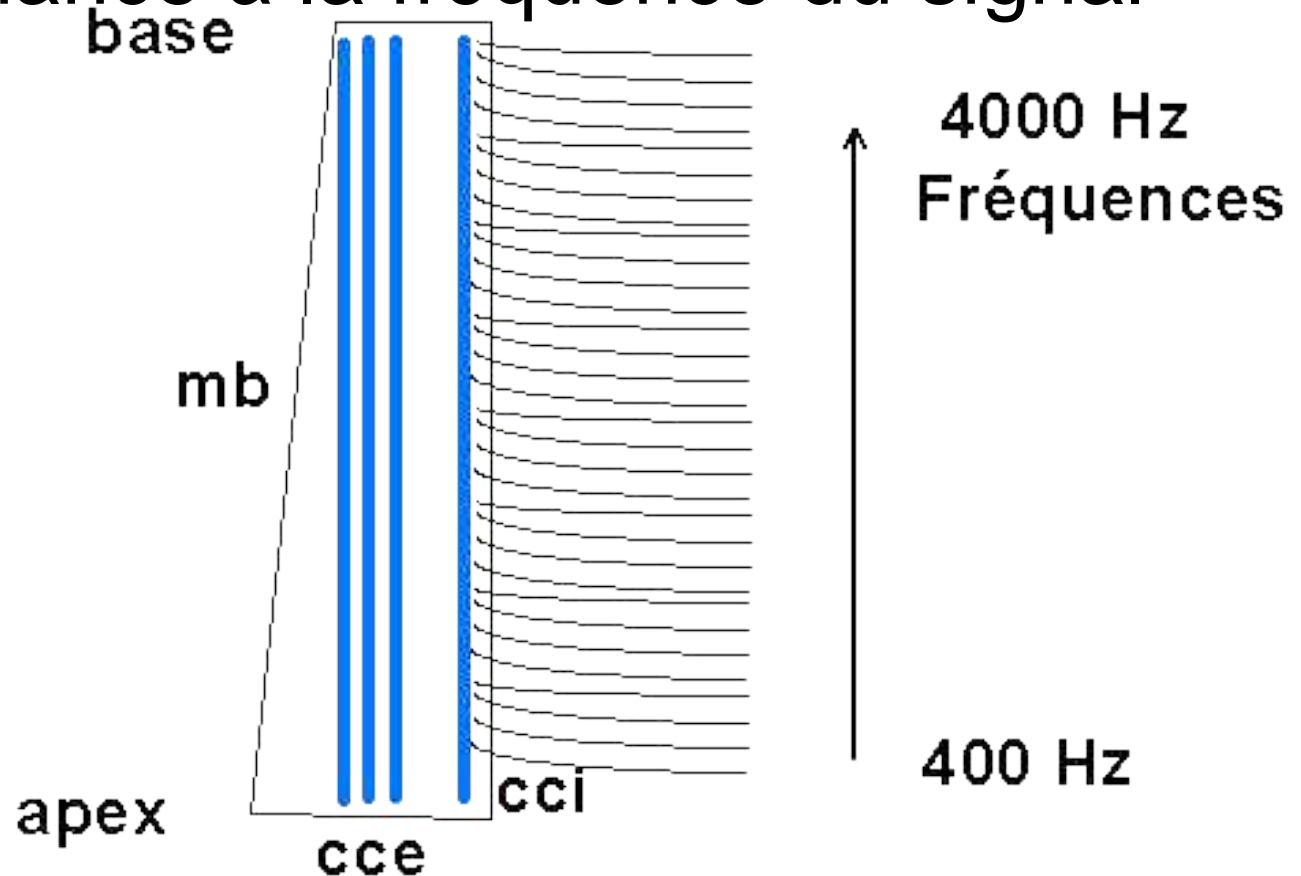
proportionnel à l'intensité du son

>> **potentiels cochléaires**

C Transduction : rôle des cellules ciliées

cci : sélection en **fréquence**

cce : améliorent la sélectivité en fréquence par **contre - réaction** (feed back) produit une résonance à la fréquence du signal



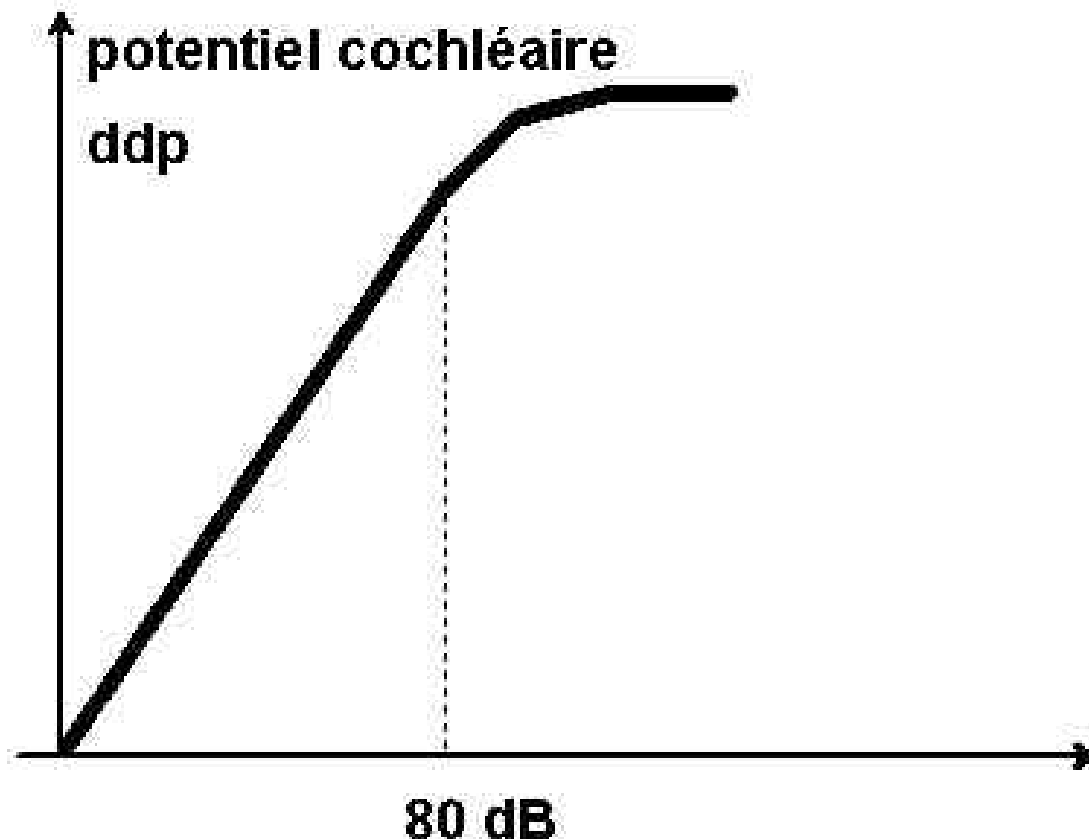
C POTENTIELS COCHLEAIRES

- cas du stimulus **faible** :

potentiel cochléaire proportionnel au stimulus

- cas du stimulus **intense** : distorsion

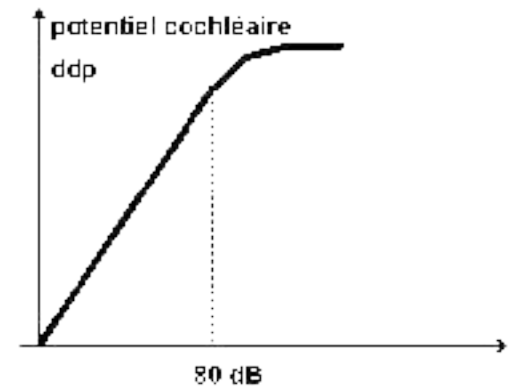
potent
micro



C POTENTIELS COCHLEAIRES

potentiel cochléaire / PA :

- pas de seuil
 - linéaire au début
- pré-potentiel d'action,
potentiel de récepteur



premier codage :

fréquence : membrane basilaire

intensité : potentiel cochléaire

FONCTION SENSORIELLE - AUDITION

I fonction sensorielle

II paramètres physiques

III paramètres physiologiques

IV anatomie

V transduction

VI voies nerveuses : PA

VII exploration de l'audition

VI voies nerveuses

A – PA

1 PA de repos

2 PA d'un son pur

B - codage en fréquence

C - codage en intensité

D - cas des basses fréquences

VI voies nerveuses

A PA, propriétés des fibres nerveuses

1- PA de repos

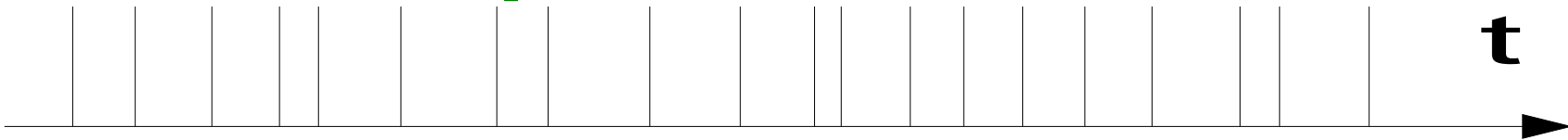
= **Activité Spontanée** (AS) aléatoire

fibres AS > 18 spikes/s = très sensibles

fibres AS < 18 = moins sensibles



2- PA son pur



VI voies nerveuses

A - PA

B - codage en fréquence

1 son pur

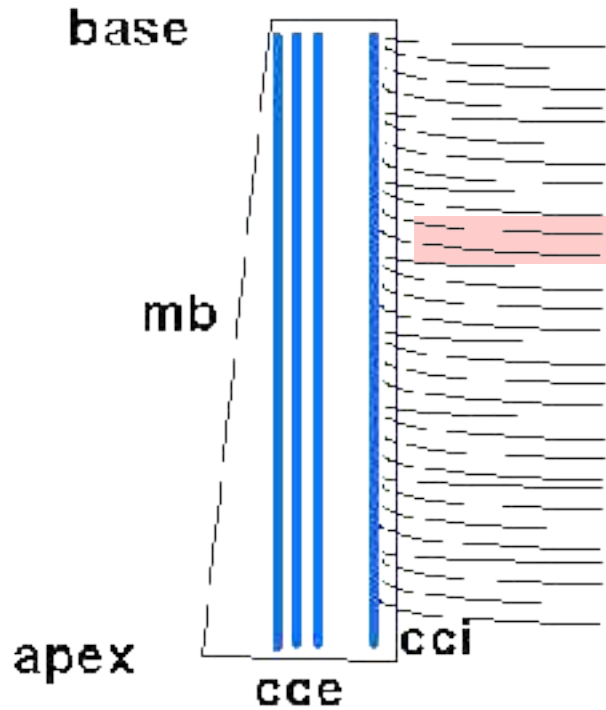
2 fréquence caractéristique

C - codage en intensité

D - cas des basses fréquences

B - codage en fréquence

1 PA son pur



au seuil de sensibilité :
sélectivité tonale
bande étroite de
cellules activées

c-à-d avec augmentation du nb de PA/s

B - codage en fréquence

2 Fréquence Caractéristique

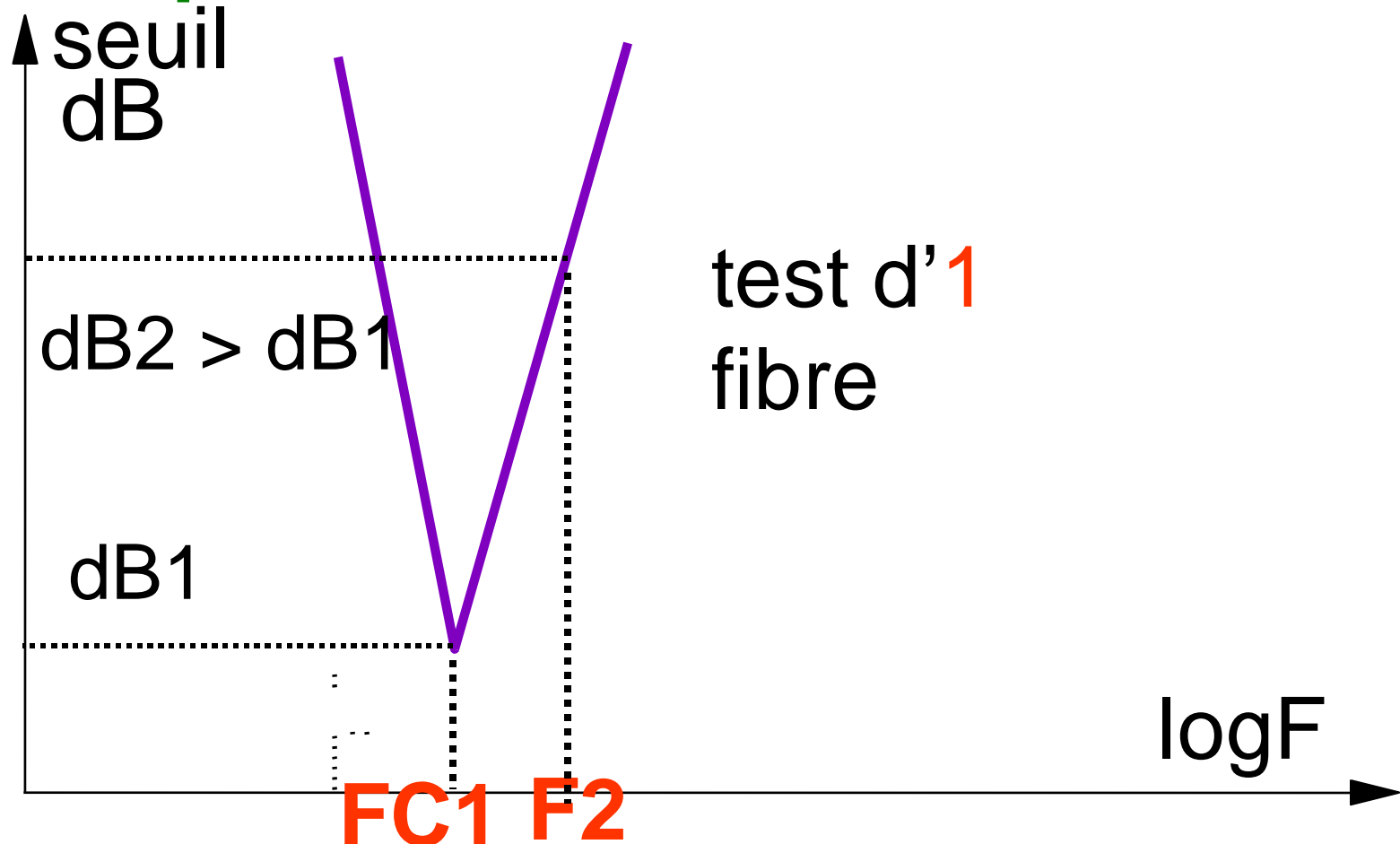
fibre nerveuse caractérisée par :

- AS
- seuil d'excitabilité
- **Fréquence Caractéristique** (FC)

B - codage en fréquence PA son pur

1 fibre nerveuse a une sensibilité élevée pour 1 fréquence donnée = FC

son pur > 400 Hz



VI voies nerveuses

A - PA

B - codage en fréquence

C - codage en intensité

D - cas des basses fréquences

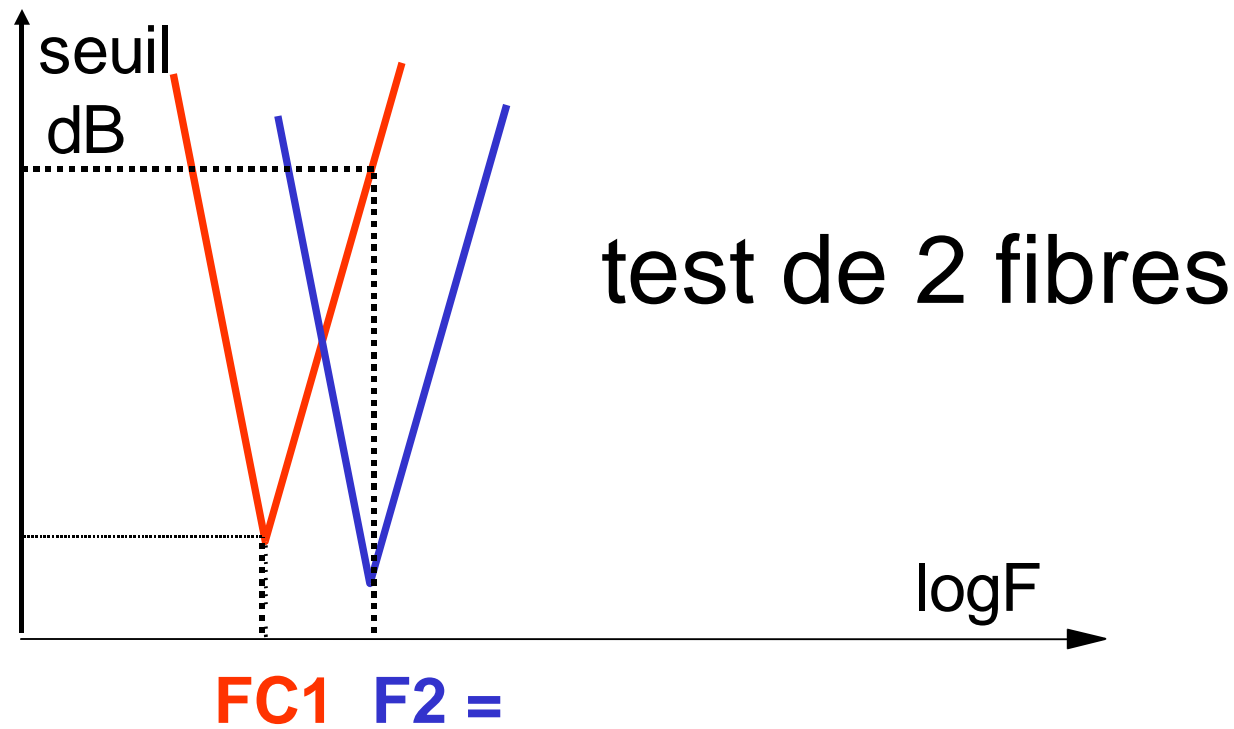
VI voies nerveuses

C - codage en intensité

PA son pur > 400 Hz :

nombre de fibres stimulées augmente avec l'intensité du stimulus

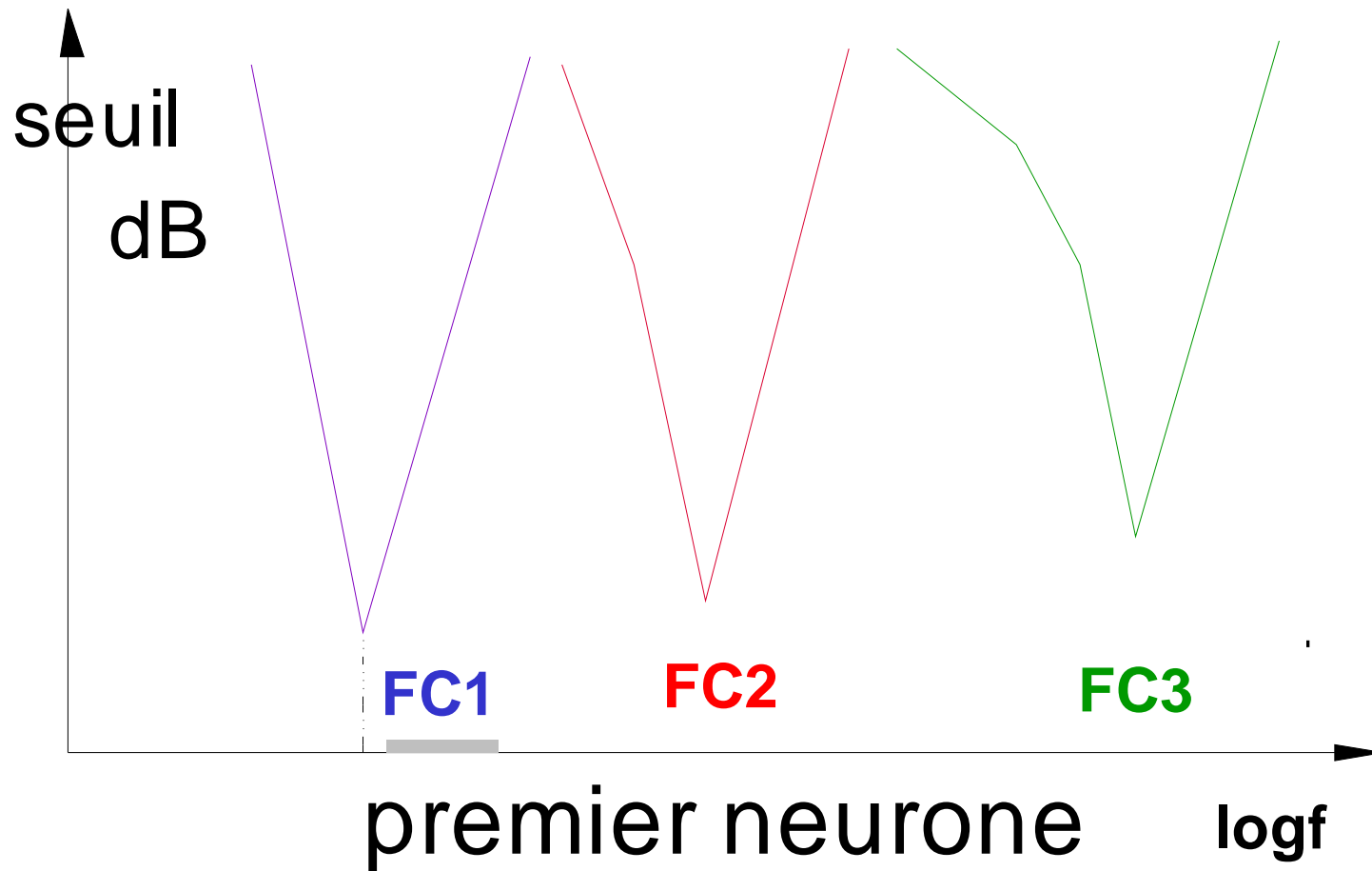
= codage de l'intensité



C - codage en intensité

Fréquence Caractéristique (FC) :

PA son pur > 400 Hz : nombre de fibres stimulées augmente avec intensité du stimulus

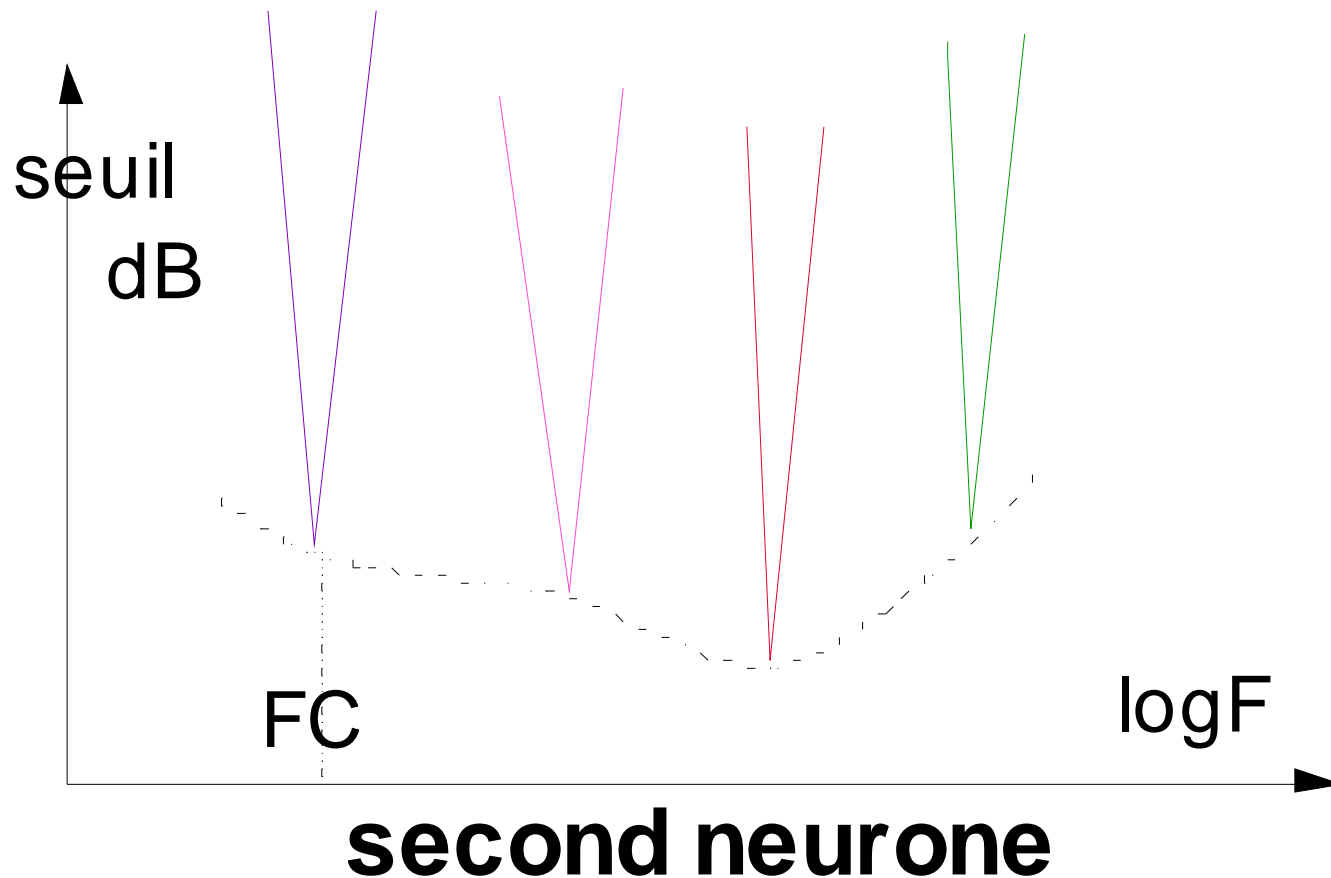


sélectivité en fréquence

Fréquence Caractéristique (FC)

= fréquence de résonance d'une fibre

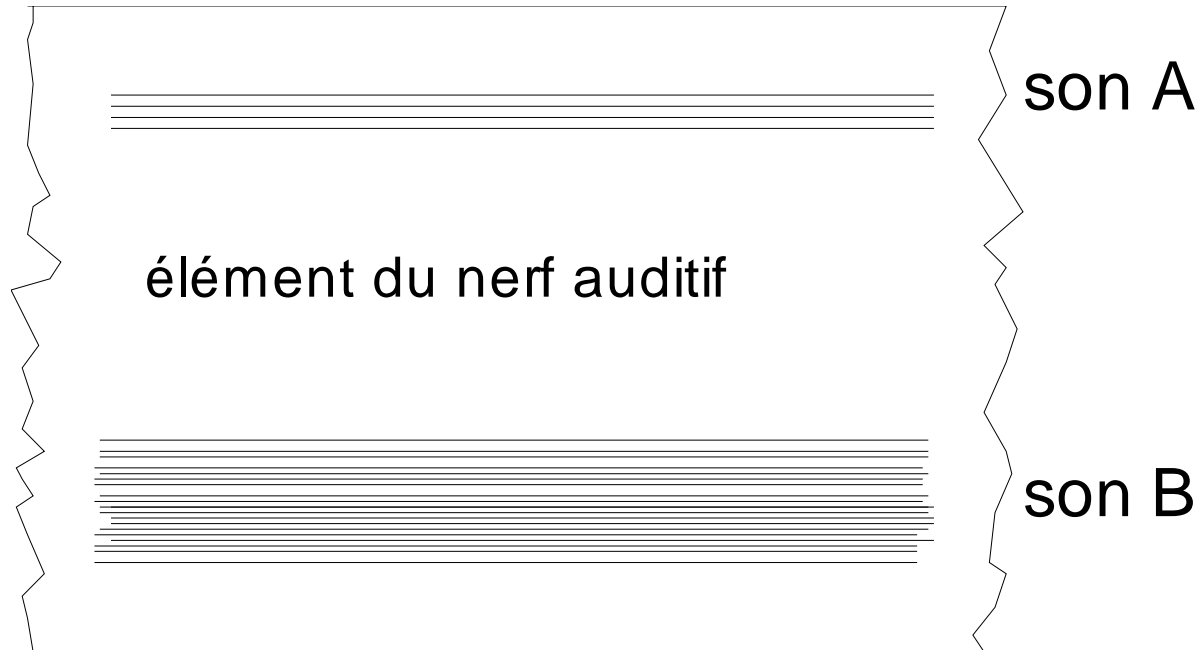
2ème neurone + sélectif = **tonotopie**



exemples :

son A 800 Hz 10 dB

son B 3 kHz 40 dB



F différentes > fibres différentes
intensités différentes
> nb de fibres différents

VI voies nerveuses

A - PA

B - codage en fréquence

C - codage en intensité

D - cas des basses fréquences

D cas des basses fréquences < 400 Hz

pb: **toute** la MB vibre en basse F

> non sélectivité spatiale

1 synchronisation des PA avec stimulus

2 F des PA proportionnelle à la F du stimulus

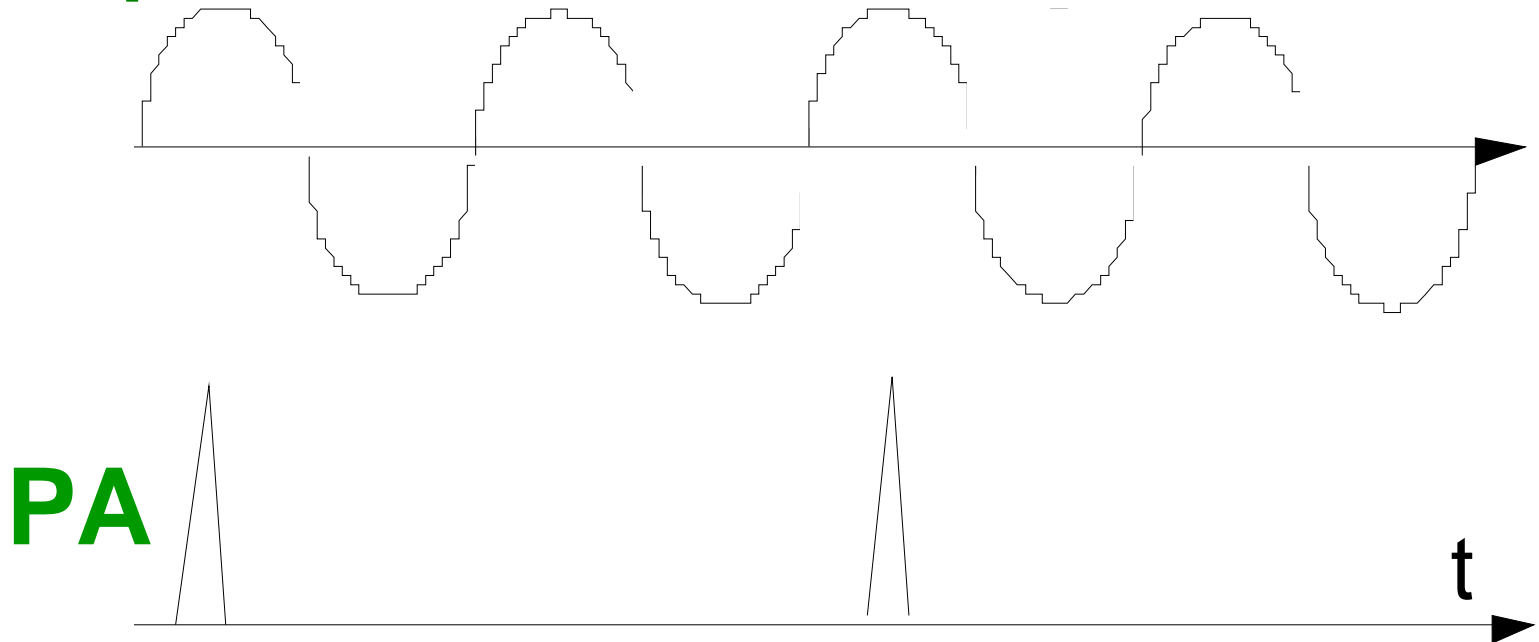
D cas des basses fréquences < 400 Hz

> non sélectivité spatiale

1 synchronisation des PA avec stimulus

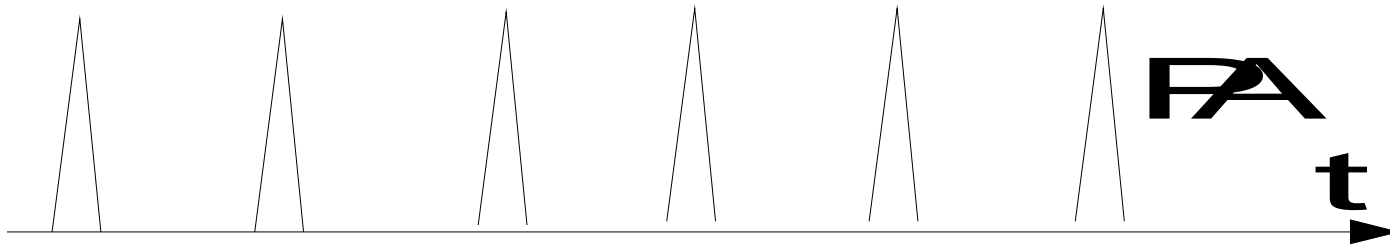
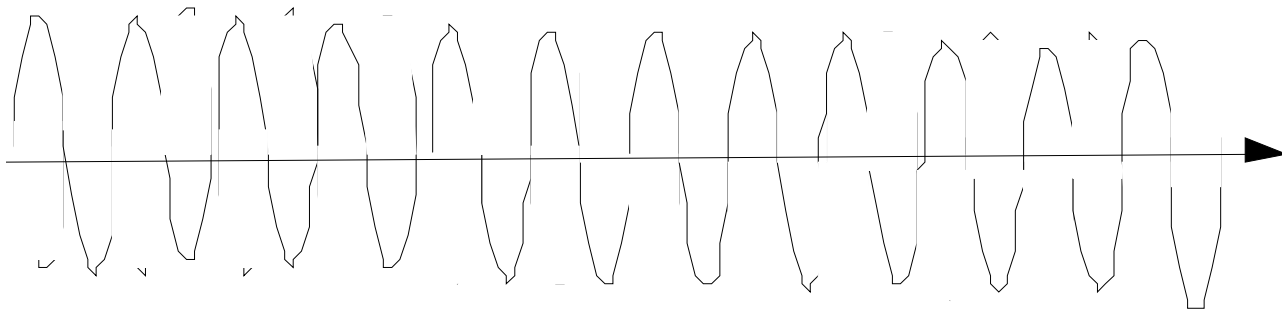
2 F des PA proportionnelle à la F du stimulus

son pur 50 Hz



D cas des basses fréquences < 400 Hz

son pur 200 Hz



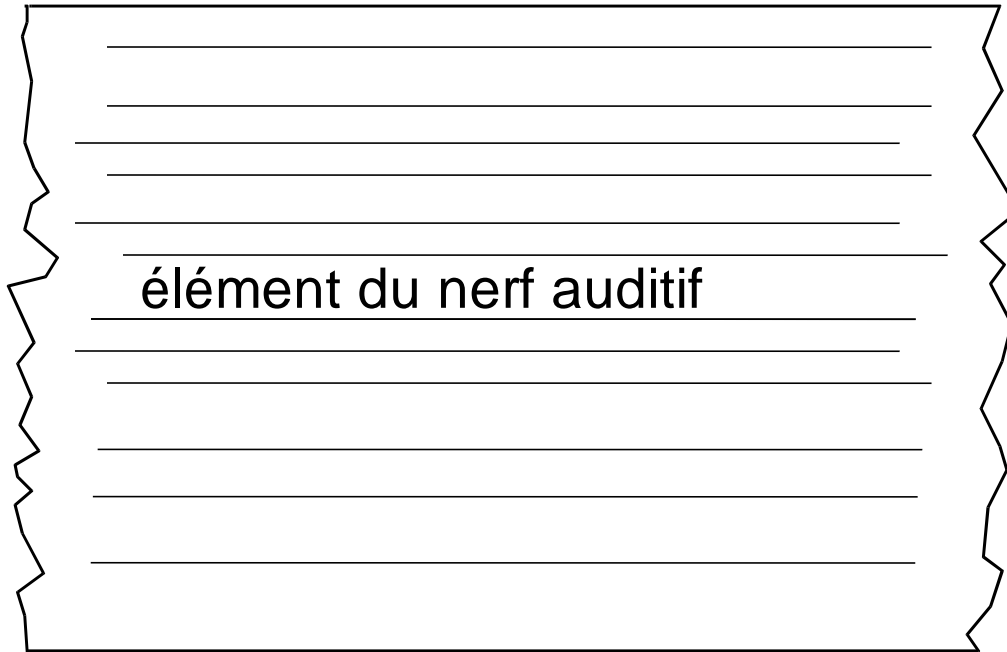
D cas des basses fréquences < 400 Hz

3- intensité

> nombre de fibres sur toute la largeur du nerf auditif

exemples : cas du son pur $< 400\text{Hz}$

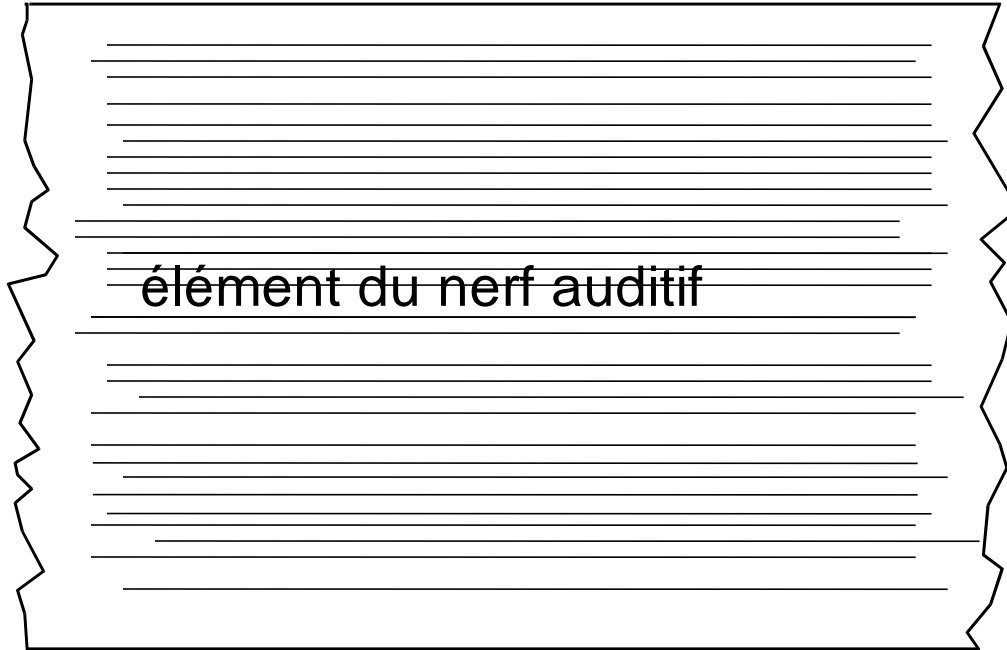
son C 100 Hz 10 dB



élément du nerf auditif

exemples : son pur $F < 400\text{Hz}$

son D 100 Hz 40 dB



codage des sons complexes : parole

- codage tonal associe plusieurs fibres
caractérise un son

exemple :

voyelle "e" définie par 3 pics de F

+ codage synchronisé pour basses F

Conclusion : CODAGE EN FREQUENCE

- 1 résonance mécanique sélective de la MB
- 2 rôle des cce augmentation de la sélectivité par feed-back (rétro-action)
- 3 tonotopie augmentation de la sélectivité le long des voies nerveuses
- 4 $F < 400\text{Hz}$ PA synchro prop à F

CODAGE EN SONIE

- < 80 dB - F des PA prop à la sonie
 - nb de fibres prop à la sonie
- > 80 dB potentiel de **sommation** des CCI

FONCTION SENSORIELLE - AUDITION

I fonction sensorielle

II paramètres physiques

III paramètres physiologiques

IV anatomie

V transduction

VI voies nerveuses

VII exploration de l'audition

VII exploration de l'audition

A - généralités

B - tests subjectifs

1 - acoumétrie

2- audiométrie

C - tests objectifs

D - exposition aux bruits

VII EXPLORATION DE L'AUDITION

A généralités

objectifs :

- dépistage des surdités
- préciser type et degré
- estimer les possibilités d'appareillage

4 types de surdités :

- S de **TRANSMISSION** :
 - atteinte du capteur (OE-OM)
- S de **PERCEPTION**
 - atteinte du transducteur (cochlée)
 - . S rétrocochléaire : voies nerveuses
 - . S centrale : centres nerveux

A généralités

2 types d'explorations :

- **SUBJECTIVE** : participation active du sujet

(compréhension, bonne foi)

- **OBJECTIVE** :

sans participation active du sujet

VII exploration de l'audition

A - généralités

B - tests subjectifs

1 - acoumétrie

2- audiométrie

C - tests objectifs

D - exposition aux bruits

B - tests subjectifs 1 - acoumétrie

a - phonique :

compréhension de syllabes
chuchotées

b - instrumentale :

diapasons de différentes F

- durée de la conduction osseuse dCO

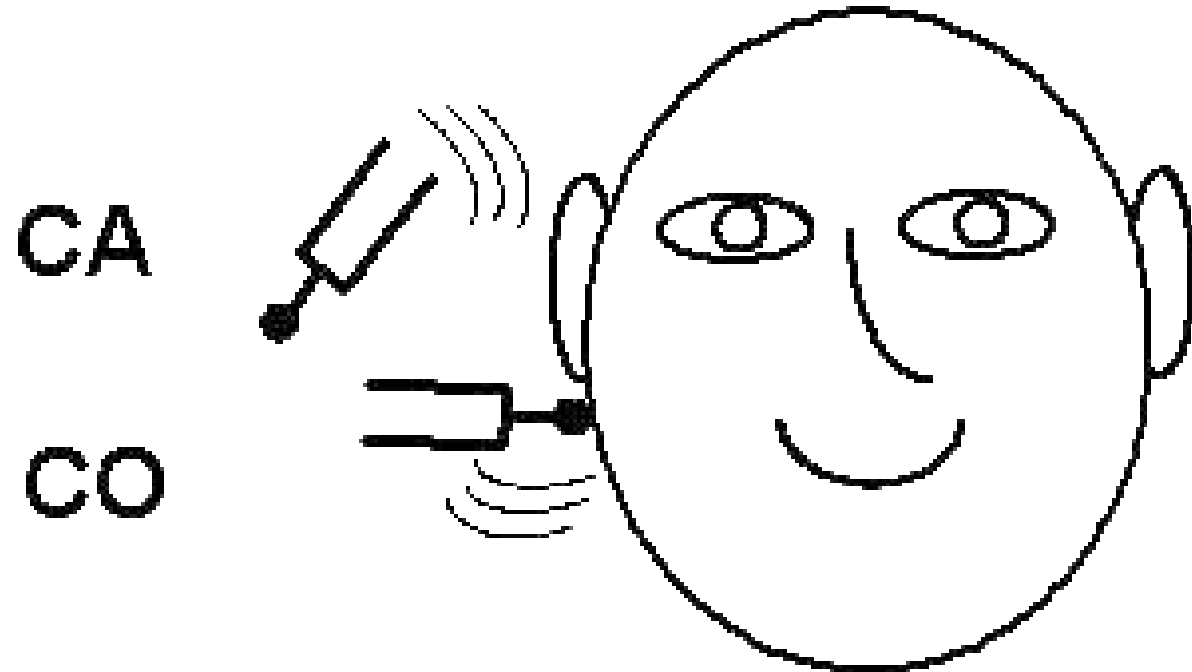
- durée de la conduction aérienne dCA

rem :

durée de vibration d'un diapason = cte

1 ACOUMETRIE b - instrumentale :

- épreuve de RINNE :



- épreuve de RINNE :

comparaison des C aérienne et osseuse
normal : $dCA / dCO = 3$

S de transmission

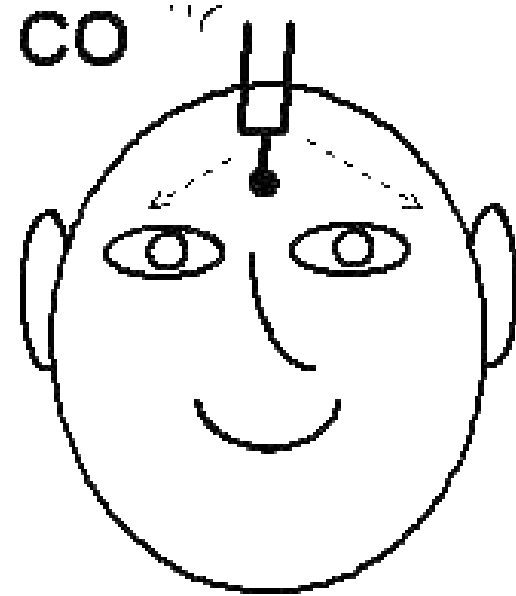
dCA diminuée

dCO inchangée : $dCA / dCO = 1$

S de perception dCA et dCO diminuées //

1 ACOUMETRIE b - instrumentale :

- test de WEBER : conduction osseuse



S de perception : entend du côté sain

S de transmission :
entend du côté malade (compensation)

VII exploration de l'audition

A - généralités

B - tests subjectifs

1 - acoumétrie

2- audiométrie

C - tests objectifs

D - exposition aux bruits

B tests subjectifs

2 audiométrie

* audiométrie tonale liminaire

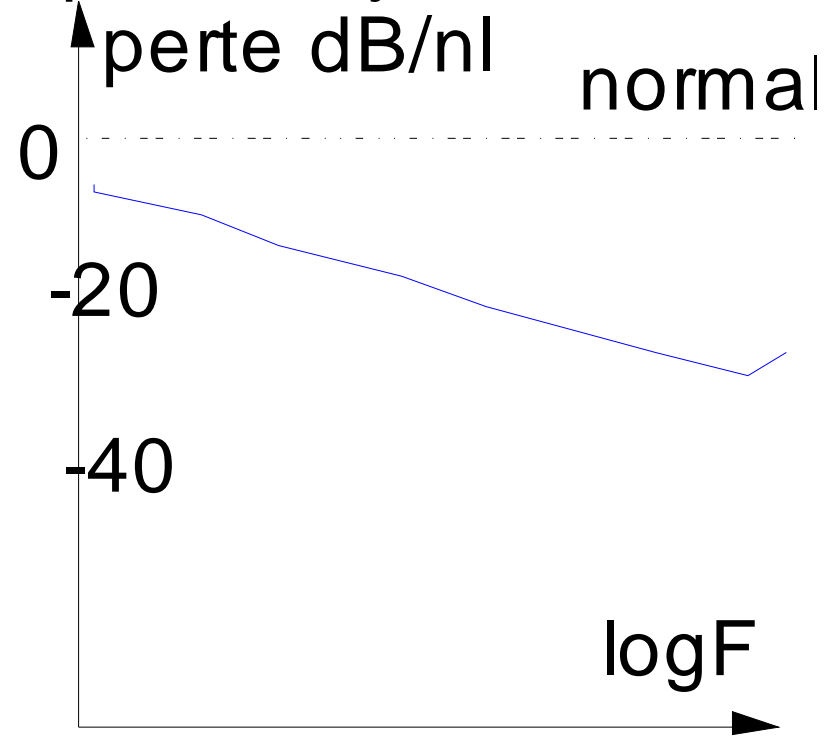
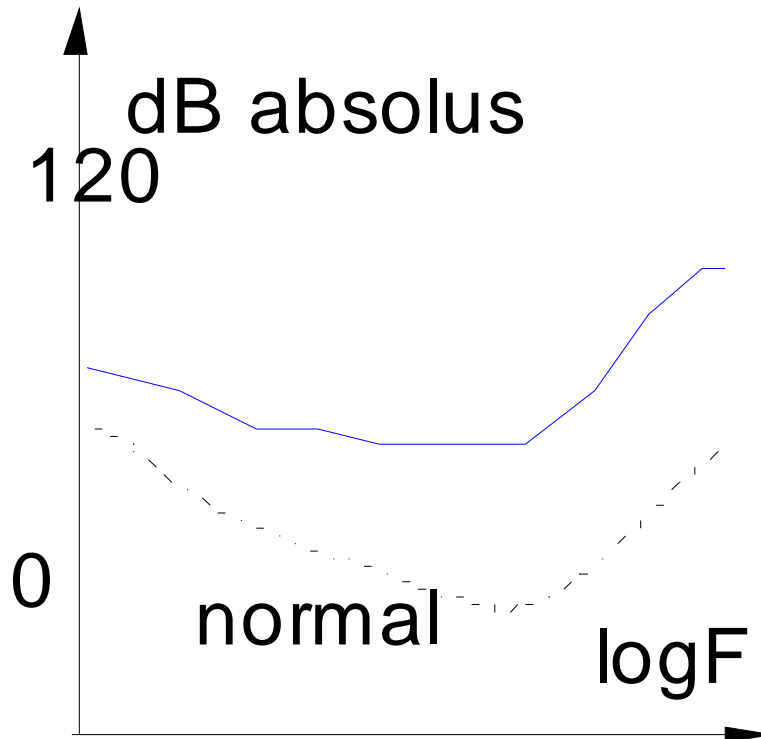
courbe seuil d'audibilité fonction de F, son pur

- CA (casque)

- CO (vibrateur sur mastoïde)

pour chaque côté

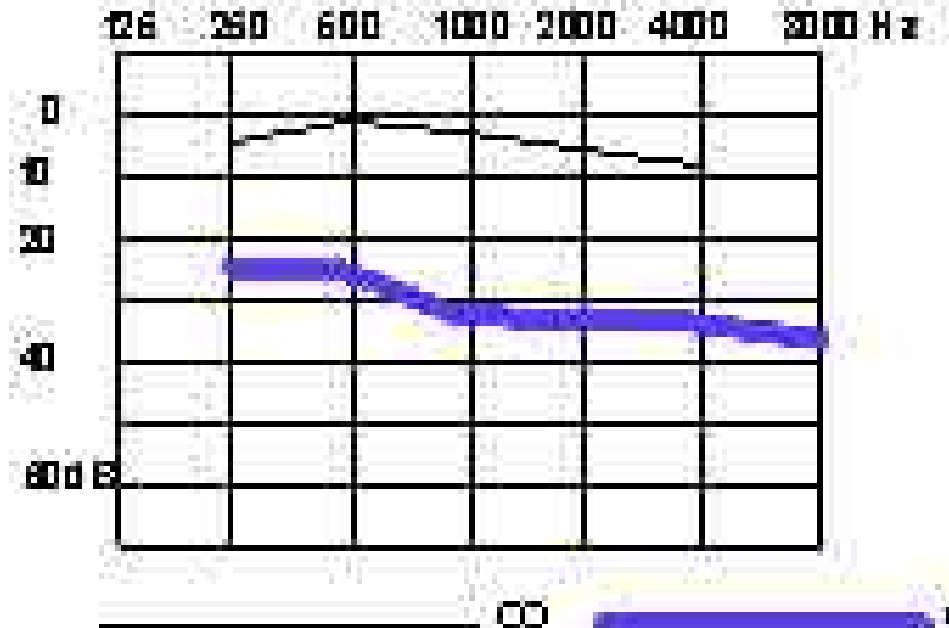
résultat en dB absolu ou perte / sujet normal



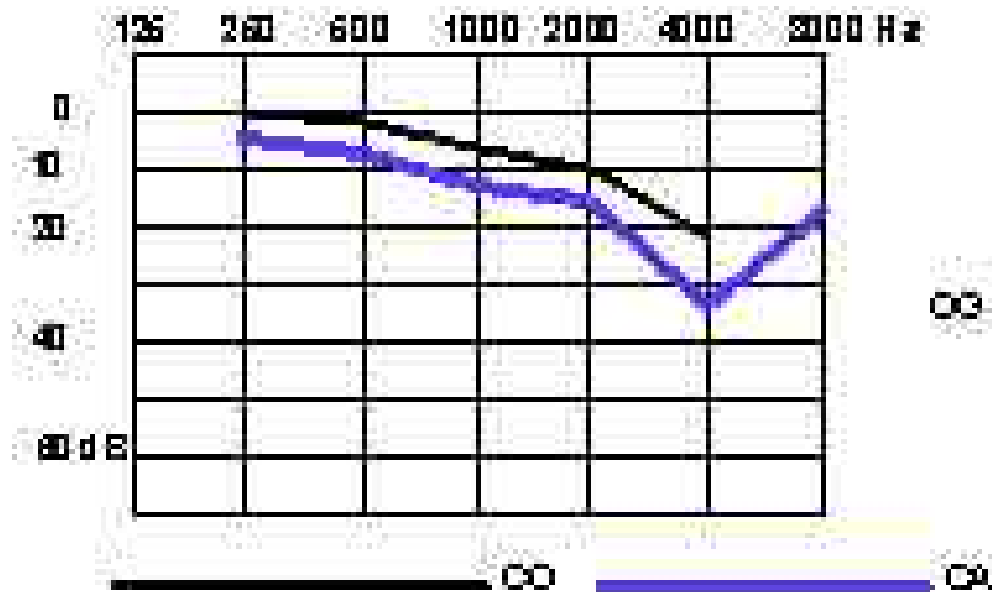
audiométrie
tonale liminaire
exemples :

CO

S transmission



S perception



B tests subjectifs

2 audiométrie

* audiométrie tonale supra-liminaire

recherche des distorsions (lésion OI)

mise en évidence d'un recrutement anormal

diminution du champ auditif tonal :

- élévation du seuil absolu
- abaissement du seuil douloureux

- **épreuve de FOWLER** :

hyp : surdité unilatérale

comparaison des sonies D-G à différents niveaux en dB

- épreuve de FOWLER :

hyp : surdité unilatérale

comparaison des sonies D-G à différents niveaux

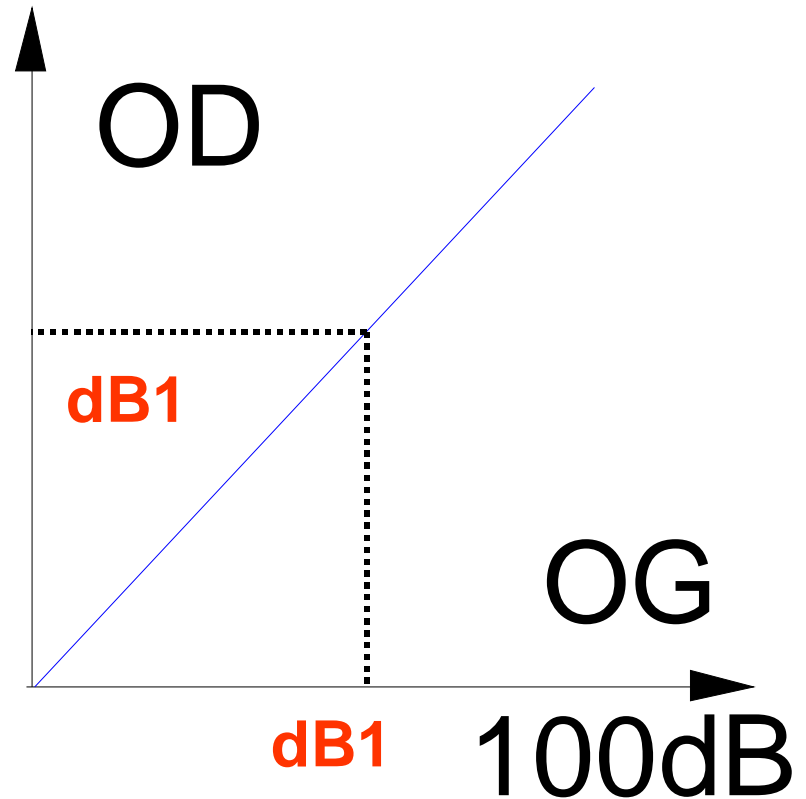
sujet normal

pour 1 niveau

dB OG

même niveau OD

100dB



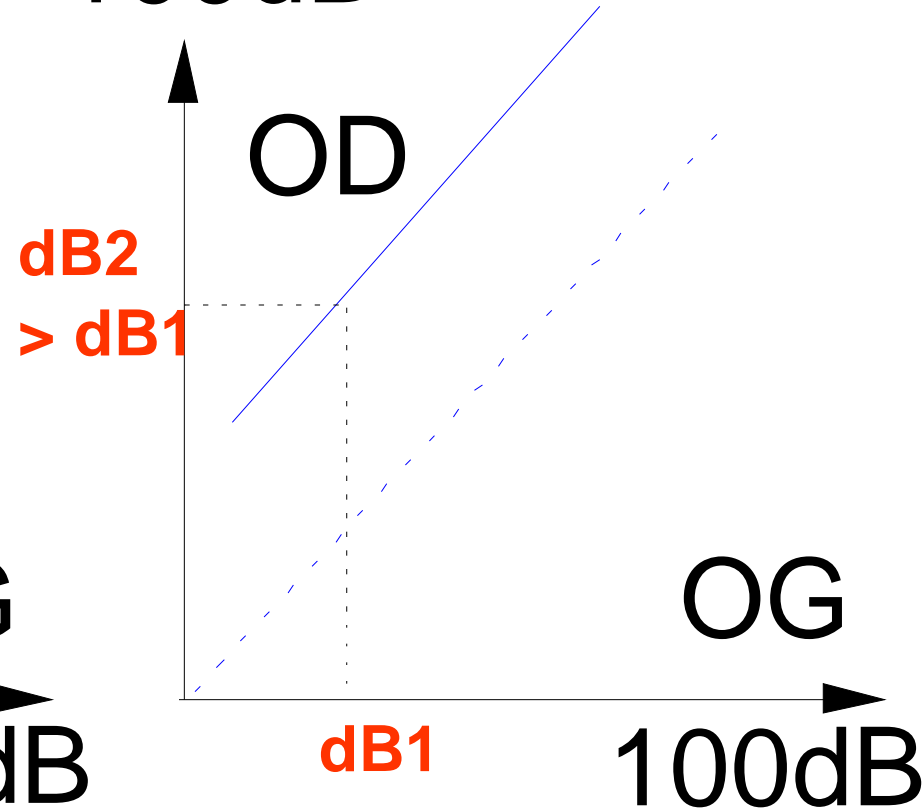
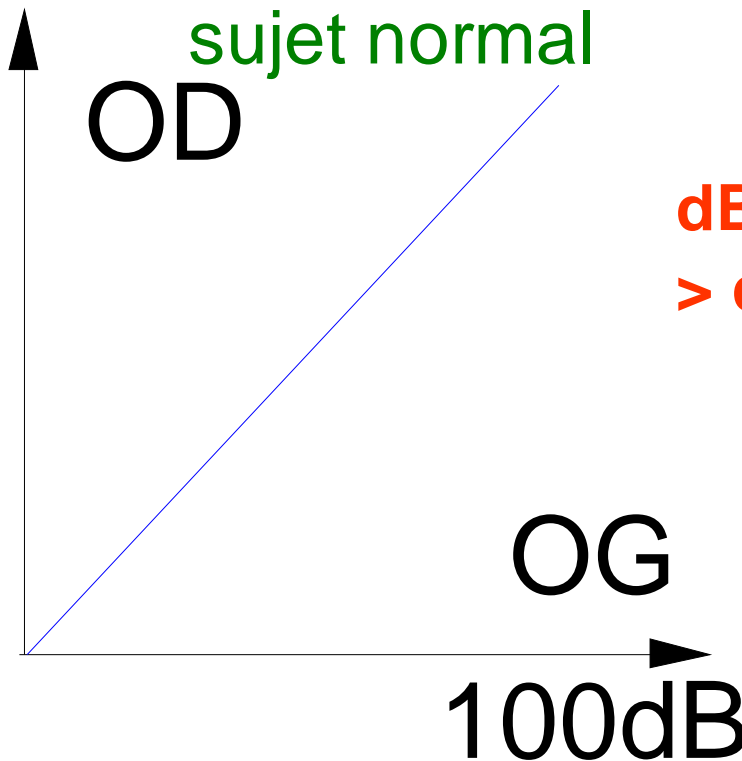
- **épreuve de FOWLER** :

hyp : surdité unilatérale

comparaison des sonies D-G à différents niveaux

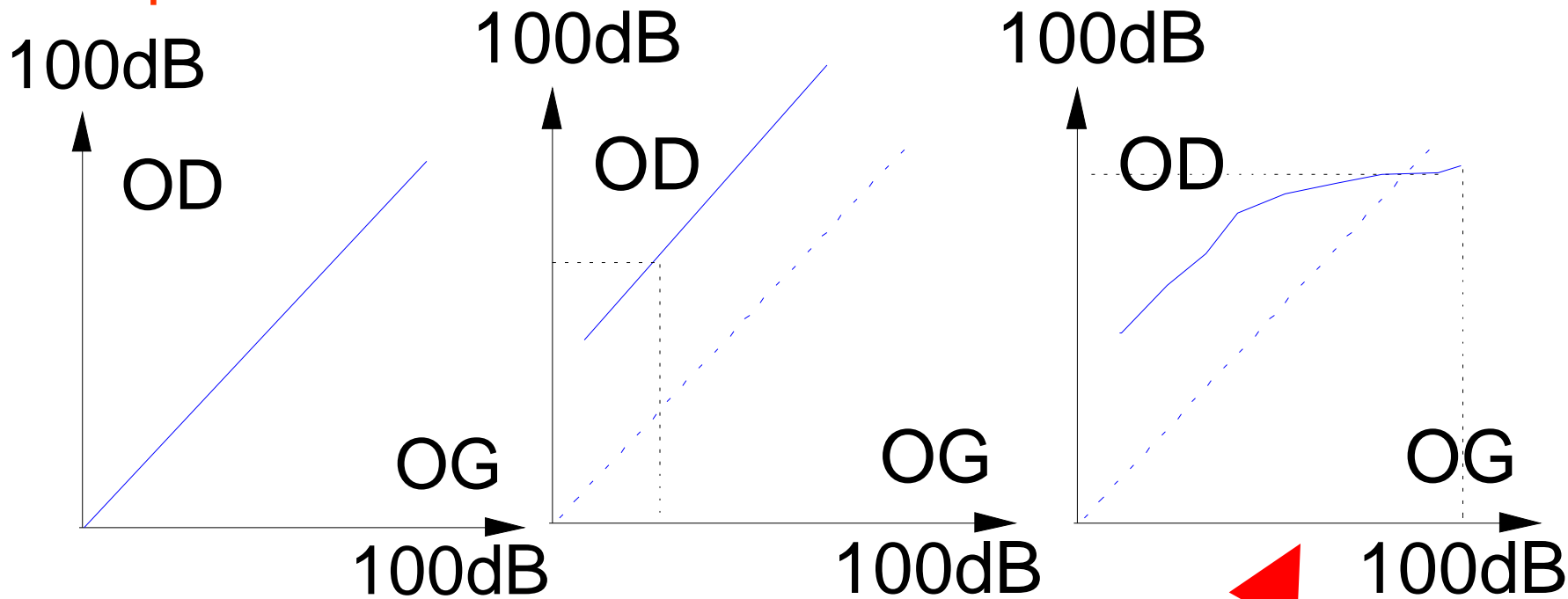
100dB

100dB



S de transmission OD
absence de recrutement

épreuve de FOWLER



normal

S transmission D

S perception OD avec recrutement :
un son de 80dB est entendu plus intense
à D qu'à G

B tests subjectifs

2 audiométrie

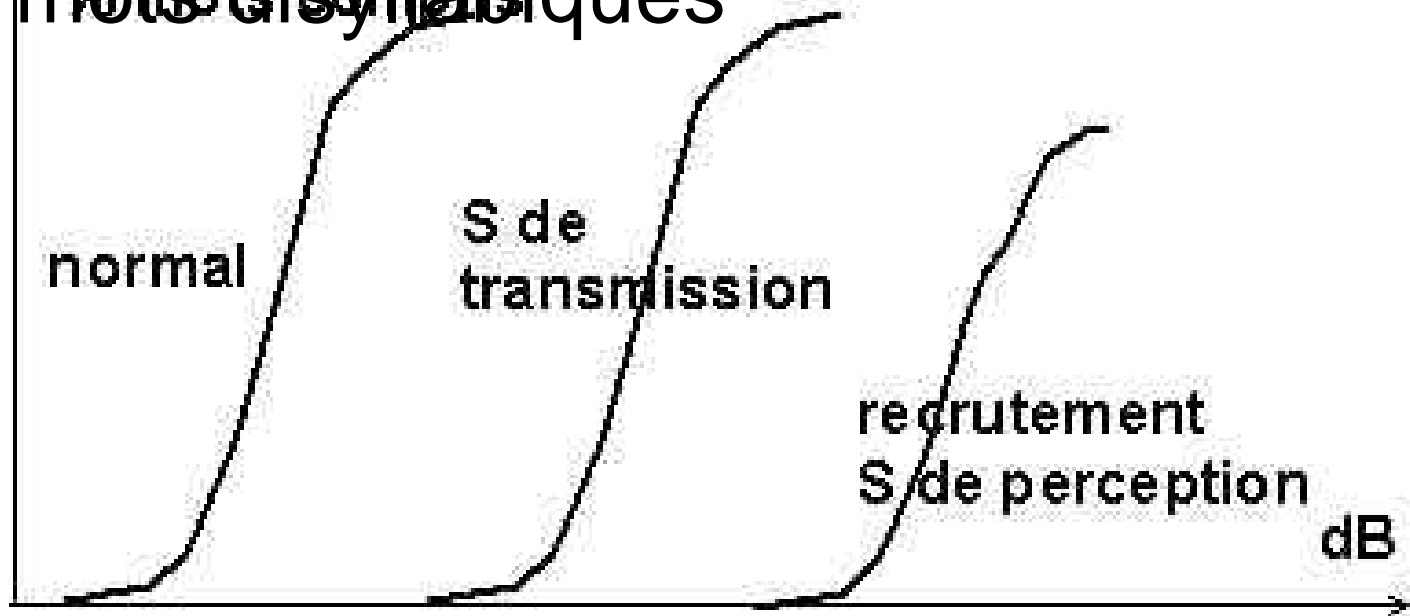
audiométrie tonale supra-liminaire

épreuve d'intelligibilité vocale :

évalue le degré d'invalidité

évaluation des puissances acoustiques
(dB)

nécessaire à l'intelligibilité d'un pourcentage
de mots disyllabiques



VII exploration de l'audition

A - généralités

B - tests subjectifs

1 - acoumètrie

2- audiométrie

C - tests objectifs

D - exposition aux bruits

C - tests objectifs

- 1- PA global : **électrochocléogramme**
électrode sur F Ronde (anesthésie)
réponses moyennées à une stimulation
- 2 - **P évoqués auditifs primaires**
potentiels de l'aire auditive corticale (difficile)
- 3 - **P évoqués diffus**
eeg sur cuir chevelu
P présent = intégrité des voies nerveuses

C - tests objectifs

4 - **réflexe stapédien**

stimulation auditive douloureuse

observe réponse controlatérale :

tympanomètre (réflexe bilatéral symétrique)

5 **TYMPANOMETRIE**

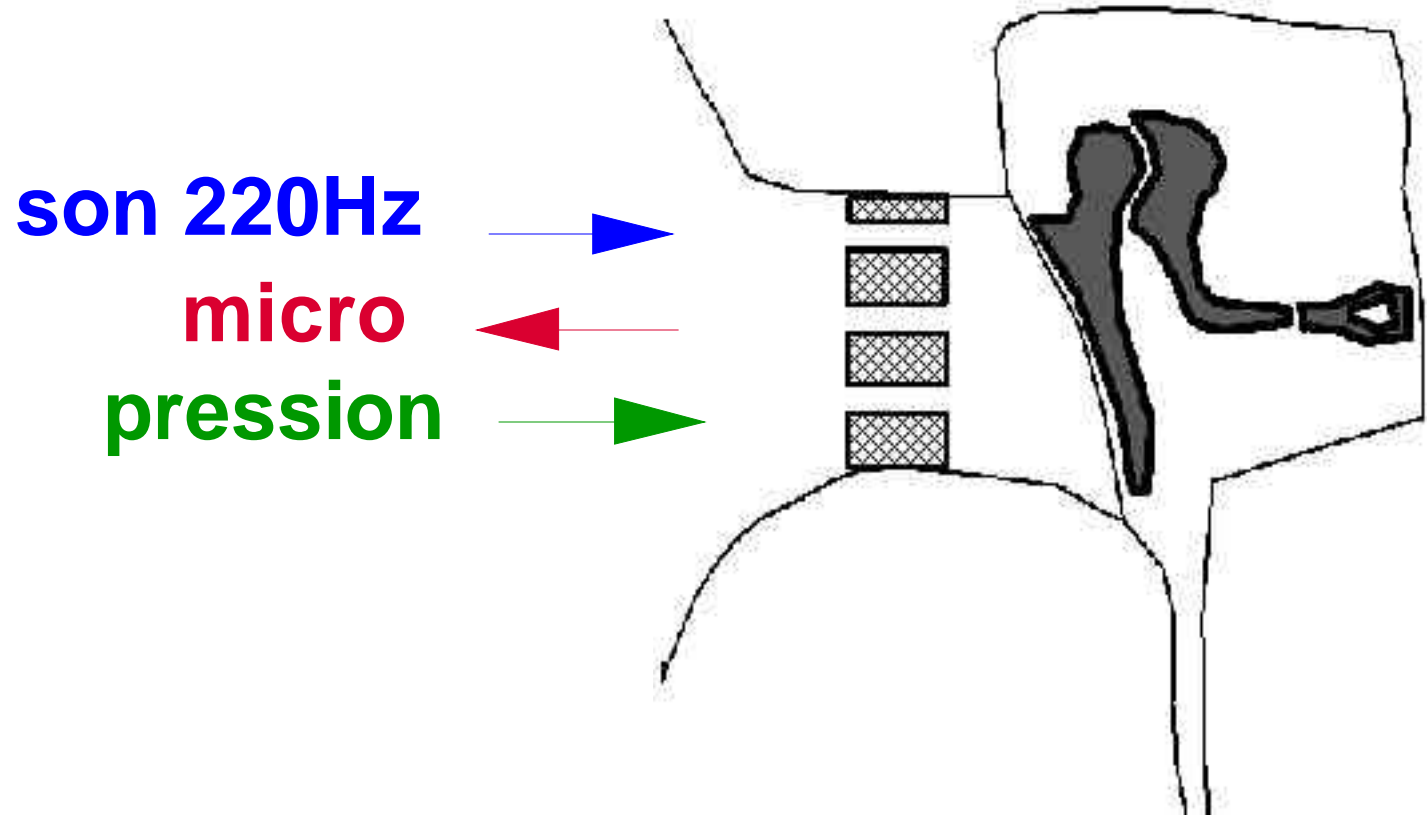
test de la compliance tympano-ossiculaire

mesure écho par le tympan

diagnostic de présence de liquide dans l'OM

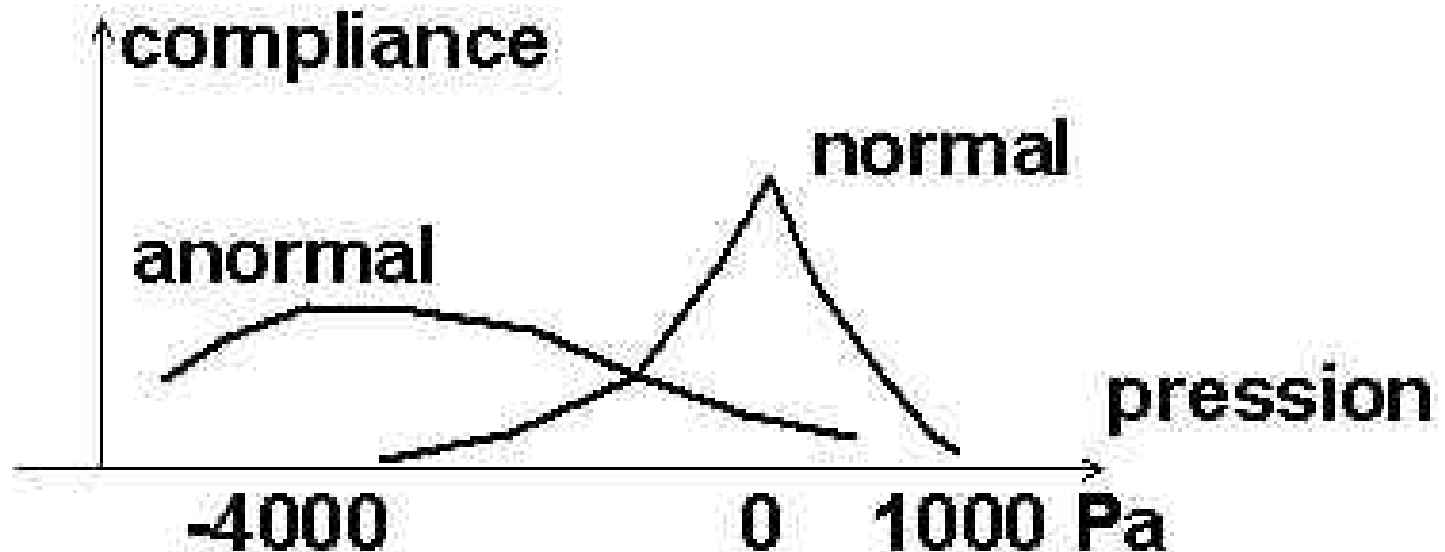
5 TYMPANOMETRIE

test de la compliance tympano-ossiculaire
mesure écho par le tympan
diagnostic de présence de liquide
dans l'OM



5 TYMPANOMETRIE

test de la compliance tympano-ossiculaire
mesure écho par le tympan
diagnostic de présence de liquide dans
l'OM



RESULTATS

* **S de transmission** (lésion capteur)

CA **altérée** surtout dans les graves
(otites X, otospongiose)

CO **normale**

appareillage **efficace**

* **S de perception** (lésion cochlée)

CA et CO **altérées** surtout sons aiguës

recrutement ++

appareillage **difficile**

> implants cochléaires si voies nerveuses
intactes

VII exploration de l'audition

A - généralités

B - tests subjectifs

1 - acoumétrie

2- audiométrie

C - tests objectifs

D - exposition aux bruits

C effets pathologiques du bruit

* sur OI

- fatigue auditive : fonctionnel, réversible
- traumatisme : irréversible (lésion Corti)
- S de perception - perte vers 4 kHz puis s'étend
 - recrutement

causes : professionnelle, accidentelle

* sur OM : tympan :

onde de choc suivant une déflagration

les illustrations de R Pujol sont reproduites avec l'aimable autorisation de l'auteur

(www.cochlee.info)