



# La psychoacoustique: de l'analyse des scènes auditives à l'illusion sonore.

*Nicolas Grimault*

*Cognition Auditive et Psychoacoustique*

*Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon - CNRS-UMR 5292, Lyon, France*





# A quoi sert la psychoacoustique...

## Quelques exemples....

- Le système de codage **MP3** part de l'idée qu'il est possible de **supprimer, sans perte** de qualité, l'information acoustique masquée car elle est inaudible. La psychoacoustique permet de déterminer ce qui, dans le signal acoustique d'origine, est inaudible et peut être retiré...
- Compréhension et modélisation du système auditif à but de prédiction de sensation perçues (prédiction de la hauteur perçue, de la qualité du son perçu...).
- Amélioration des **aides auditives**. Les aides auditives (appareil auditif, implant cochléaire...) utilisent maintenant une technologie numérique. Le signal acoustique ou électrique restitué peut être **artificiellement modifié** par ces appareils de façon à **améliorer la perception** pour les utilisateurs. L'avancée des recherches et connaissances en **psychoacoustique** est primordiale pour apporter de nouvelles solutions aux personnes malentendantes.



# L'audition

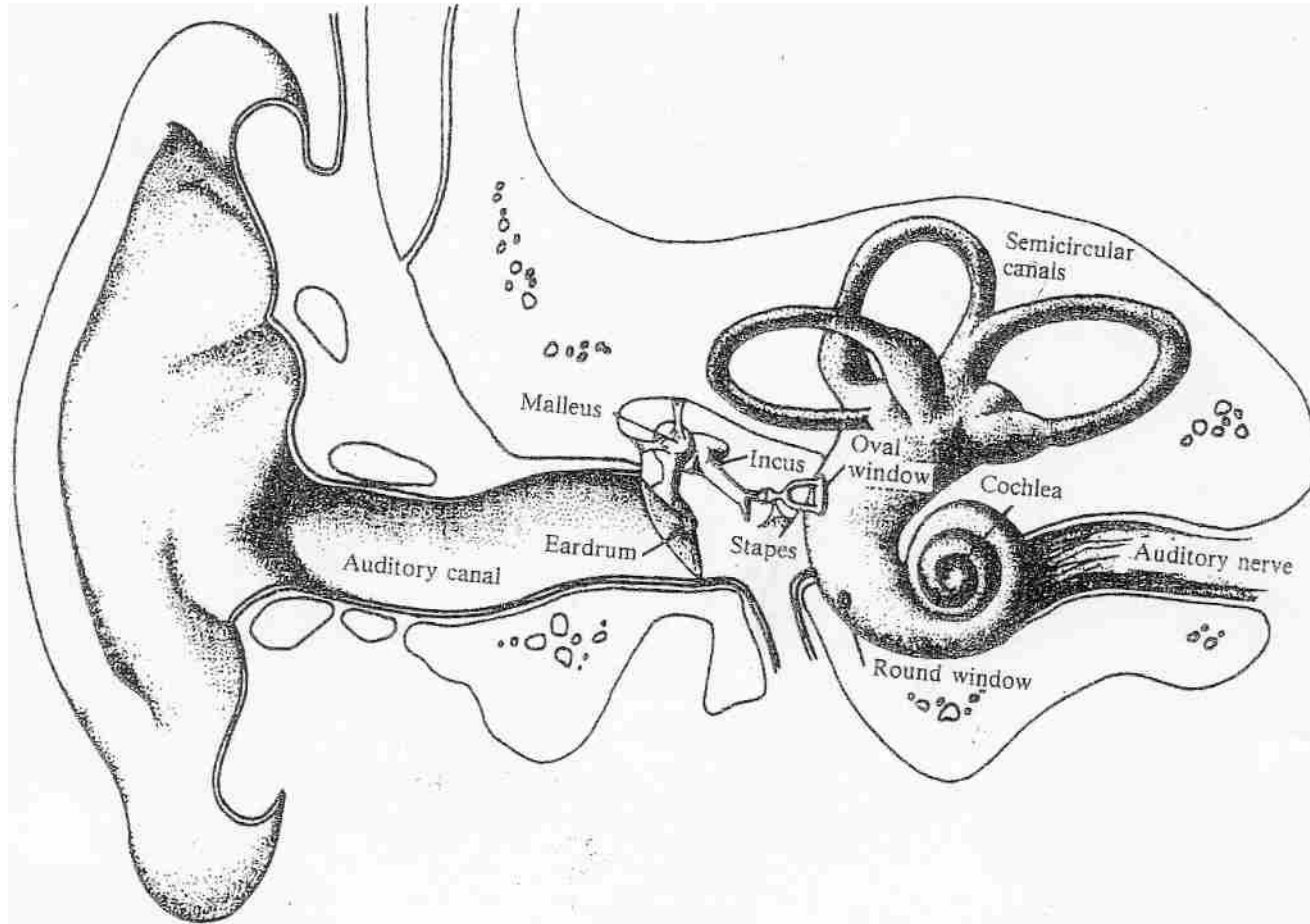
*Nicolas Grimault*

*Cognition Auditive et Psychoacoustique*

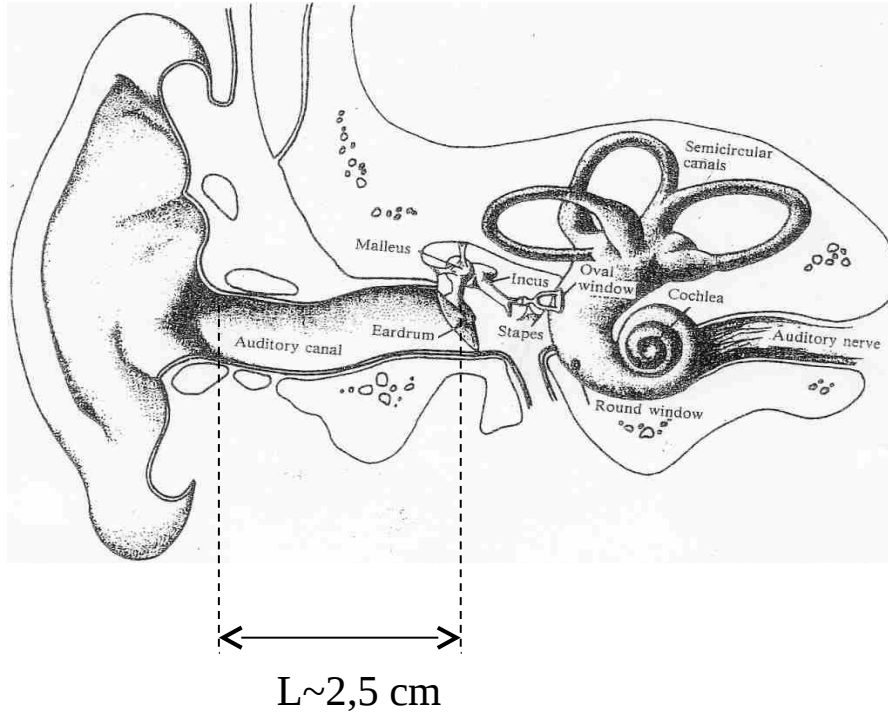
*Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon - CNRS-UMR 5292, Lyon, France*



# Le système auditif périphérique



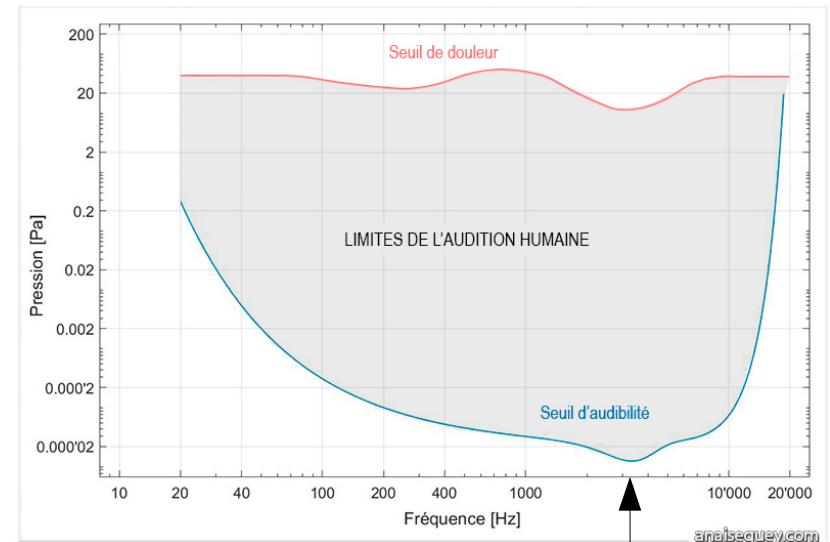
# L'oreille externe



## Résonance d'un tube fermé:

$$f = \frac{v}{4.L} \quad \text{avec } v = 344 \text{ ms}^{-1}$$

Soit une résonance à environ 3500 Hz



3500 Hz

*L'oreille externe*

**Pourquoi l'éléphant a-t-il peur des souris?**

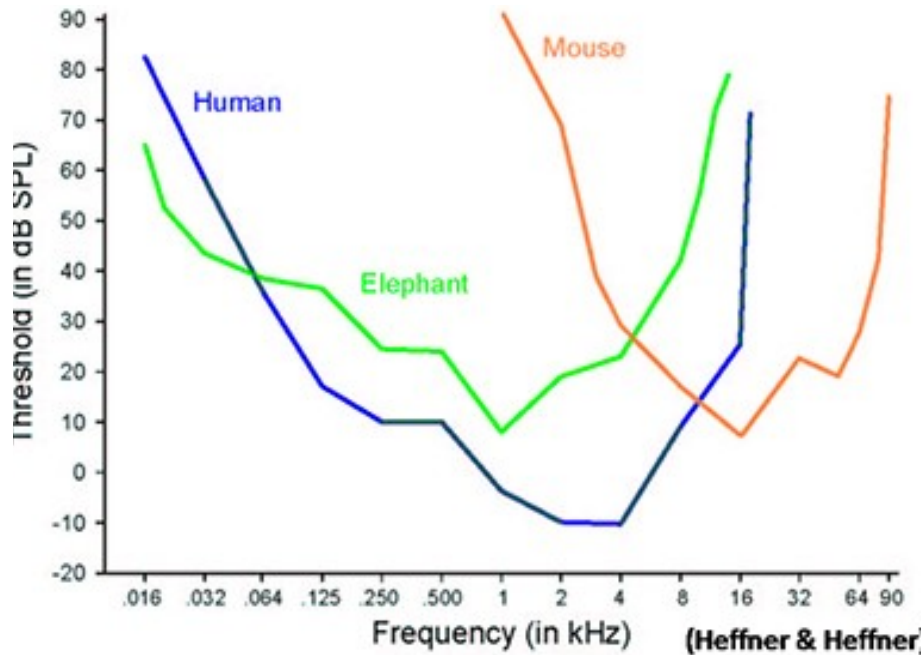


# L'oreille externe

## Pourquoi l'éléphant a-t-il peur des souris?



de 1 kHz à 70 kHz ou 90 kHz



de 17 Hz à 10,5 kHz

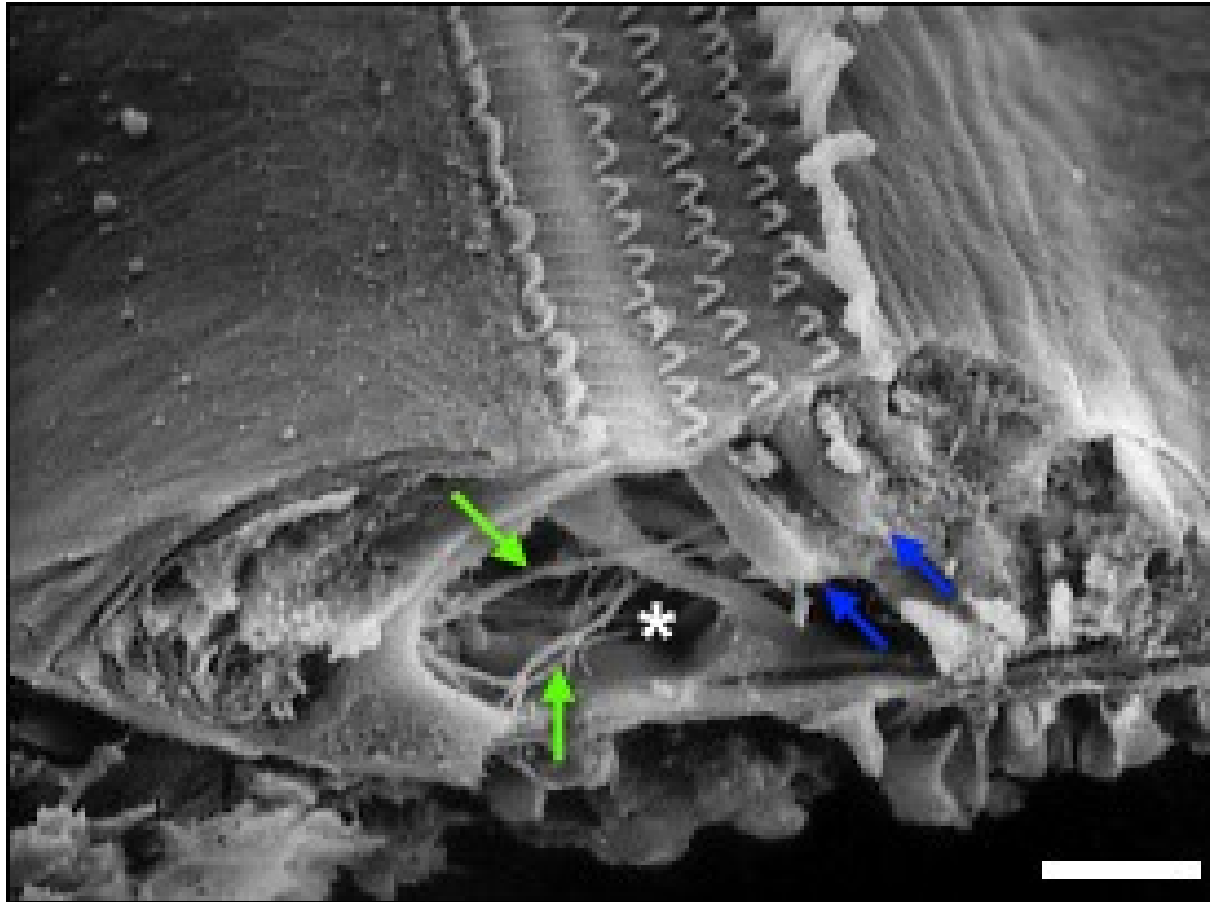


# *La cochlée*

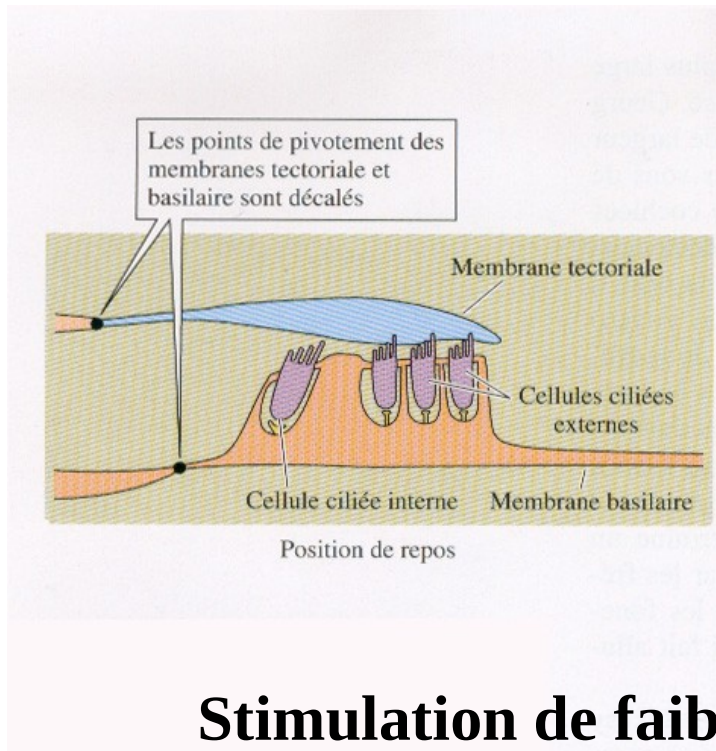
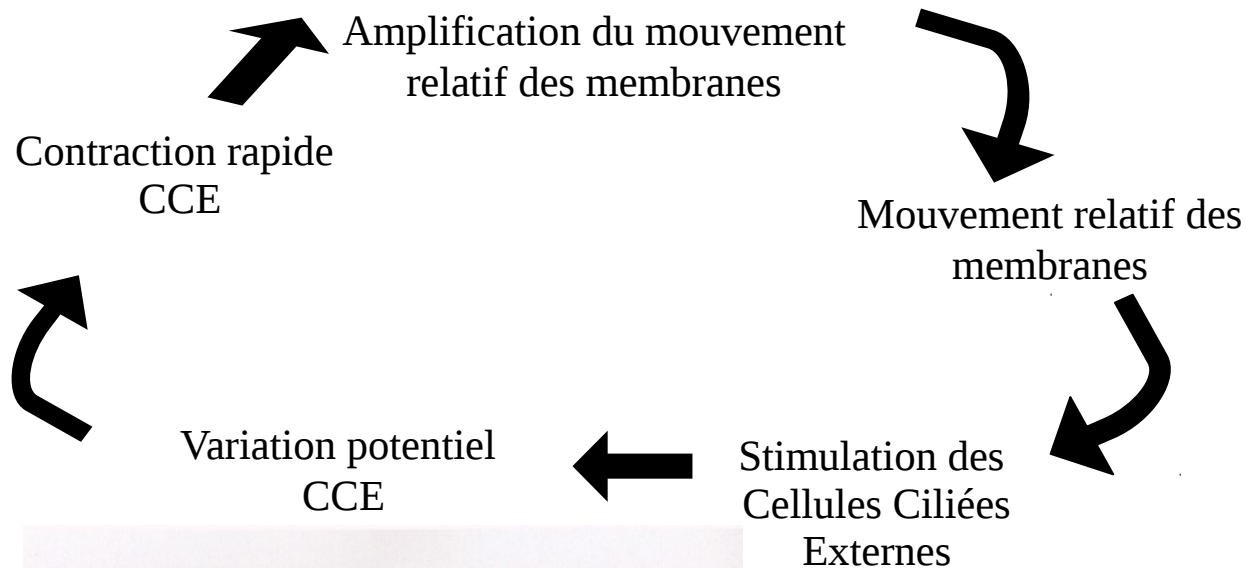


**Chez l'homme, on dénombre :**

- **3.500 Cellules Ciliées Internes**
- **12.500 Cellules Ciliées Externes**

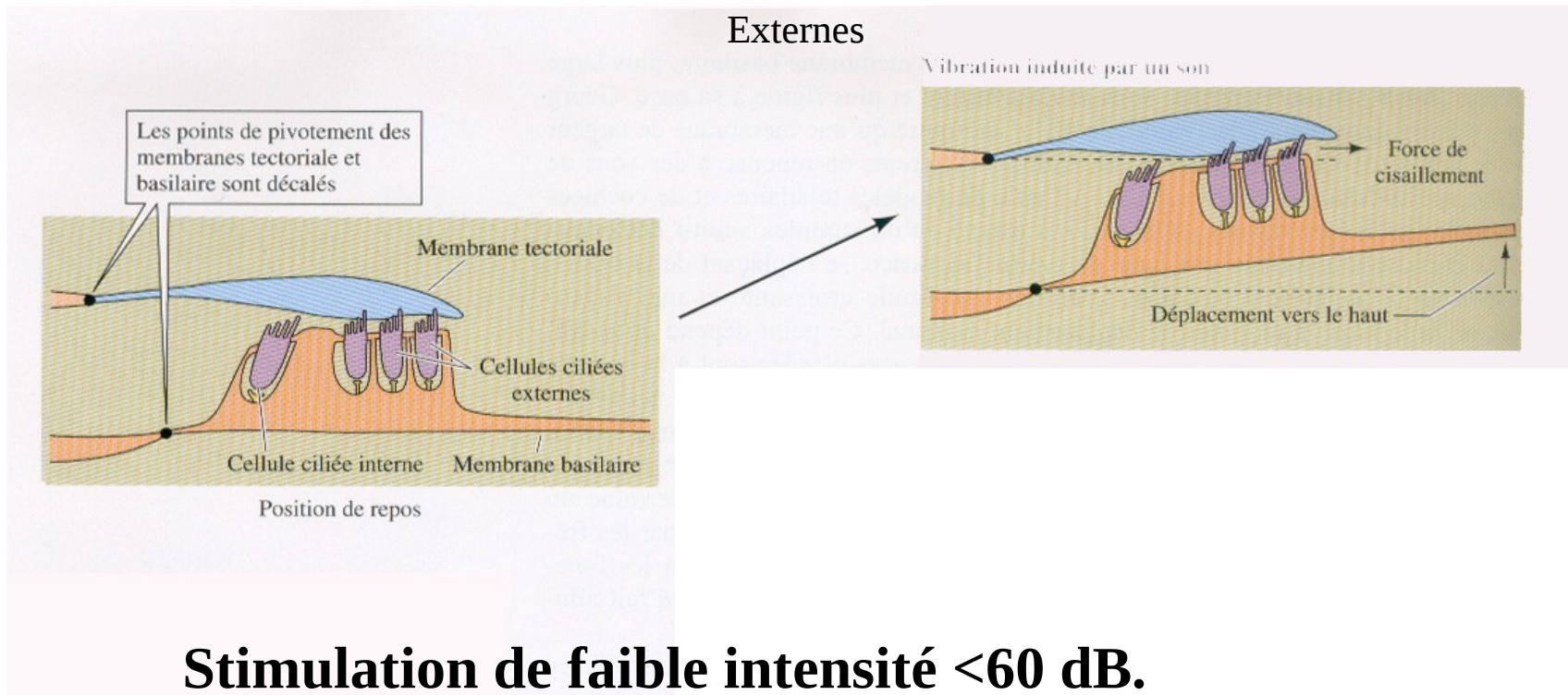
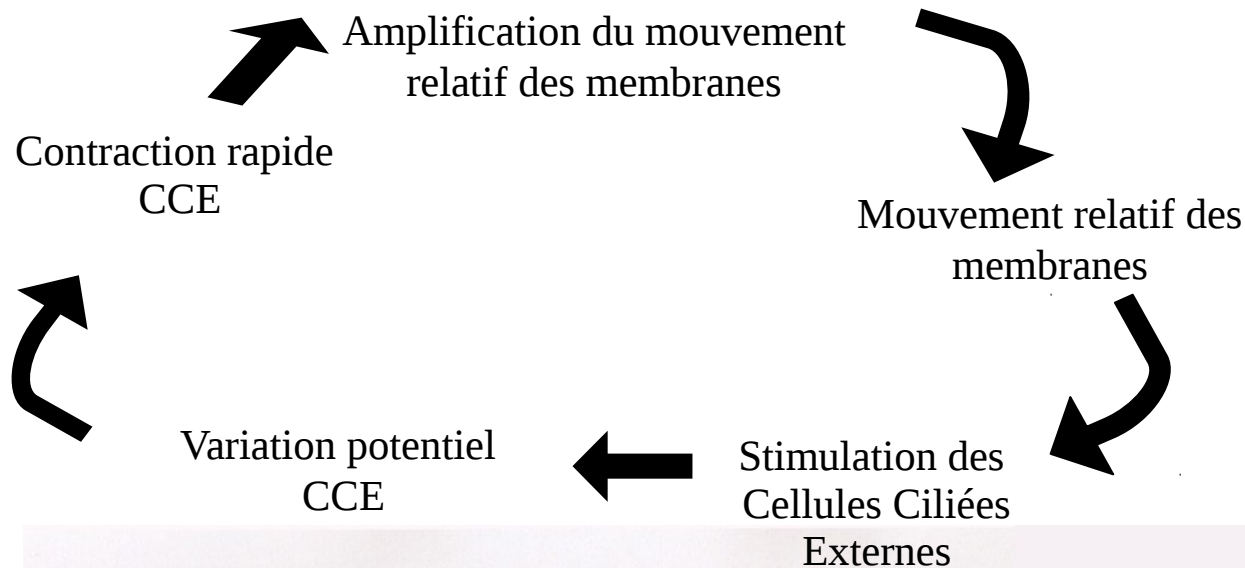


# Le rôle d'amplificateur des Cellules Ciliées Externes



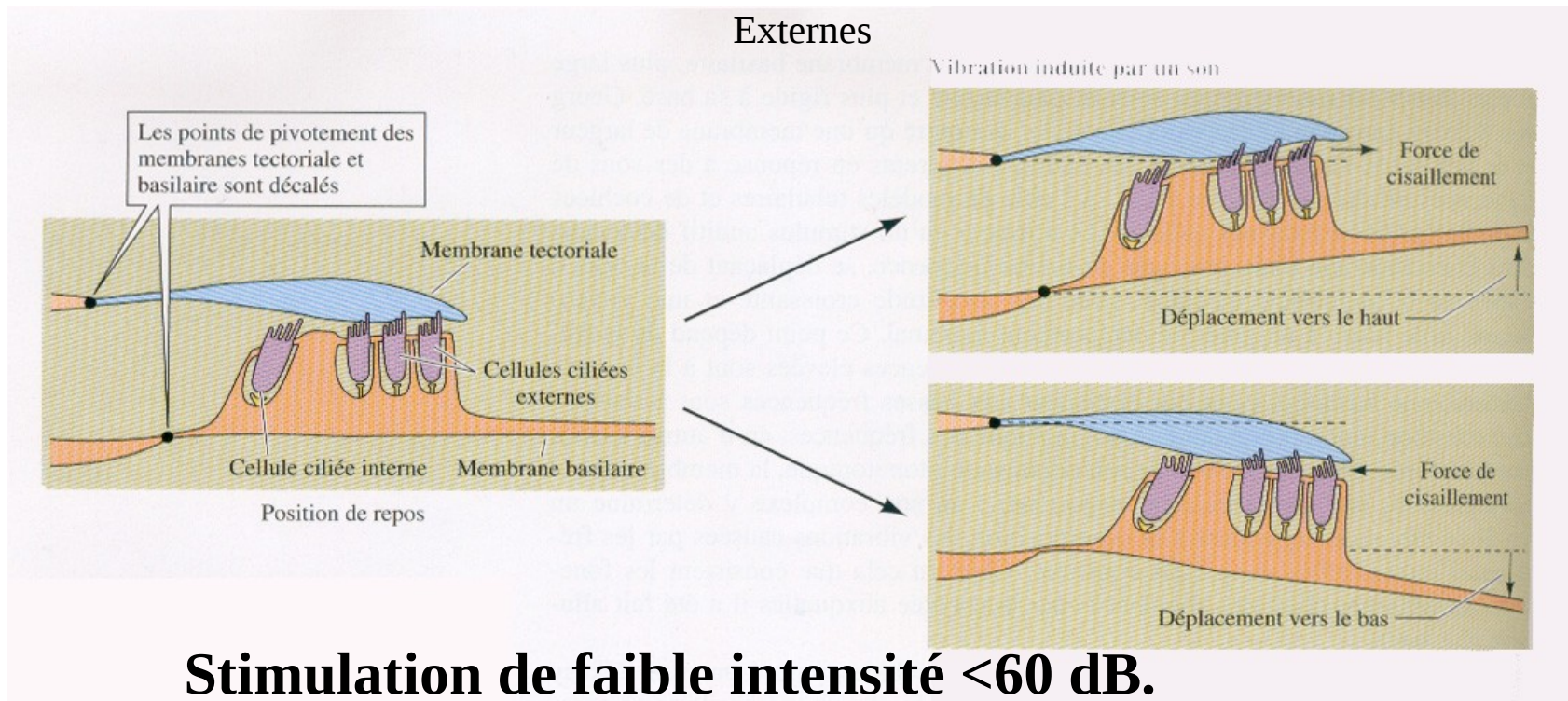
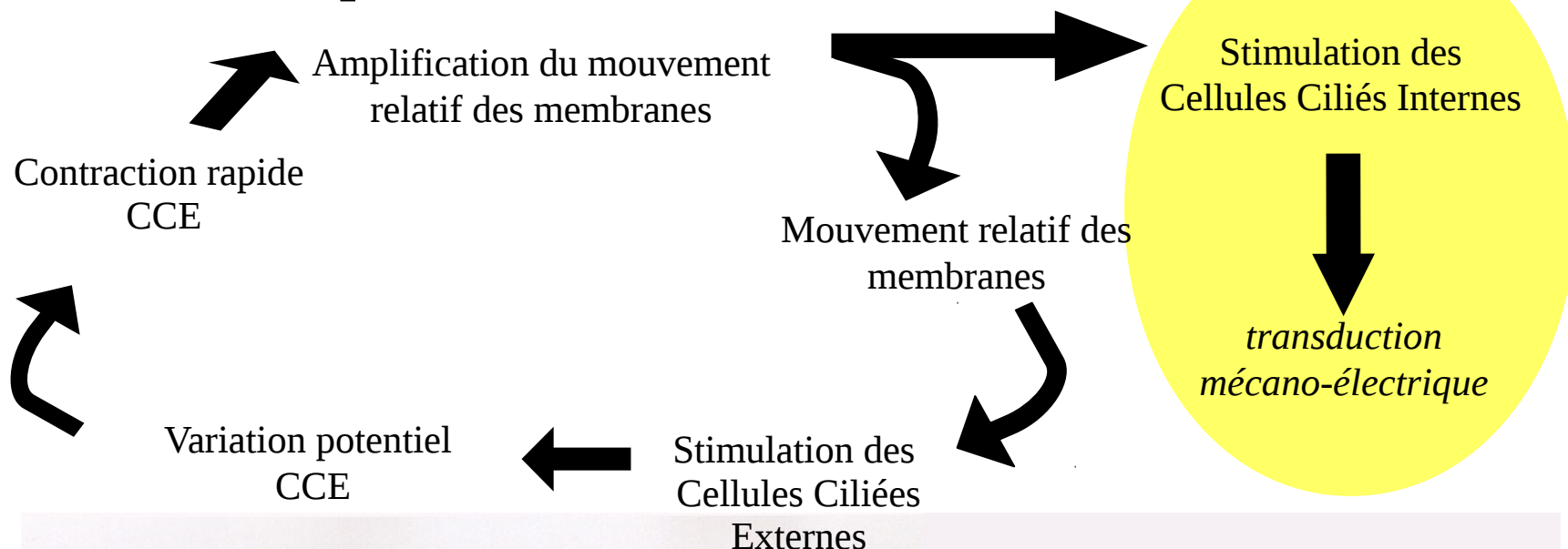
**Stimulation de faible intensité <60 dB.**

# Le rôle d'amplificateur des Cellules Ciliées Externes



**Stimulation de faible intensité <60 dB.**

# Le rôle d'amplificateur des Cellules Ciliées Externes



# En absence de Cellules Ciliées Externes

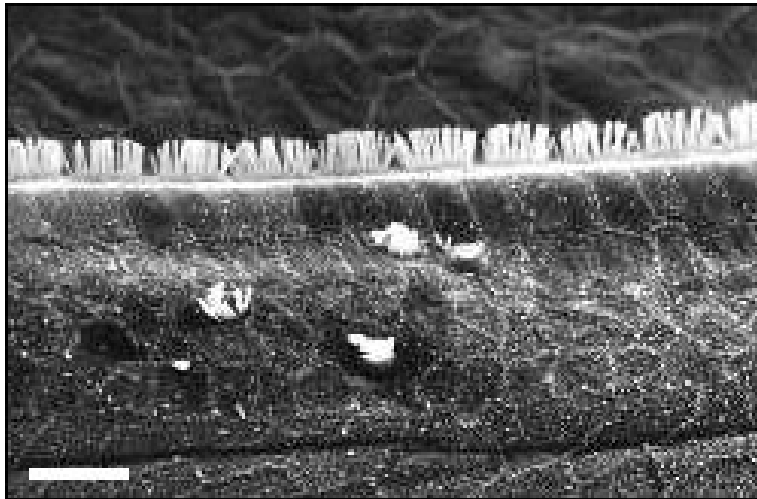
Mouvement  
relatif des membranes



Stimulation des  
Cellules Ciliées Internes

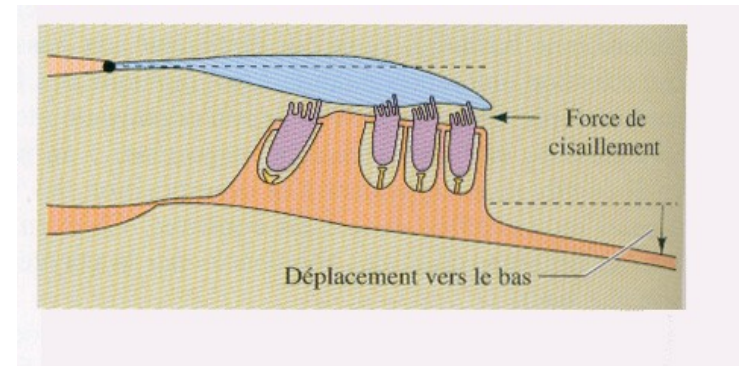


*transduction  
mécano-électrique*



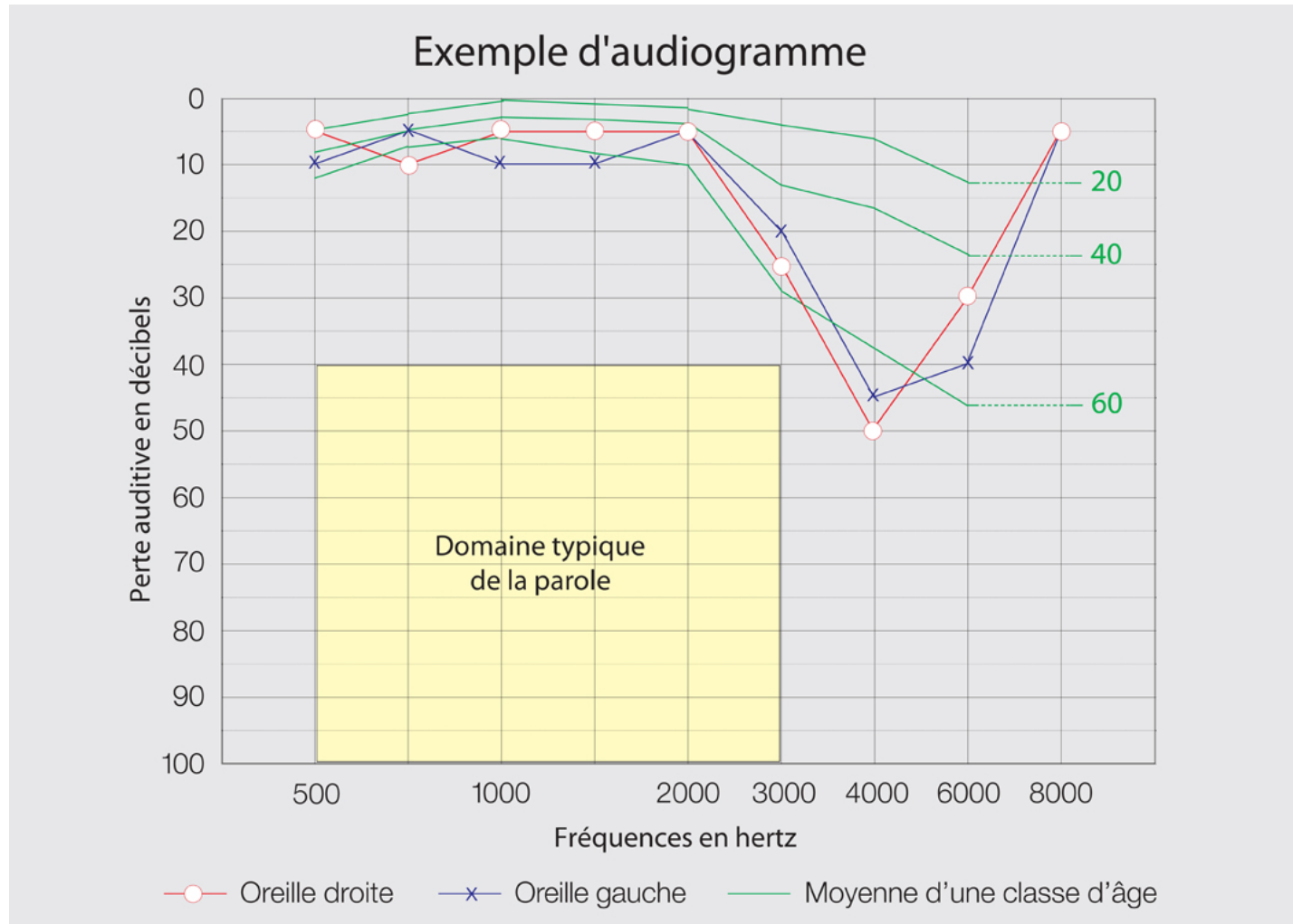
i

o



**Stimulation de forte intensité >60 dB.**

# Quelques éléments concernant l'audition pathologique



## Démonstration sonore :



Dans cette simulation,  
une courte phrase est répétée trois fois:



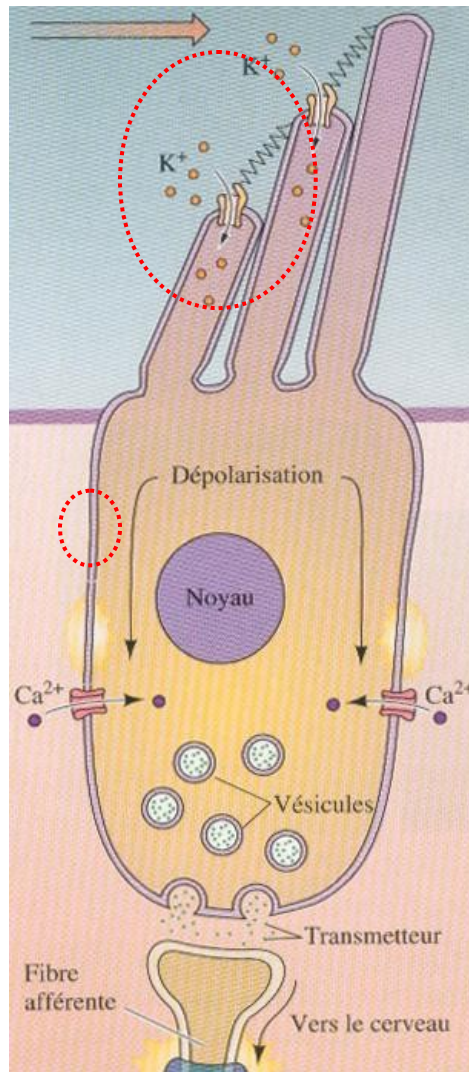
1-Sans perte auditive

2-Avec une perte auditive de type presbyacousie (vieillessement du système auditif)

3-Avec cette même perte auditive réhabilitée par un appareil auditif. Notez que la dégradation de l'analyse en fréquence (l'élargissement des filtres auditifs) induite par la perte auditive ne peut malheureusement pas être corrigée par l'appareil auditif.



# La transduction



déflexion cils des  
CCI  
↓  
ouverture canaux

↓  
entrée  $K^+$   
↓  
dépolariation  
↓  
entrée  $Ca^{2+}$

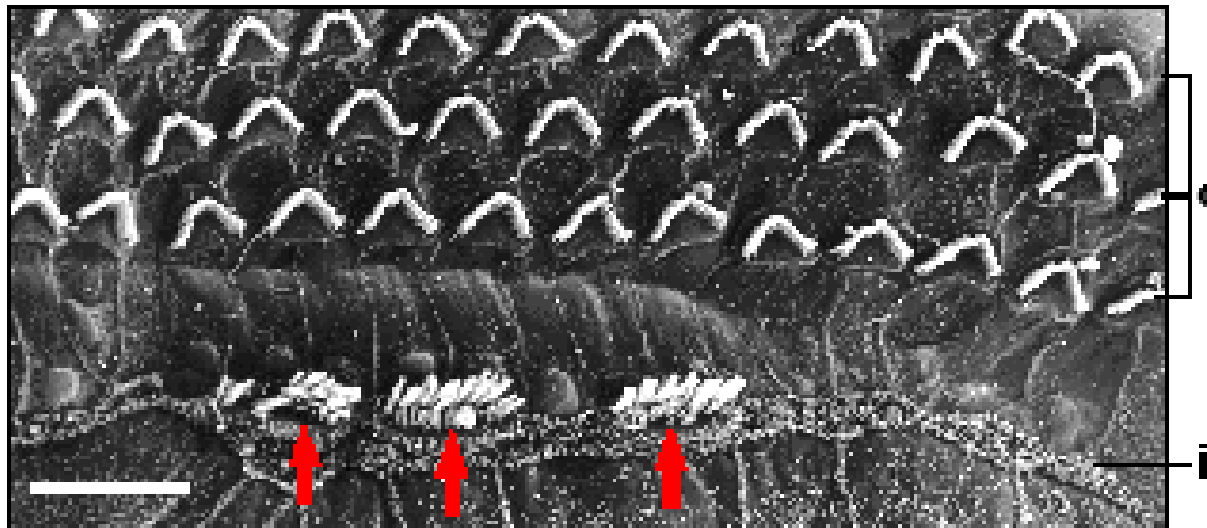
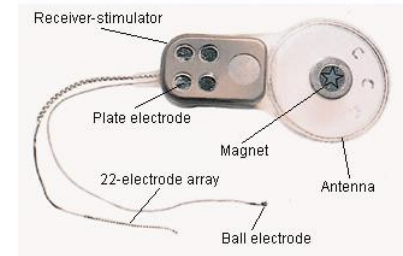
↓  
libération  
glutamate

↓  
entrée  $Na^+$   
↓

Potentiel d'action

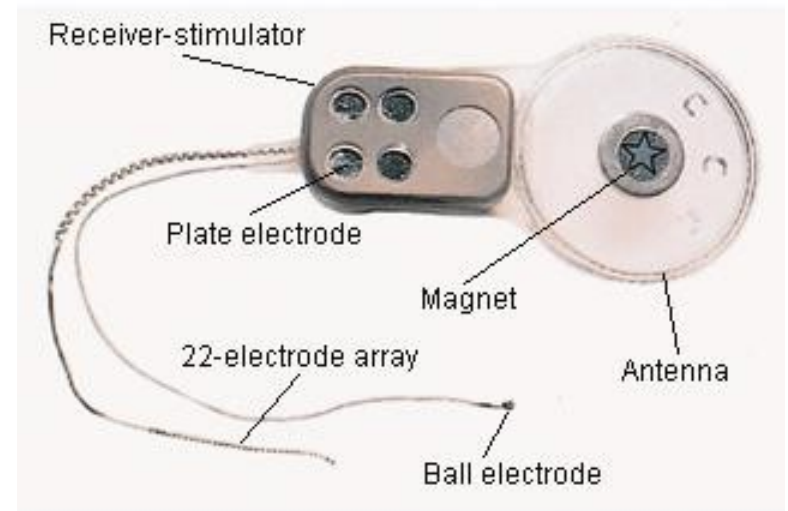
# Quelques éléments concernant l'audition pathologique

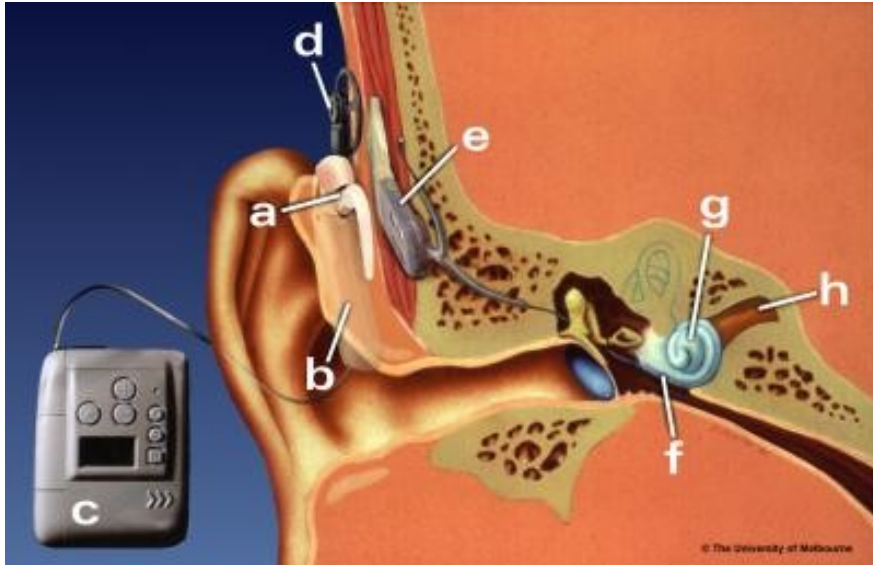
## Une perception pathologique totale...



La lésion affecte les CCI (i).

# L'implant cochléaire.





# Perception de la parole chez l'implanté cochléaire.

L'algorithme de Shannon :

[Shannon et al (1995) Science 270, 303-304.].

Démo: Original, 1, 2, 5, 12 bandes

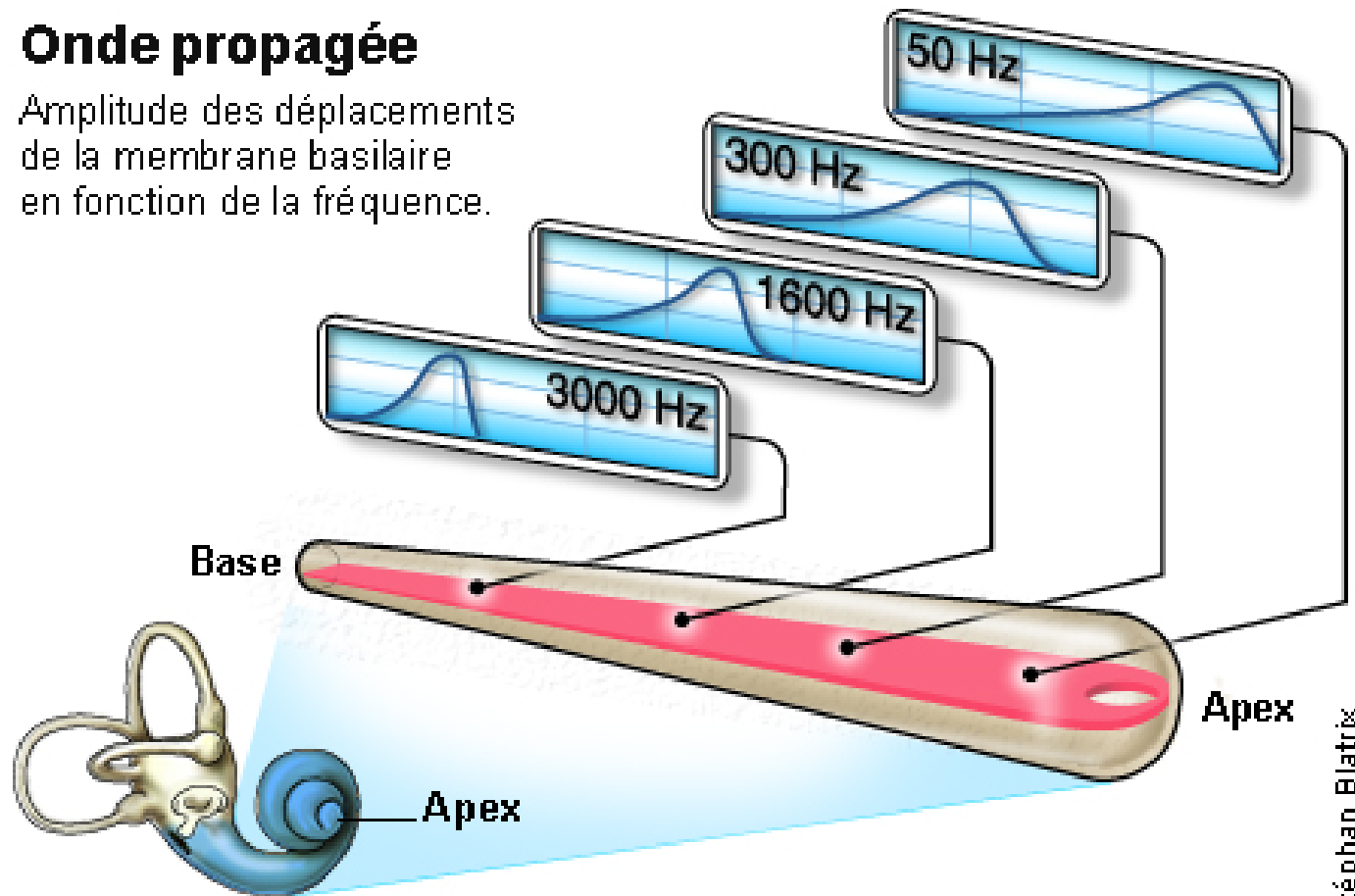


# Le codage de l'information sonore.

Le codage de la place : le codage spectral ou tonotopie cochléaire

## Onde propagée

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



## La sélectivité fréquentielle

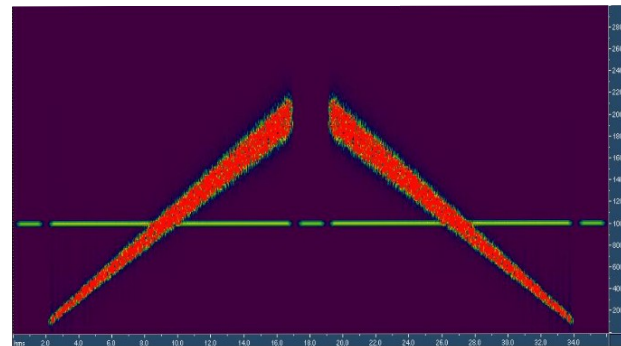


La notion de sélectivité fréquentielle fait référence à notre aptitude à «séparer» des sons éloignés en fréquences.

## Démonstration sonore :

Un **son pur** (une seule fréquence) est présenté simultanément à un **bruit** allant des fréquences graves aux fréquences aiguës puis des fréquences aiguës aux fréquences graves.

Lorsque le bruit est composé de fréquences proches de celle du son pur, le son pur n'est plus audible : il est **masqué**.

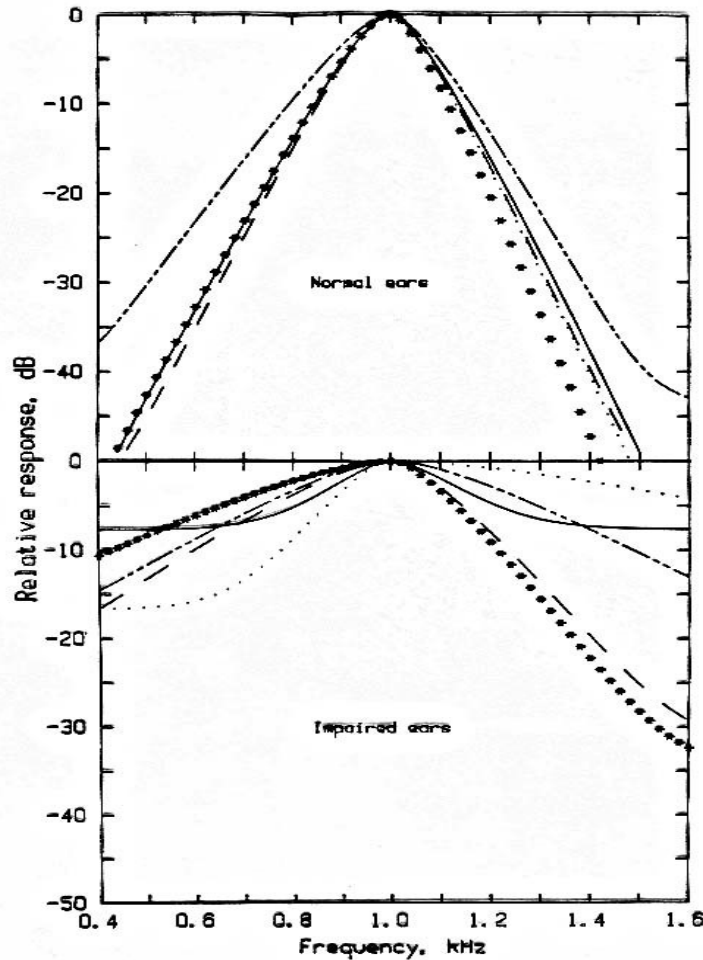


Temps (s)

Fréquence (Hz)







Glasberg & Moore (1986)



Les filtres auditifs des oreilles normo entendants (haut) et malentendants (bas) mesurés par des mesures psychoacoustiques.



## ● Objectif

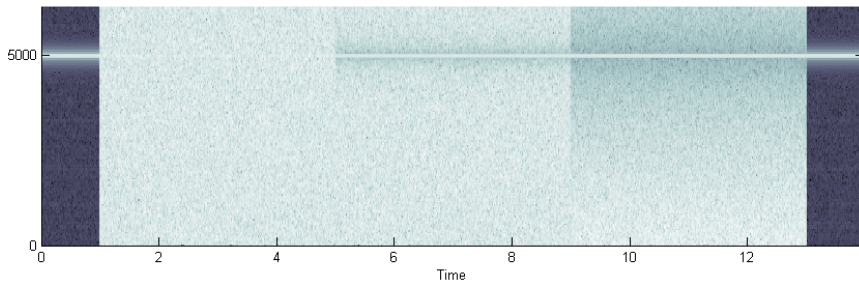
Pour stocker ou transmettre de l'information sonore, il est parfois utile de réduire la taille des fichiers son.



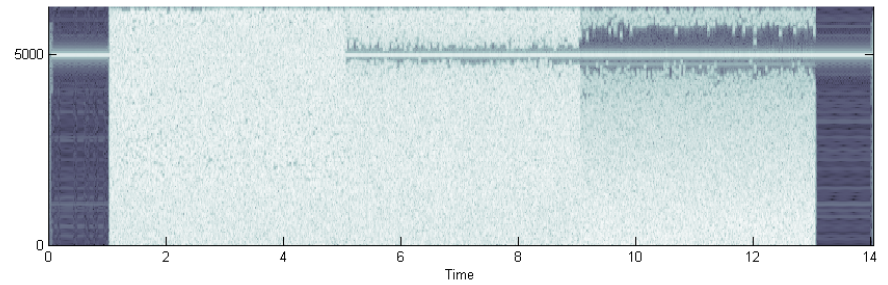
Bell's laboratory

Comment réduire la taille d'un fichier sans changer le son perçu...

- Exemple : MP3



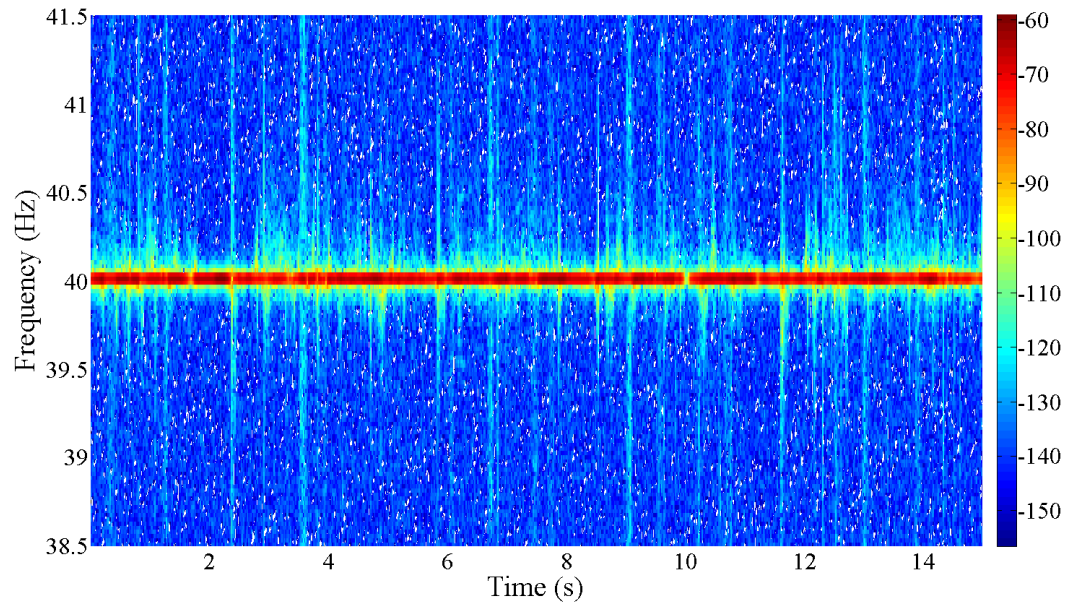
Original



MPEG 1 - layer 3

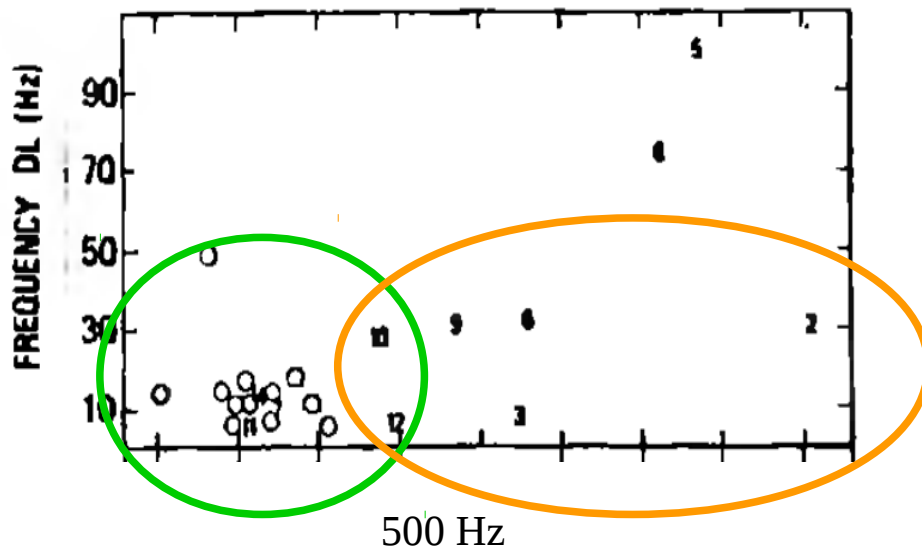
## *La hauteur tonale*

*Sons purs*: C'est la hauteur évoquée par un son pur. Elle correspond à la fréquence de ce son.



## *Malentendants*

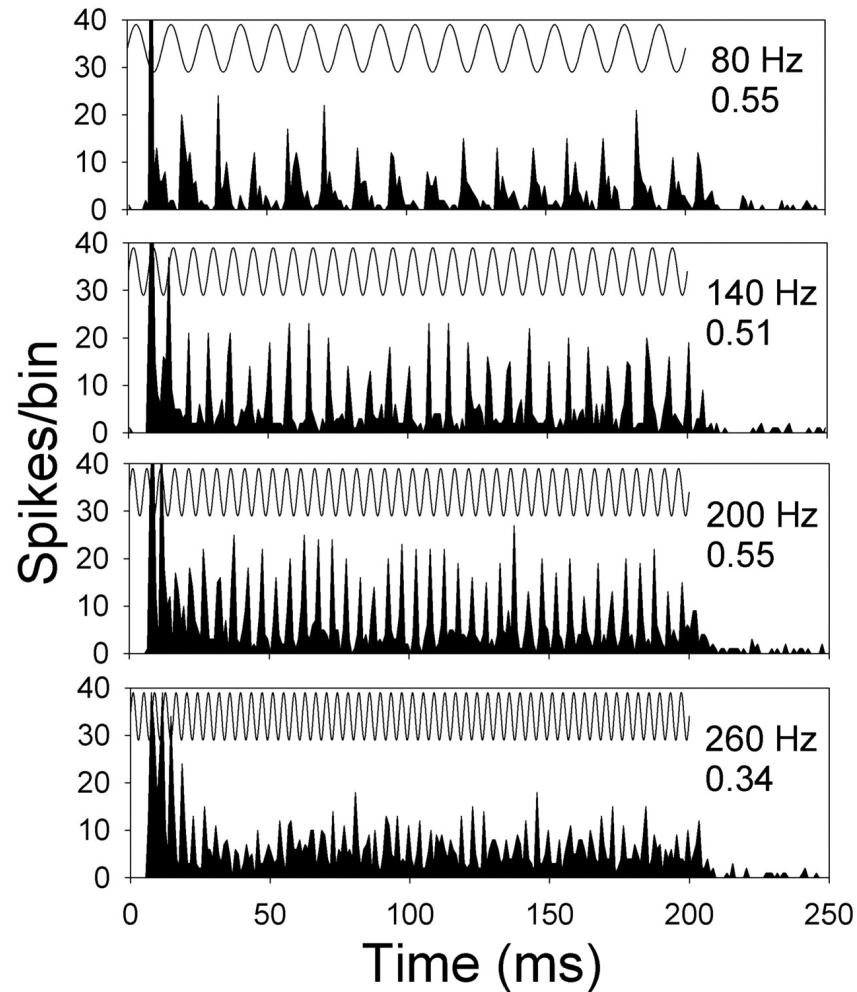
La discrimination fréquentielle semble être conservée chez les malentendants:  
Tyler et al (1983) montrent des DLF proches de ceux des normo-entendants à 500 Hz.



En abscisse une échelle en dB SPL. En blanc: normo-entendants, en noir: malentendants

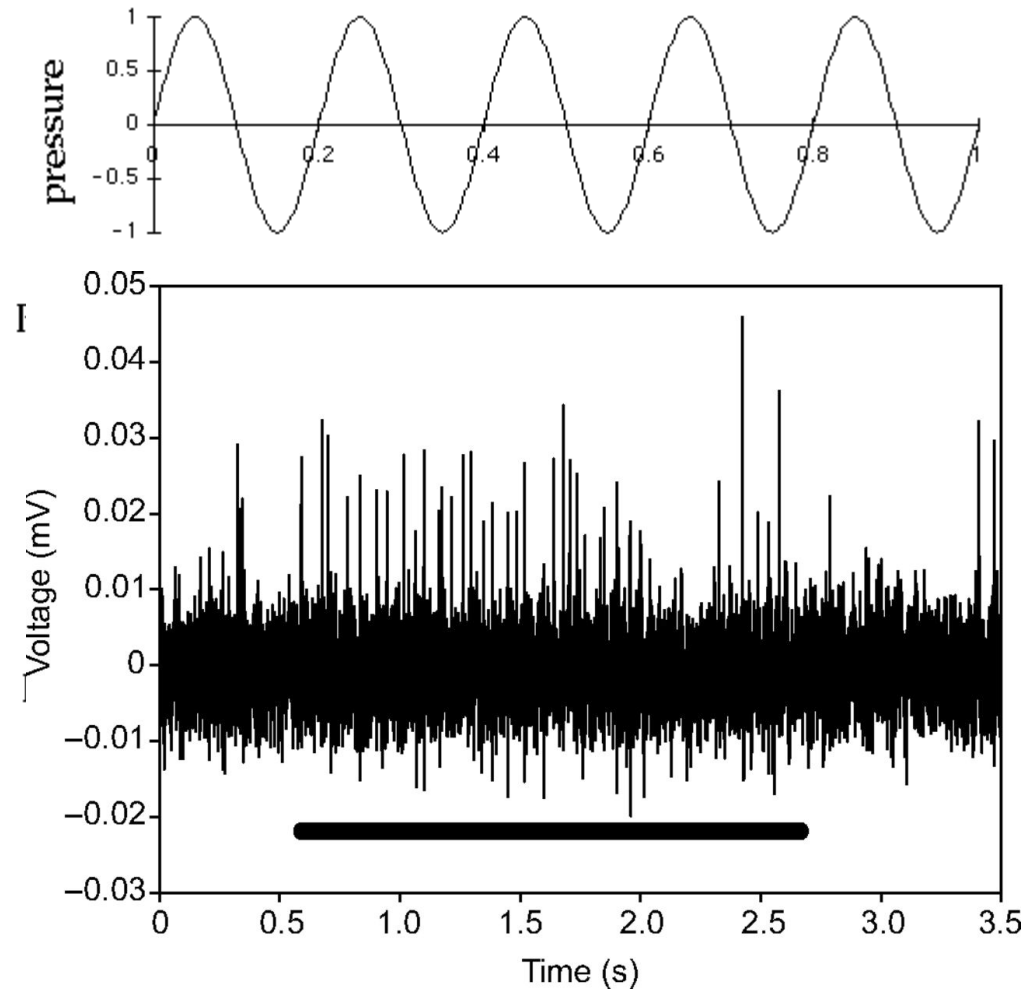
# Le codage de l'information sonore.

Le codage temporel : En dessous de 4000 Hz.



# Le codage de l'information sonore.

Le codage temporel : Au dessus de 5000 Hz.

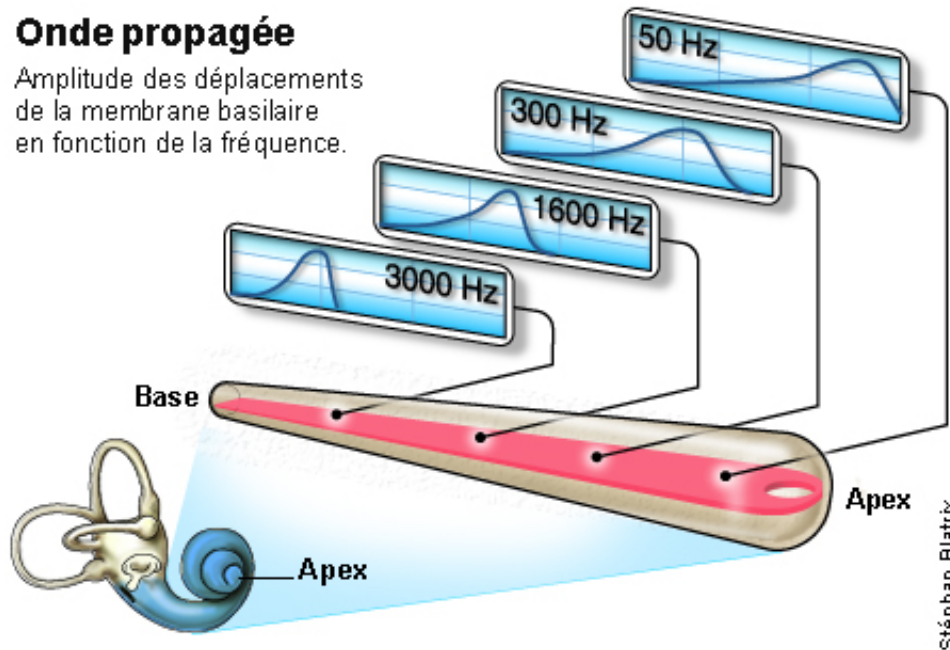


# Le codage de la hauteur.

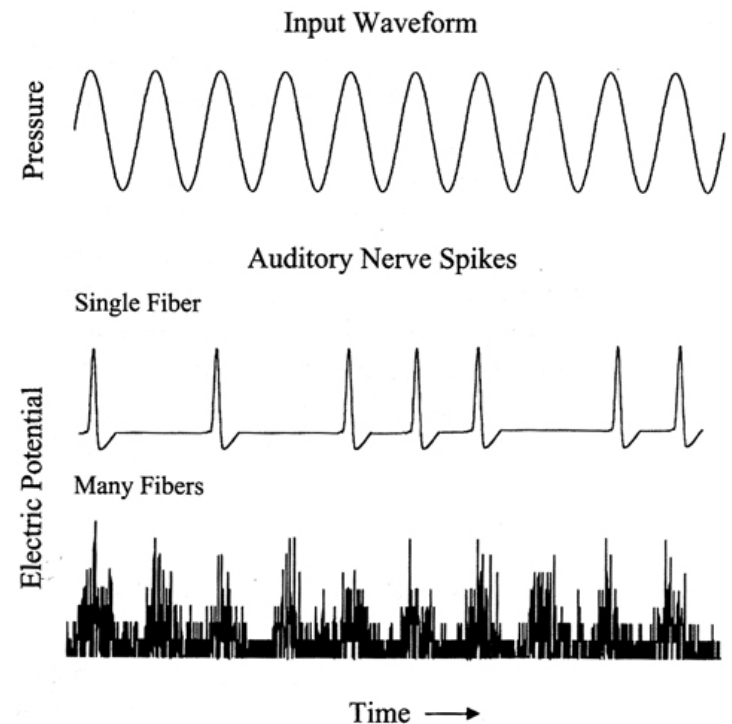
## Le codage spectral.

### Onde propagée

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



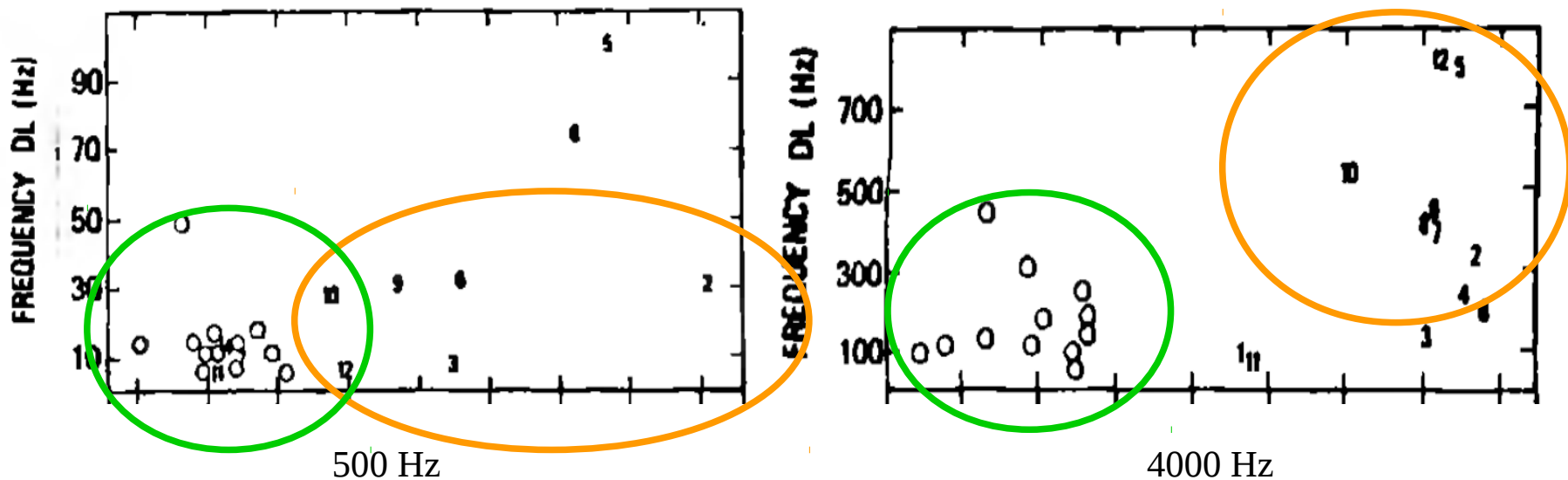
## Le codage temporel.





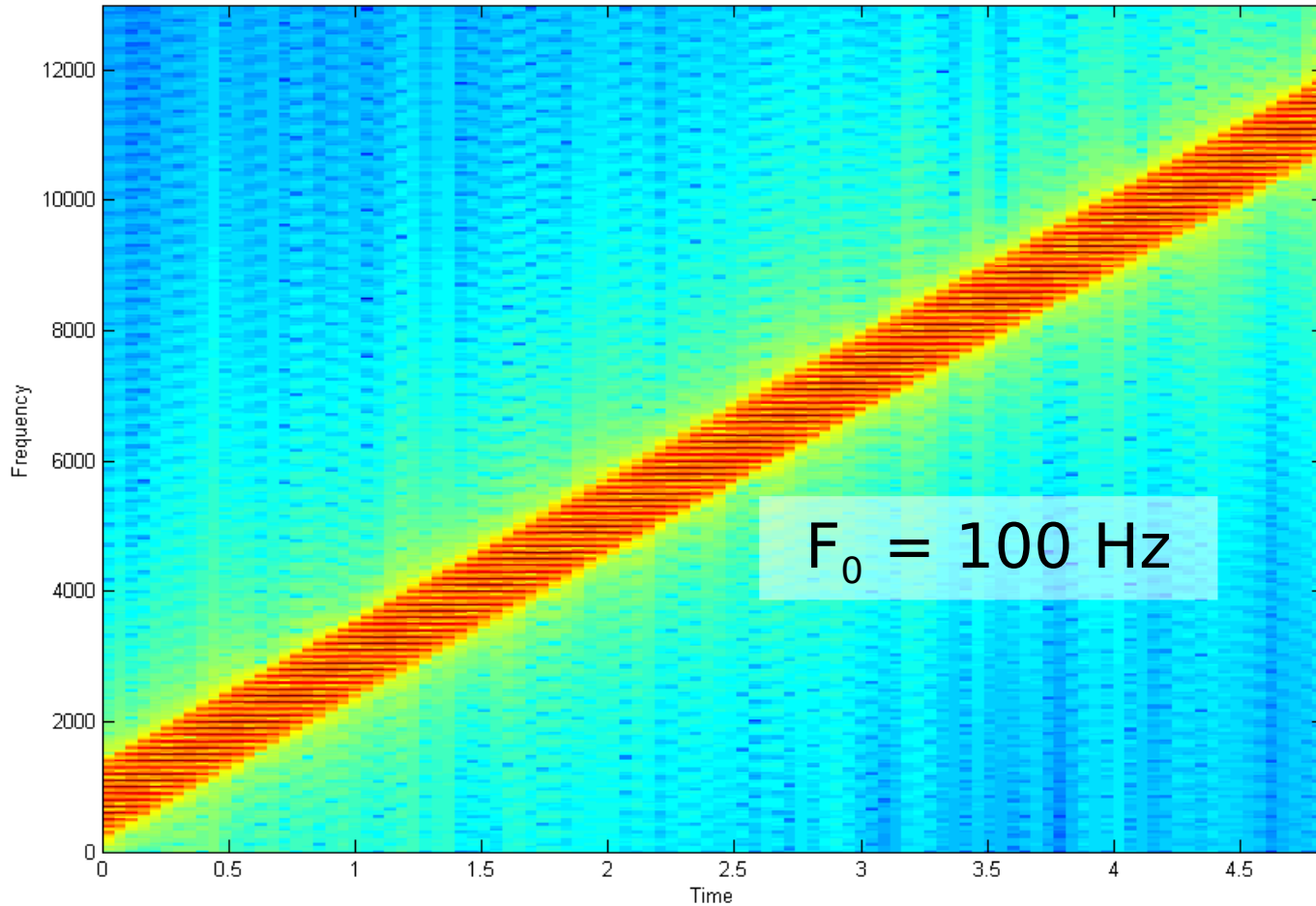
## Malentendants

La discrimination fréquentielle semble être conservée chez les malentendants: Tyler et al (1983) montrent des DLF proches de ceux des normo-entendants à 500 Hz et légèrement dégradés à 4000 Hz.



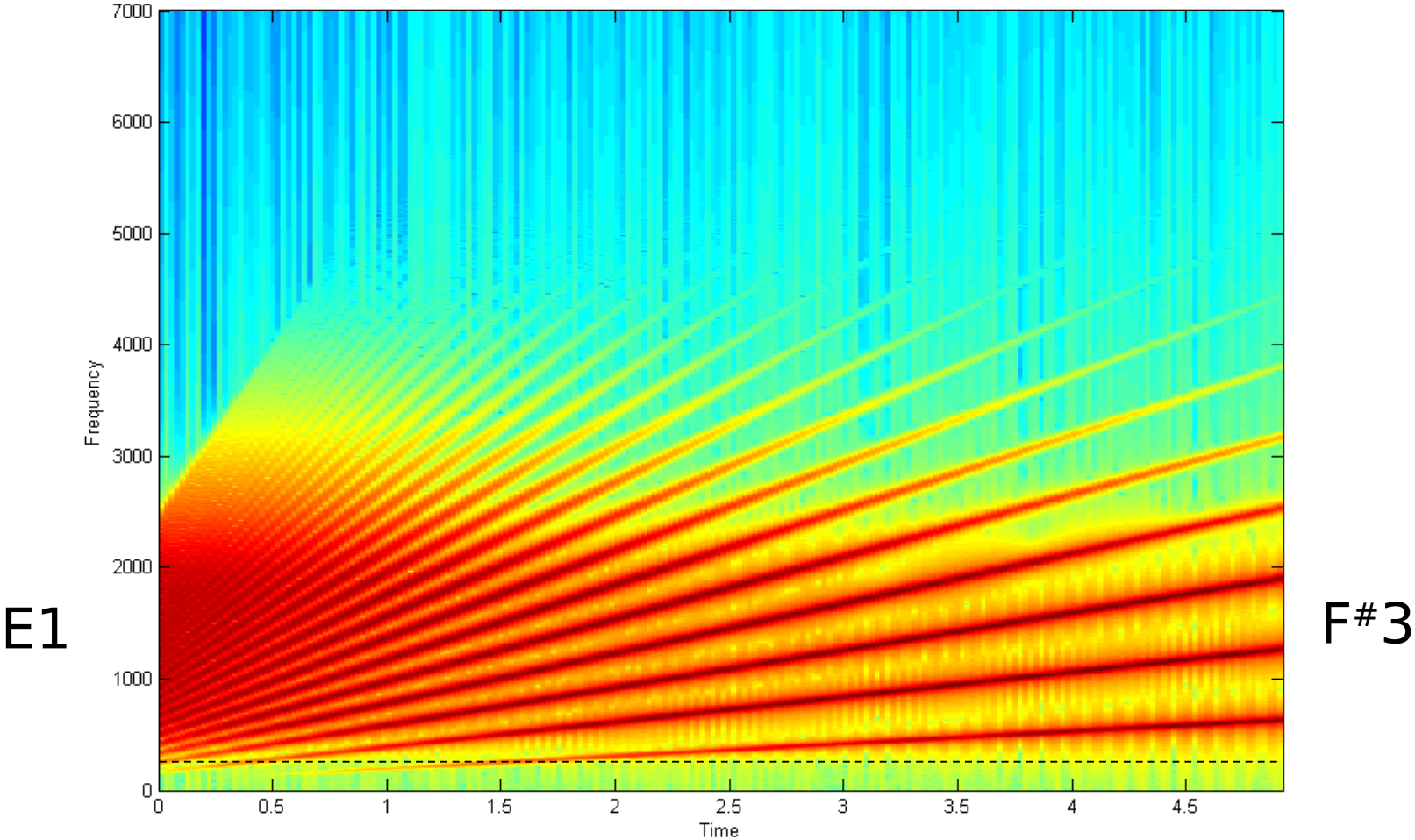
En abscisse une échelle en dB SPL. En blanc: normo-entendants, en noir: malentendants

# La hauteur spectrale

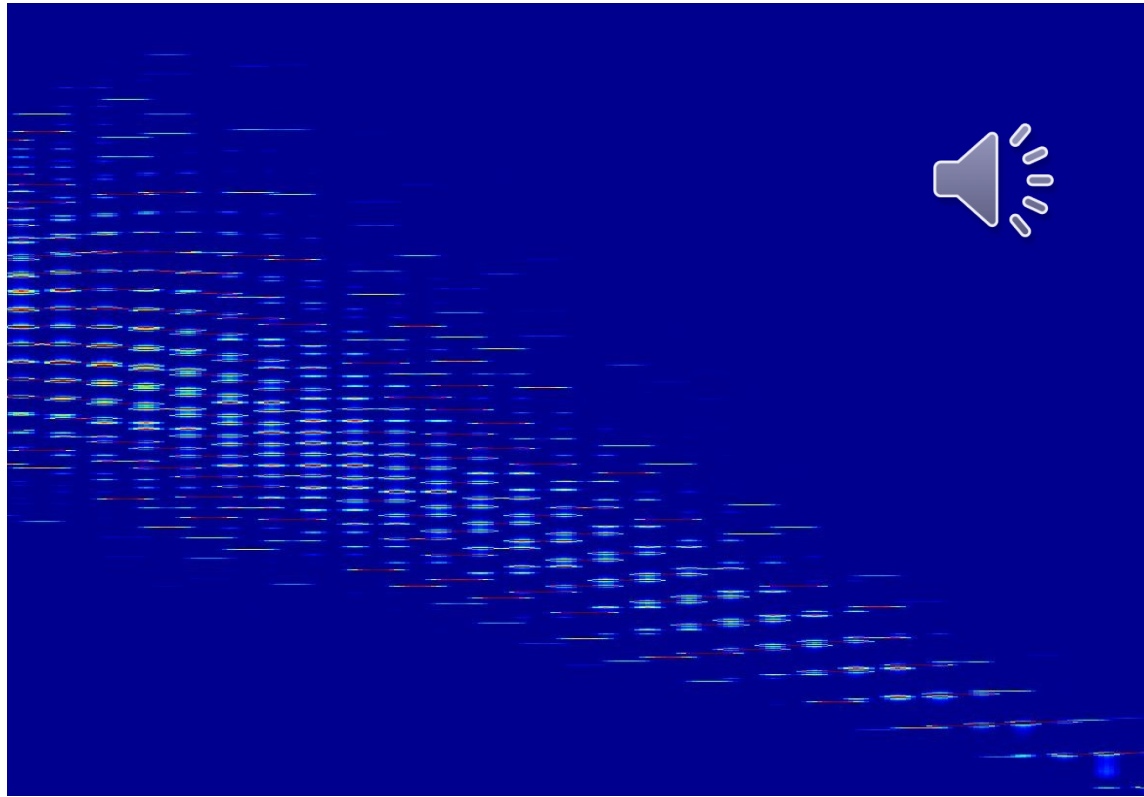


*Exemple:* le bouton grave/aigu d'une chaîne hi-fi modifie la hauteur spectrale.

# *La hauteur virtuelle ou fondamentale*



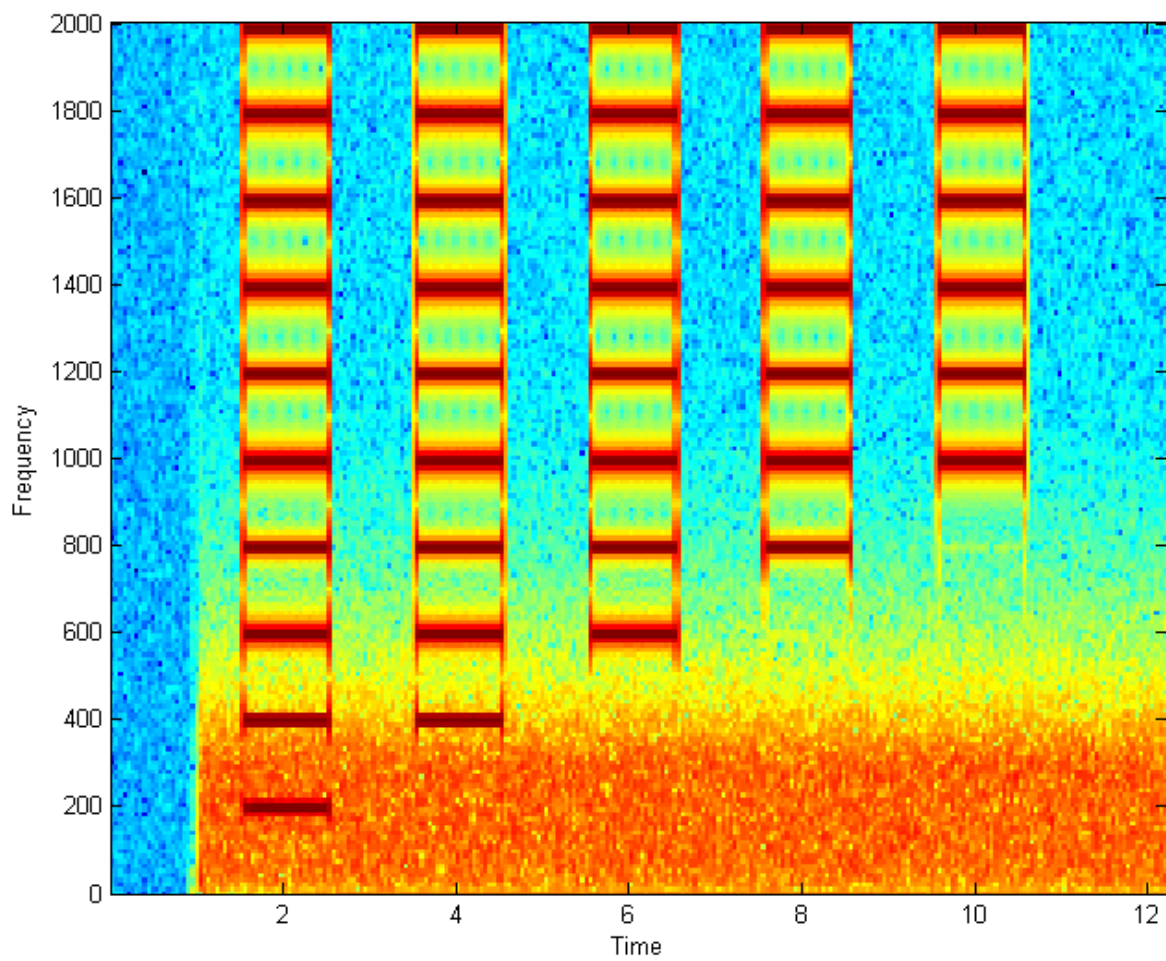
# *Démo: ambiguïté entre hauteur virtuelle et hauteur spectrale*



*Filtre passe bande décroissant de 3000 à 600 Hz,  
filtrant un son complexe harmonique de hauteur croissante de 100 to 220 Hz.*

# *La hauteur virtuelle ou fondamentale*

*Elle est virtuelle...*





**Hermann Helmholtz (1821-1894)**



**Georg Simon Ohm (1787-1854)**

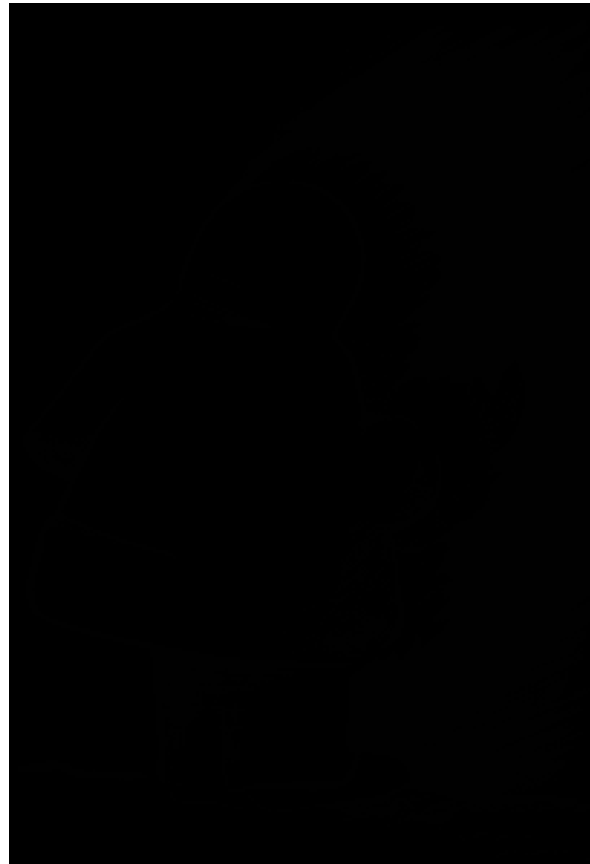


**Thomas Johann Seebeck (1770-1831)**

# L'analyse des scènes auditives

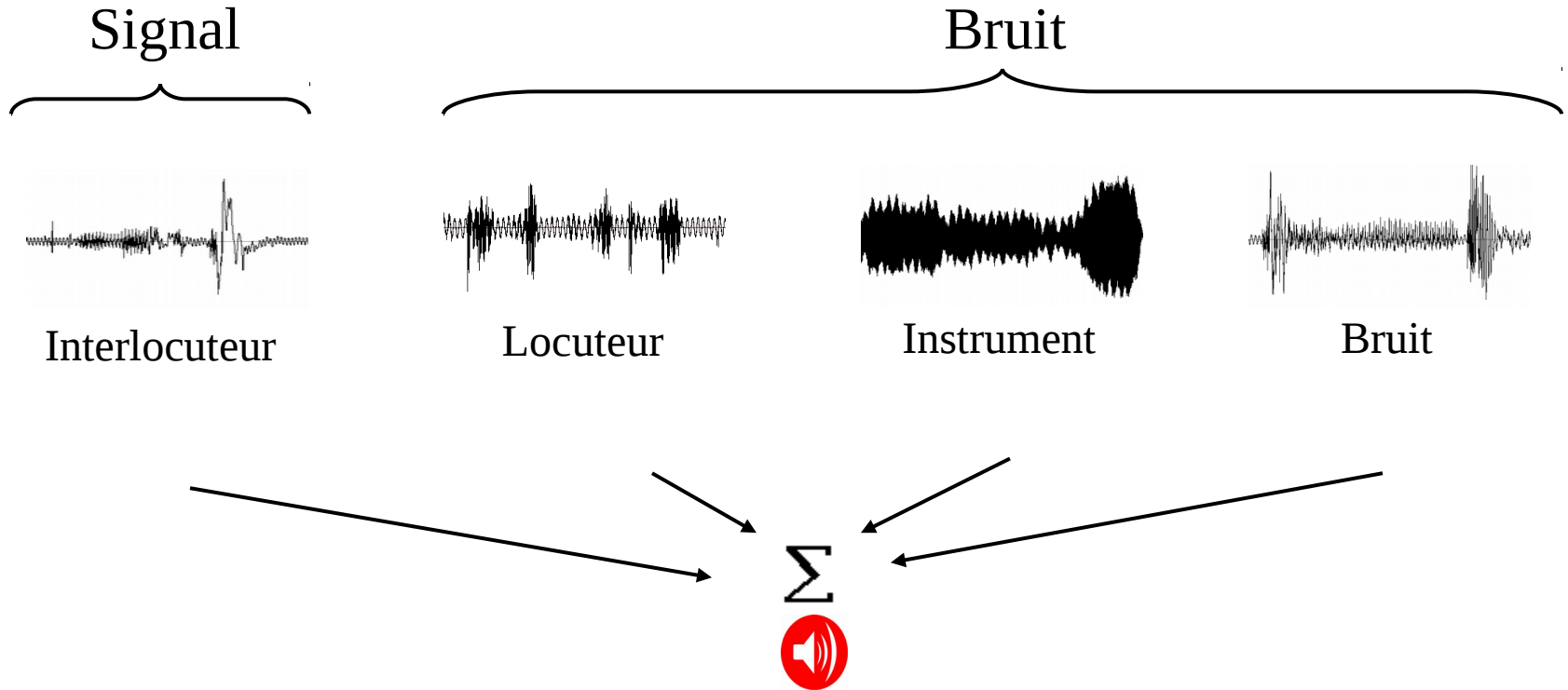
Analogie avec les scènes visuelles

*Un visage d'Amérindien ou  
un Inuit ? Ou bien les  
deux?*



# Définitions

Une scène auditive est constituée de tous les sons présents à un instant donné.



**Scène auditive composée de 4 sources.**



**Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears\***

E. COLIN CHERRY

*Imperial College, University of London, England, and Research Laboratory of Electronics,  
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts*

(Received May 5, 1953)

**Cas particulier de la perception de la voix en situation concurrentielle d'écoute.**

**L'effet «cocktail party» (Cherry, 1953)**

**4 voix :**



# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements simultanés*

- Régularités spectrales (Bregman, 1990):

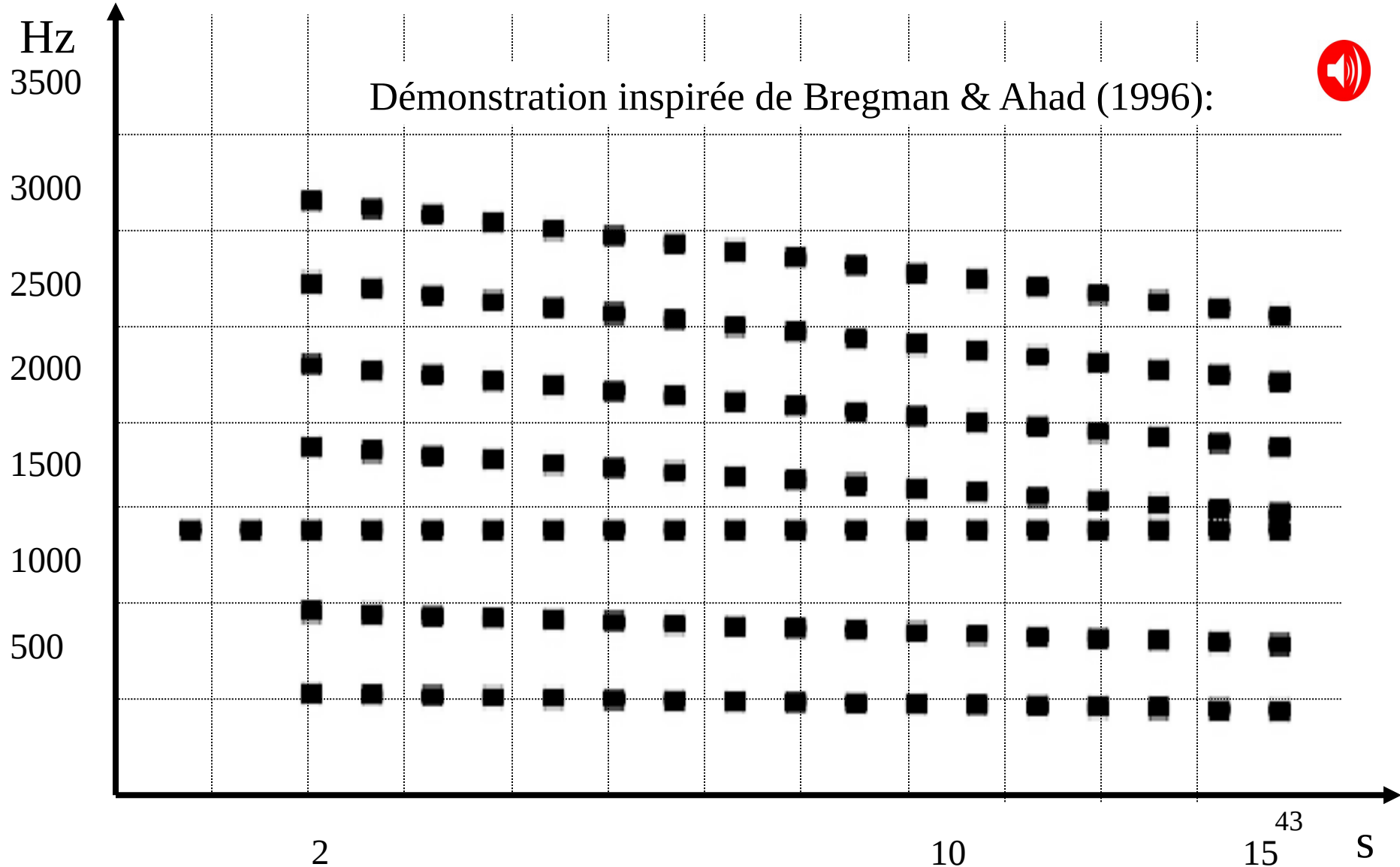
- Roberts & Brunstrom, 1998, 2003
- Hartmann et al, 1990
- Hartmann and Doty, 1995
- ...

# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

*Ségrégation & groupement perceptif d'événements simultanés*



Démonstration inspirée de Bregman & Ahad (1996):



# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements simultanés*

- Destin commun (modulation d'amplitude, de fréquence, onset...)

Modulations d'amplitude:

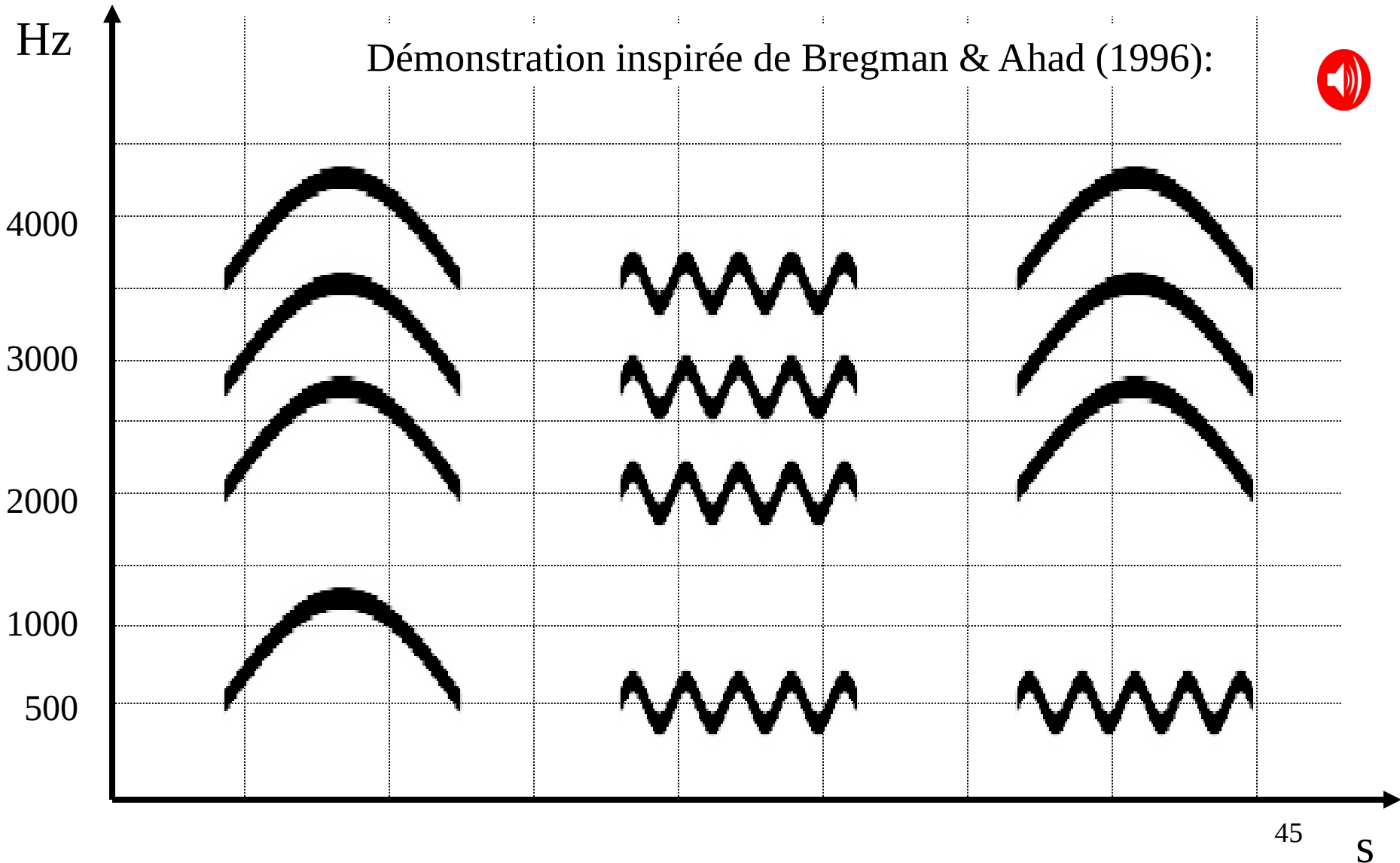
- Oxenham and Dau, 2001
- Dau et al, 2004
- ...

Modulations de fréquence:

- McAdams, 1984
- ...

# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

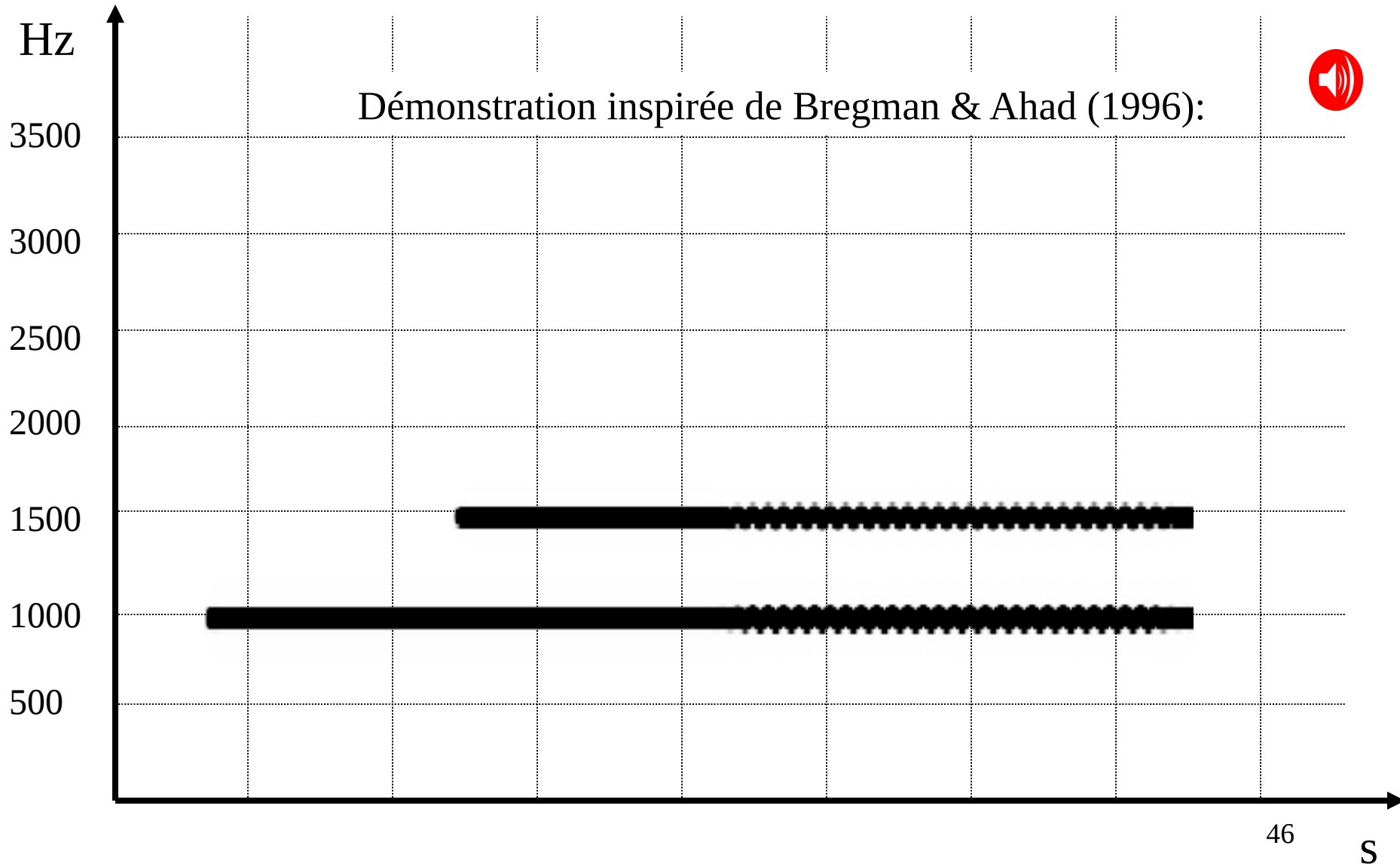
## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements simultanés*



# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements simultanés*

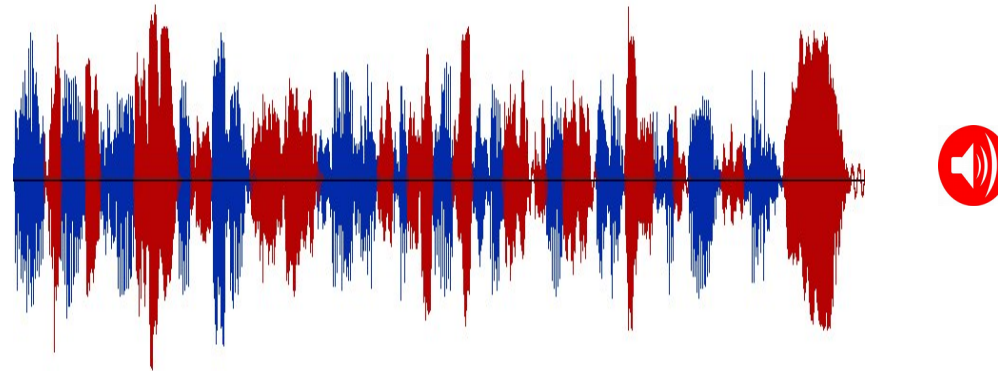
Démonstration inspirée de Bregman & Ahad (1996):



# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements séquentiels*

### Démonstration du Zebra Speech (Gaudrain 2010)

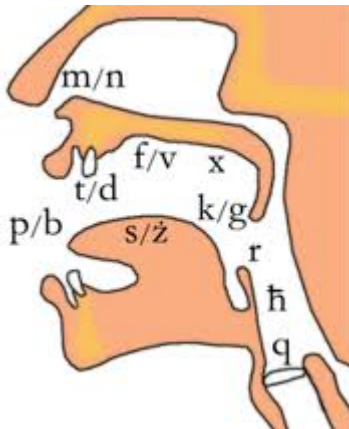


# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

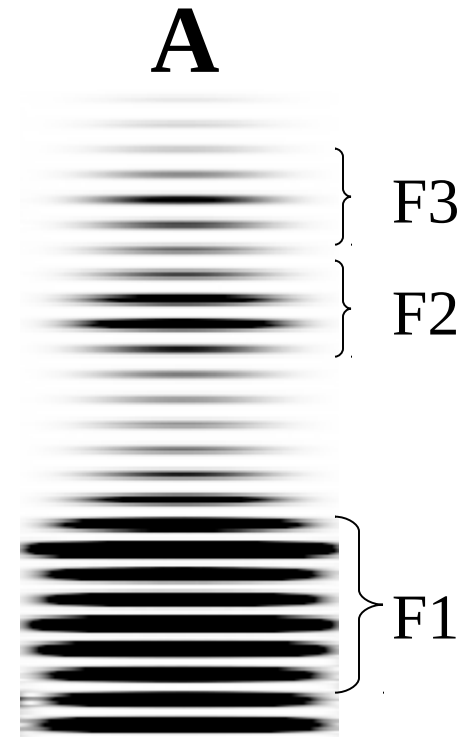
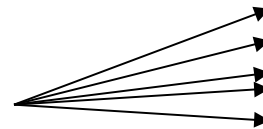
## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements séquentiels*

### Cas particulier de la parole:

**Indices fréquentiels:** - la hauteur  
-les formants  
-la taille



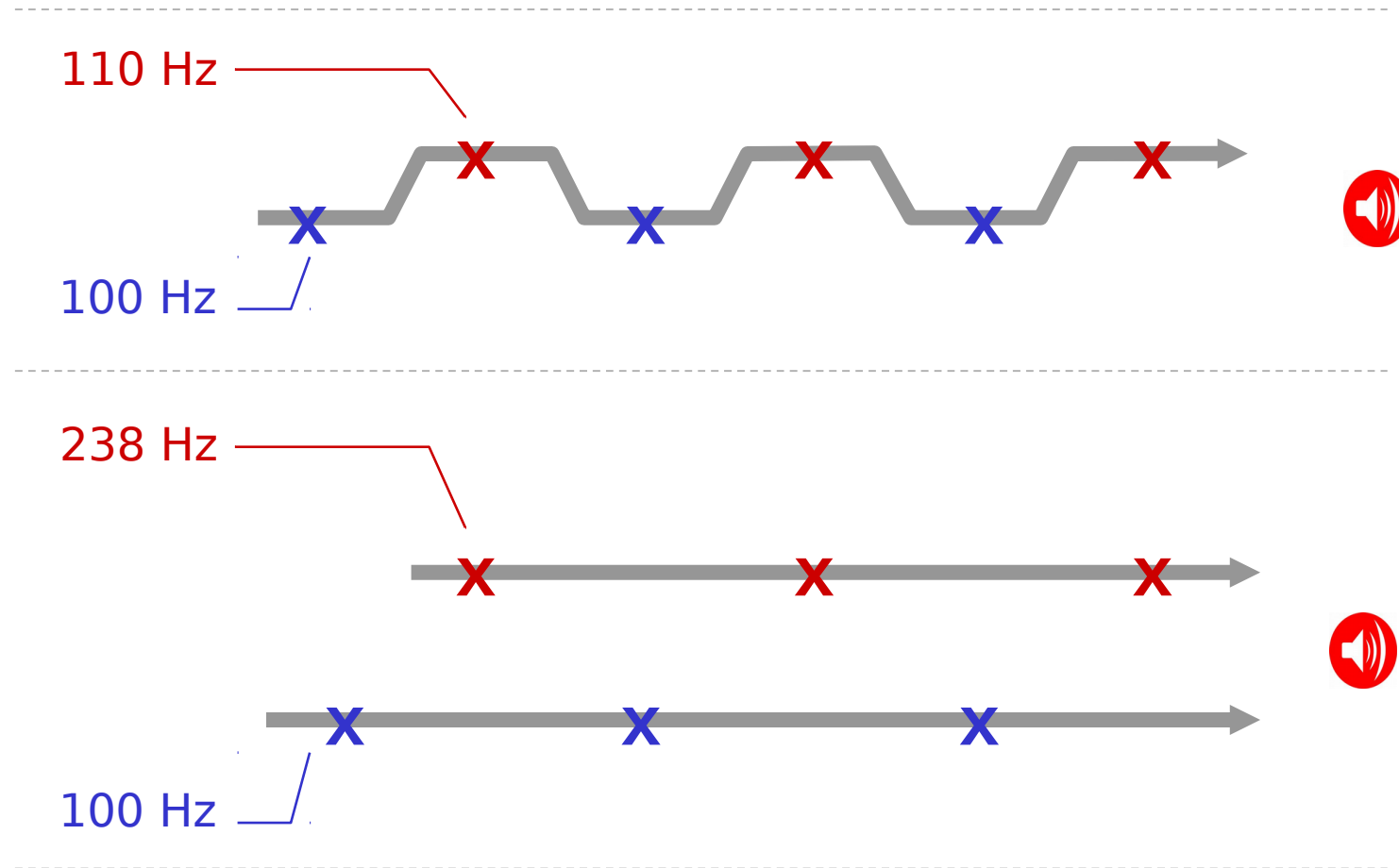
harmoniques





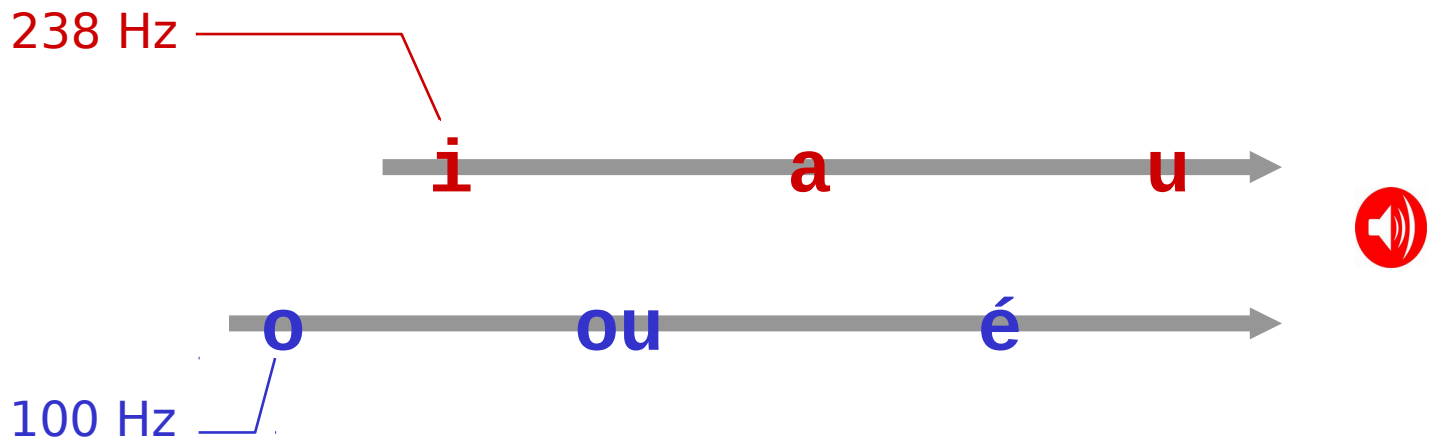
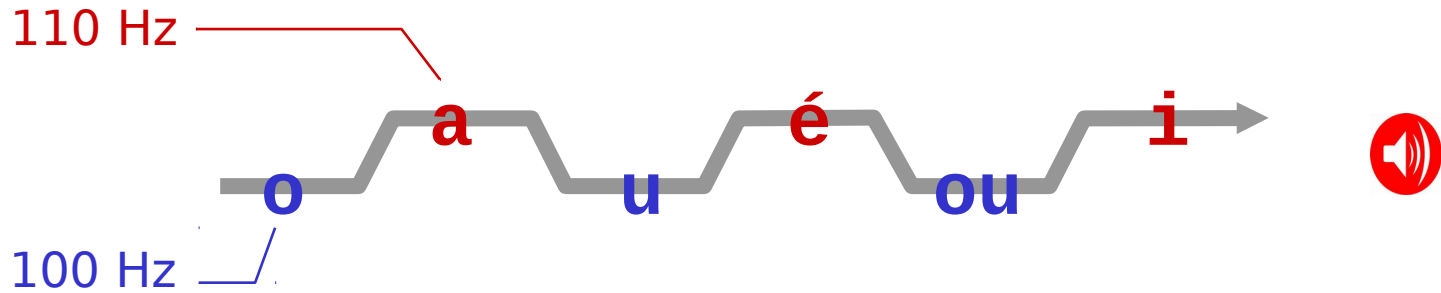
# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements séquentiels*

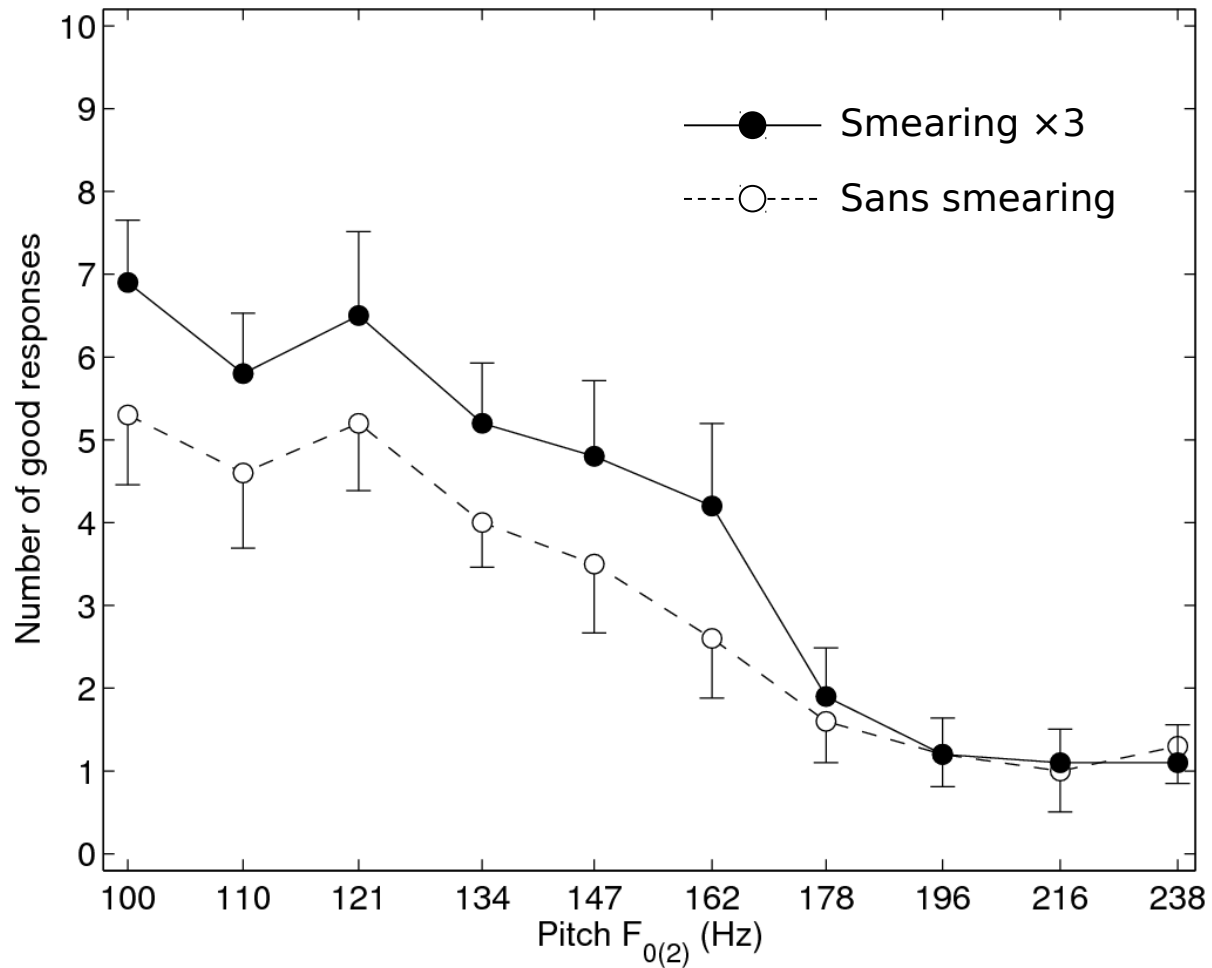


# Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives

## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements séquentiels*



• Approche par simulation de perte auditive (Gaudrain et al 2007)



# Analyse des scènes auditives chez le malentendant.

L'algorithme de Baer et Moore :

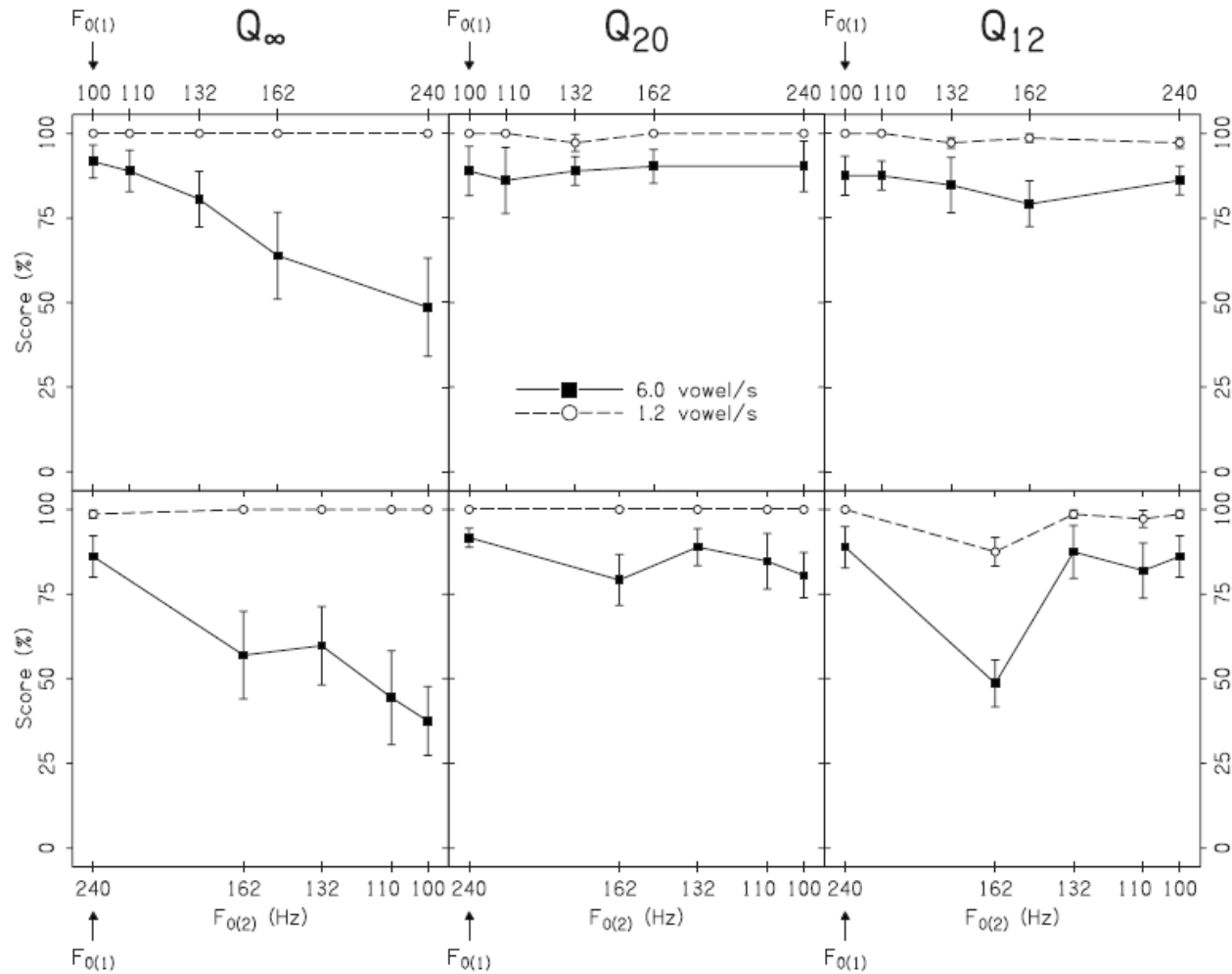
[Baer et Moore (1993) JASA 94, 1229-1241.].

Démo voix femme + homme:

Original, Perte auditive, Perte auditive + Prothèse



• Approche par simulation d'implant (Gaudrain et al 2008)



# Analyse des scènes auditives chez l'implanté cochléaire.

L'algorithme de Shannon :

[Shannon et al (1995) Science 270, 303-304.].

Démo voix femme + homme:

Original,

12 bandes



# **Les mécanismes supposés de l'analyse des scènes auditives**

## *Ségrégation & groupement perceptif d'événements séquentiels*

Conclusions: ségrégation de la parole (indices acoustiques)

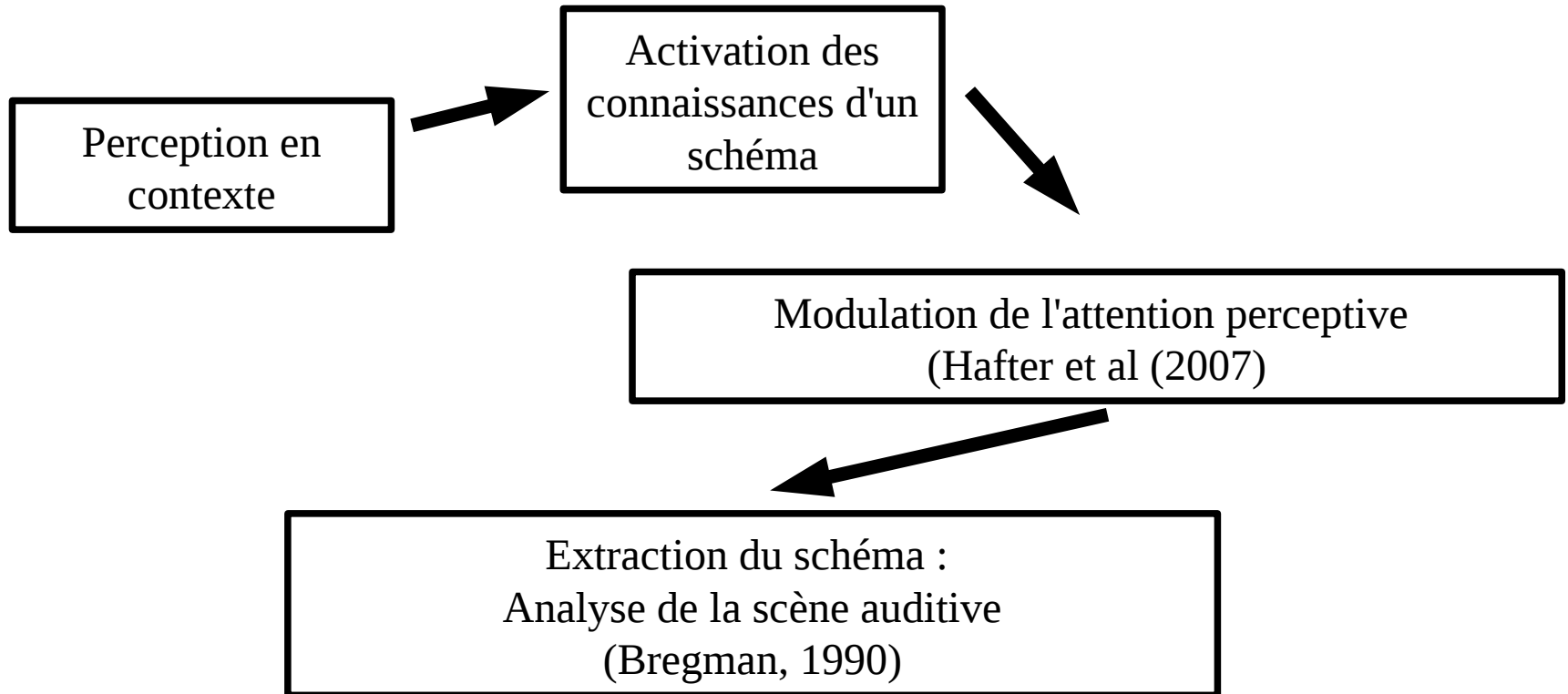
1-La fréquence fondamentale joue un rôle important (affecté par les pathologies).

2-Les différences de timbres due au formants sont peu pertinente et lissés par les transitions entre formants.

3-Les différences de timbres dues à la taille du locuteur sont utiles.

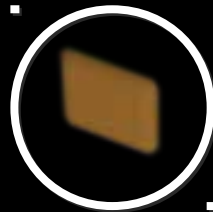
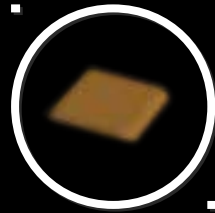
# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

## ● Hypothèse des schémas de Bregman (1990)



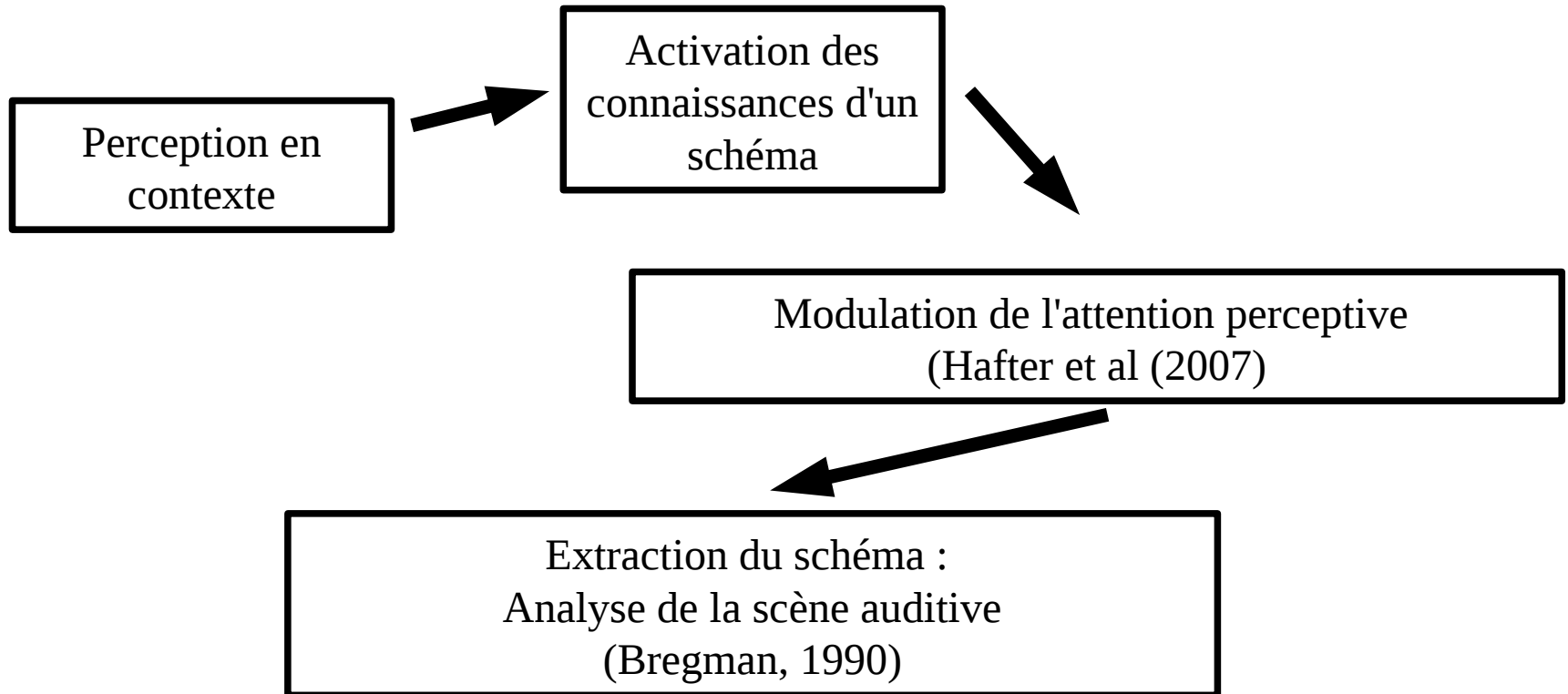


**Ces deux carrés  
ont une couleur identique !!!**



# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

## ● Hypothèse des schémas de Bregman (1990)



# L'analyse des scènes auditives – Les effets « cognitifs »

- **Le rôle des connaissances et des attentes pour l'analyse des scènes auditives.**



# L'analyse des scènes auditives – Les effets « cognitifs »

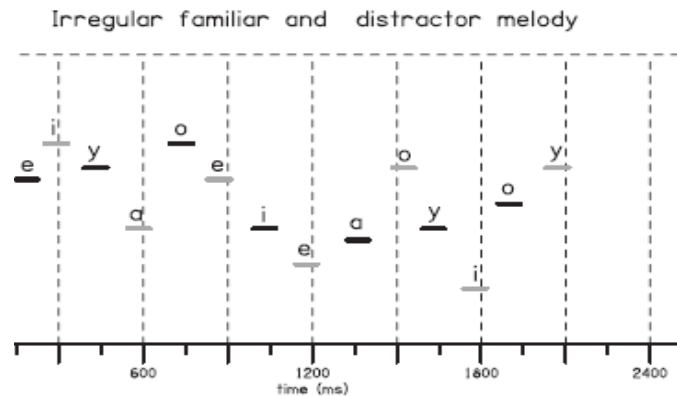
- **Le rôle des connaissances et des attentes pour l'analyse des scènes auditives.**



*« Le prudent  
marin quitte le  
bateau »*

# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

## Effet des connaissances et processus attentionnels



Devergie et al (2010)

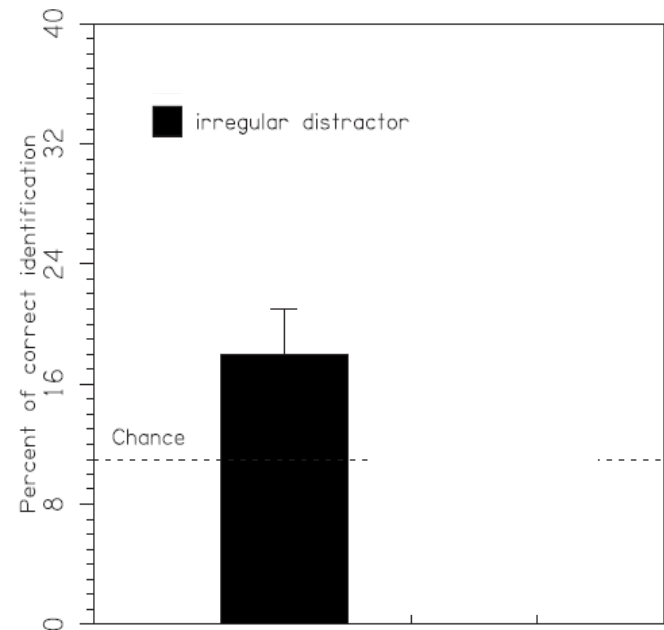
Mélodie *sur le pont d'avignon* (en noir) intercalée avec une mélodie distractive.

Pas de différence de hauteur ni de timbre (en moyenne).

Rythme entièrement irrégulier sans correspondance avec la mélodie originelle.

# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

## Effet des connaissances et processus attentionnels

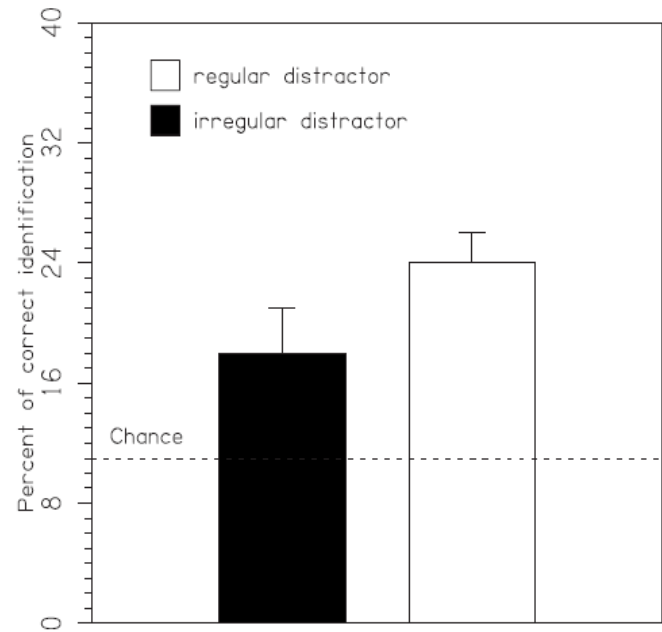


Devergie et al (2010)

Les connaissances ont permis d'extraire le schéma en absence d'indice acoustique

# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

## Effet des connaissances et processus attentionnels



Devergie et al (2010)

L'attention rythmique, activée pour extraire le schéma, est renforcée.

# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

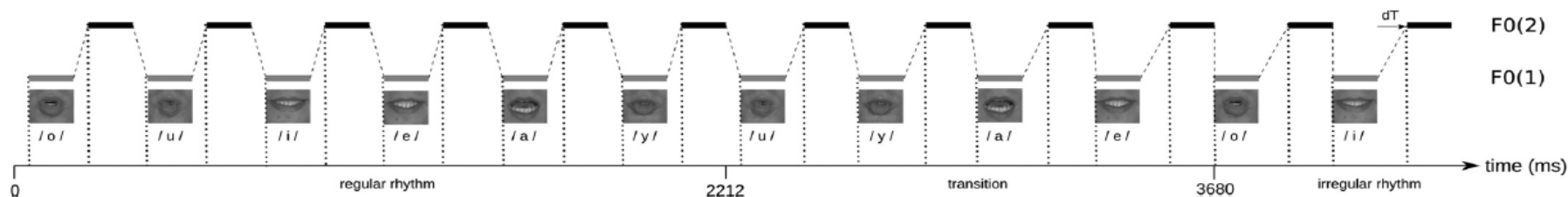
- **Contexte multisensoriel et attention rythmique.**

Les processus d'attention rythmique utiles pour extraire une mélodie cible d'une mélodie distractive peuvent il être modulés par un indice visuel rythmique congruent ?



# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

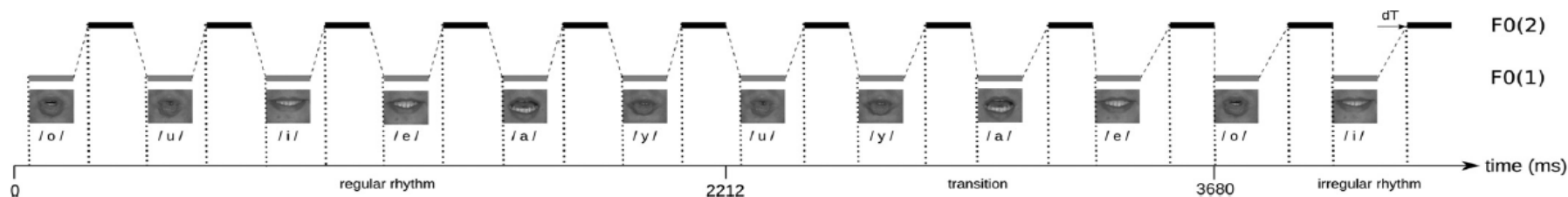
## ● Contexte multisensoriel pour la ségrégation de voix.



Devergie et al (2011)

# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

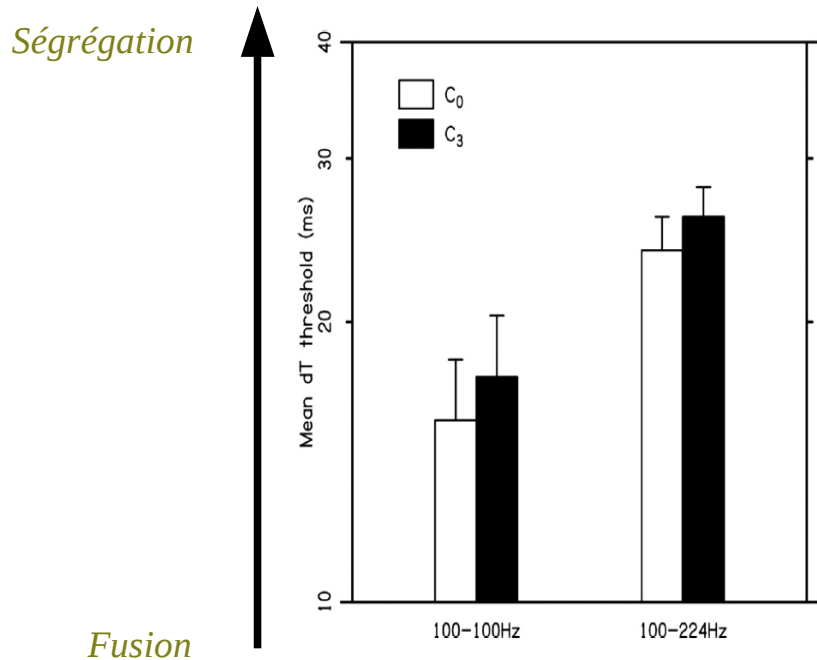
## ● Contexte multisensoriel pour la ségrégation de voix.



Devergie et al (2011)

# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

## ● Contexte multisensoriel pour la ségrégation de voix.



Devergie et al (2011)

# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

- **Contexte multisensoriel pour l'intelligibilité.**



# Les mécanismes cognitifs de l'ASA

Les yeux ouverts, on entend 'DA'.

Les yeux fermés, on entend 'BA'.

Information auditive :

Information visuelle :

On entend :



+



=



'BA'

+

'GA'

=

'DA'

# Nicolas Grimault

*Cognition Auditive et Psychoacoustique*

*Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon - CNRS-UMR 5292, Lyon, France*

*<http://olfac.univ-lyon1.fr/unite/equipe-02/>*



**Volontaires ?** : <http://olfac.univ-lyon1.fr/offres/recherche-volontaires/>

**<https://dl.univ-lyon1.fr/mg4m41i1>**

