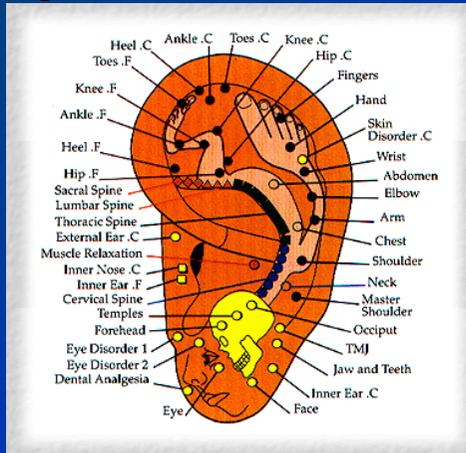


## Systeme Auditif



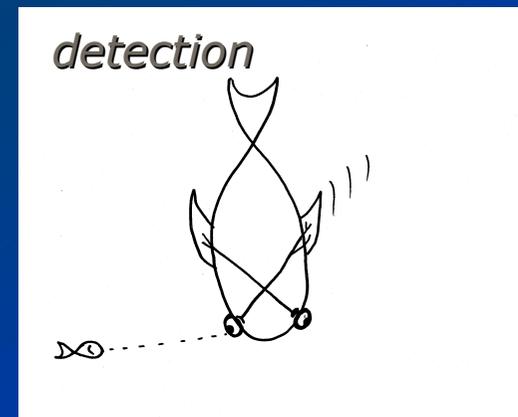
*Alain de Cheveigné*

## Objectifs

- Connaître le système (anatomie, physiologie)
  - > ancrer les cours de Pressnitzer, Lorenzi, Edeline, Giraud
- Comprendre sa fonction:
  - ! rôle dans l'organisme
  - ! principes de traitement
- Ce que vous devrez en retenir:
  - ! vocabulaire, concepts
  - ! vue d'ensemble (que contient le système, où est chaque chose ?)
  - ! clés pour comprendre

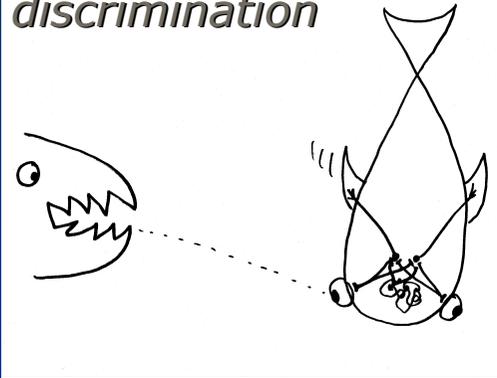
## Intro

- 3 étapes dans l'évolution des systèmes perceptifs:
  - ! Détection
  - ! Discrimination
  - ! Ségrégation



*Szentágothai & Arbib (1975)*

*discrimination*



*segregation*



## *pourquoi cet exemple?*

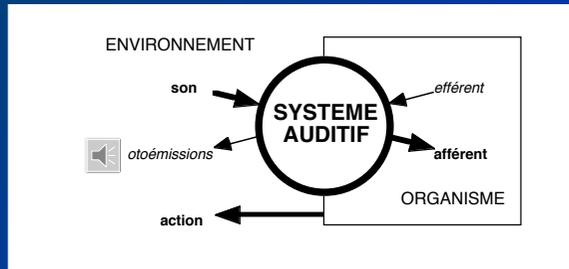
- importance de l'environnement
- lien fort perception-action
- système complexe peut (?) être compris comme héritage d'un système simple
- origine de la structure croisée du système nerveux...

## Plan

description par "approximations successives"

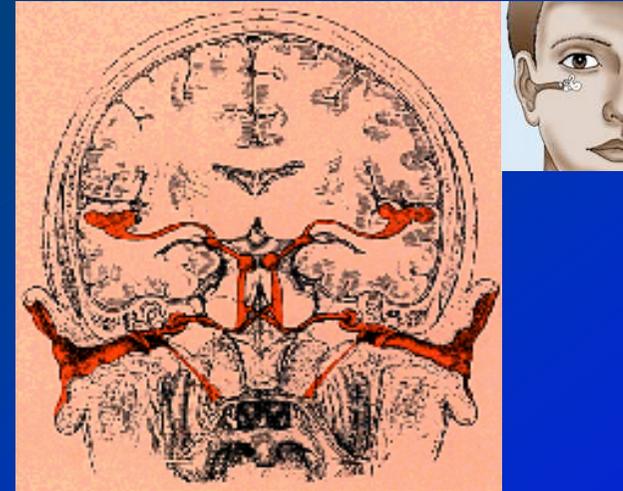
- I. Organisme et environnement
- II. Système auditif
- III. Système périphérique
- IV. Système central
- V. Tonotopie
- VI. Zooms
- VII. Structure et fonction

## I. Organisme et environnement

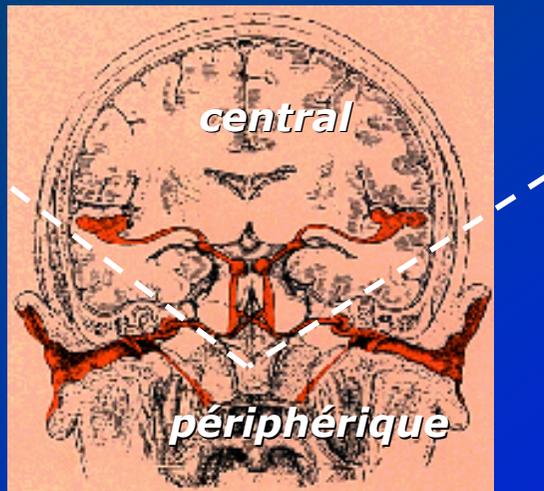


- interactions environnement / système auditif / organisme
- échanges bilatéraux (centrifuge, centripète)
- dépendances entre:
  - perception et action
  - modalités (audition, vision, etc)

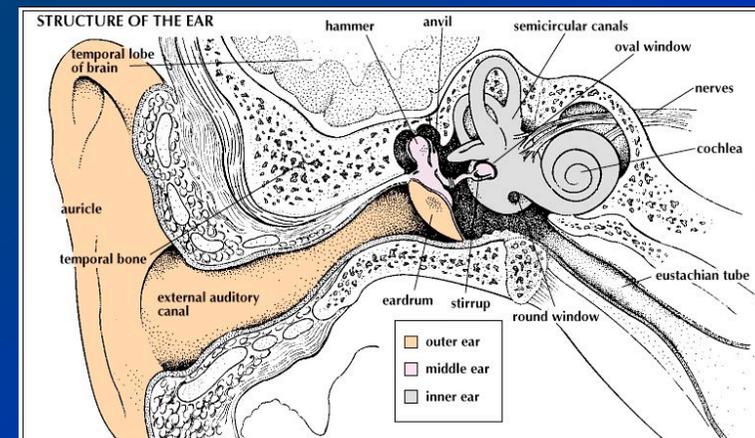
## II. Le système auditif



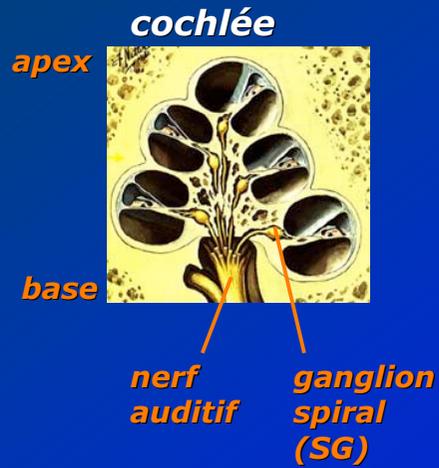
## II. Le système auditif



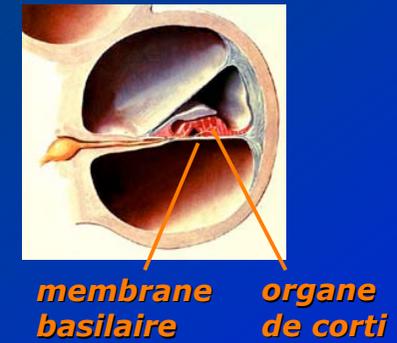
## III. Le système périphérique



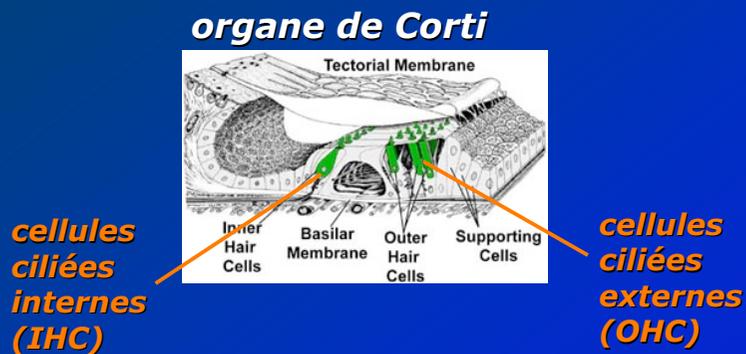
### III. Le système périphérique



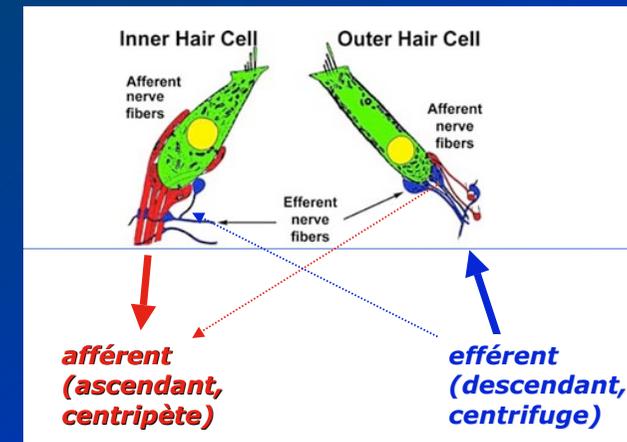
### III. Le système périphérique



### III. Le système périphérique



### III. Le système périphérique

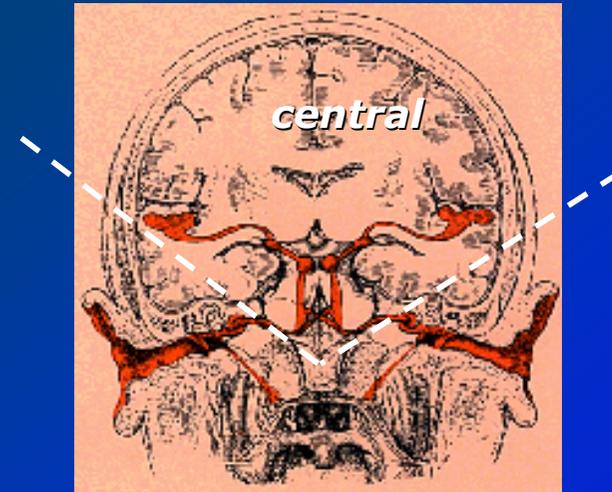


### III. Le système périphérique

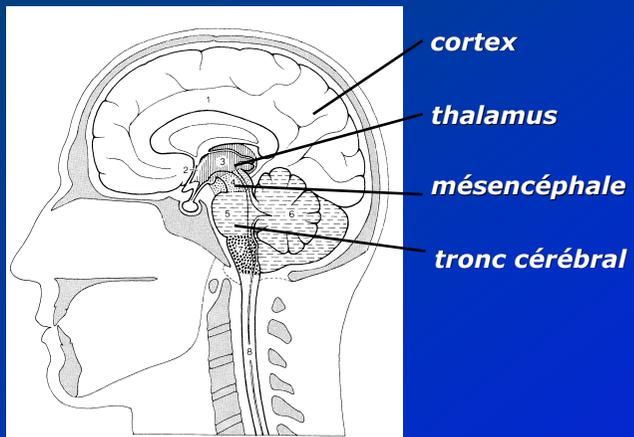


- Voie ascendante:
  - issue principalement des IHC (via SG)
- Voie descendante
  - projette principalement sur les OHC

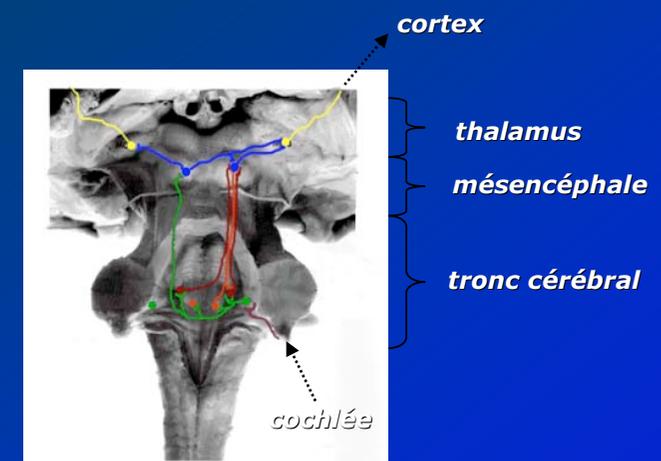
### IV. Système auditif central



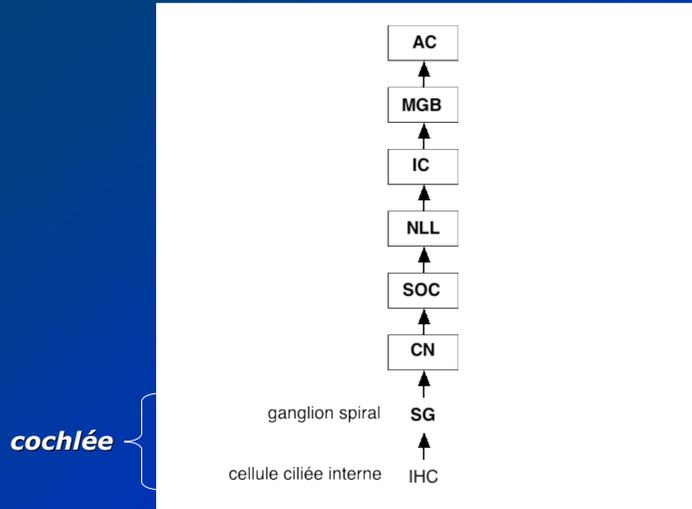
### IV. Système auditif central



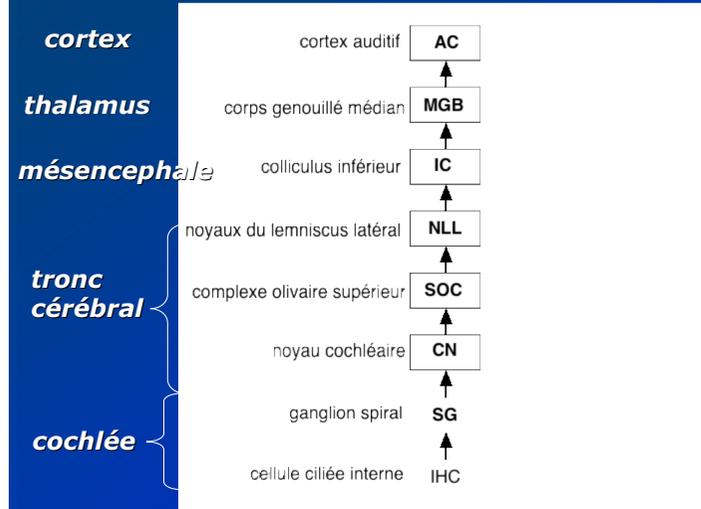
### IV. Système auditif central



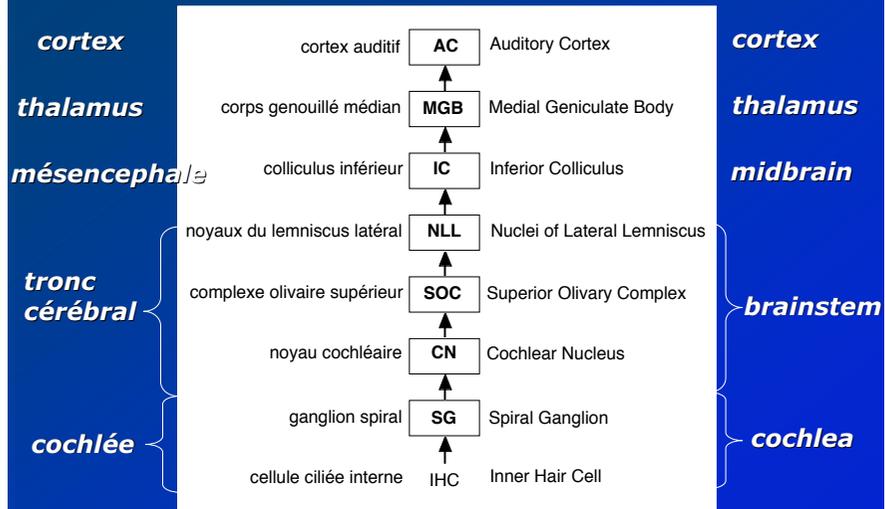
## IV.1 Etapes



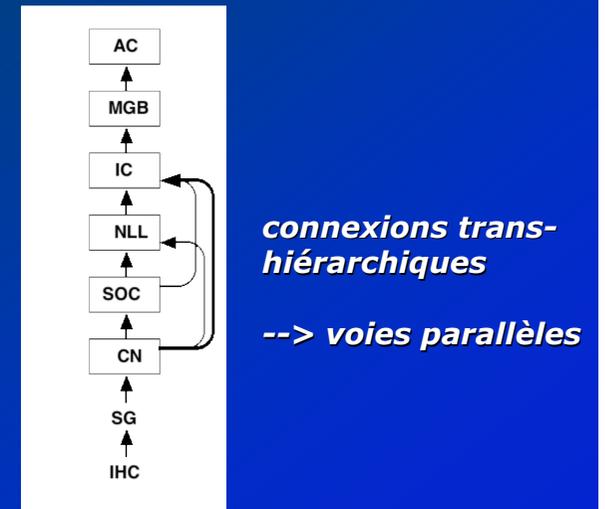
## IV.1 Etapes



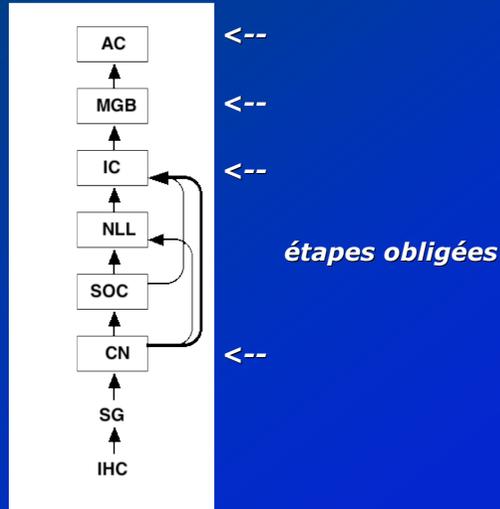
## IV.1 Etapes



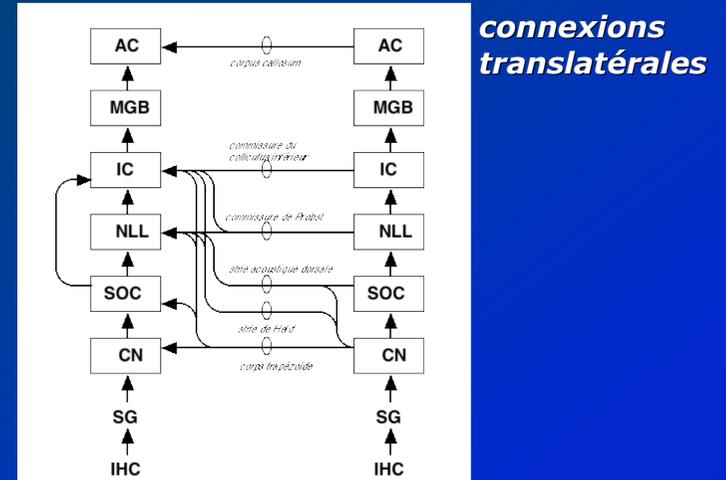
## IV.1 Etapes



## IV.1 Etapes



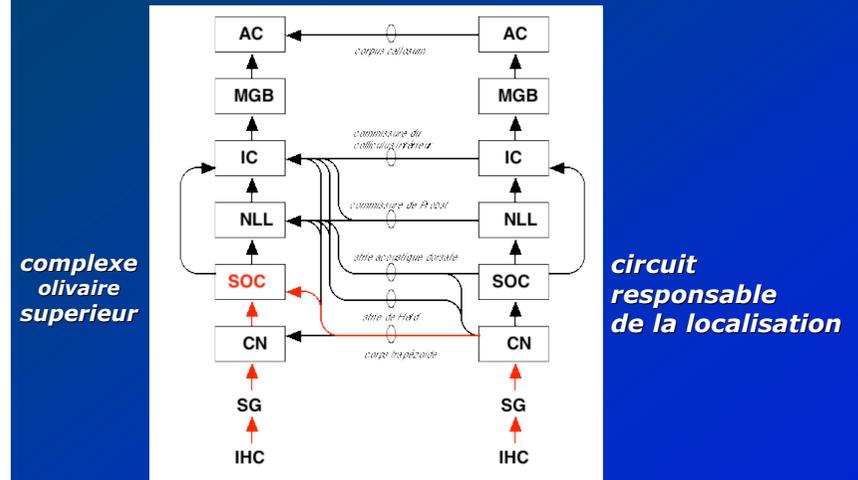
## IV.2 Structure bilatérale



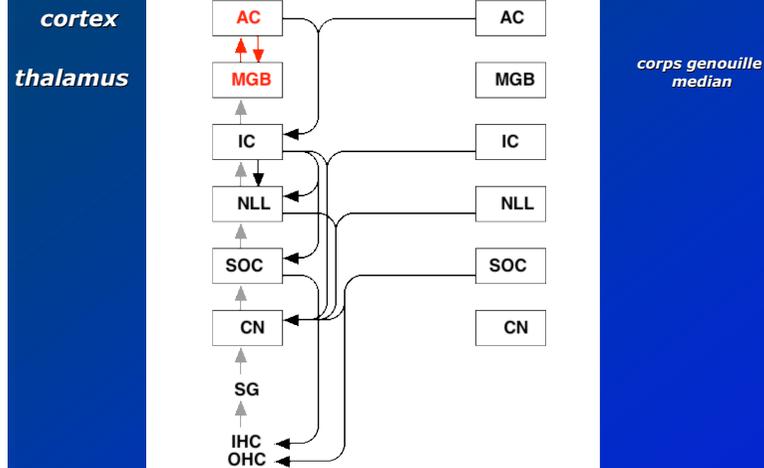
## IV.2 Structure bilatérale

- 6 niveaux de décussation
- dominance contra-latérale
- fonctions:
  - traitement binaural (localisation, etc.)
  - redondance
- multiplicité des chemins...

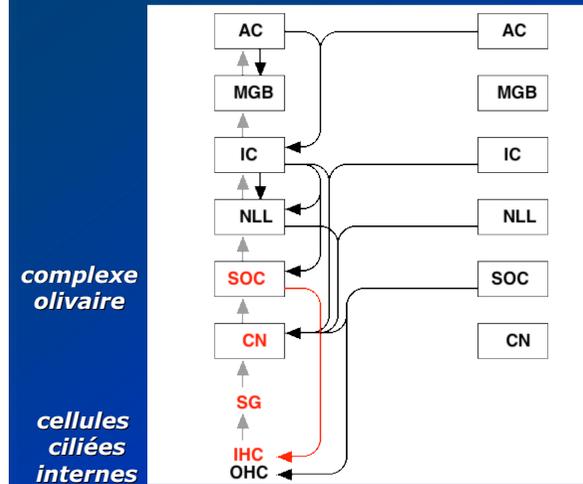
## IV.2 Structure bilatérale



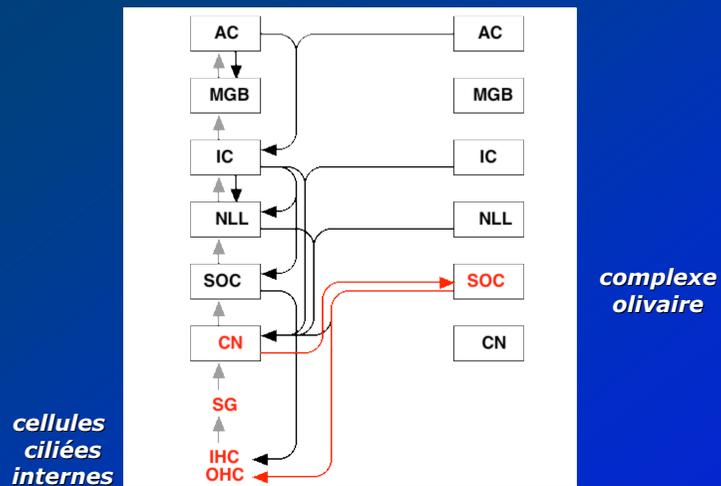
### IV.3 Voies descendantes



### IV.3 Voies descendantes



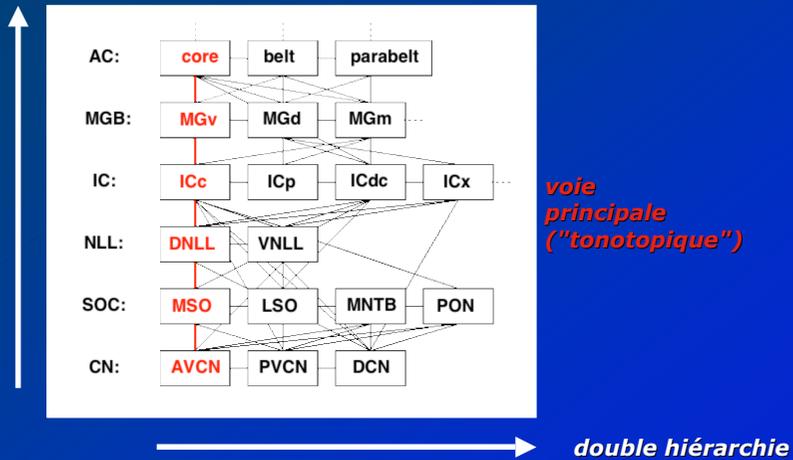
### IV.3 Voies descendantes



### IV.3 Voies descendantes

- massives
- présentes partout, ou presque
- particularités:
  - pas de voies efférentes de CN
  - pas de voies efférentes de MGB
  - pas de bypass de IC
- La fonction est connue dans certains cas...
  - boucle réverbération Cortex <--> Thalamus
  - boucle de contrôle SOC --> IHC
  - boucle de contrôle SOC --> OHC
- ...mais inconnue dans la plupart
- Complexité!

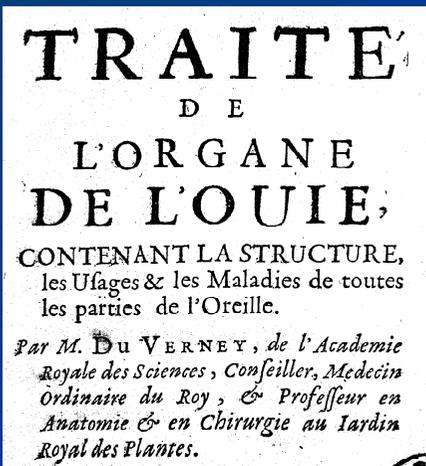
## IV.4 Subdivisions



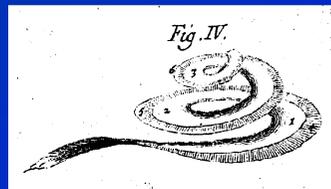
## IV.5 Autres facteurs de complexité

- Subdivisions plus fines
- Topologie des champs axonaux, dendritiques
- Diversité des types cellulaires
- Propriétés de membrane
- Neurotransmetteurs
- Inhibition
- Labilité, plasticité
- Interactions avec autres systèmes:
  - autres modalités (vision, équilibre)
  - action
- Différences entre espèces (humain ≠ chat)
- Effets des anesthésiques
- etc.

## V. Tonotopie



Du Verney (1683)



## V. Tonotopie

Du Verney (1683):

"[la lame spirale] ... n'est pas seulement capable de recevoir les tremblements de l'air, mais sa structure doit faire penser qu'elle peut répondre à tous leurs caractères différents"

--> vibration sympathique

## V. Tonotopie

Du Verney (1683):

"[la lame spirale] ... n'est pas seulement capable de recevoir les tremblements de l'air, mais sa structure doit faire penser qu'elle peut répondre à tous leurs caractères différents ... étant plus large au commencement de la première révolution qu'à l'extrémité de la dernière, on peut dire que les parties les plus larges pouvant être ébranlées sans que les autres le soient"

--> *sélectivité*

## V. Tonotopie

Du Verney (1683):

"[la lame spirale] ... n'est pas seulement capable de recevoir les tremblements de l'air, mais sa structure doit faire penser qu'elle peut répondre à tous leurs caractères différents ... étant plus large au commencement de la première révolution qu'à l'extrémité de la dernière, on peut dire que les parties les plus larges pouvant être ébranlées sans que les autres le soient ... ne sont capables que de frémissements plus lents qui répondent par conséquent aux tons graves ; et qu'au contraire ses parties les plus étroites étant frappées, leurs frémissements sont plus vites, et répondent par conséquent aux tons aigus"

--> *fréquence - hauteur*  
(Galileo, Mersenne ~ 1638)

## V. Tonotopie

Du Verney (1683):

"[la lame spirale] ... n'est pas seulement capable de recevoir les tremblements de l'air, mais sa structure doit faire penser qu'elle peut répondre à tous leurs caractères différents ... étant plus large au commencement de la première révolution qu'à l'extrémité de la dernière, on peut dire que les parties les plus larges pouvant être ébranlées sans que les autres le soient ... ne sont capables que de frémissements plus lents qui répondent par conséquent aux tons graves ; et qu'au contraire ses parties les plus étroites étant frappées, leurs frémissements sont plus vites, et répondent par conséquent aux tons aigus"

--> *tonotopie*

## V. Tonotopie

Du Verney (1683):

"[la lame spirale] ... n'est pas seulement capable de recevoir les tremblements de l'air, mais sa structure doit faire penser qu'elle peut répondre à tous leurs caractères différents ... étant plus large au commencement de la première révolution qu'à l'extrémité de la dernière, on peut dire que les parties les plus larges pouvant être ébranlées sans que les autres le soient ... ne sont capables que de frémissements plus lents qui répondent par conséquent aux tons graves ; et qu'au contraire ses parties les plus étroites étant frappées, leurs frémissements sont plus vites, et répondent par conséquent aux tons aigus ... de sorte qu'enfin selon les différents ébranlements de la lame spirale, les esprits du nerf ... reçoivent différentes impressions qui représentent dans le cerveau les diverses apparences des tons."

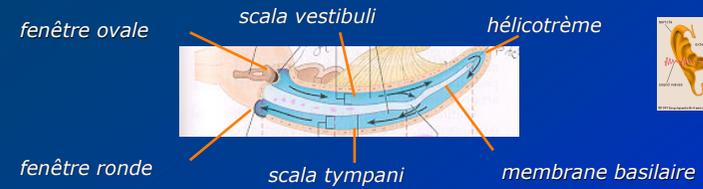
--> *projection tonotopique*

## V. Tonotopie

deux ingrédients:

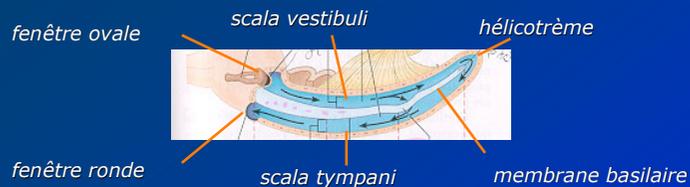
- sélectivité fréquentielle
- répartition spatiale régulière

## V. Tonotopie



- canaux:
  - parois rigides (sauf fenêtres)
  - communiquent par l'helicotrème
- liquide:
  - incompressible
  - lourd
- membrane basilaire:
  - large et souple à l'apex
  - étroite et rigide à la base

## V. Tonotopie



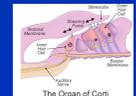
explication simple:

- surpression statique de l'air extérieur:
  - fenêtre ovale se déforme vers intérieur, ronde vers extérieur
  - liquide monte dans SV, passe via helicotrème, descend dans ST
- surpression dynamique (son):
  - déformation membrane si plus facile que déplacement liquide
  - déplacement liquide: + difficile si rapide (-->hautes fréquences)
  - déformation membrane: + difficile si étroite et rigide (-->base cochlée)
- déformation à une position qui dépend de la fréquence:
  - hautes fréquences <--> base de la cochlée
  - basse fréquences <--> apex de la cochlée

## V. Tonotopie

explication plus complète:

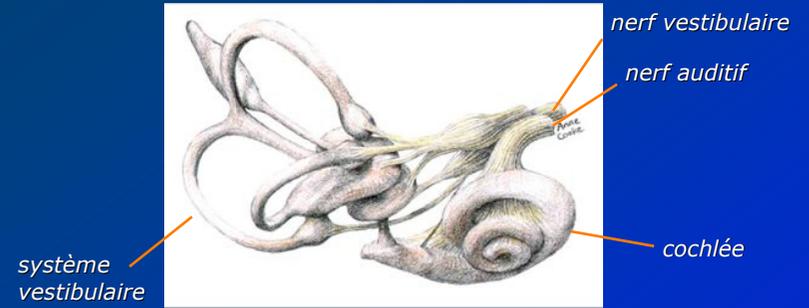
- mécanique:
  - membrane basilaire
  - membrane tectoriaie
  - cils
- hydrodynamique des fluides cochléaires
- phénomènes biochimiques et électriques
- phénomènes actifs (OHC)
- interaction avec système nerveux (système efférent)
- ...



## V. Tonotopie

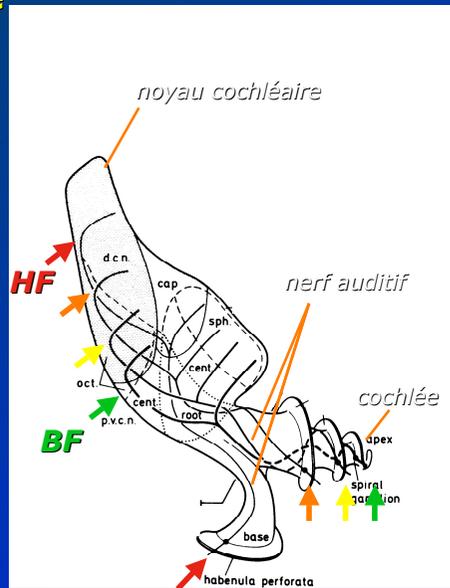


## V. Tonotopie

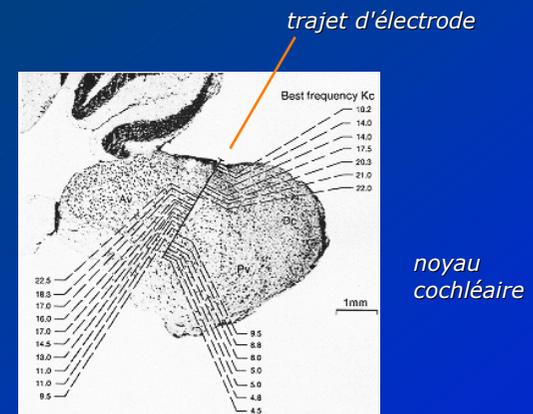


tonotopie du nerf auditif:  
 - BF au centre  
 - HF en périphérie

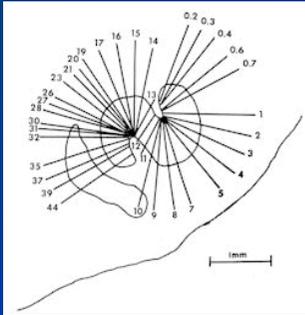
## V. Tonotopie



## V. Tonotopie

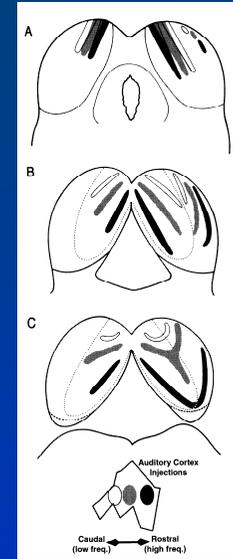


## V. Tonotopie



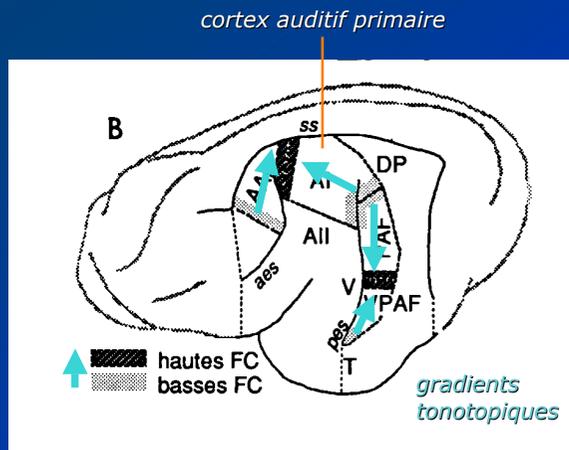
LSO (dans SOC)

## V. Tonotopie

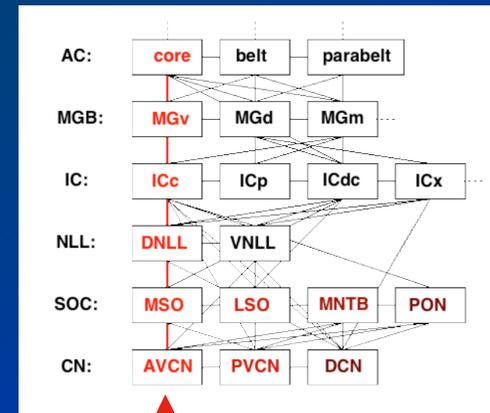


tonotopie des projections du cortex auditif sur ICc

## V. Tonotopie



## V. Tonotopie



voie principale ("tonotopique")

ailleurs: tonotopie imprécise, labile ou absente

## V. Tonotopie

- Se retrouve à tous niveaux, de la cochlée au cortex
  - --> principe d'organisation important
- Mais:
  - l'ensemble de chaque niveau n'est pas tonotopique
  - la tonotopie souvent:
    - imparfaite, incomplète (e.g. limitée à certains types de cellules)
    - labile (e.g. observée seulement sous anesthésique)
- Rôle ?
  - ingrédient fondamental ?
    - "spectre à tous les étages"
  - épiphénomène ?
    - reliquat de l'ontogénèse (peut-être guidée par la tonotopie)
  - rôle dans les mécanismes de ségrégation ?

## VI. Zooms

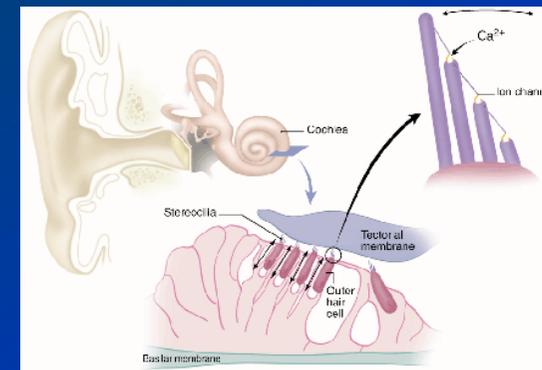
1. Cochlée
2. Noyau cochléaire
3. Complexe olivaire supérieur
4. Colliculus inférieur
5. Thalamus et cortex

## VI.1 Zoom sur la cochlée

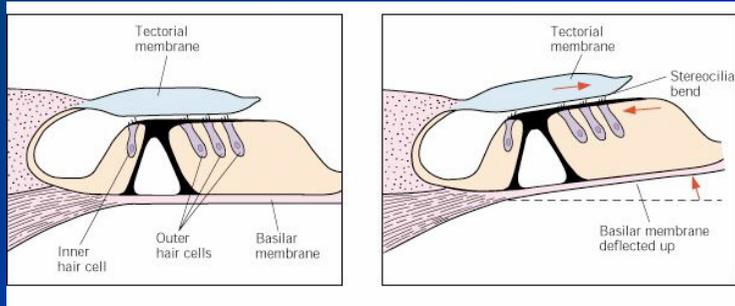
- Mécanismes actifs (OHC):
  - rôle: augmenter sensibilité et sélectivité
- Boucles de contrôle
  - MOC ("medial olivo-cochlear")
  - LOC ("lateral olivo-cochlear")
- Information transmise par le nerf auditif:
  - spectrale
  - temporelle

*A affiner. Un objectif est d'introduire la notion de codage temporel. La notion de voies spécialisées dans le codage temporel (pendant des voies tonotopiques) développée ici et dans les "zooms" suivants (noyau cochléaire et SOC).*

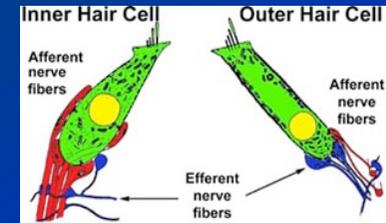
## VI.1 Cochlée



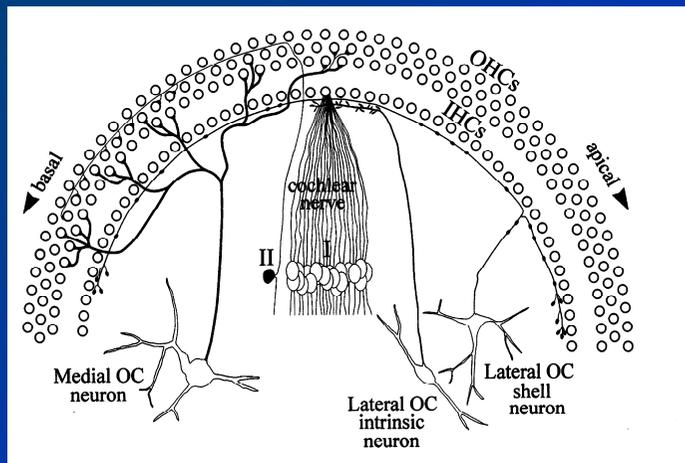
## VI.1 Cochlée



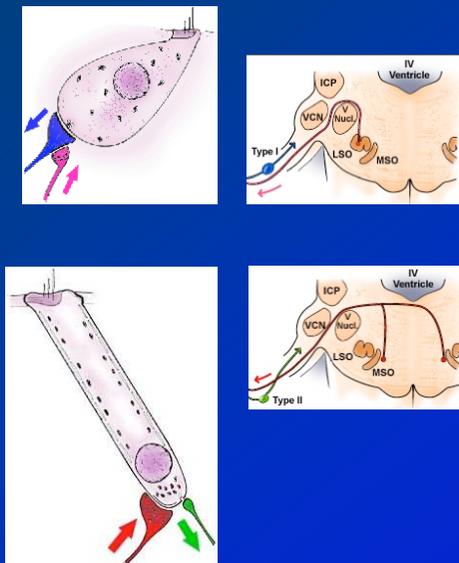
## VI.1 Cochlée



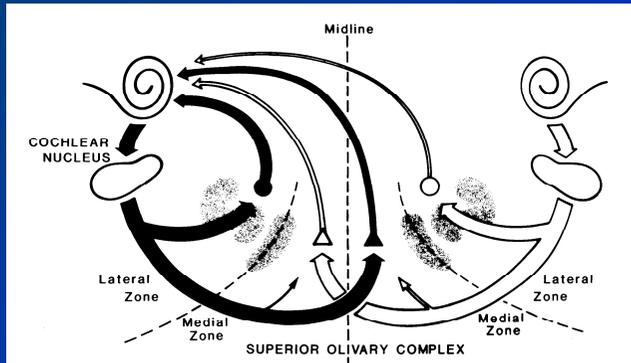
## VI.1 Cochlée



## VI.1 Cochlée



## VI.1 Cochlée



## VI.2 Noyau cochléaire

- Etape obligée des voies ascendantes
- Structure
- Types de cellules
- Rôle:
  - relais
  - traitements simples
  - traitements plus complexes (DCN)

*A affiner. Les objectifs sont (1) préciser la structure (AVCN, PVCN, DCN), (2) introduire les principaux types de cellules et réponses de AVCN et PVCN (primarylike, chopper, onset), et les traitements qu'ils impliquent (coïncidence, intégration), (3) poursuivre la description des "voies temporelles", (4) présenter des hypothèses de fonction (localisation sur la base de cues spectraux dans DCN, modèle de CMR de Pressnitzer).*

## VI.3 Complexe olivaire supérieur

- les noyaux: MSO, LSO, MNTB, noyaux périolivaires
- connectique: afférences, projections
- rôle de MSO: traitement binaural des ITD
- rôle de MNTB/LSO: traitement binaural des ILD
- rôle des noyaux périolivaires:
  - système olivocochléaire
  - autres...

*A affiner. Les objectifs sont (1) situer et différencier ces noyaux importants et préciser leurs rôles respectifs, (2) poursuivre la description des "voies temporelles" en présentant la première utilisation importante de l'information temporelle, (3) développer de nouveaux exemples de liens entre structure et fonction (MSO et traitement des ITD, LSO et traitement des ILD). Inhibition (MNTB).*

## VI.4 Colliculus inférieur

- Structure
- Position pivot ("gare de triage"):
  - récapitule infos ascendantes de CN, SOC, NLL
  - relaye infos descendantes du cortex et thalamus
  - peu de voies contournent IC
- "Cartes": tonotopie, disparité spatiale, etc.
- Lien avec colliculus supérieur (vision, etc.)

*A affiner. Les objectifs sont (1) préciser la structure (ICc, ICp, ICdc, ICx), (2) souligner le rôle d'étape obligée des voies ascendantes et descendantes, (3) mentionner les "cartes" d'indices (ITD, périodicité, etc) et discuter du sens à leur accorder, (4) souligner les connexions hors système auditif, (5) donner un exemple de fonction: récapitulation des informations spatiales.*

## VI.5 Thalamus et cortex

- --> cours de J-M Edeline, A-L Giraud

*Il serait peut-être utile d'amorcer les cours de JME et ALG en introduisant quelques notions de structure et vocabulaire.*

## VII. Structure et fonction

- Pour certaines structures on connaît (?) la fonction:
  - cochlée: filtrage, transduction
  - VCN: relais, traitements "utiles" (onsets, CMR)
  - DCN: localisation avec cues spectraux
  - MSO: localisation avec ITD
  - LSO: localisation avec ILD
- Pour d'autres on ne sait pas:
  - pourquoi 6 niveaux de décussation interaurale ?
  - à quoi servent PON, NLL ?
  - à quoi servent les voies efférentes ?
  - etc.
- Pour comprendre: besoin de modèles !

*A affiner. Récapituler exemples de liens connus entre fonction et structure. Introduire exemples de modèles. Cette section devrait idéalement rassembler les fils de toutes les sections précédentes.*