

# P2: Perception auditive



Daniel Pressnitzer

Laboratoire des Systèmes Perceptifs, CNRS  
& Département d'études cognitives, Ecole normale supérieure  
29 rue d'Ulm, 75230 Paris cedex 05

[daniel.pressnitzer@ens.fr](mailto:daniel.pressnitzer@ens.fr)

# Plan du cours

## I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

## II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

## III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, timbre

## IV. Analyse des scènes auditives

organisation auditive, musique

## V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

# Plan du cours

## I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

## II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

## III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, timbre

## IV. Analyse des scènes auditives

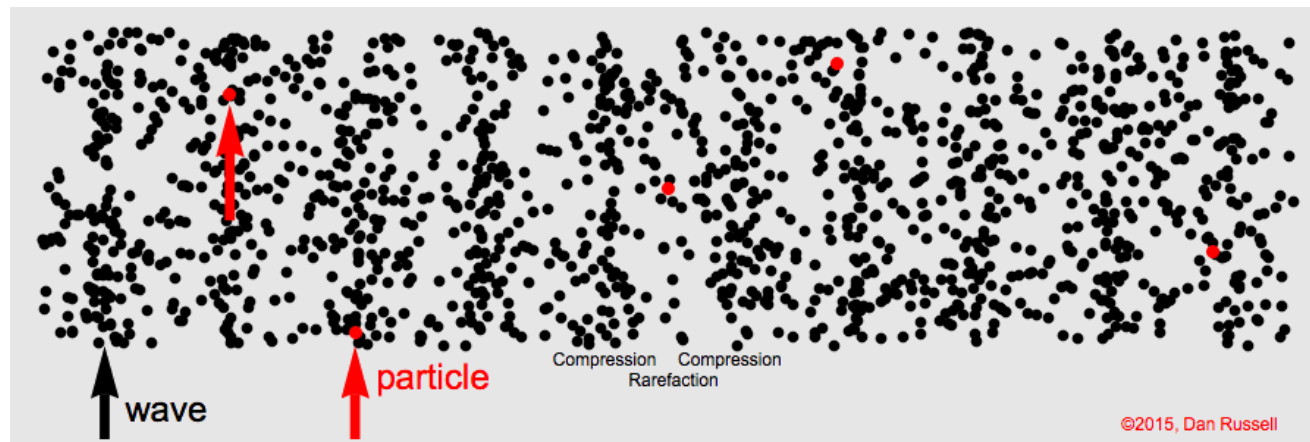
organisation auditive, musique

## V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

# I.1 Acoustique

- Une seule réalité physique
- *Mais multitude de représentations*





# I.1 Acoustique

- Représentation temporelle: pression au cours du temps
- Représentation spectrale: contenu fréquentiel
- Représentations temps/fréquence

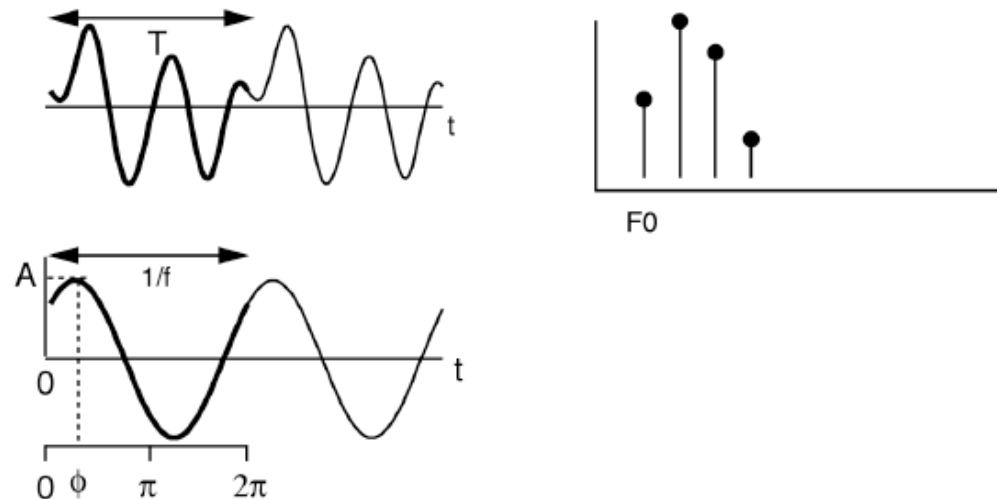
# I.1 Acoustique

- Théorème de Fourier

*Tout son peut être décomposé comme somme de sons purs*

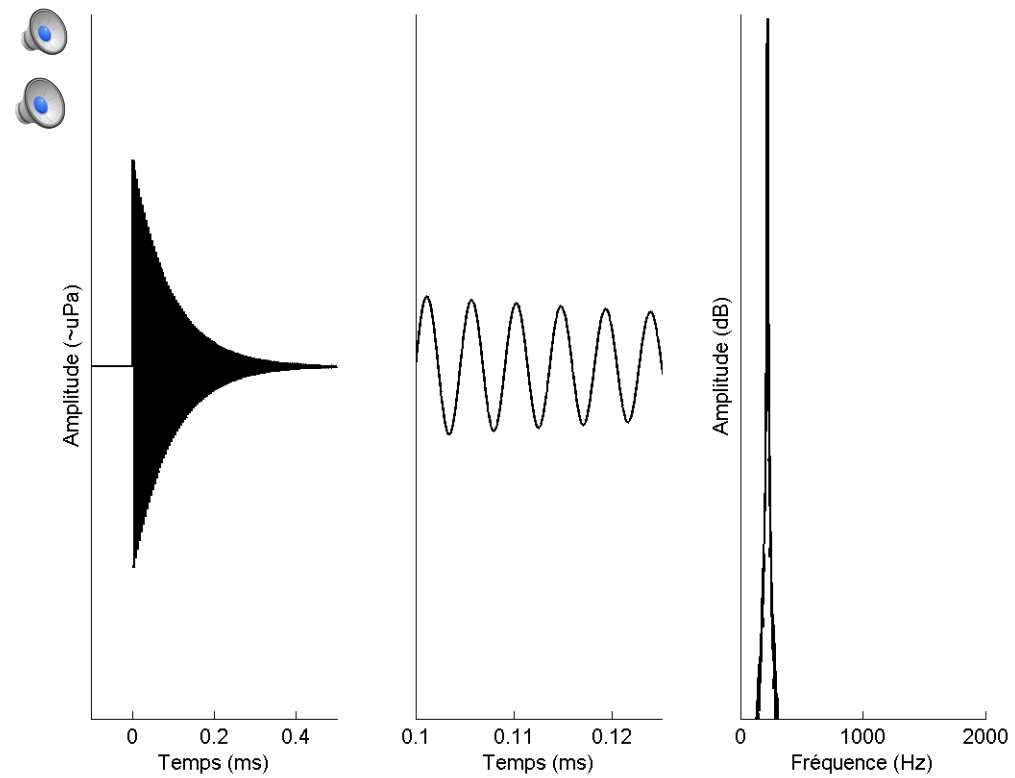


Jean-Baptiste-Joseph Fourier  
(1768-1830)



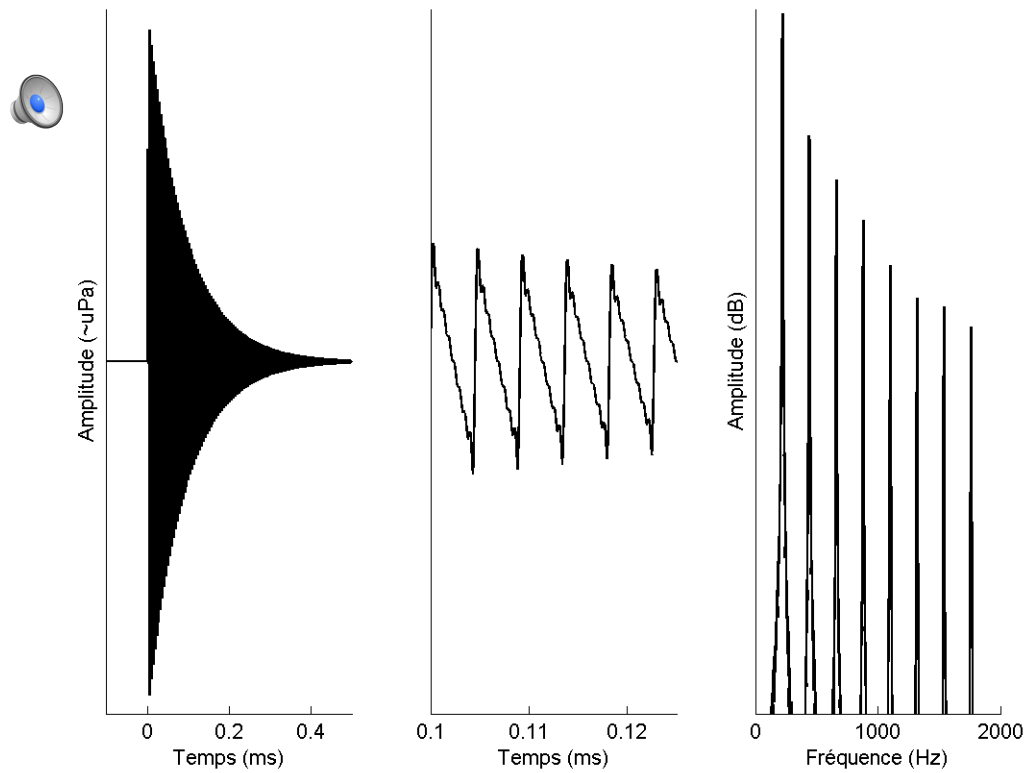
# I.1 Acoustique

## Son pur



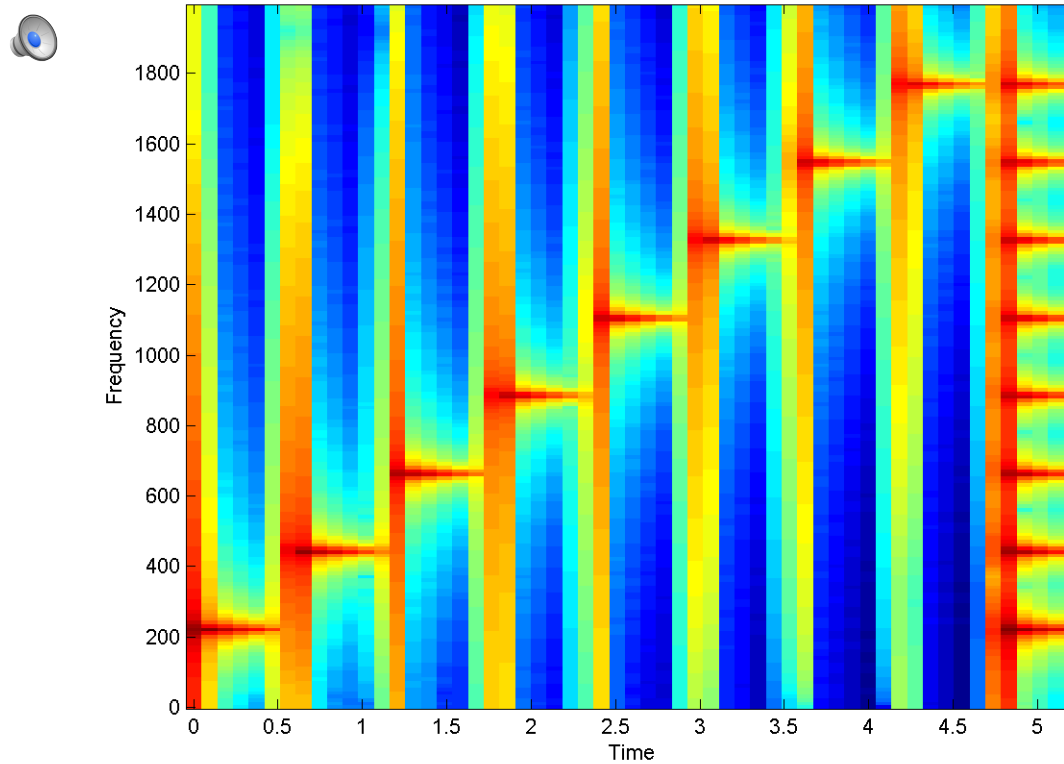
# I.1 Acoustique

## Son complexe



# I.1 Acoustique

## Représentation temps/fréquence



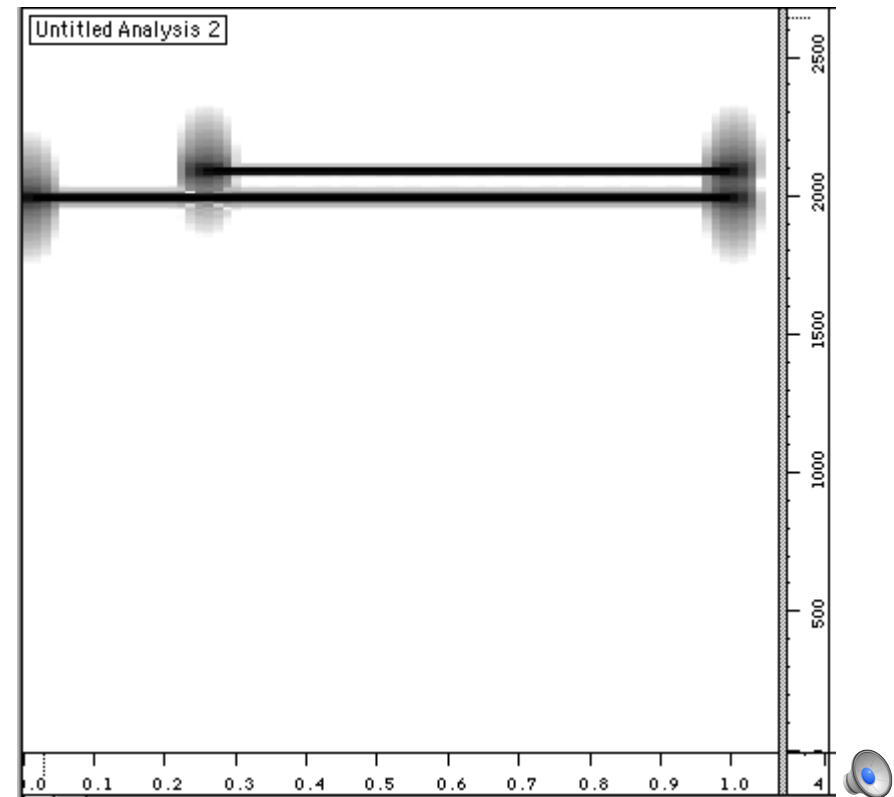
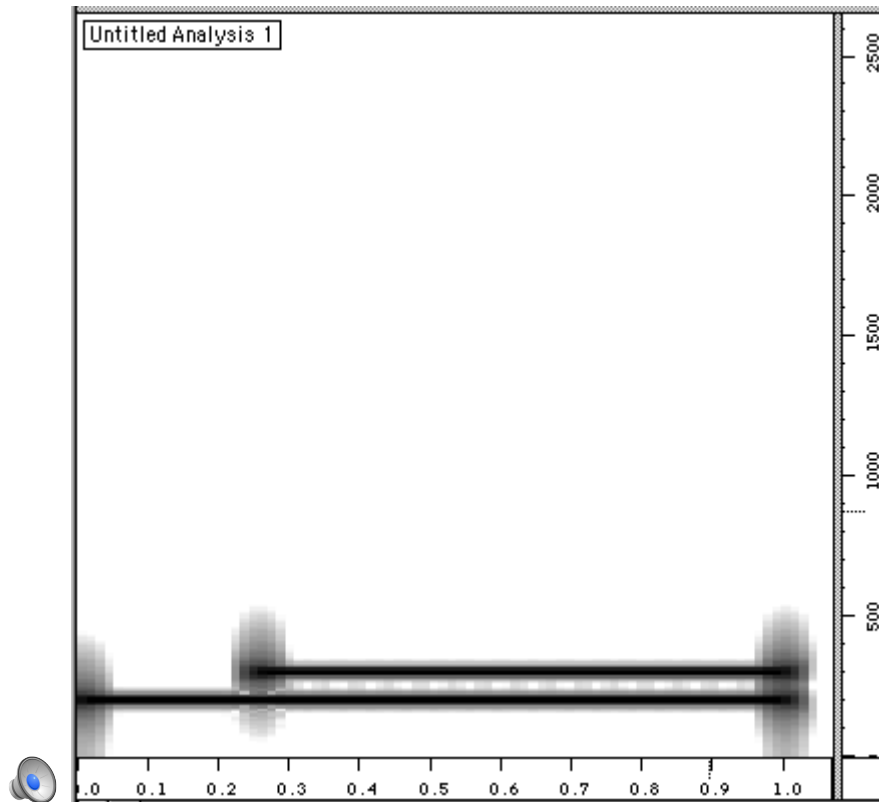
# I.1 Acoustique

## Représentations

- Existence de plusieurs représentations équivalentes
- Prise en compte de la perception?

# I.1 Acoustique

## Représentations



# Plan du cours

## I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

## II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

## III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, timbre

## IV. Analyse des scènes auditives

organisation auditive, musique

## V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte



# I.2 Psychophysique

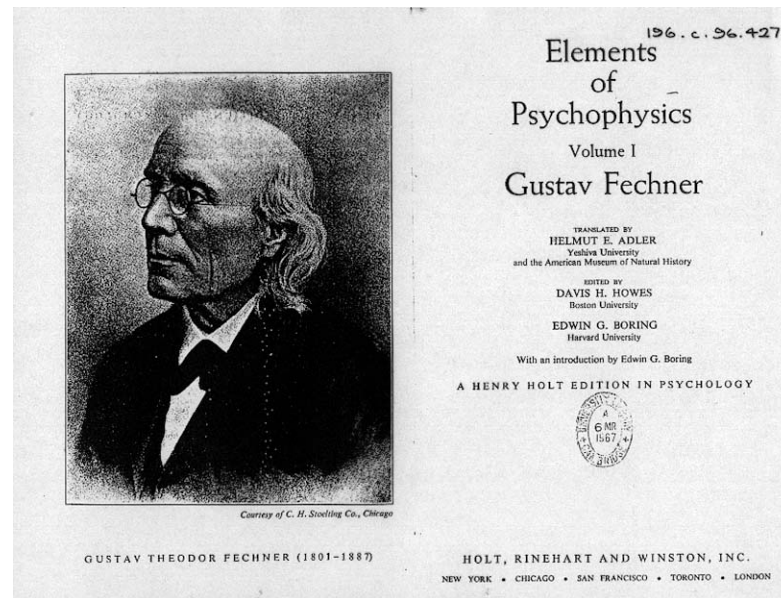
## Introduction

- Lien entre expérience subjective et description physique
- Limites de l' introspection

*Besoin de **méthodes expérimentales** rigoureuses*

# I.2 Psychophysique

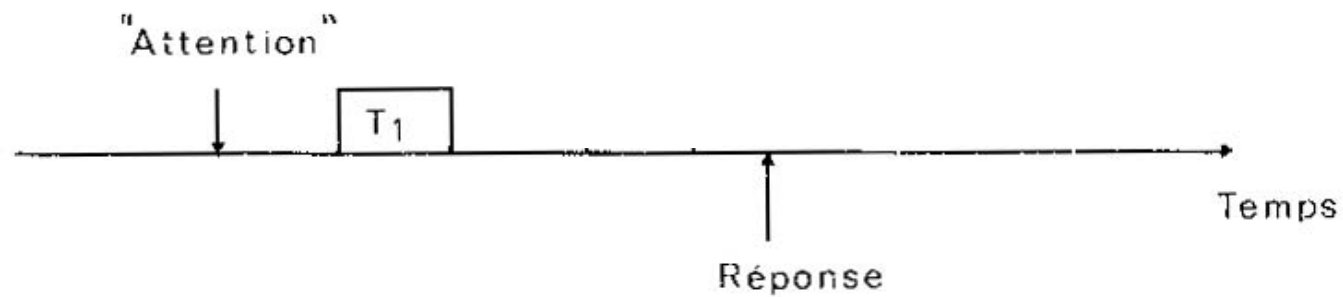
## Introduction



- La « science exacte des relations fonctionnelles ou relations de dépendance entre le corps et l'esprit »

## I.2 Psychophysique

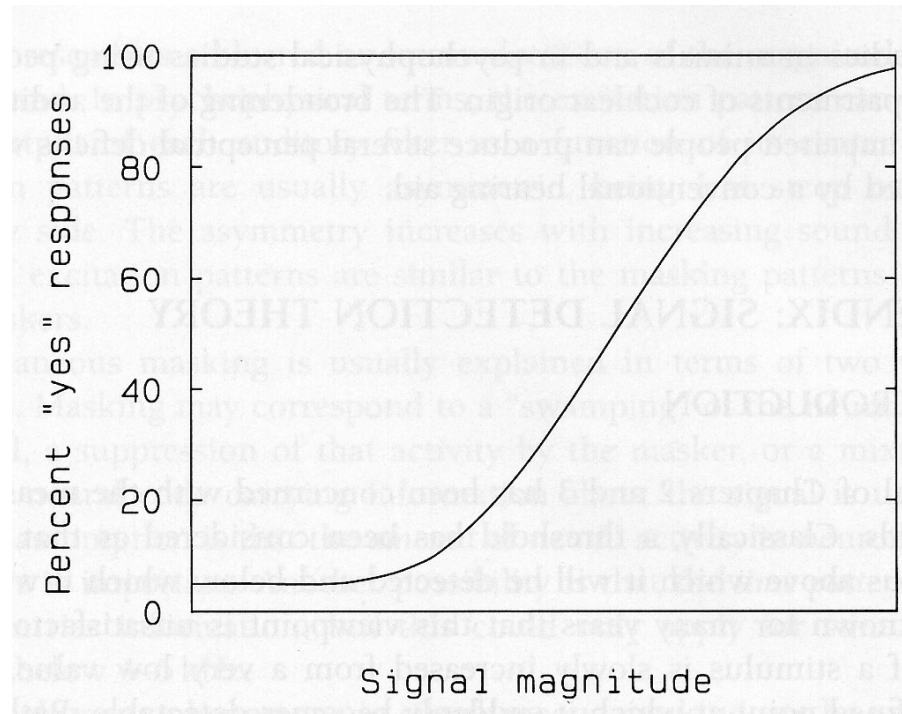
### Seuil de détection



- Mesure de la plus petite "intensité" physique détectable

# I.2 Psychophysique

## Seuil de détection



- Fonction psychométrique
- Seuil défini de façon statistique

## I.2 Psychophysique

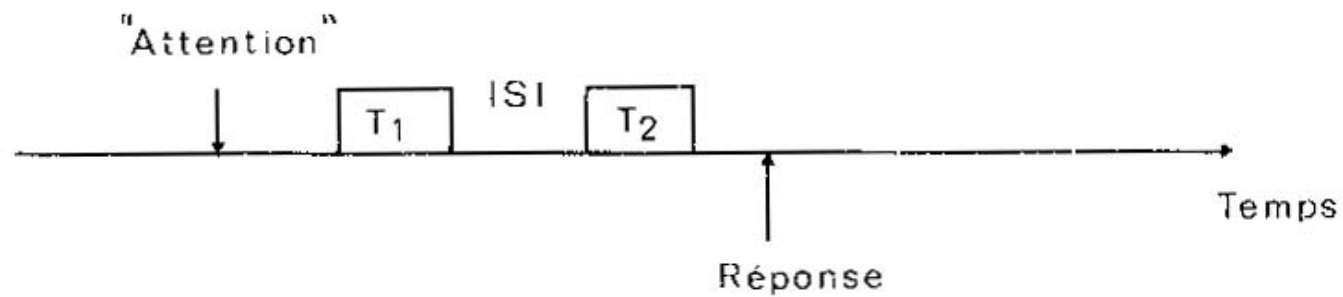
### Loi de Fechner

- Lien entre mesure physique et échelle de sensation

$$S = f(\varphi)$$

# I.2 Psychophysique

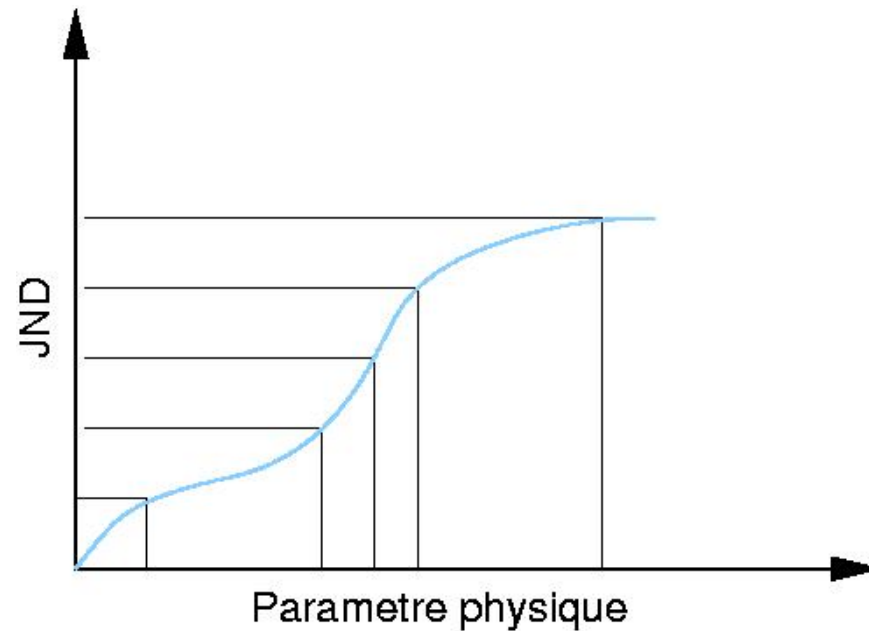
## Loi de Fechner



- Mesure de seuil différentiel

# I.2 Psychophysique

## Loi de Fechner



- Hypothèse: unité de sensation = 1 seuil différentiel
- Si  $\Delta\varphi/\varphi = \text{cte}$  (loi de Weber),  $S \sim \log(\varphi)$

# I.2 Psychophysique

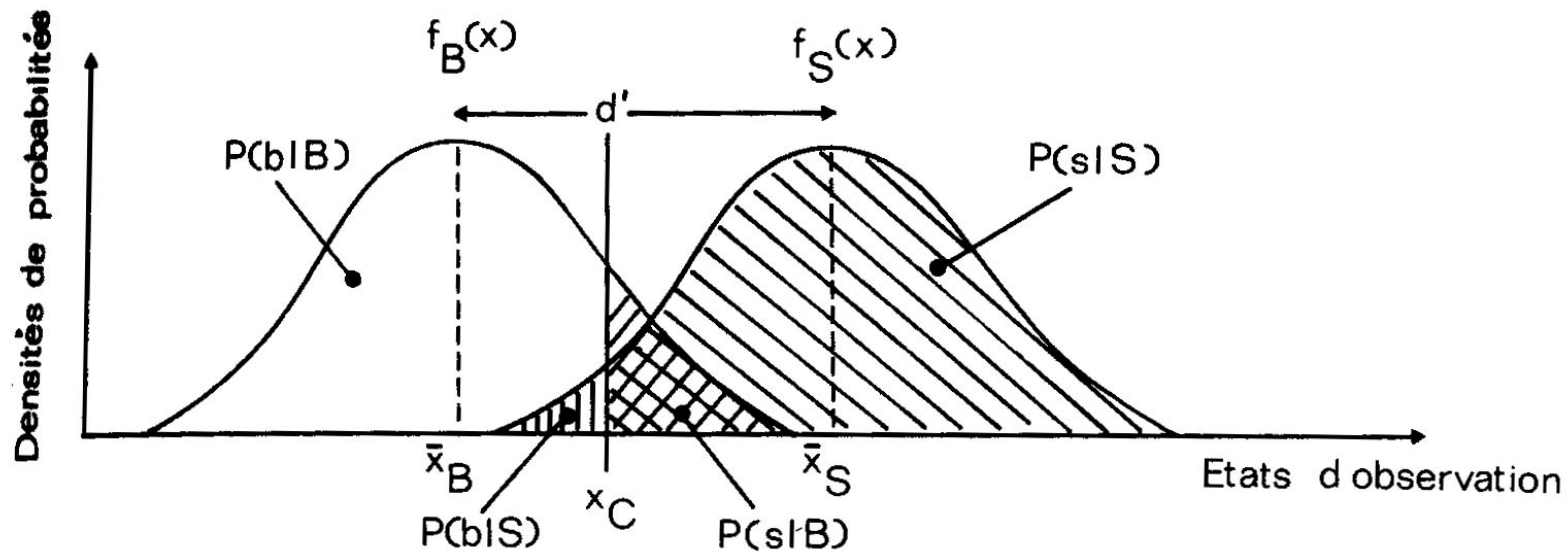
## Théorie de la détection du signal

- Modèle de décision
- Distingue “discriminabilité” de “critère”



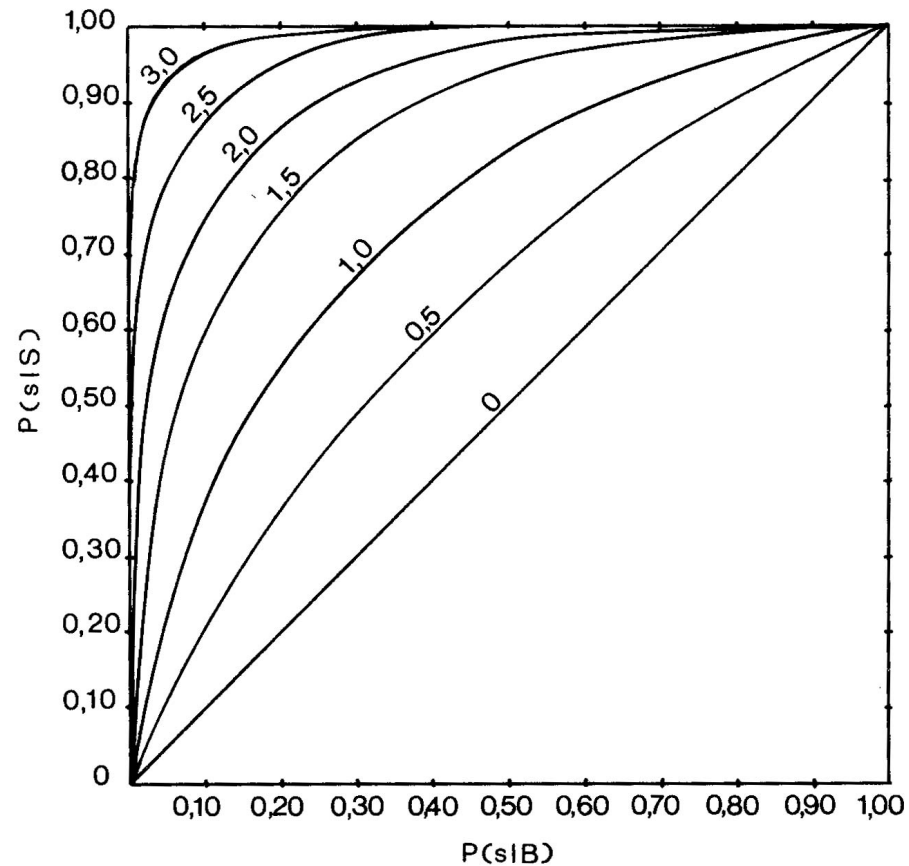
# I.2 Psychophysique

## Théorie de la détection du signal



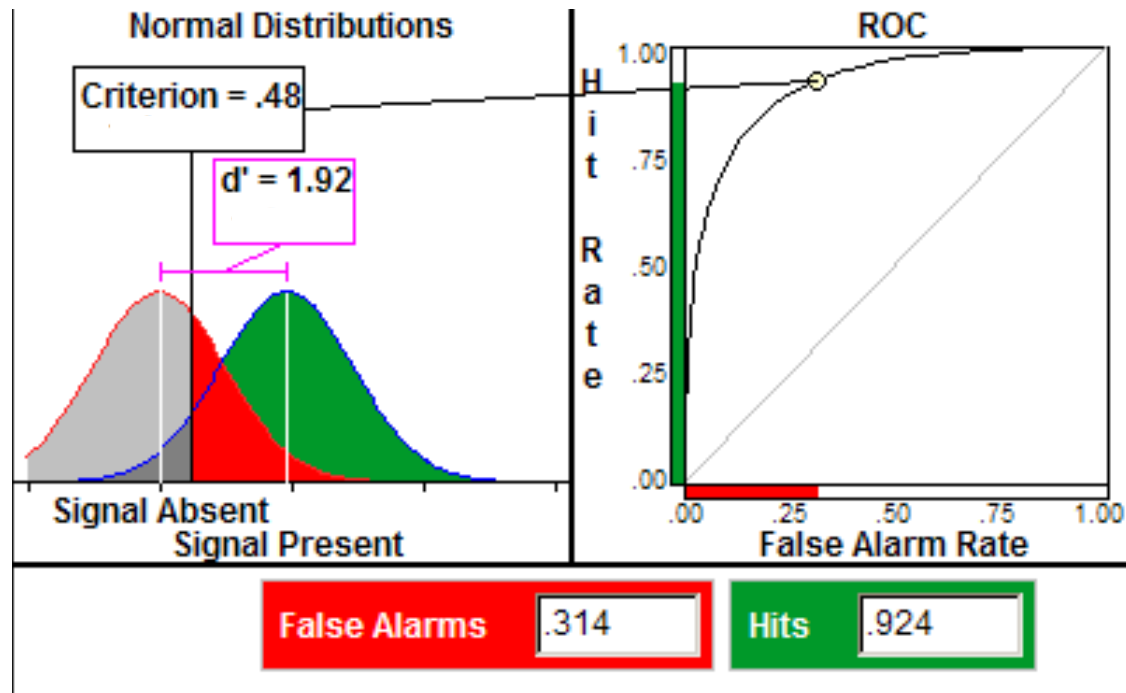
# I.2 Psychophysique

## Théorie de la détection du signal



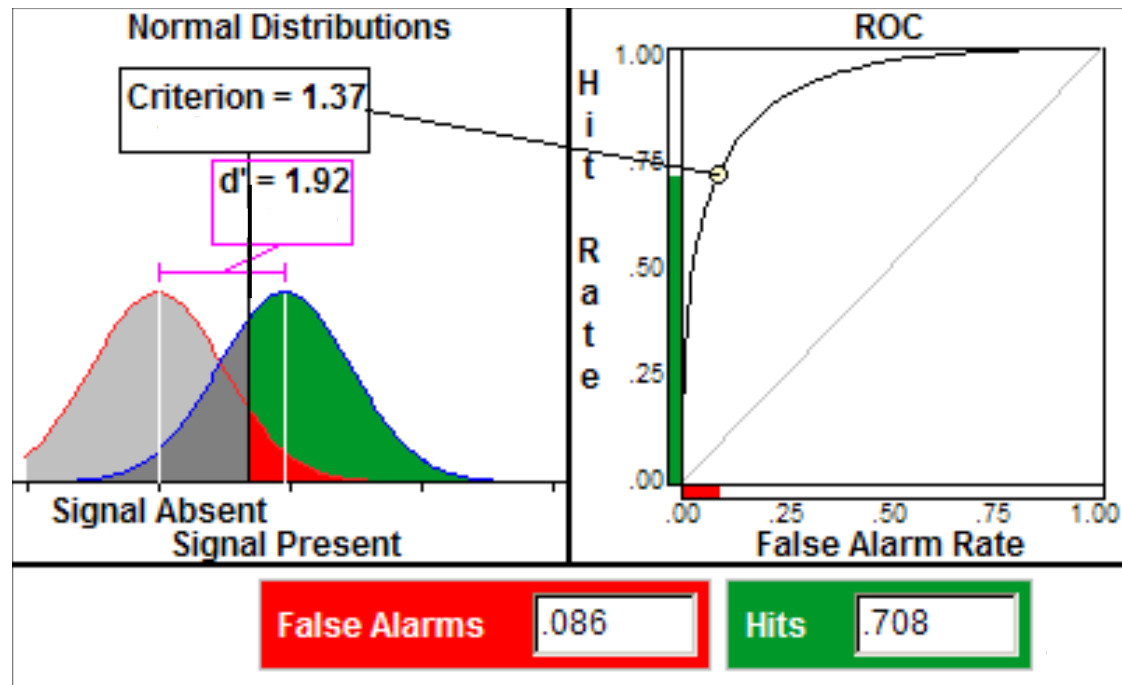
# I.2 Psychophysique

## Théorie de la détection du signal



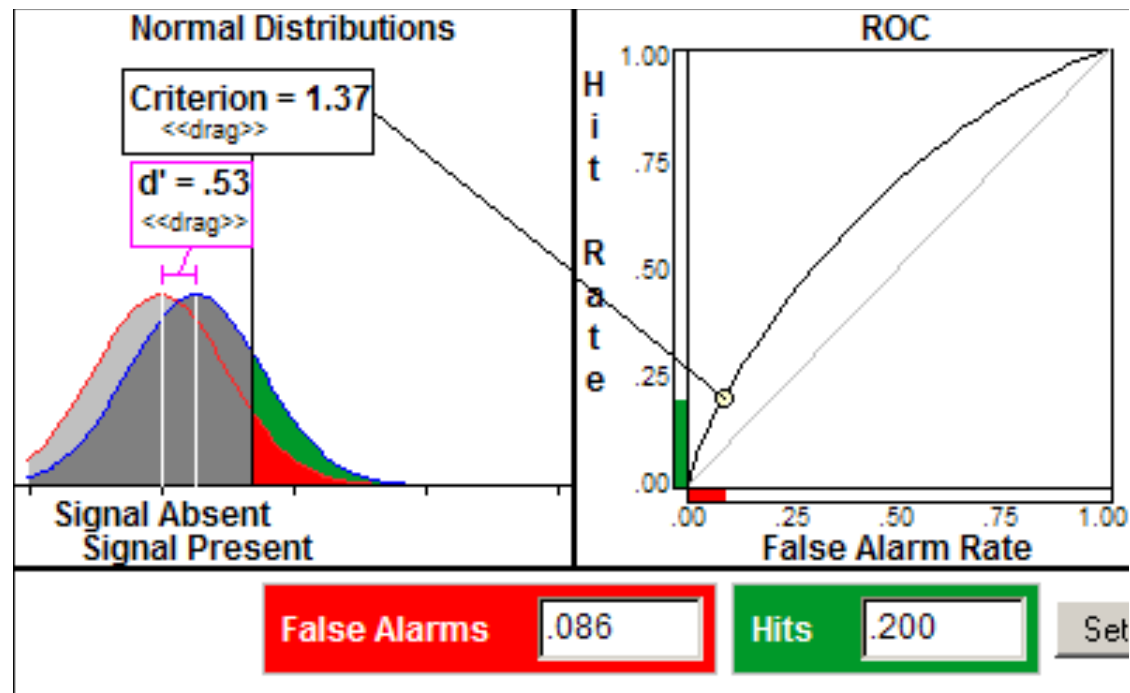
# I.2 Psychophysique

## Théorie de la détection du signal



# I.2 Psychophysique

## Théorie de la détection du signal



# I.2 Psychophysique

## Autres outils

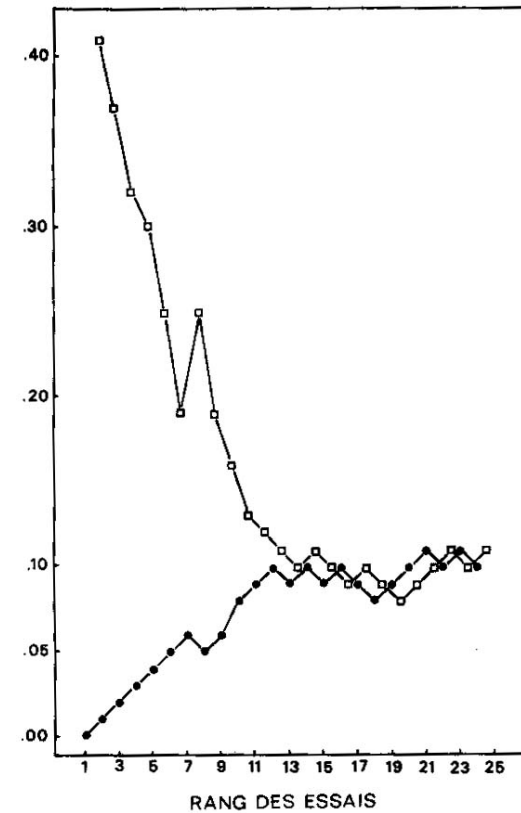
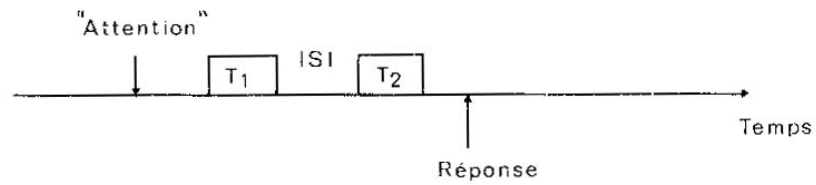
Variable Sensorielle	Exposant	Type de stimulation	Variable Sensorielle	Exposant	Type de stimulation
Sonie	0,6	Son pur à 1000 Hz	Goût	0,8	Saccharine
Vibration	0,95	60 Hz sur le doigt	Goût	1,3	Sucrose
Vibration	0,6	250 Hz sur le doigt	Goût	1,3	Sel
Brillance	0,5	Source ponctuelle, dans l'obscurité	Durée	1,1	Bouffées de bruit blanc
Luminance	1,2	Réflectance de papier gris	Taux de répétition	1,0	Lumière, son, touchers, coups
Vitesse visuelle	1,2	Point lumineux mobile	Ecartement des doigts	1,3	Epaisseur de liteaux de bois
Longueur visuelle	1,0	Lignes lumineuses	Pression sur la paume	1,1	Force statique sur la peau
Surface visuelle	0,7	Carrés lumineux	Force de préhension	1,7	Dynamomètre à main
Odeur	0,55	Parfums de café	Lourdeur	1,45	Poids soulevés
Odeur	0,6	Heptane	Rugosité tactile	1,5	Grain de toile abrasive
Temperature	1,0	Froid sur le bras	Dureté tactile	0,8	Gomme pressée entre les doigts
Temperature	1,5	Chaleur sur le bras	Choc électrique	3,5	60Hz à travers les doigts

Tableau 1 : Liste d'exposants de la fonction puissance de Stevens, avec les grandeurs physiques et sensorielles concernées (d'après Stevens, [28]).

- Estimation directe
- Loi de Stevens:  $S \sim A \phi^k$

# I.2 Psychophysique

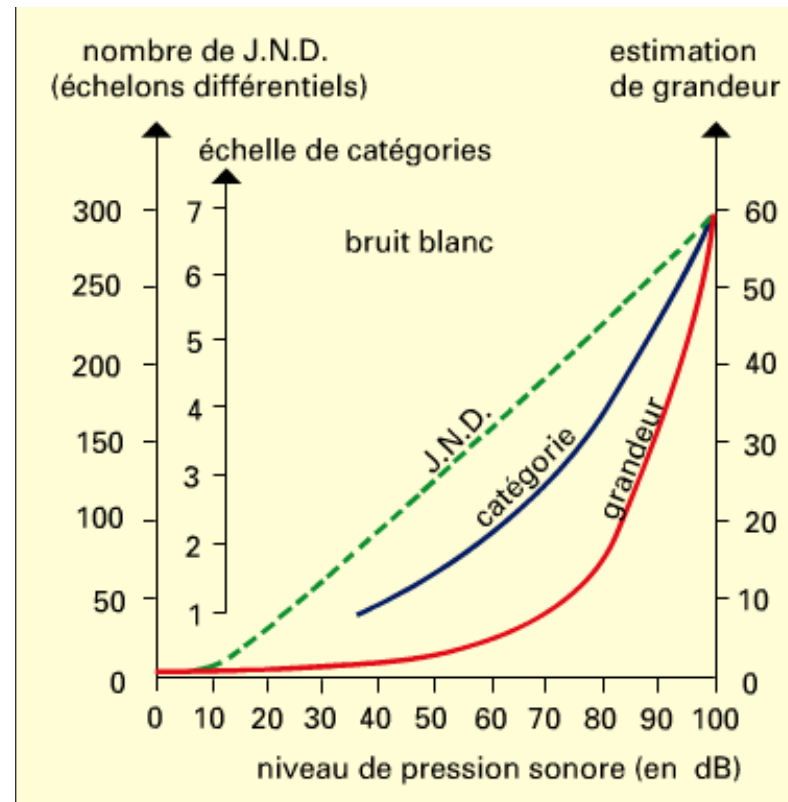
## Autres outils



- Méthode adaptative

# I.2 Psychophysique

## Conclusion



- La méthode de mesure peut influencer le type de loi  
-> une variable *expérimentale* de plus



# Plan du cours

## I. Bases, méthodes et concepts

acoustique, psychophysique, physiologie

## II. Caractéristiques élémentaires et applications

champ audible, masquage, bande critique, non-linéarités, MP3, implants

## III. Attributs perceptifs

sonie, hauteur, timbre

## IV. Analyse des scènes auditives

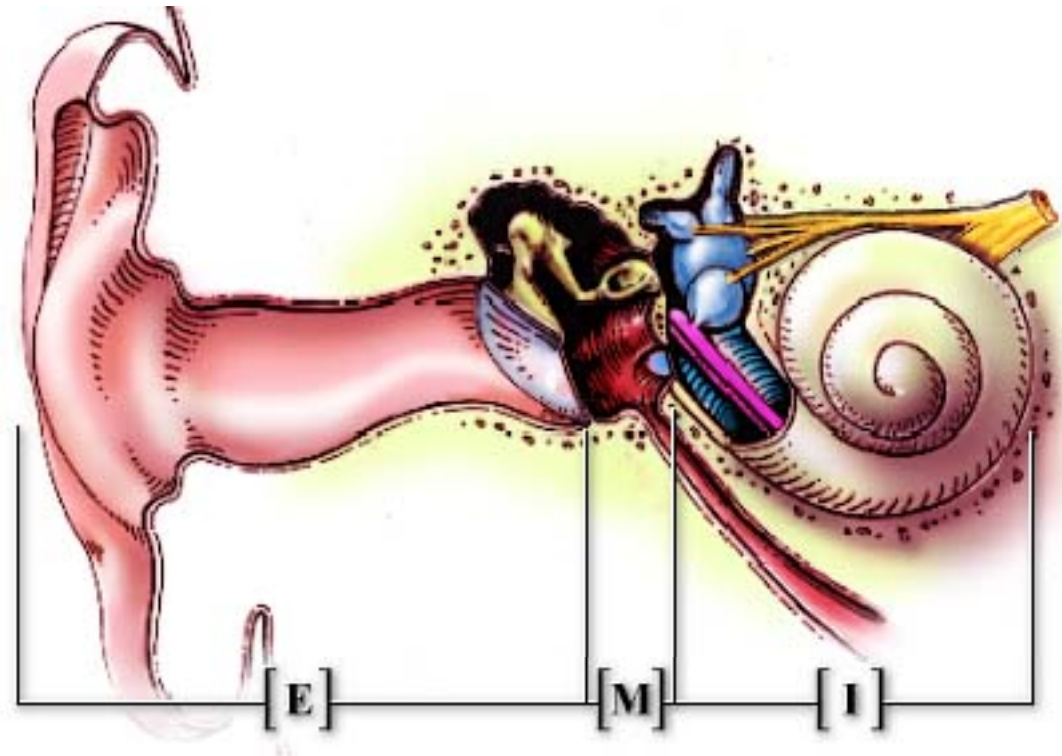
organisation auditive, musique

## V. Etudes en cours

mémoire auditive, effets de contexte

## I.3 Physiologie

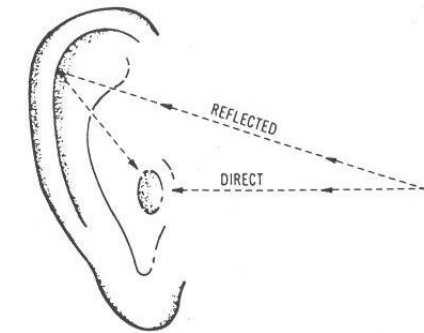
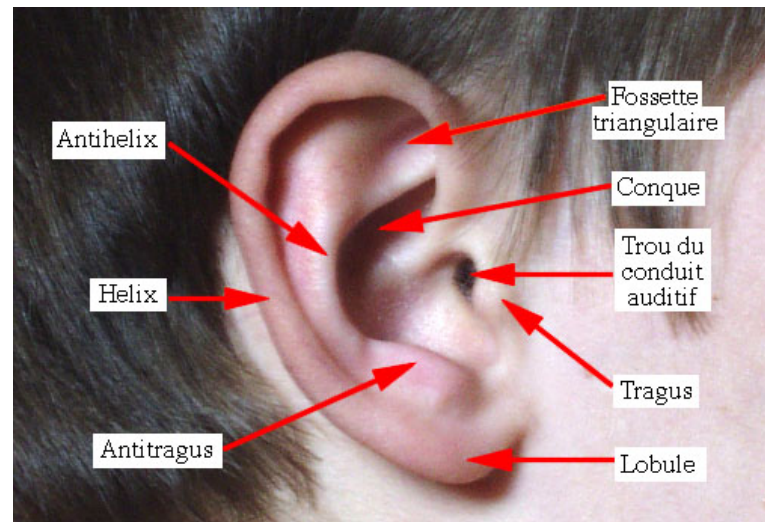
### Système auditif périphérique



- Oreille externe, moyenne, et interne

# I.3 Physiologie

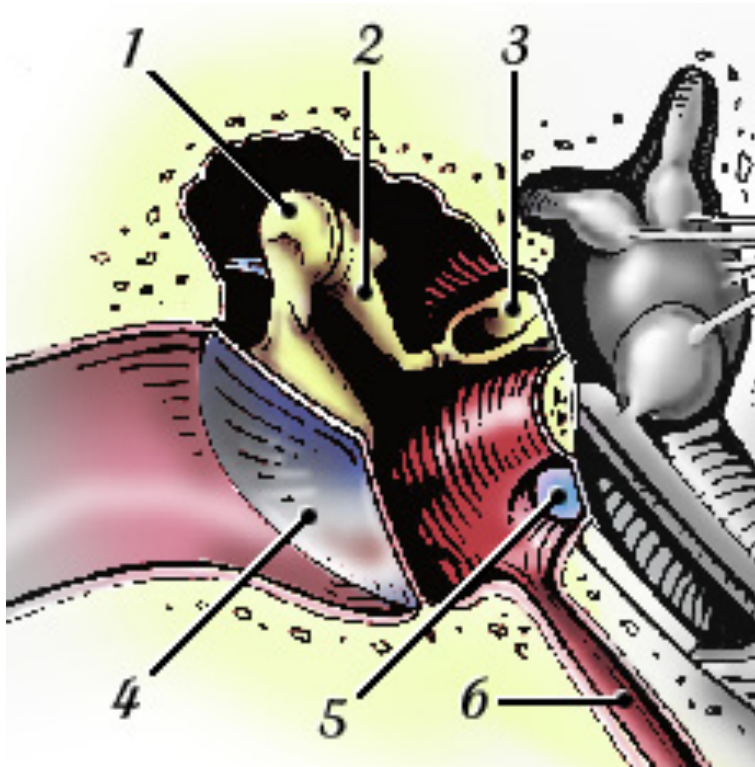
## Oreille externe



- Forme unique à chaque personne
- Pavillon + conduit : +15 dB ~2kHz
- Sert à la localisation des sons

# I.3 Physiologie

## Oreille moyenne

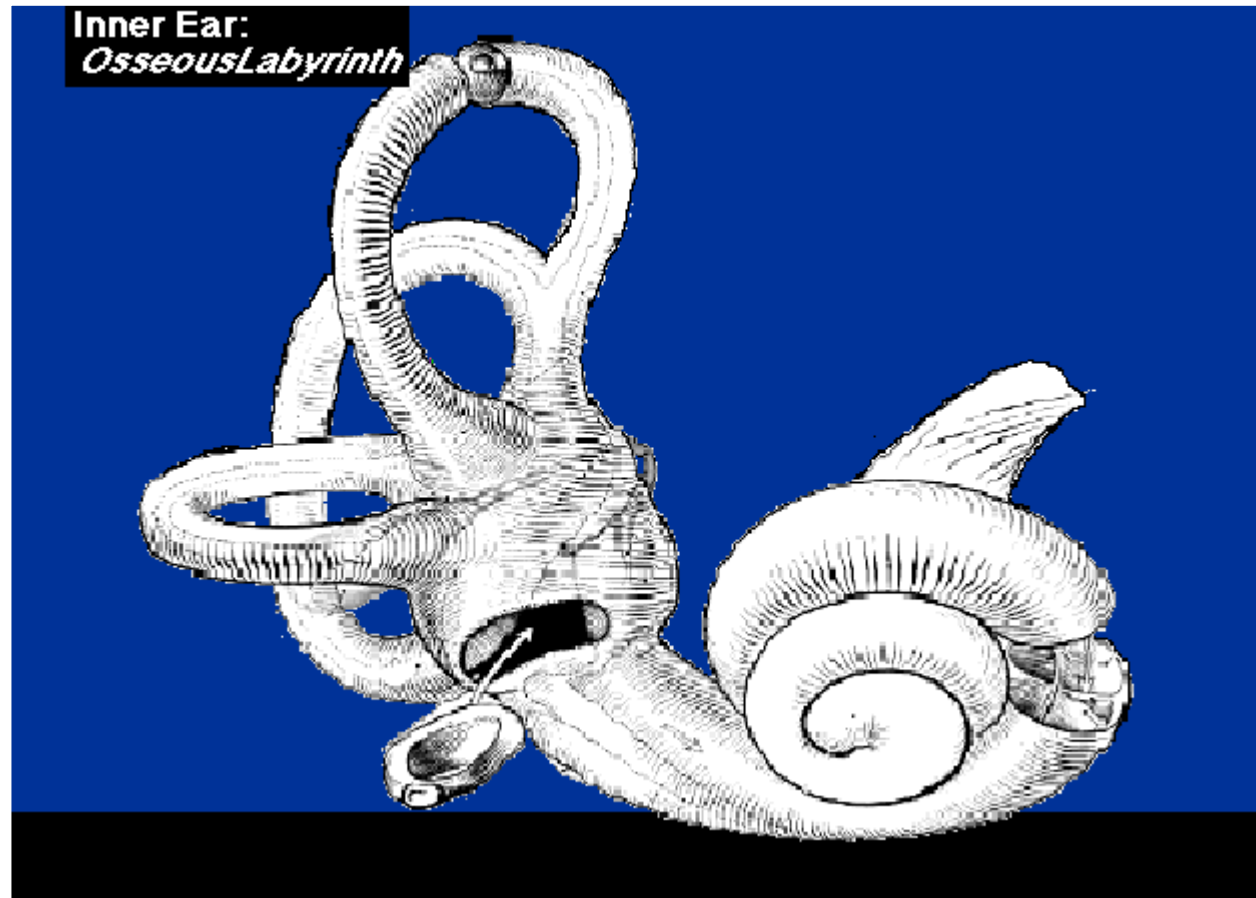


1. Marteau
2. Enclume
3. Etrier
4. Tympan
5. Fenêtre ronde
6. Trompe d'Eustache

- Tympan/étrier: +25 dB ~1-3 kHz
- Réflexe stapédien

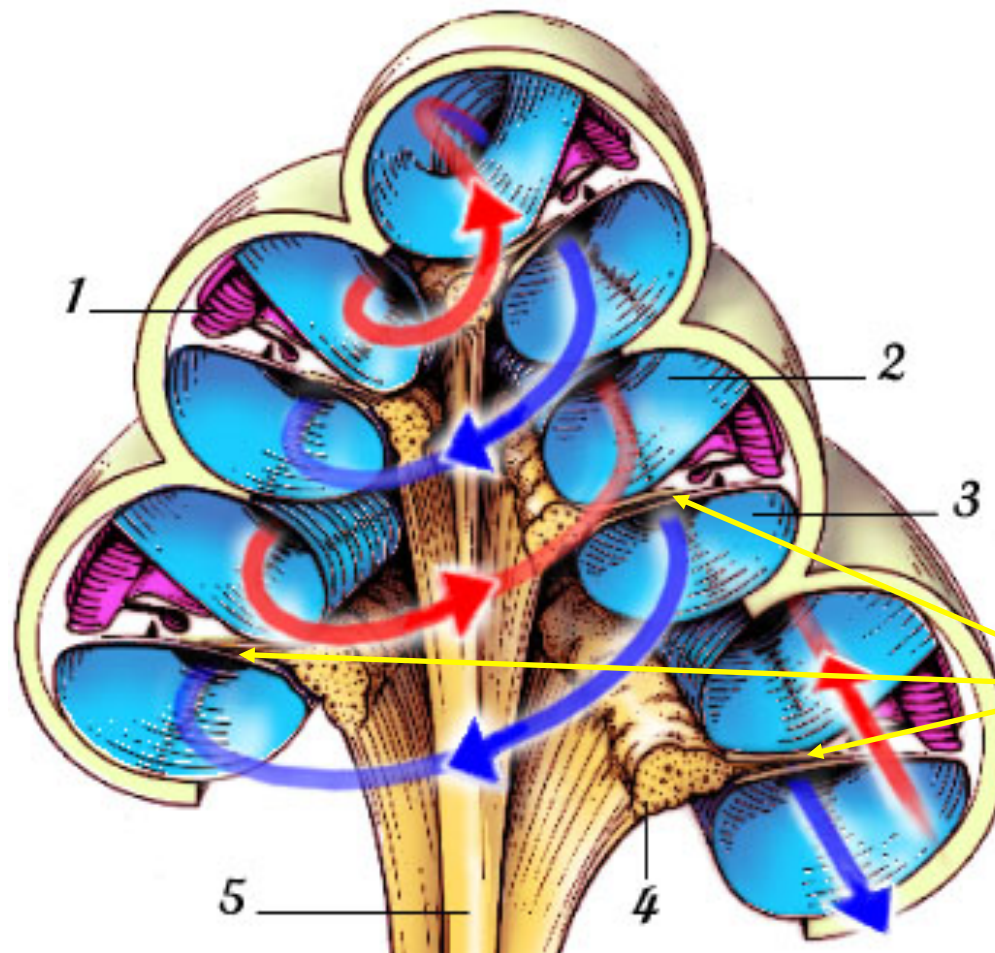
# I.3 Physiologie

## Oreille interne



# I.3 Physiologie

## La cochlée



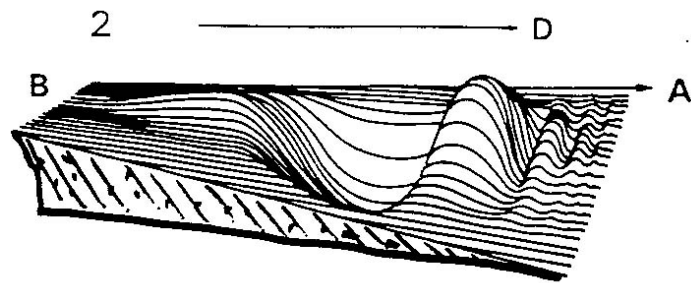
1. Canal cochléaire
2. Rampes vestibulaire
3. Rampe tympanique
4. Ganglion spiral
5. Nerf cochléaire

Membrane  
basilaire



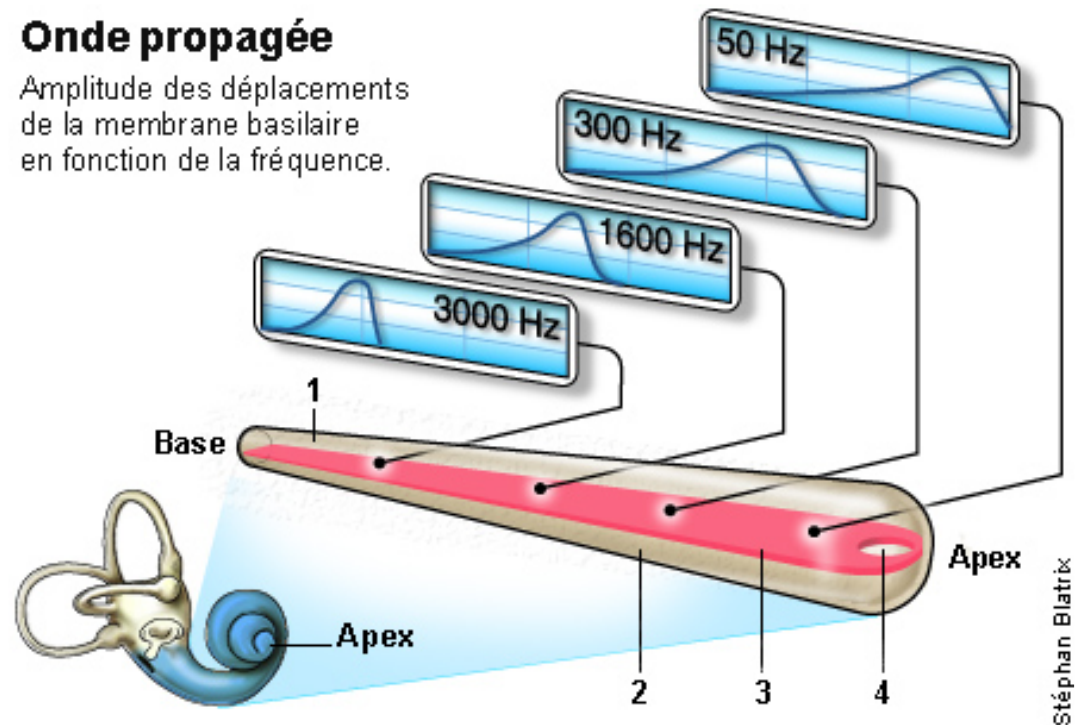
# I.3 Physiologie

## Membrane basilaire



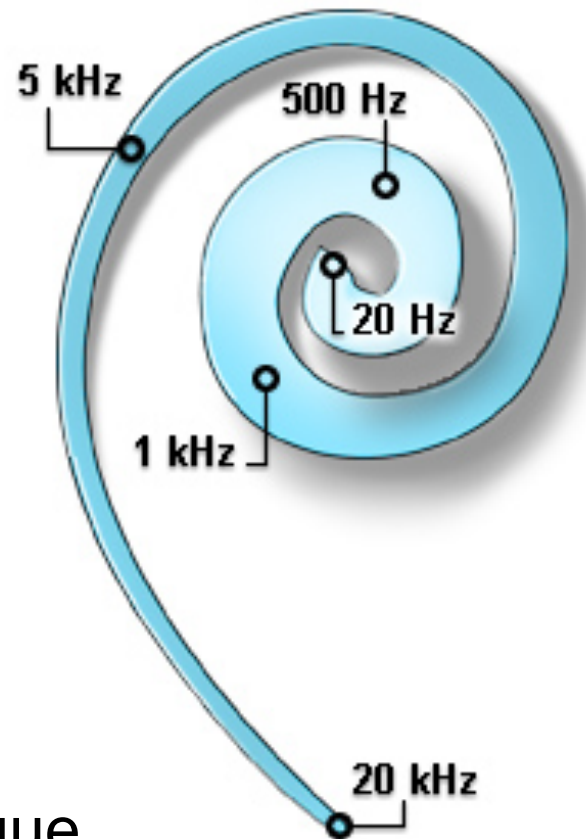
### Onde propagée

Amplitude des déplacements de la membrane basilaire en fonction de la fréquence.



# I.3 Physiologie

## Membrane basilaire



- Codage tonotopique



## I.3 Physiologie



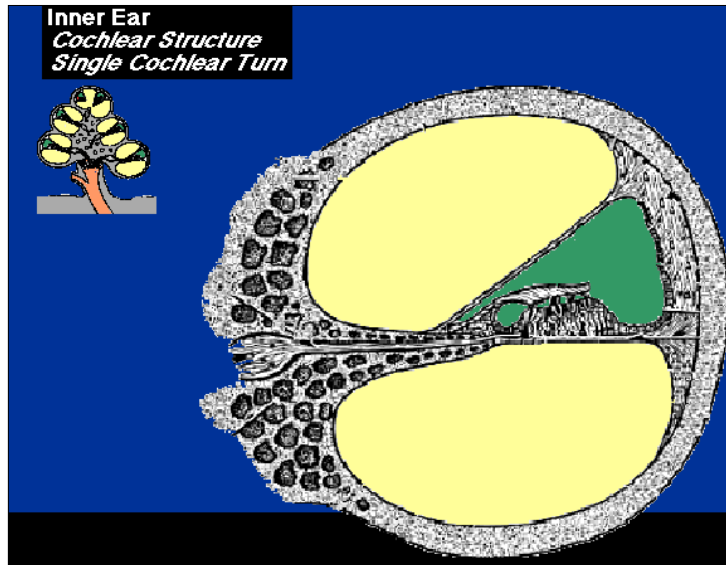
Die Lehre von den Tonempfindungen als Physiologische Grundlage für die Theorie der Musik (1877)

# I.3 Physiologie



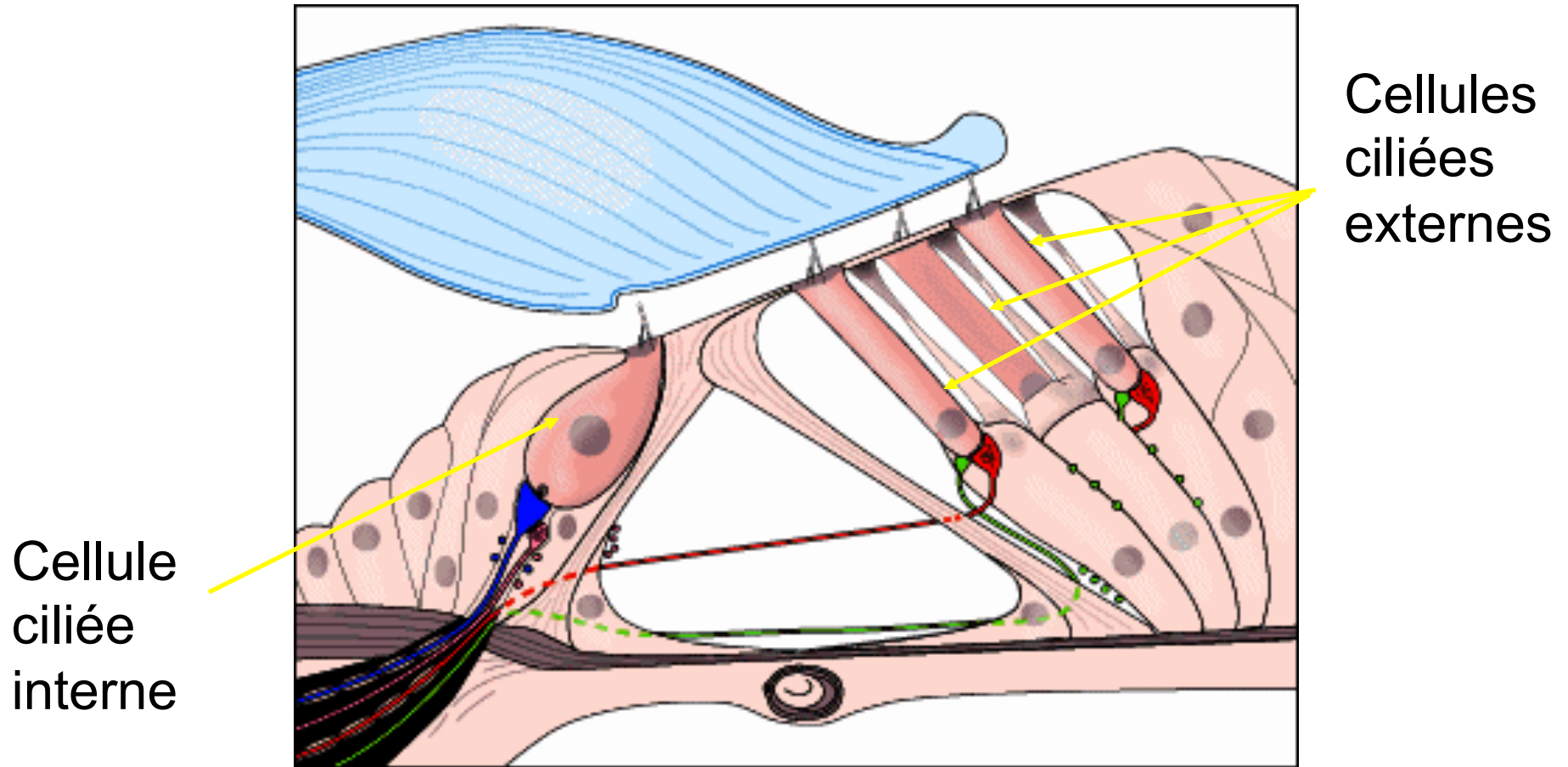
# I.3 Physiologie

## Organe de Corti



# I.3 Physiologie

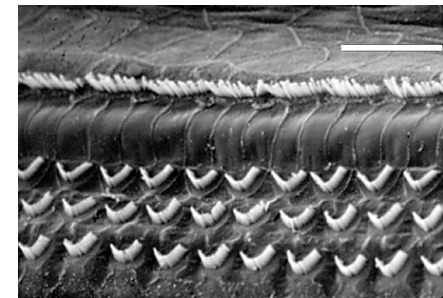
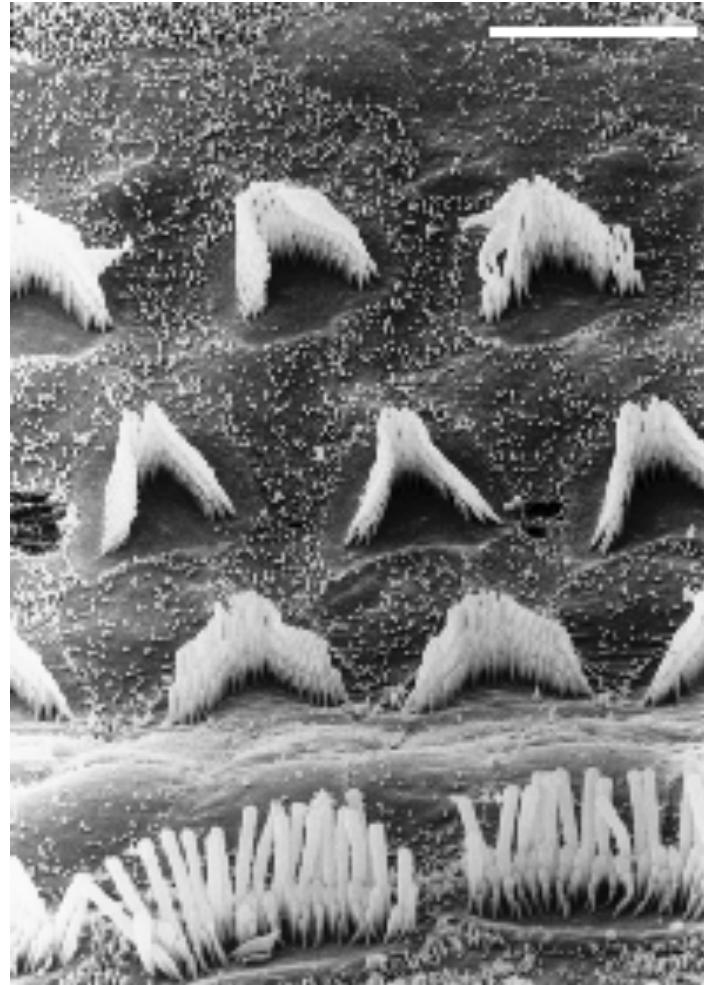
## Organe de Corti





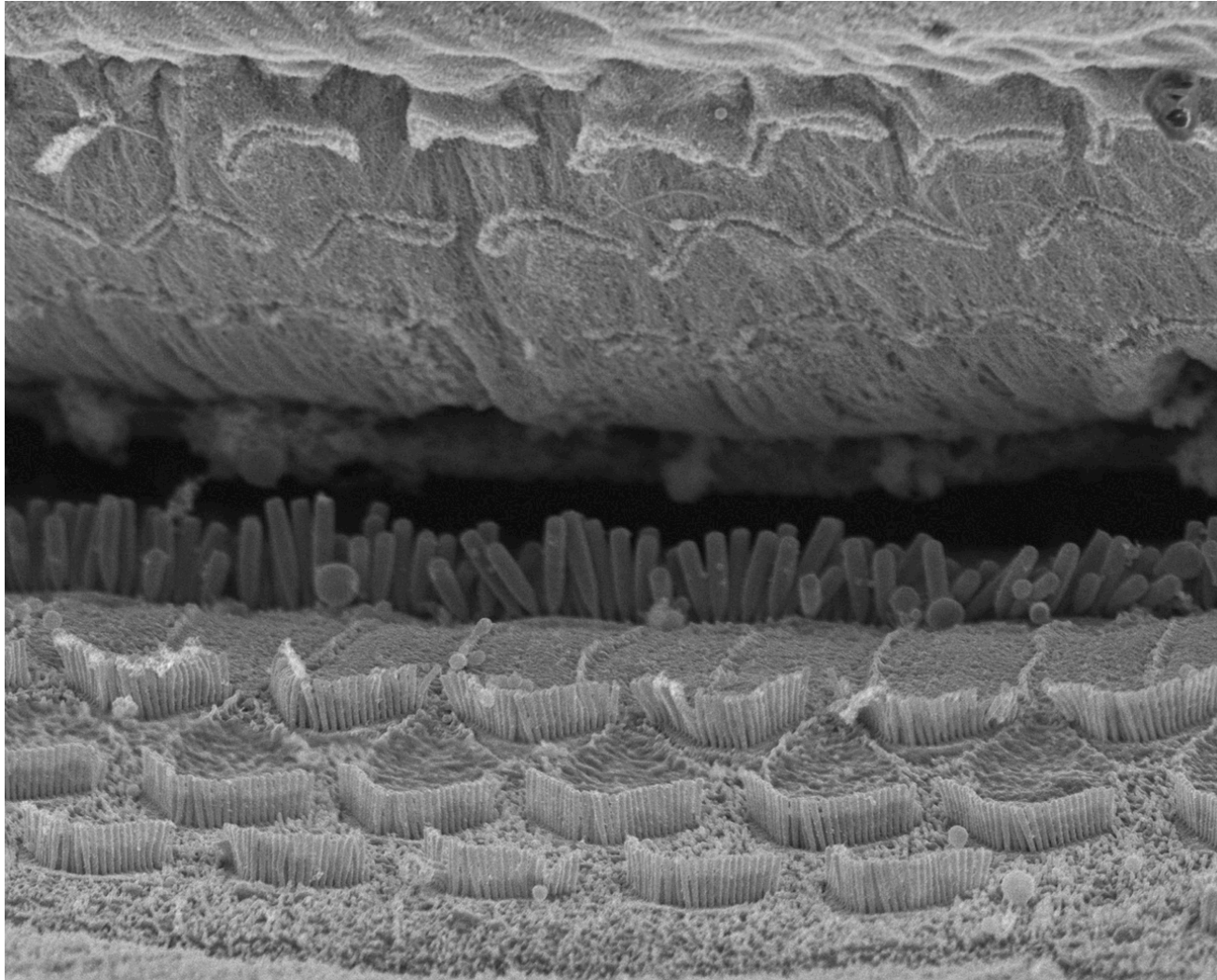
# I.3 Physiologie

## Cellules ciliées



# I.3 Physiologie

## Cellules ciliées



## I.3 Physiologie

### Cellules ciliées internes

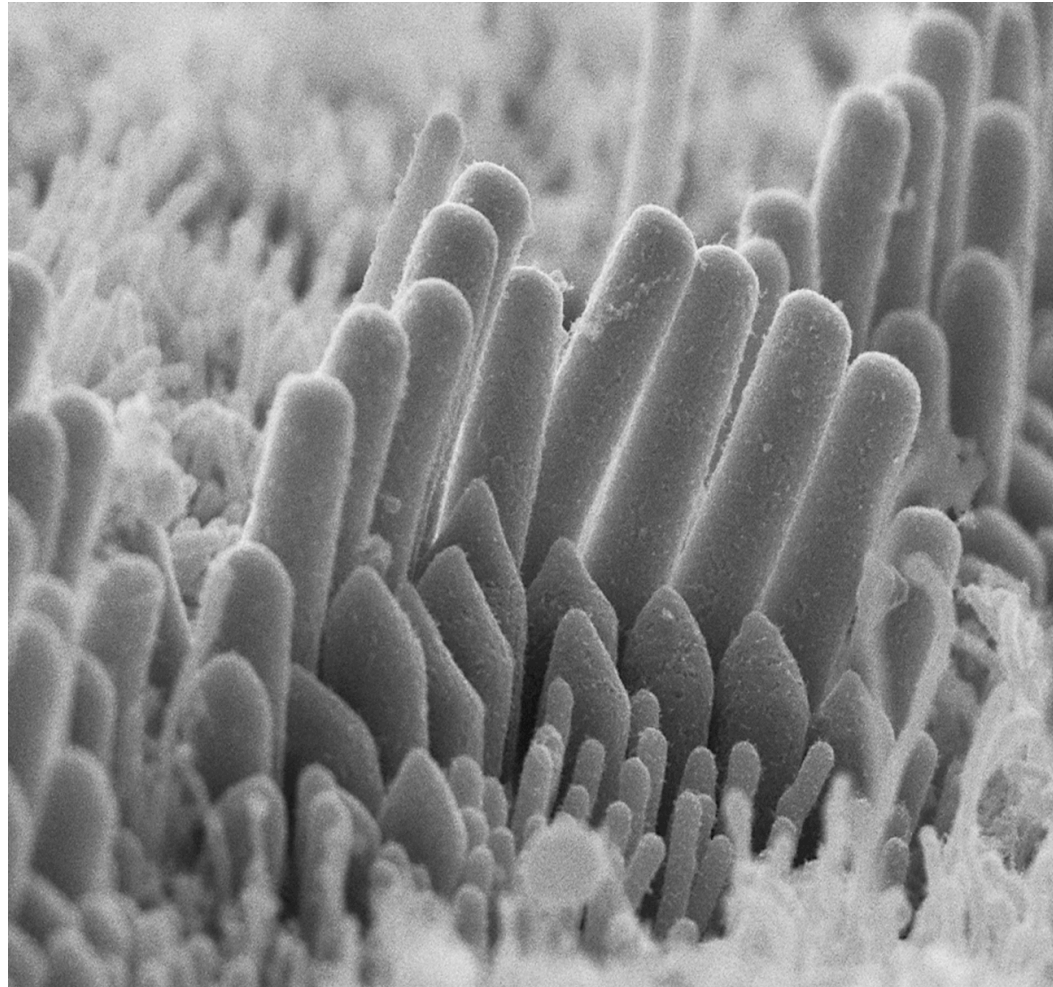


© Vincent Michel



## I.3 Physiologie

### Cellules ciliées internes

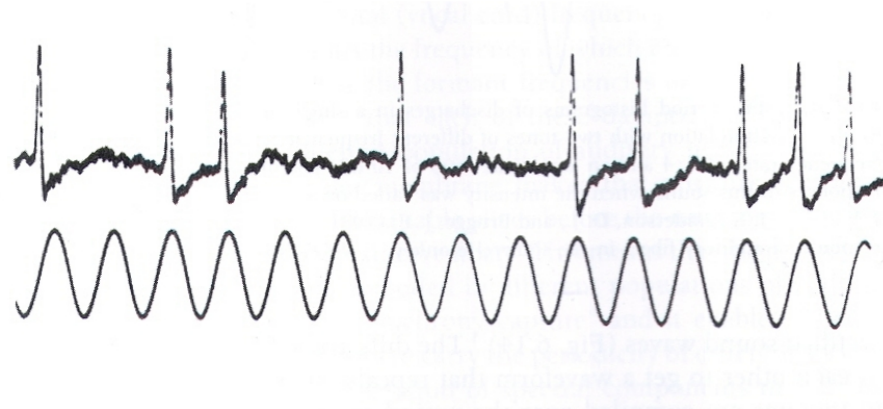
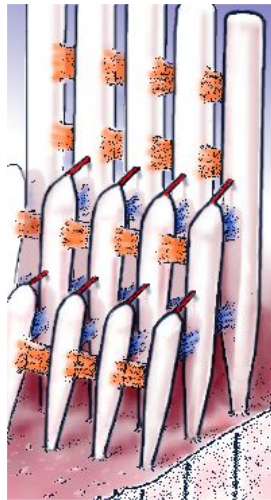


© Vincent Michel



# I.3 Physiologie

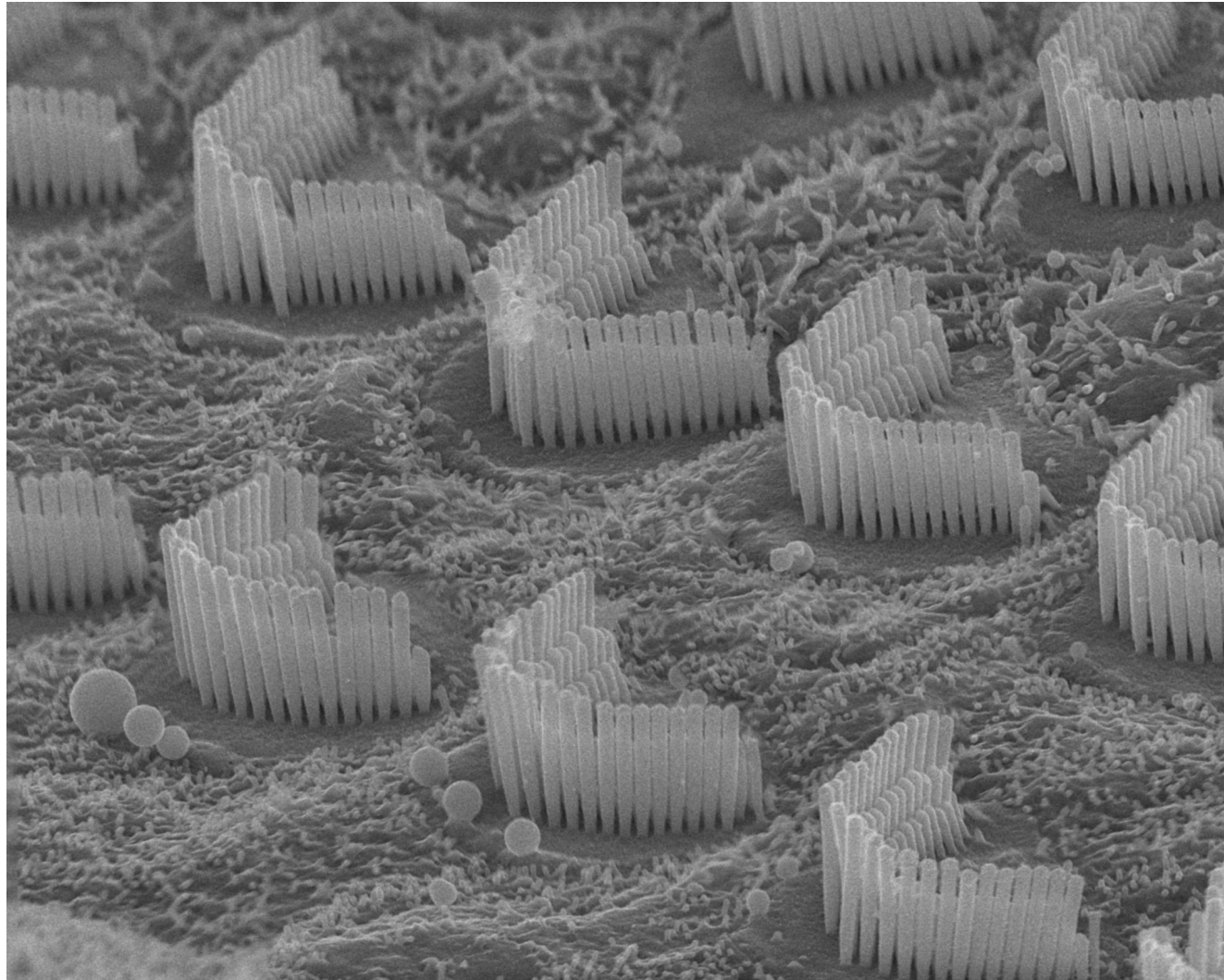
## Cellules ciliées internes



- Transduction
- Accrochage à la phase
- Codage temporel

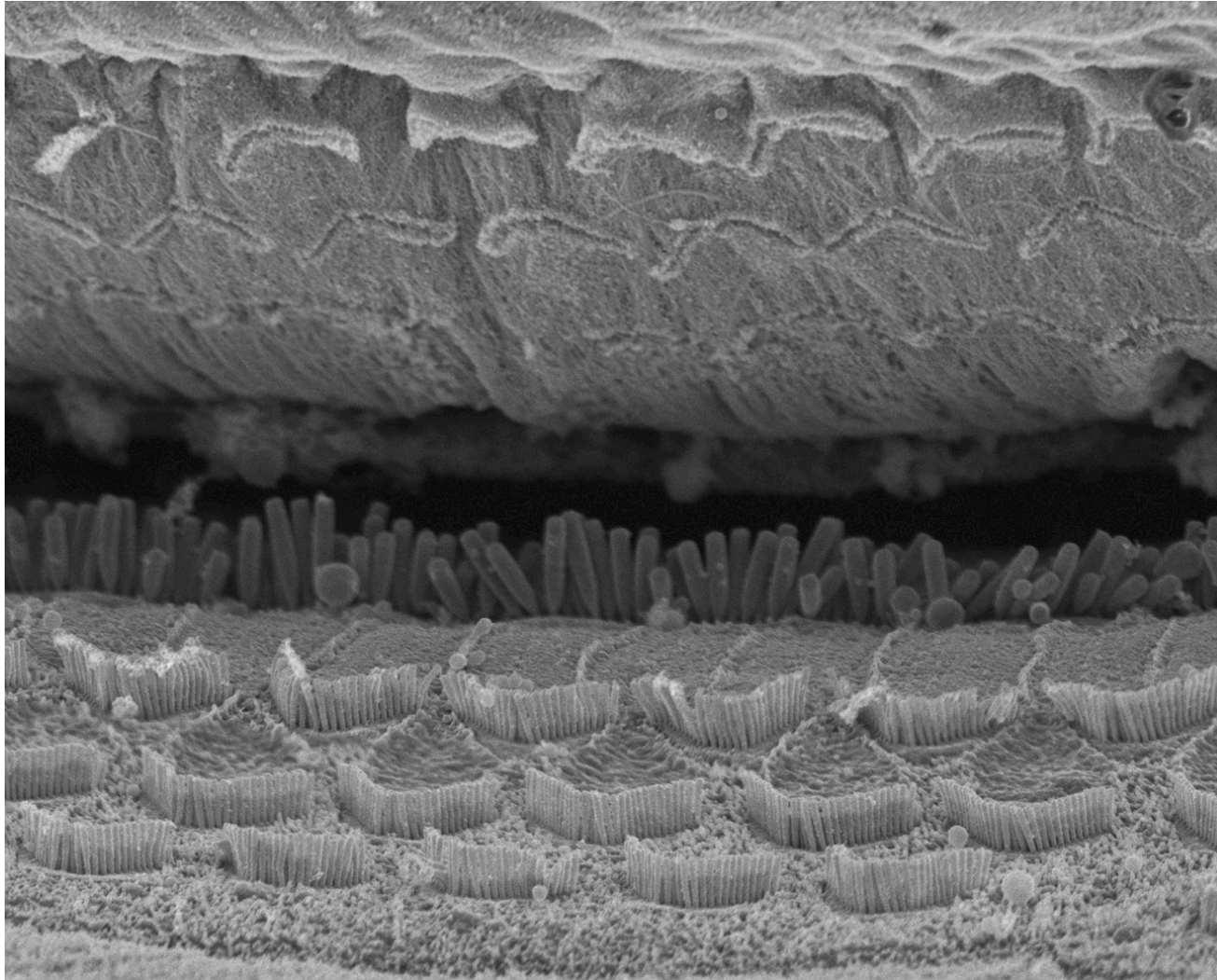
# I.3 Physiologie

## Cellules ciliées externes



# I.3 Physiologie

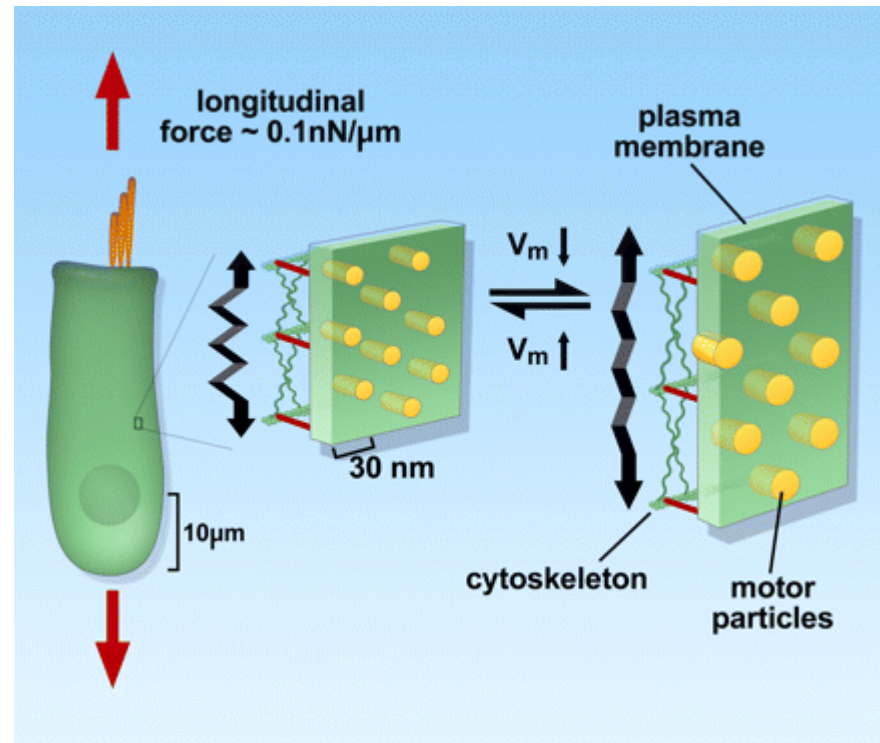
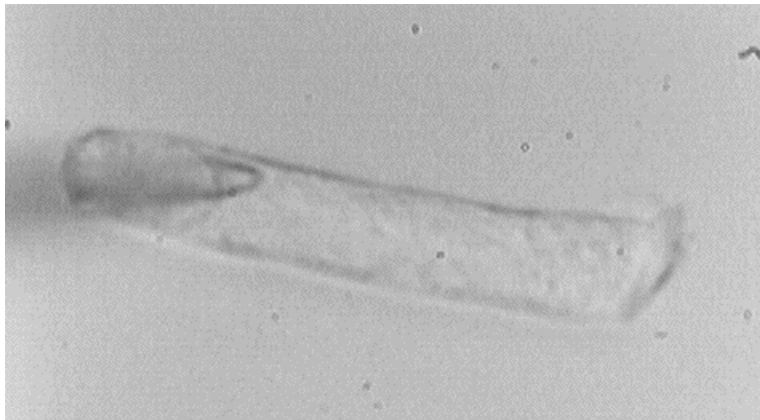
## Cellules ciliées





# I.3 Physiologie

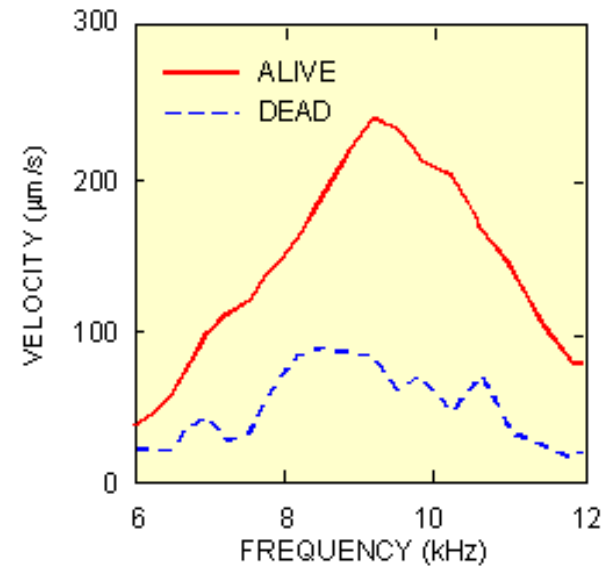
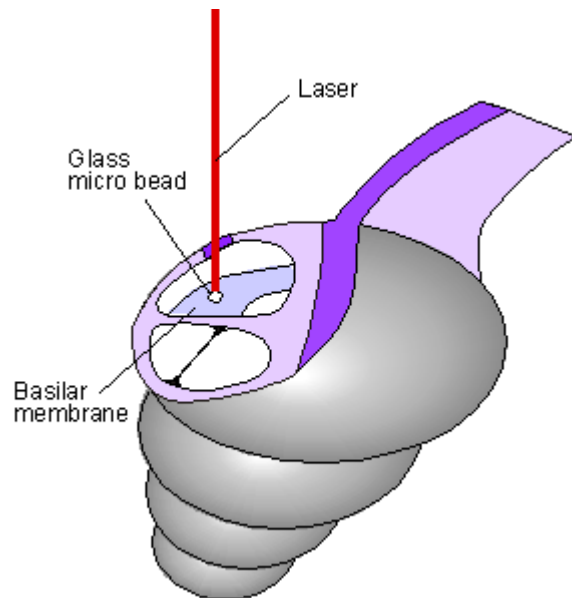
## Cellules ciliées externes



- Electromotilité

# I.3 Physiologie

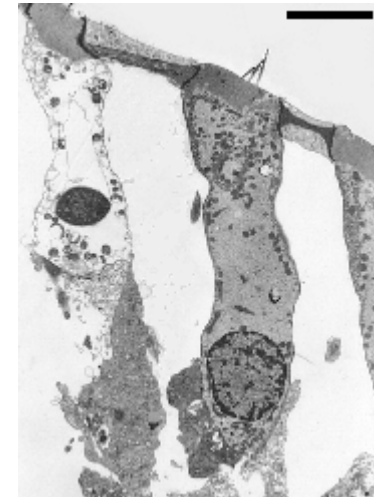
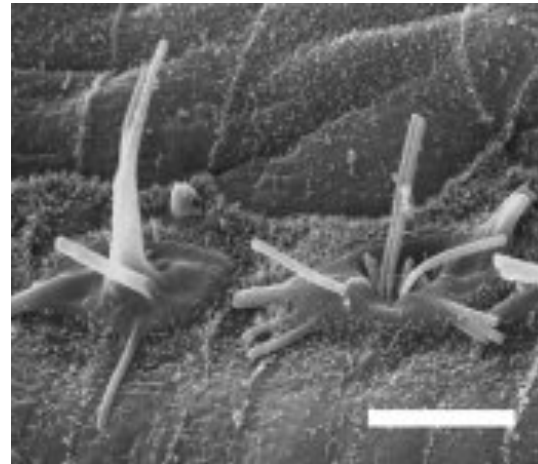
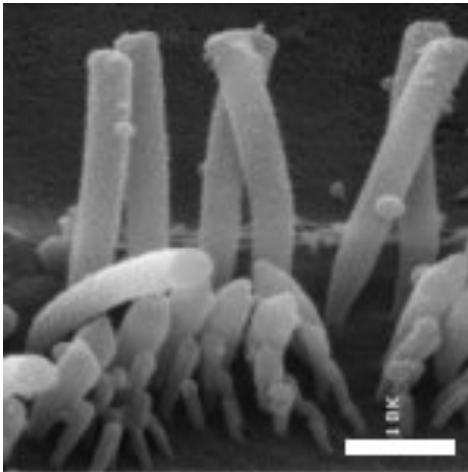
## Cellules ciliées externes



- Electromotilité
- Mécanisme actif amplification et sélectivité

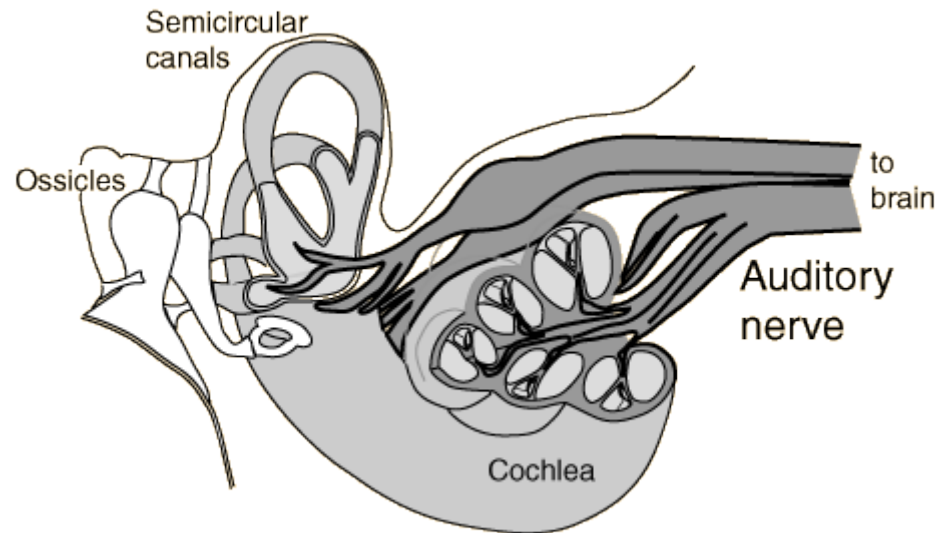
# I.3 Physiologie

## Traumatismes acoustiques



# I.3 Physiologie

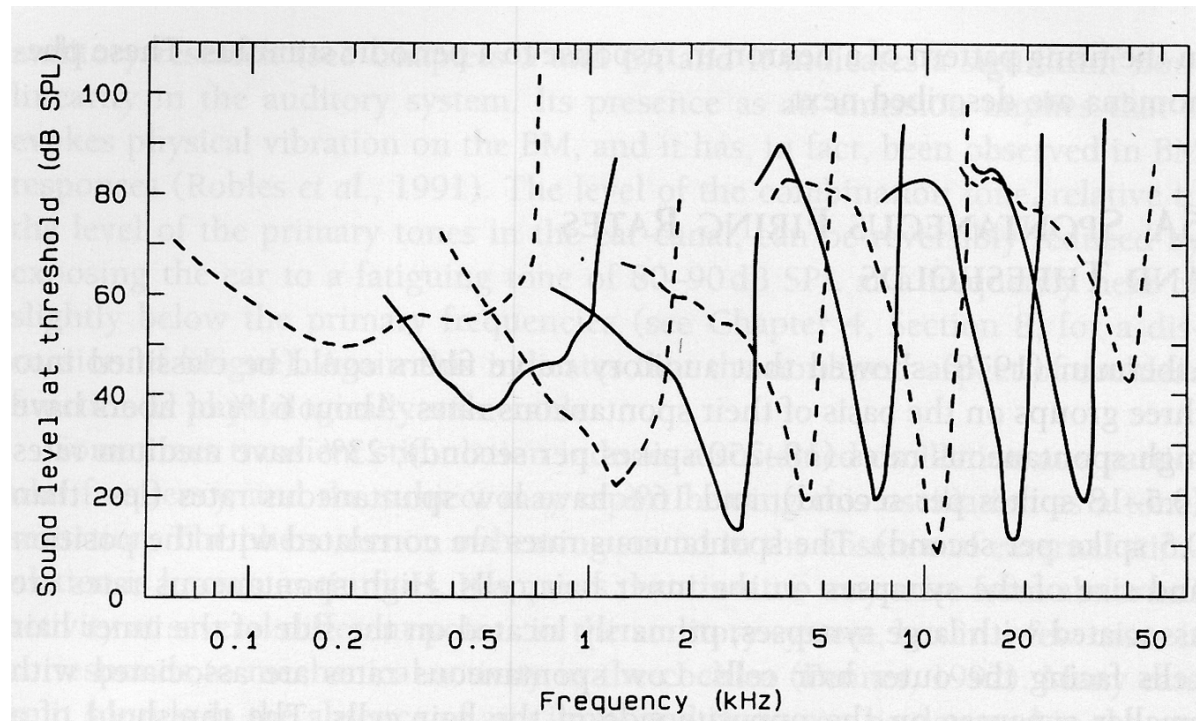
## Nerf auditif



- 30000 fibres afférentes
- Type 1: 90%, cellules ciliées internes
- Type 2: 10%, cellules ciliées externes
- 1500 fibres efférentes

# I.3 Physiologie

## Nerf auditif

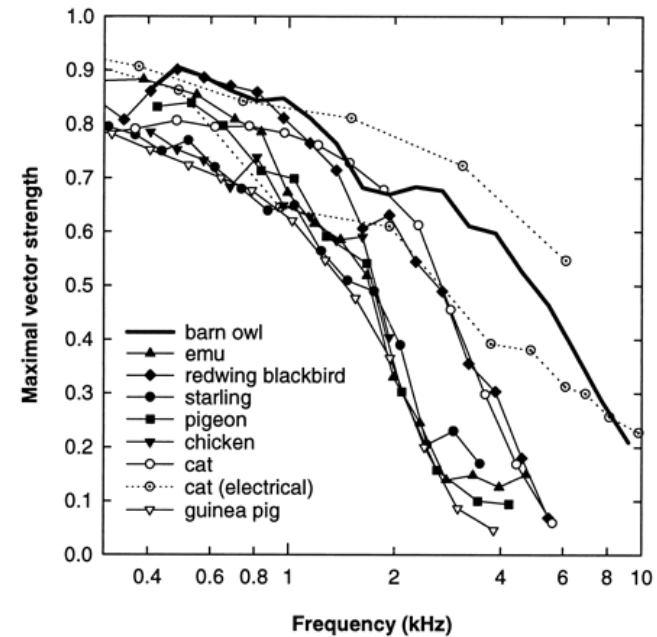
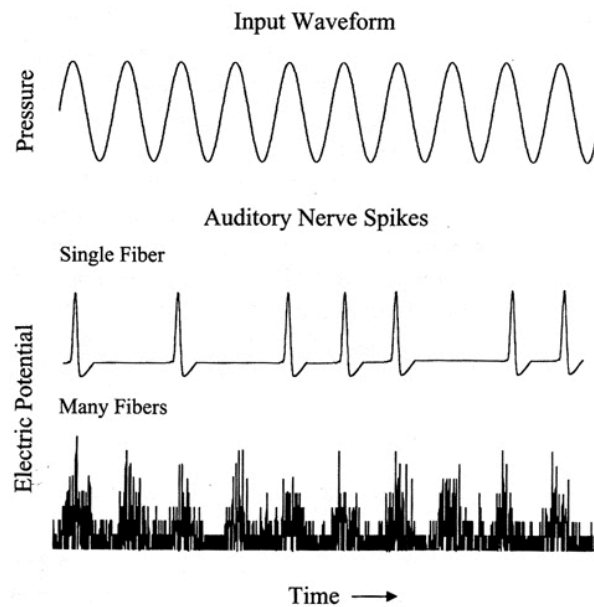


- Fréquences caractéristique dépendant de tonotopie



# I.3 Physiologie

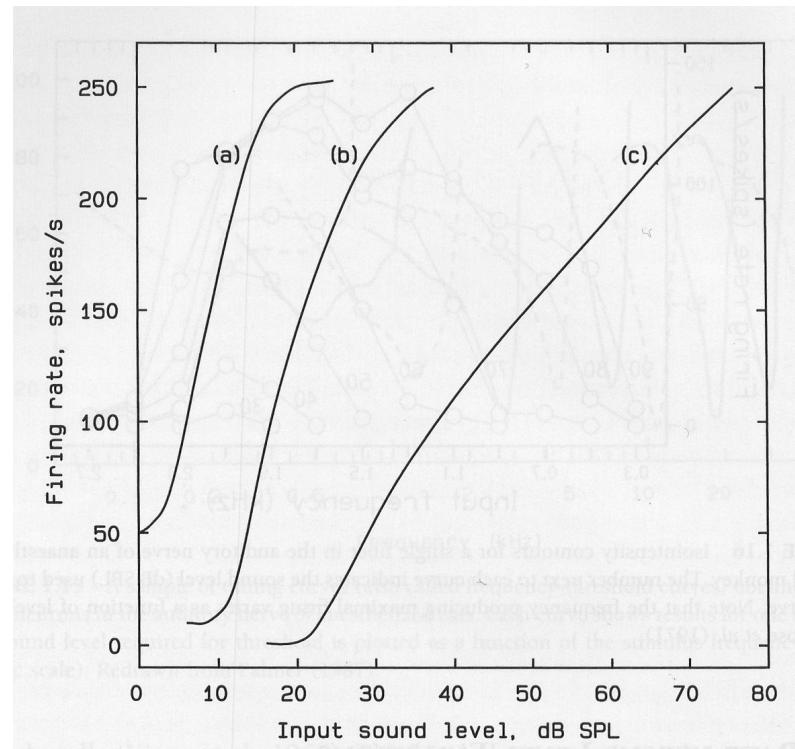
## Nerf auditif



- Accrochage à la phase
- Limité en fréquence

# I.3 Physiologie

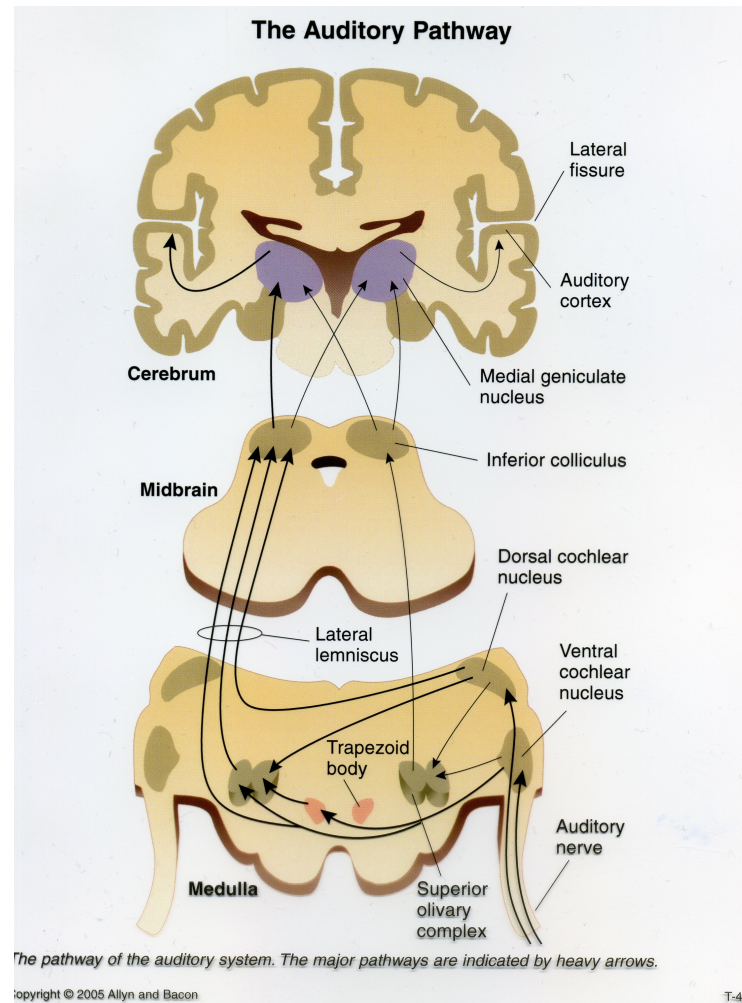
## Nerf auditif



- Plusieurs types de fibres

# I.3 Physiologie

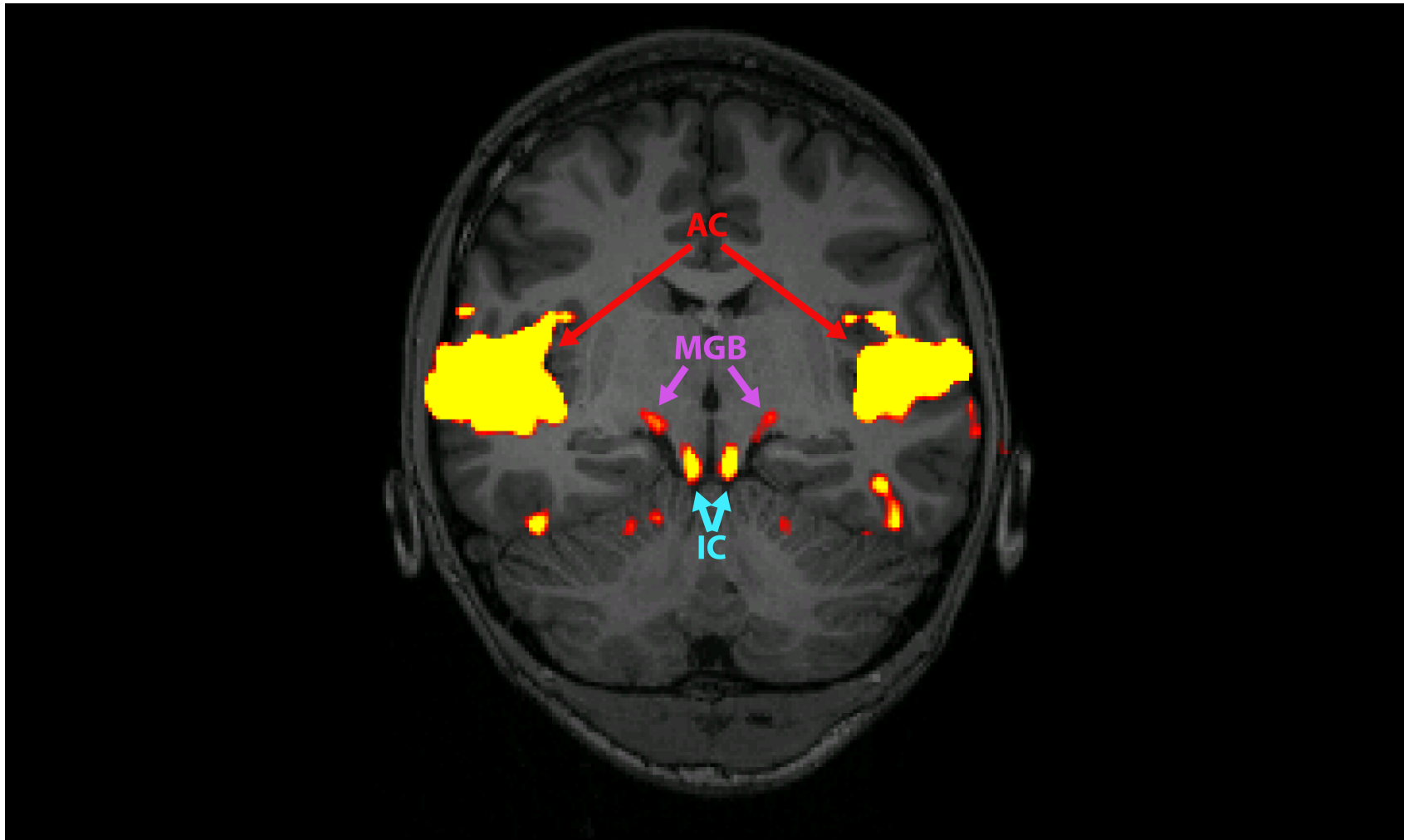
## Conclusion



- Une particularité : de nombreux traitements sous-corticaux

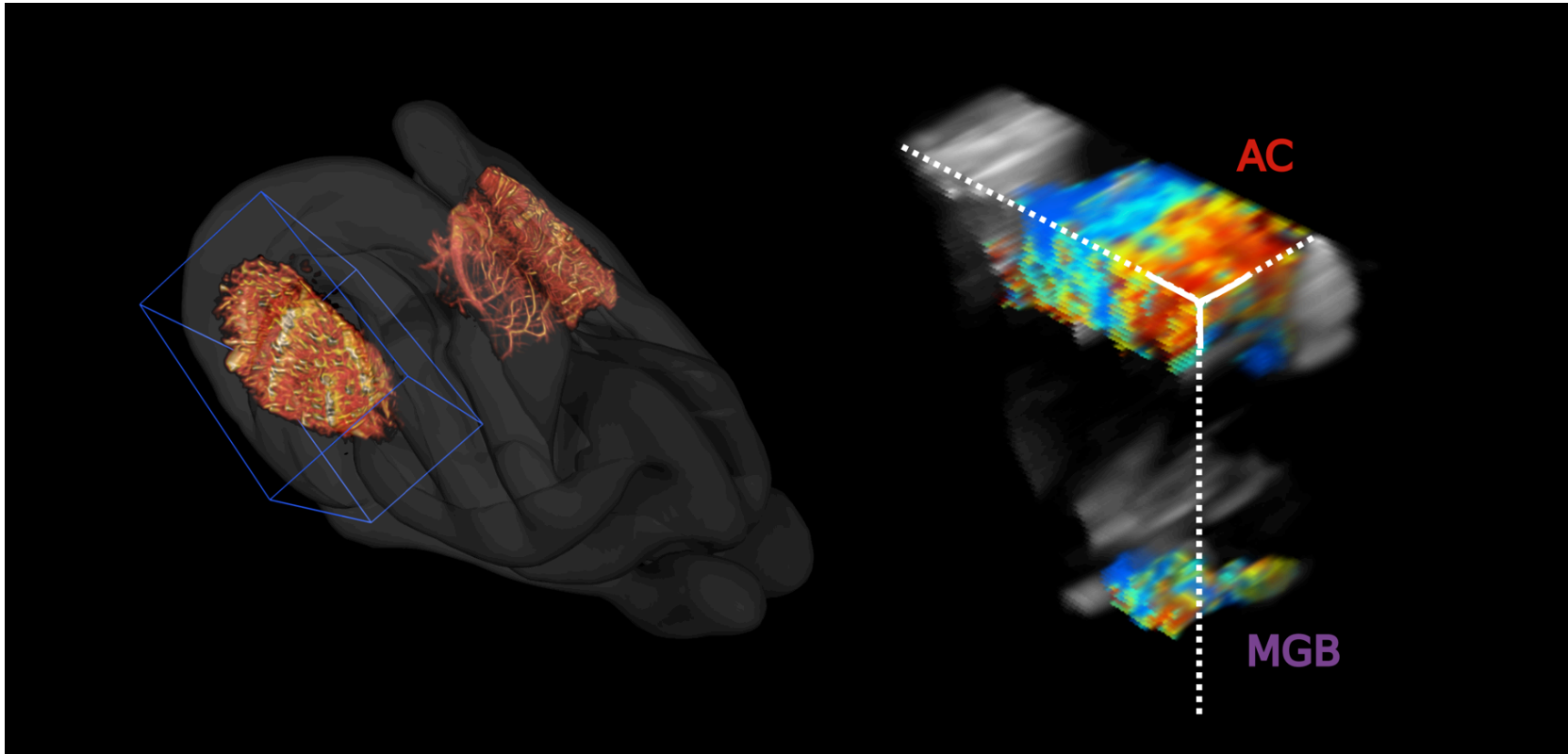
# I.3 Physiologie

## Voies auditives centrales



# I.3 Physiologie

## Voies auditives centrales



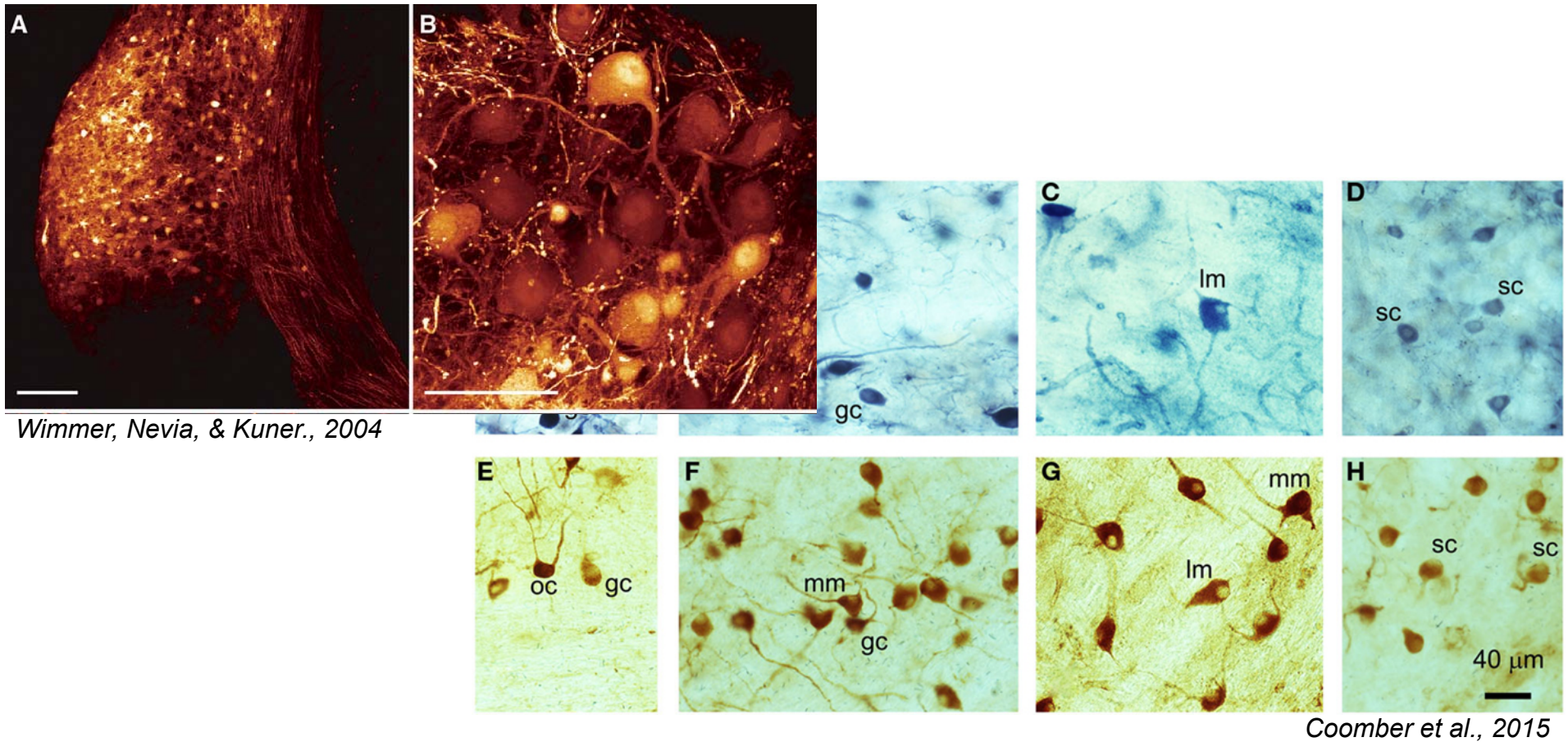
© Célian Bimbard, Yves Boubenec

- Tonotopie comme principe architectural



# I.3 Physiologie

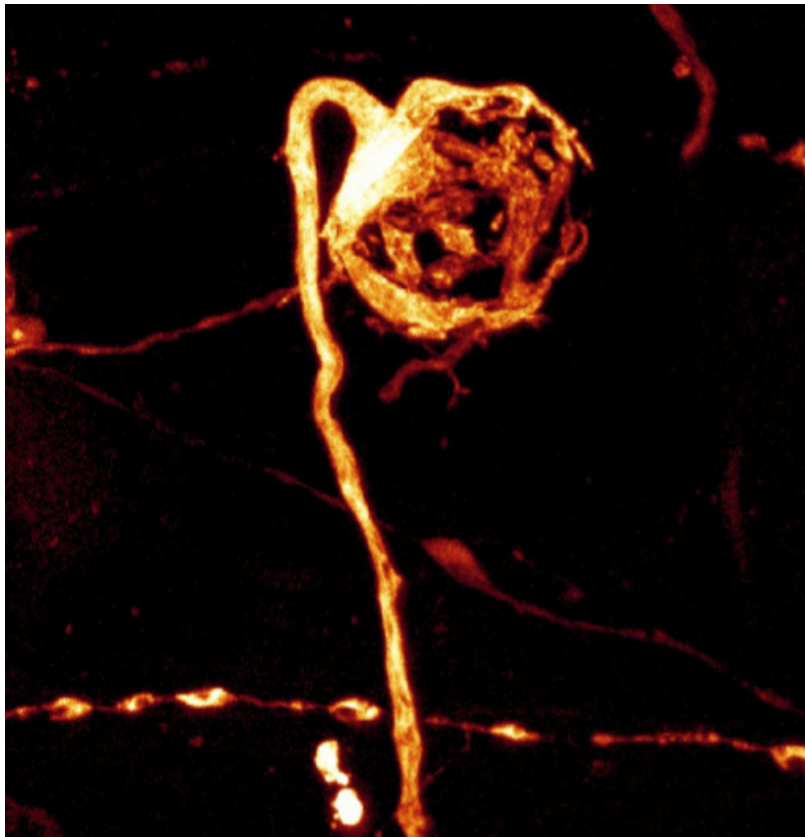
## Voies auditives centrales



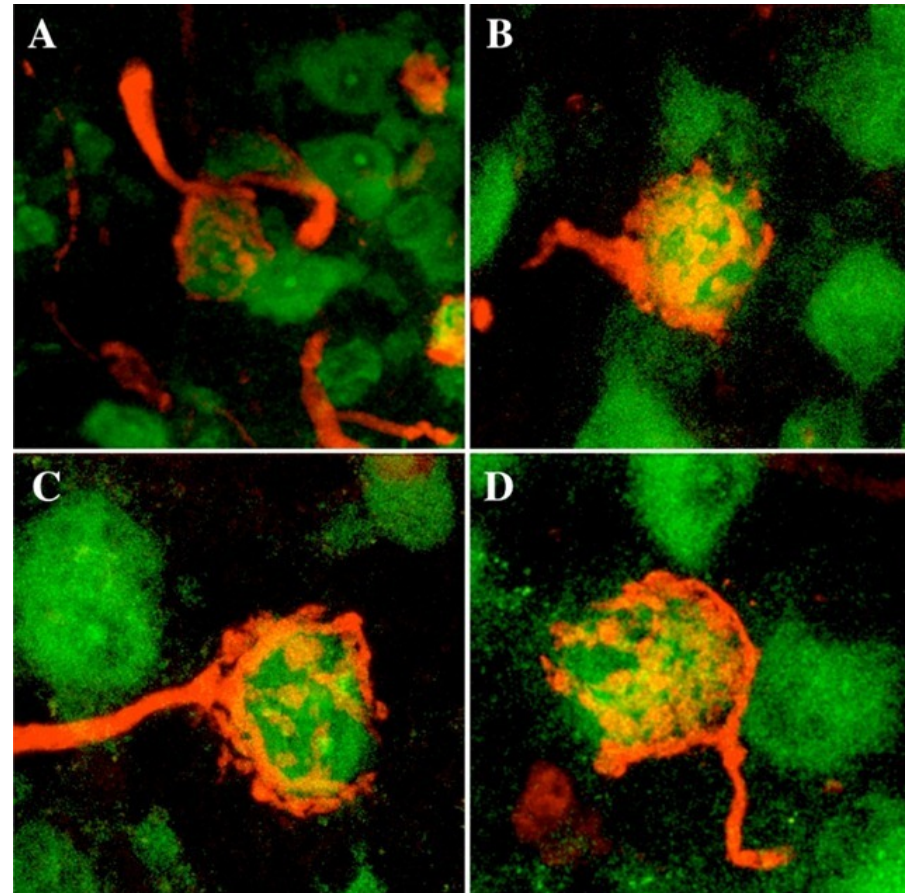
- Grande variété anatomique dès noyau cochléaire

# I.3 Physiologie

## Voies auditives centrales



© Thomas Kuner



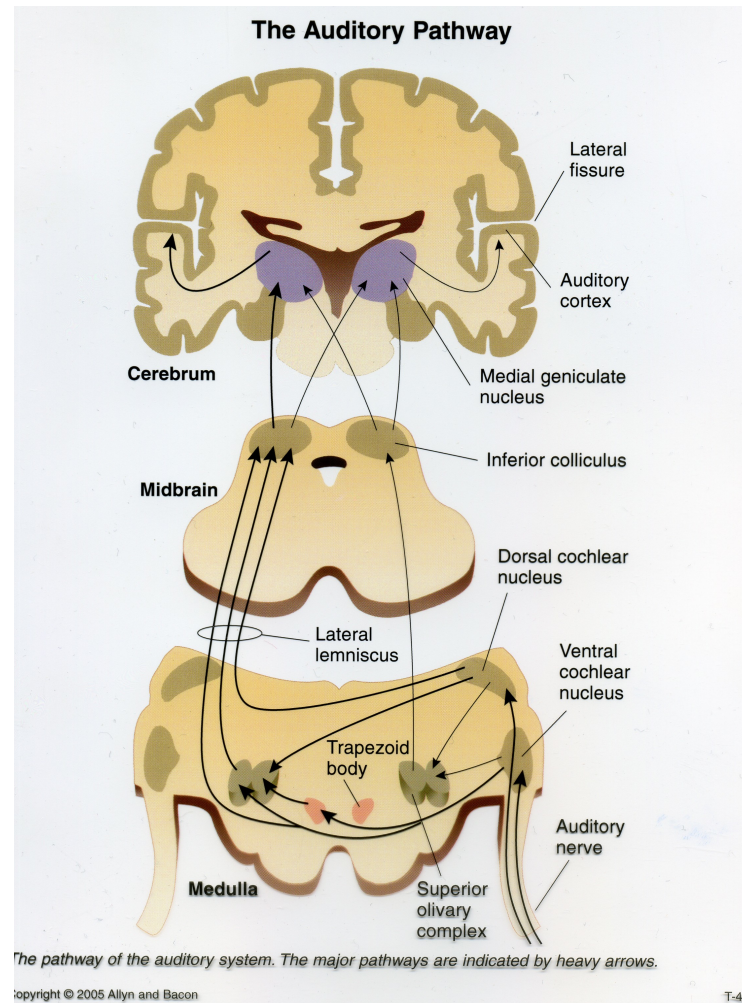
Xiao et al., Nat Neuro, 2013

- La plus grande synapse du corps humain (calice de Held)



# I.3 Physiologie

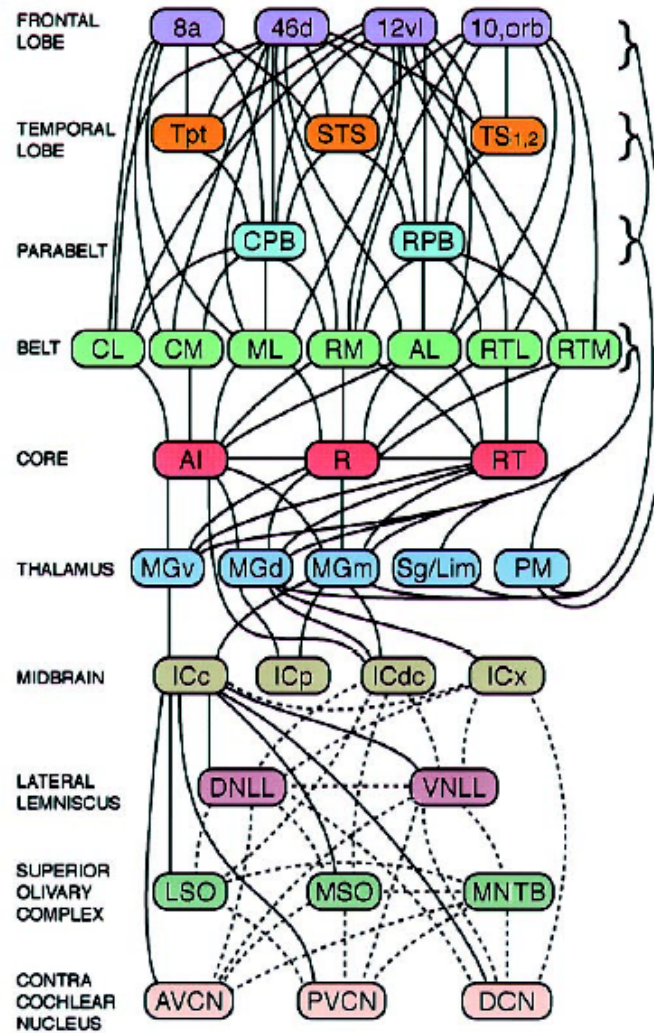
## Conclusion





# I.3 Physiologie

## Conclusion



S. Shamma

A. de Cheveigné