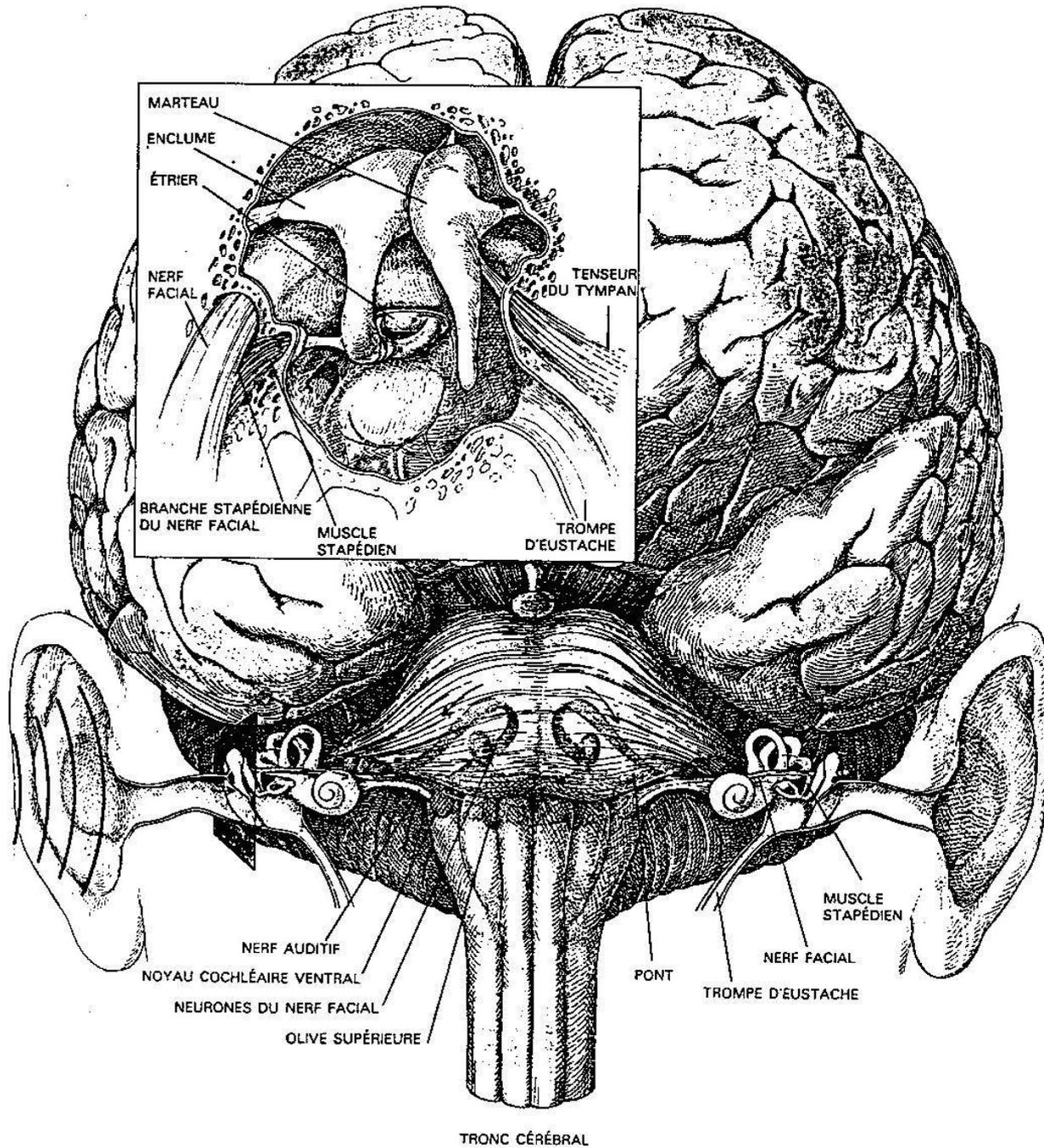


Neurophysiologie de L'AUDITION

Dr Bernard Pidoux



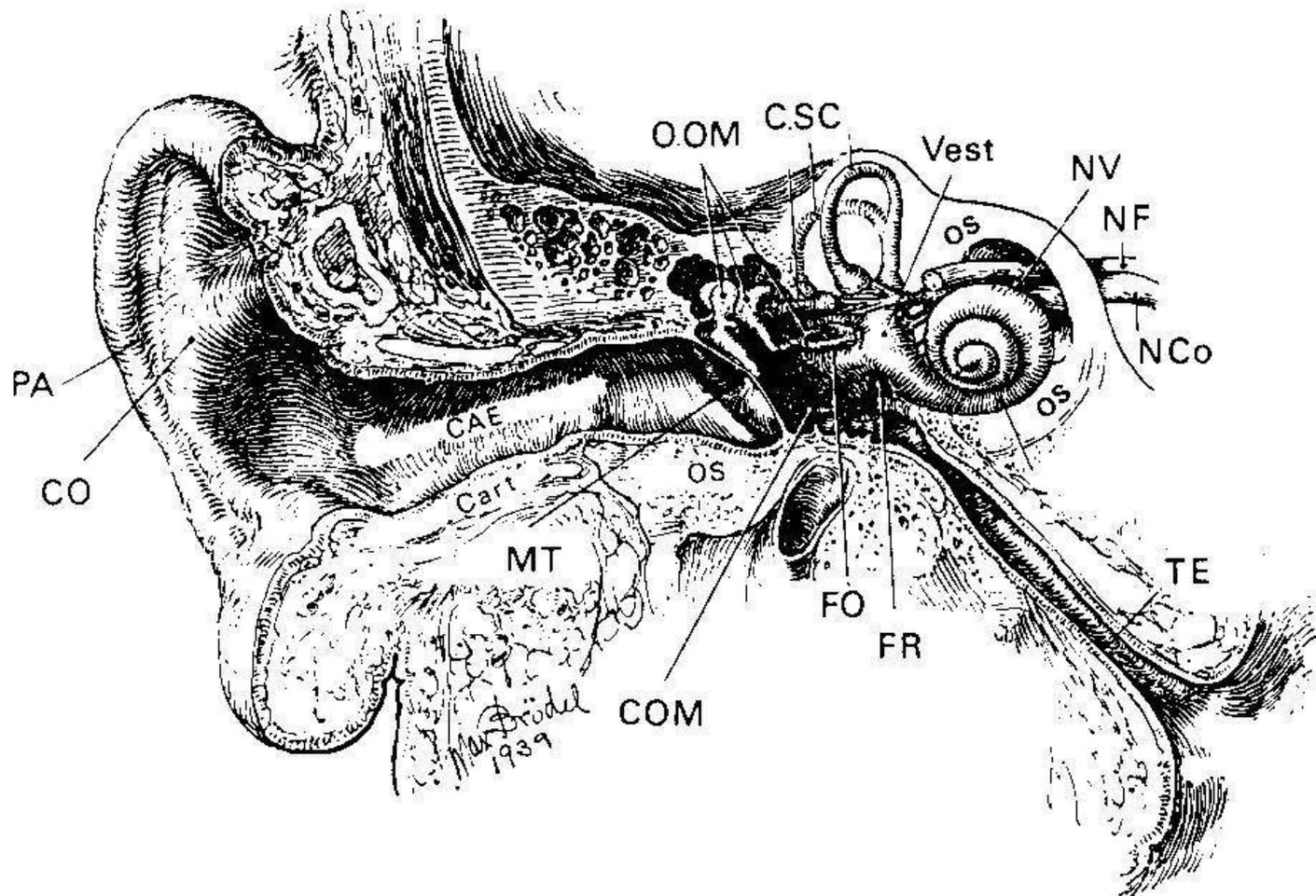


Figure 2.1

Coupe longitudinale de l'appareil auditif humain.

PA : pavillon ; Co : conque ; CAE : conduit auditif externe ; Cart : cartilage ; MT : membrane tympanique ; O.M. : osselets de l'oreille moyenne ; CSC : canaux semi-circulaires ; FO : fenêtre ovale ; FR : fenêtre ronde ; COM : cavité de l'oreille moyenne ; Vest : vestibule ; NV : nerf vestibulaire ; NF : nerf facial ; NCo : nerf cochléaire ; TE : trompe d'Eustache

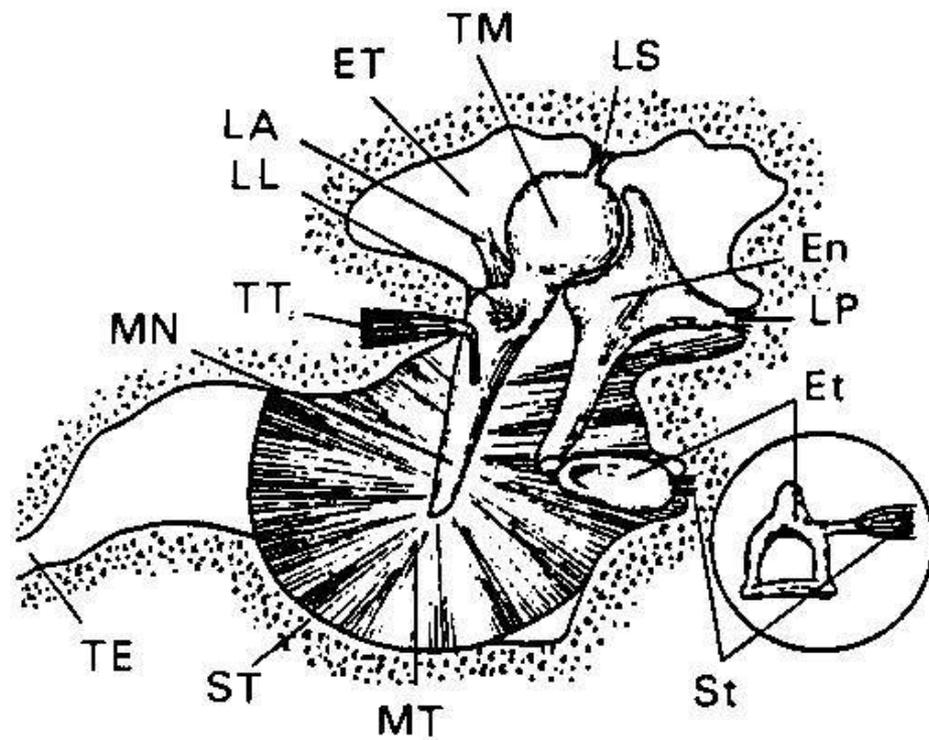
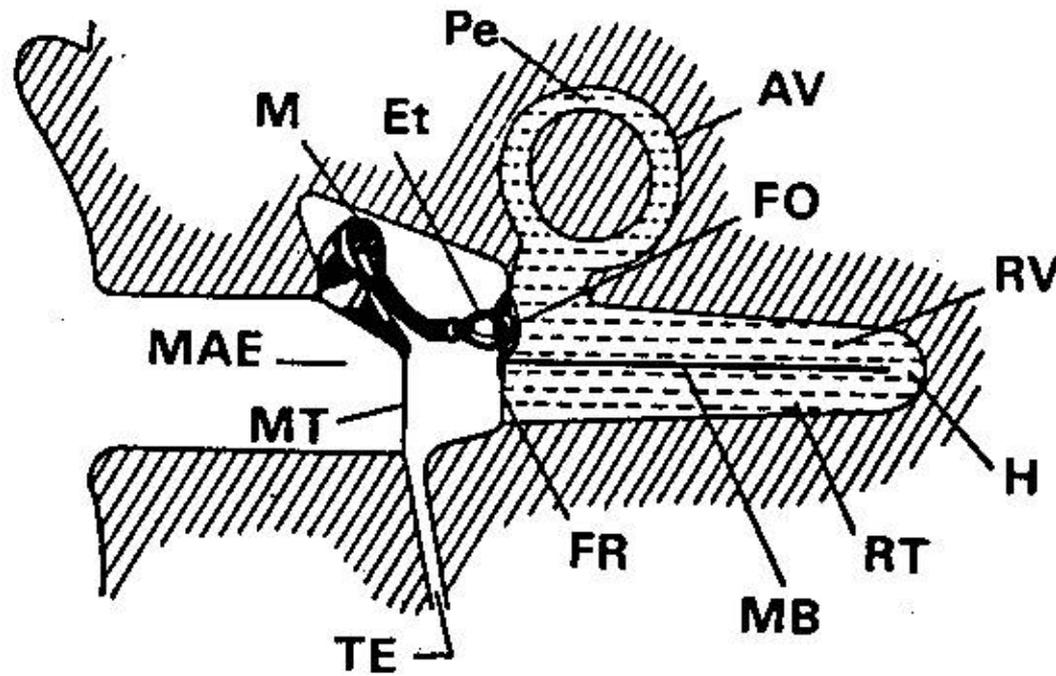


Figure 2.2

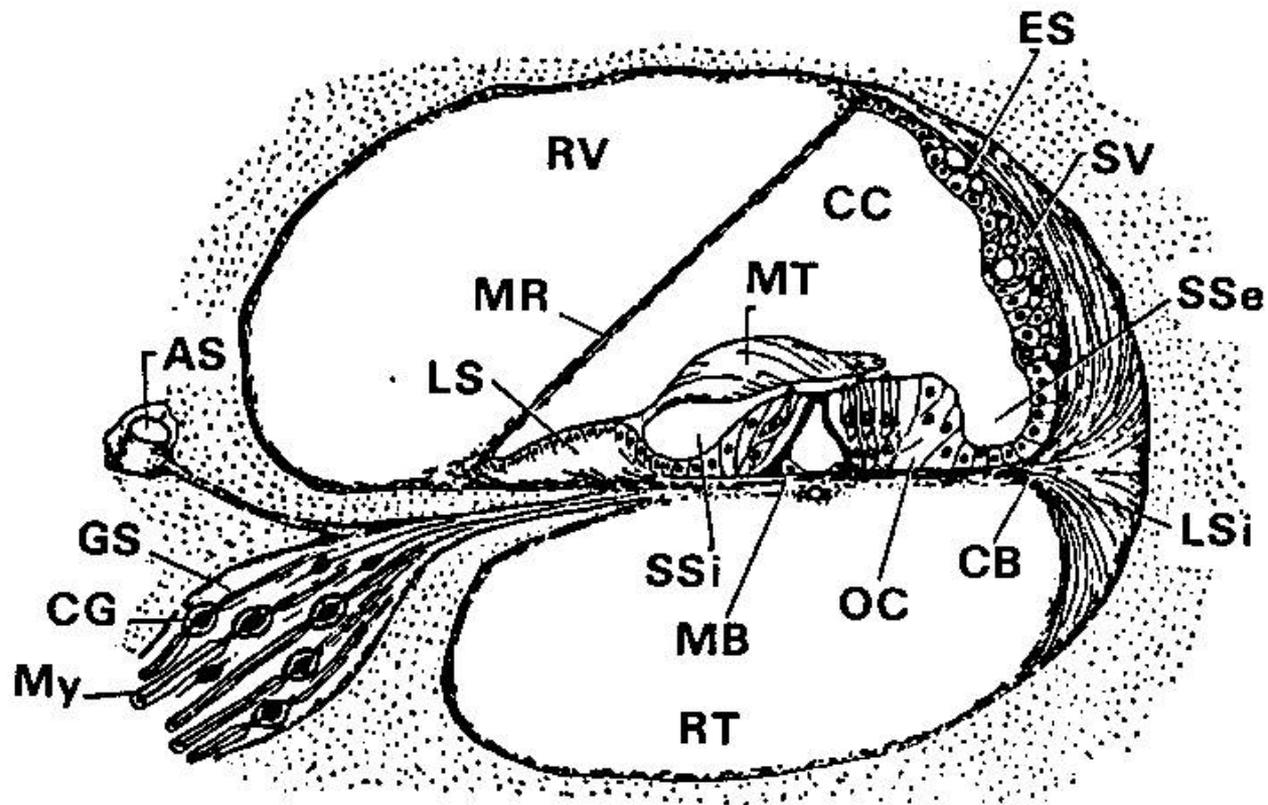
Schémas de l'oreille moyenne supposée vue de l'intérieur (côté de la fenêtre ovale).

MT : membrane tympanique ; ST : sillon tympanique ; MN : manubrium du marteau ; TE : trompe d'Eustache ; TT : fibres du muscle tensor tympani ; LA : ligament antérieur ; LL : ligament latéral ; LS : ligament supérieur ; LP : ligament postérieur ; TM : tête du marteau ; CT : corde du tympan ; En : enclume ; PC : processus court de l'enclume ; ET : recessus épitympanique ; St : muscle stapedius ; Et : étrier.
En encart, vue de l'étrier et de son muscle, le stapedius, sous un autre angle.



Présentation schématique de l'oreille (humaine) en vue longitudinale, en supposant la cochlée « déroulée ».

MAE : méat auditif externe ; MT : membrane tympanique ; M : marteau ; TE : trompe d'Eustache ; Et : étrier ; FR : fenêtre ronde ; Pe : périlymphe ; AV : appareil vestibulaire ; FO : fenêtre ovale ; RV : rampe vestibulaire ; H : hélicotréma ; RT : rampe tympanique ; MB : membrane basilaire.



Coupe schématique transversale générale de la cochlée.

RV : rampe vestibulaire ; RT : rampe tympanique ; MT : membrane tectoriale ; MR : membrane de Reissner ; SV : strie vasculaire ; CC : canal cochléaire ; LiS : ligament spiral ; MB : membrane basilaire ; LS : lame spirale ; GS : ganglion spiral ; L : limbe spiral ; OC : organe de Corti ; AS : artère spirale ; CG : cellule du ganglion spiral ; My : gaine myélinisée d'une fibre du nerf cochléaire ; MB : membrane basilaire ; ES : épithélium sécrétoire ; SSe, SSi : sillon spiral externe, interne ; CB : crête basilaire.

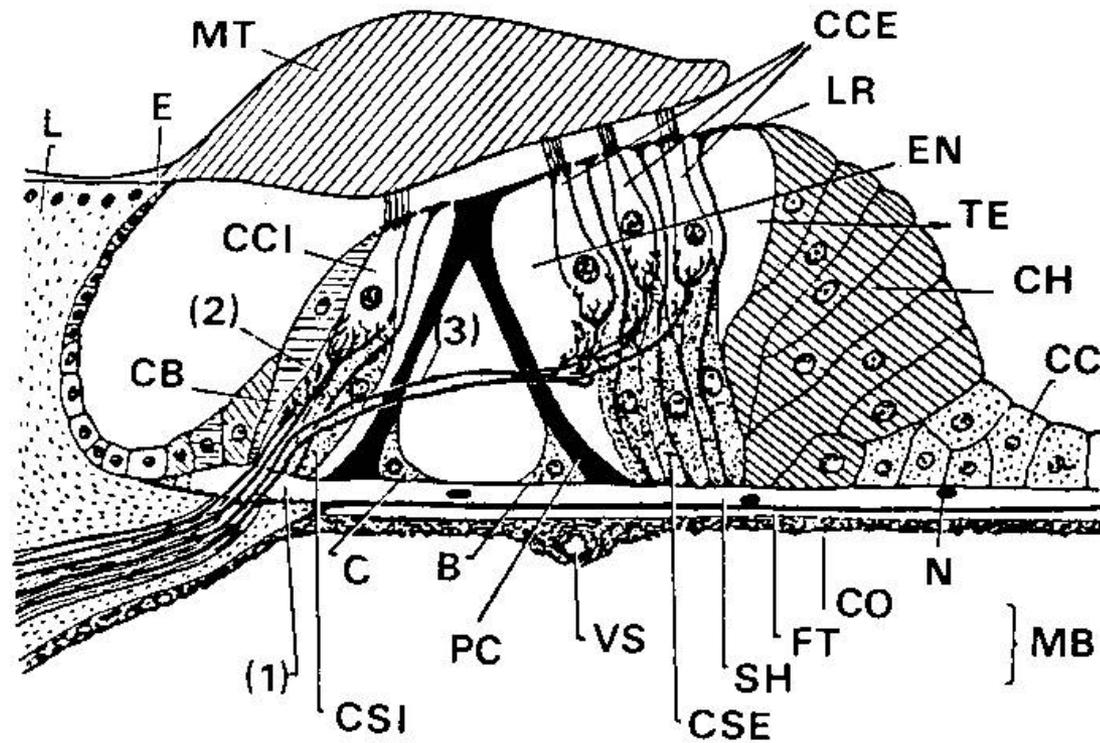


Figure 2.5

Coupe transversale de la cochlée.

Le côté interne (du côté de la columelle) est à gauche ; CCI : cellule ciliée interne ; CCE : cellule ciliée externe ; PC : pilier de Corti ; MT : membrane tectoria ; LR : lame réticulée ; TC : tunnel de Corti ; HP : habenula perforata ; MB : membrane basilaire (avec AH : couche homogène ; FT : fibres transversales ; CO : fibres conjonctives ; VS : vaisseau sanguin) ; CH : cellules de Hensen ; CC : cellules de Claudius ; LS : lame spirale ; CSE : cellules de soutien externes (cellules de Deiters) ; CB : cellules bordantes internes ; L : limbe spiral ; E : épithélium ; EN : espace de Nuel ; TE : tunnel externe ; CBa : cellule basilaire ; CSI : cellule de soutien interne ; (1) fibres nerveuses pénétrant par l'habénula perforata ; (2) fibres spirales internes ; (3) fibres du tunnel.

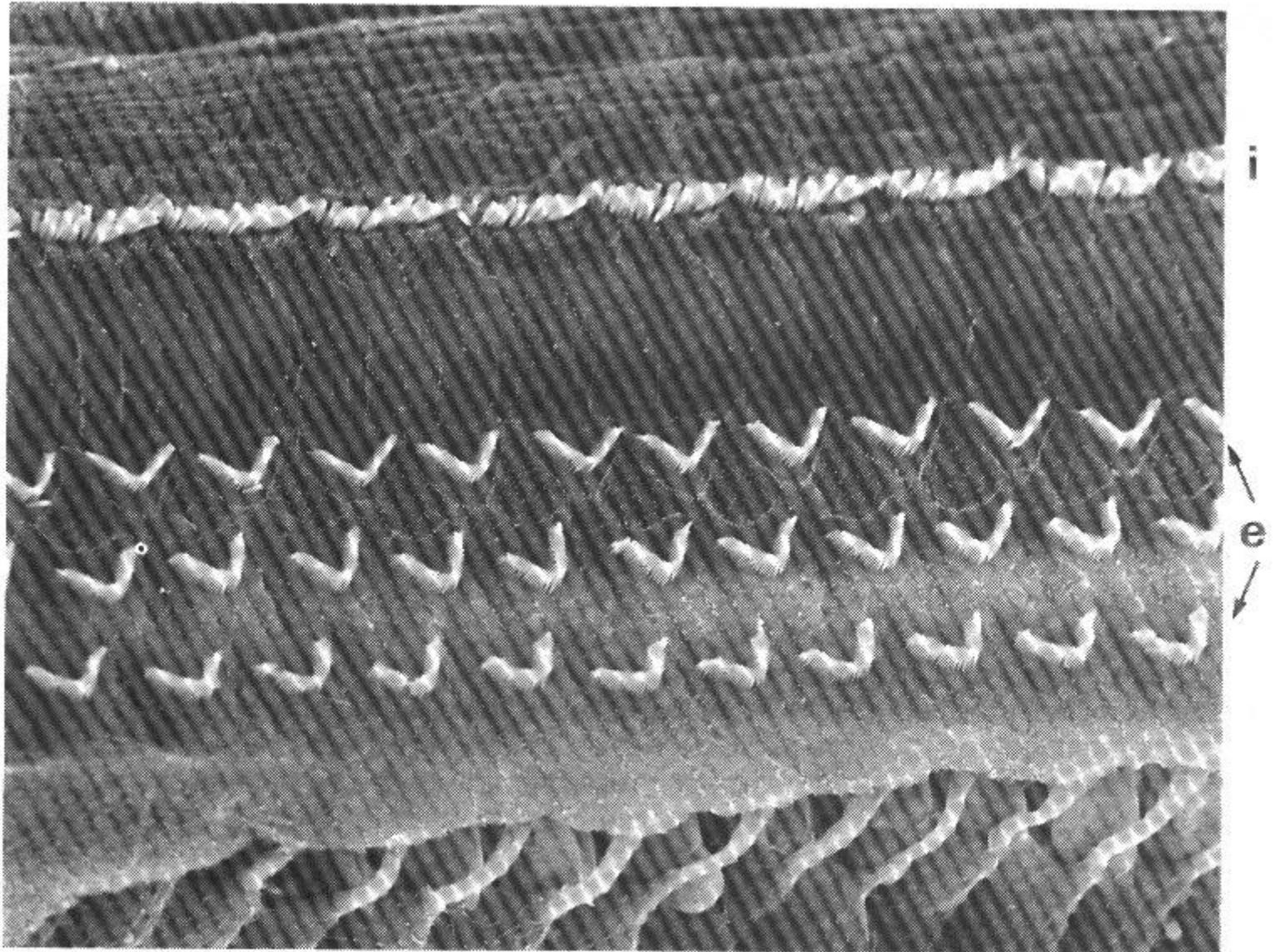


FIG. 5A. Stéréocils des cellules ciliées de la cochlée.
Vue de surface de l'organe de Corti en microscopie électronique à balayage. i = cellules ciliées internes;
e = cellules ciliées externes. (Cliché : M. LENOIR)

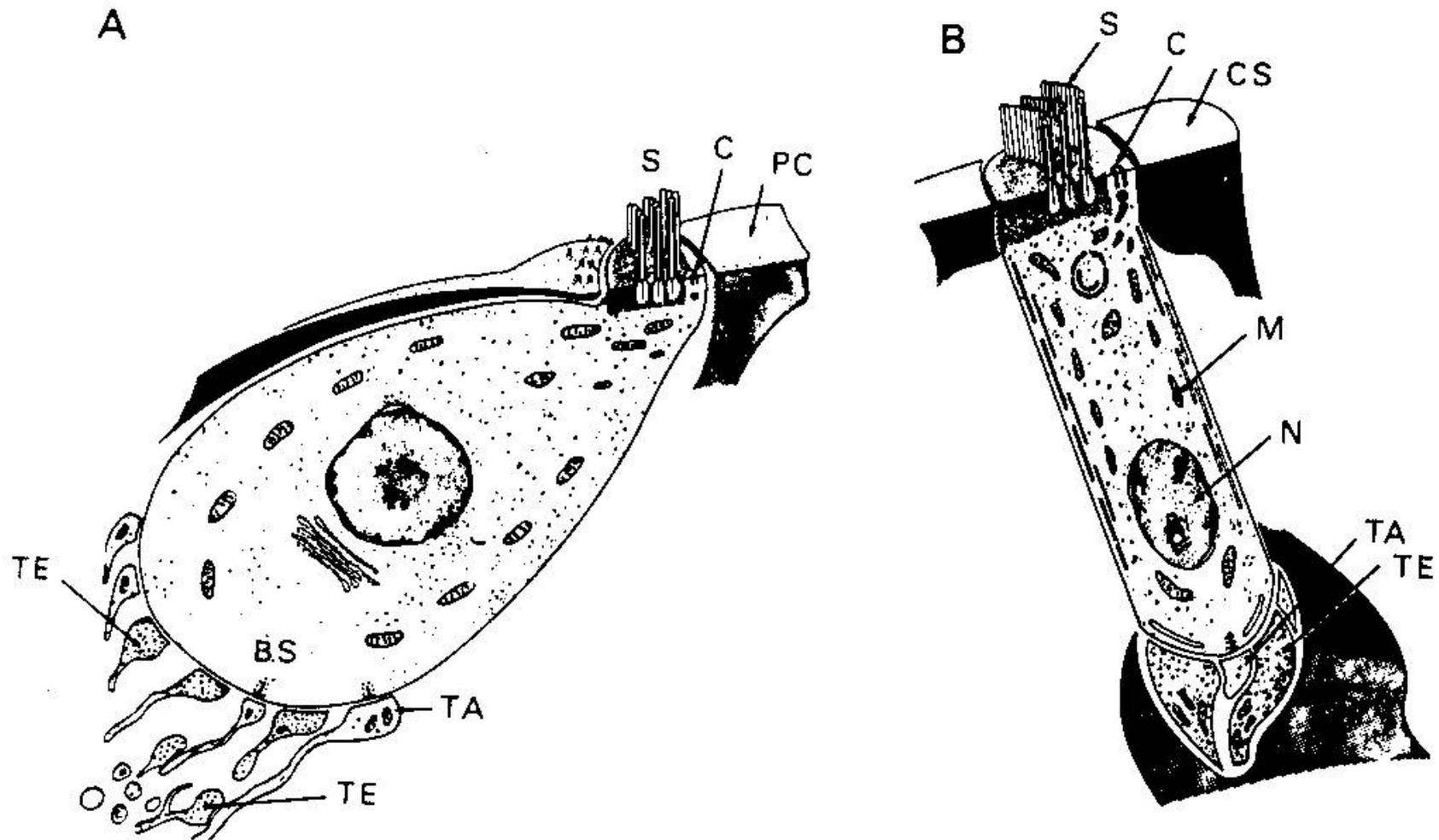


Figure 2.7

Cellule cochléaire ciliée interne (A) et cellule ciliée externe (B).

C : centriole ; S : stéréocils ; PC : pilier de Corti ; CS : prolongement superficiel de la cellule de soutien de Deiters ; M : mitochondrie ; N : noyau ; TA : terminaison afférente ; TE : terminaison efférente ; BS : barre synaptique.

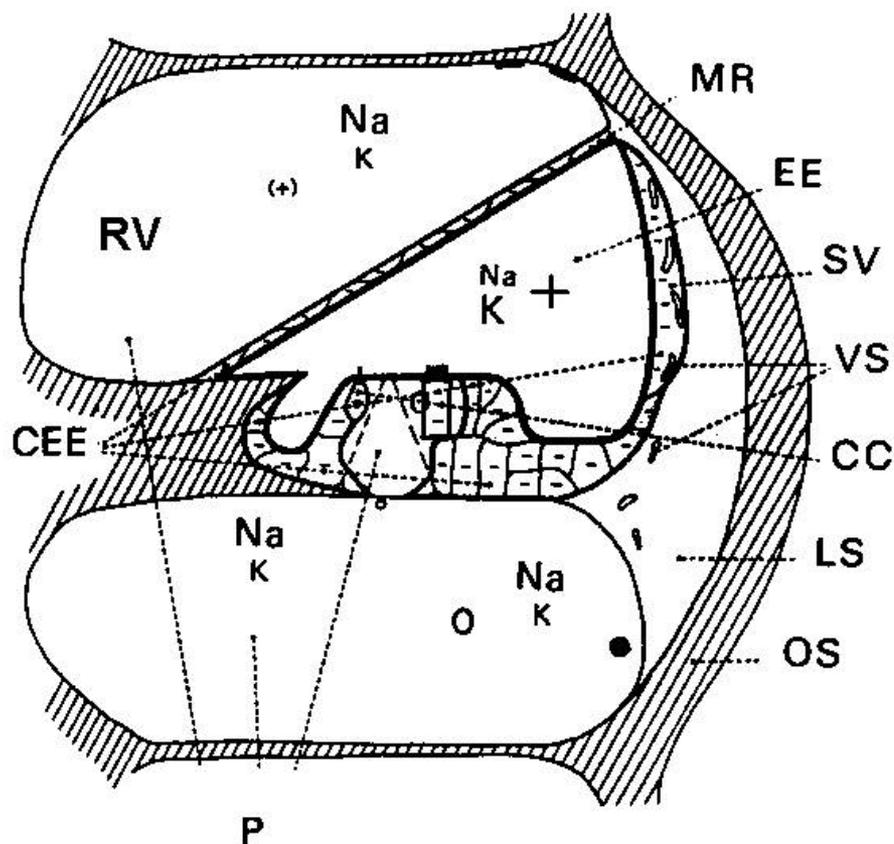


Figure 2.39

Distribution des potentiels stables dans les différentes parties de la cochlée.

La rampe tympanique est prise comme référence. La rampe vestibulaire est légèrement positive (RV); forte positivité de l'espace endolympmatique du canal cochléaire; négativité de l'espace intercellulaire dans le tunnel de Corti (?); situation plus complexe dans la strie vasculaire; forte négativité enfin des espaces intracellulaires, en particulier les cellules ciliées.

P, espaces périlympmatiques; OS, zone osseuse; LS, ligament spiral; CEE, cellules de la paroi de l'espace endolympmatique; CC, cellules ciliées; VS, vaisseaux sanguins; SV, strie vasculaire; EE, espace endolympmatique; MR, membrane de Reissner.

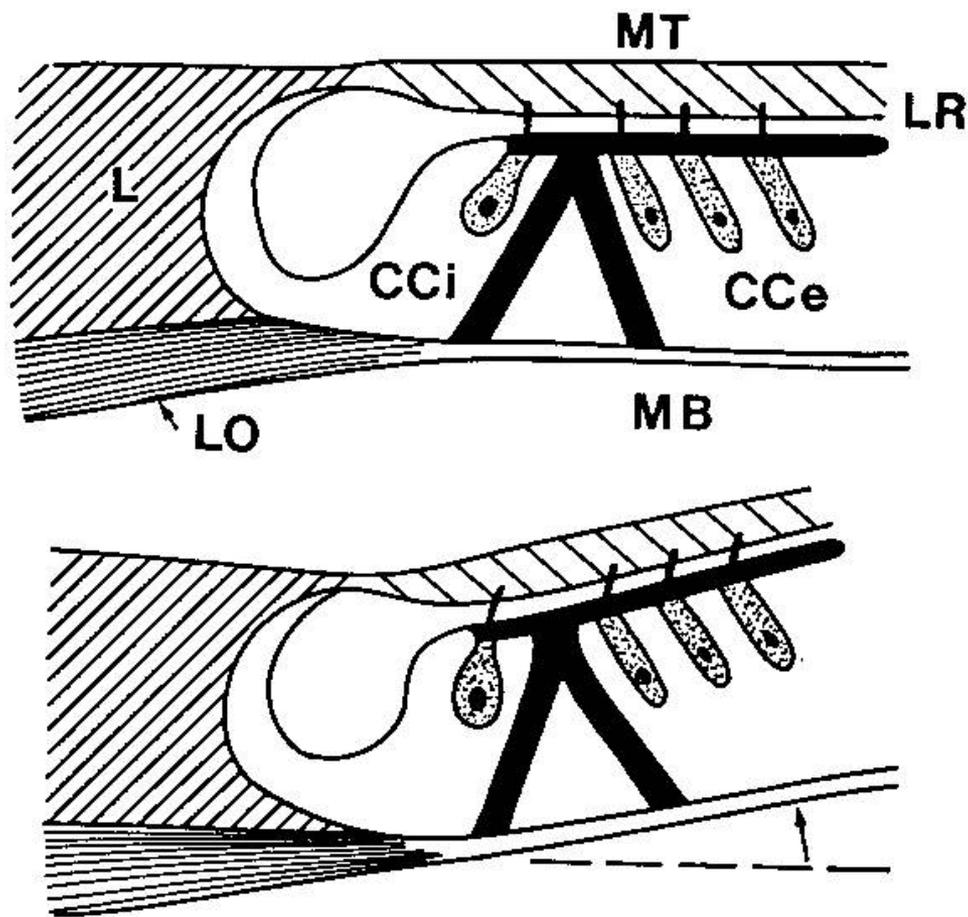


Figure 2.77 bis

Représentation schématique du glissement de la membrane tectoriale (MT) sur la lame réticulaire (LR) et de l'inclinaison de l'ensemble des cils qui en résulte, lors des mouvements de la cochlée provoqués par un stimulus sonore.

Selon les hypothèses modernes, les CCI et les CCE ne sont pas affectées de la même manière (cf. texte). L, limbe spiral ; Lo, lame spirale.

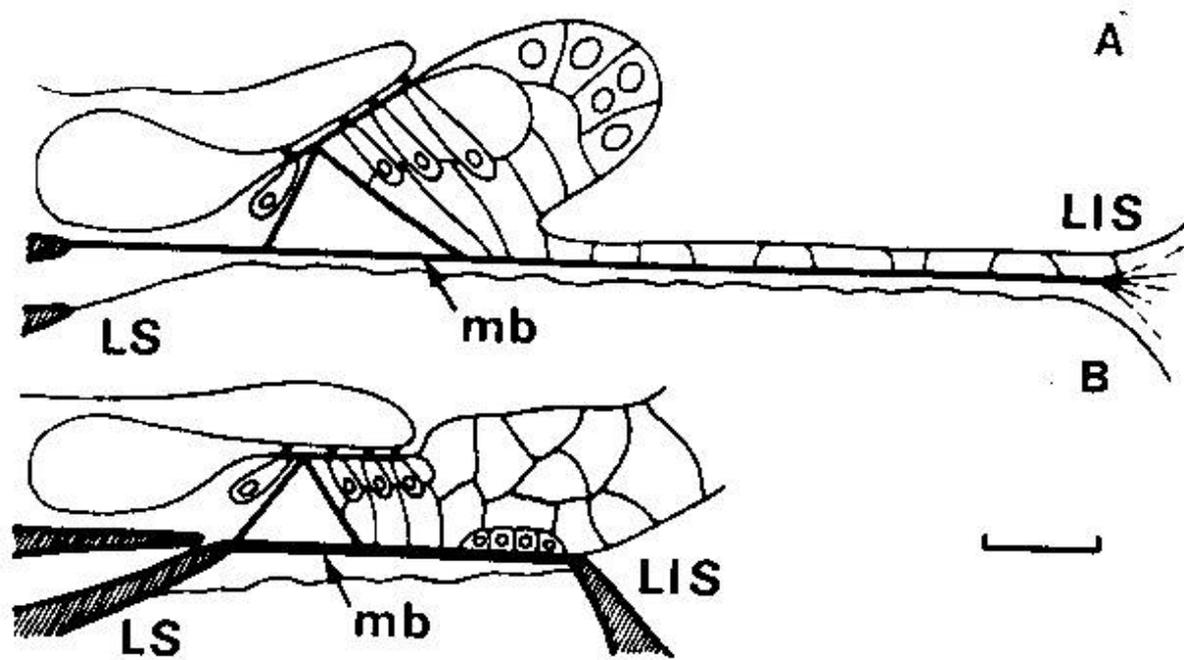
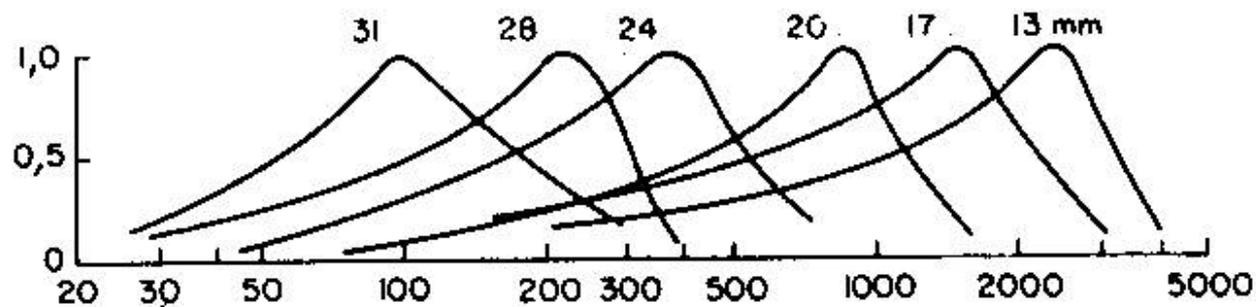
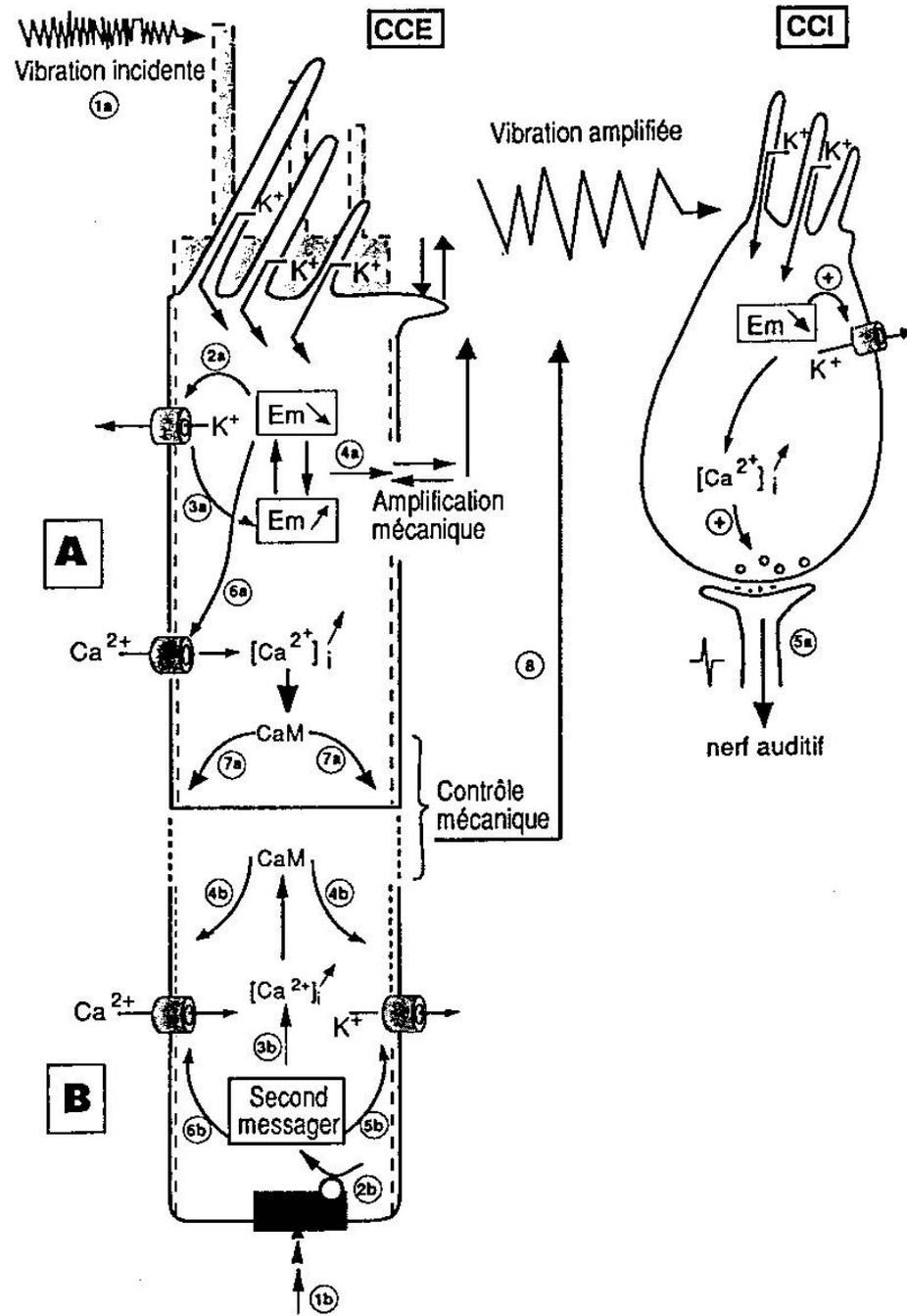


Figure 2.6
Différences morphologiques de l'organe de Corti le long de la cochlée.
 On note que la membrane basilaire (mb) est large à l'apex (A) et étroite à la base (B); LS : lame spirale; LiS : ligament spiral. Echelle : env 50 μm .



Réponses le long de la rampe cochléaire.

Réponses fréquentielles en six points de la rampe cochléaire, repérés en mm au-dessus de la courbe correspondante (de 31 à 13 mm par rapport à l'étrier). L'amplitude de l'enveloppe de l'onde propagée a été mesurée en faisant varier la fréquence, le déplacement de l'étrier étant maintenu constant. Les amplitudes ont été rapportées à l'unité.



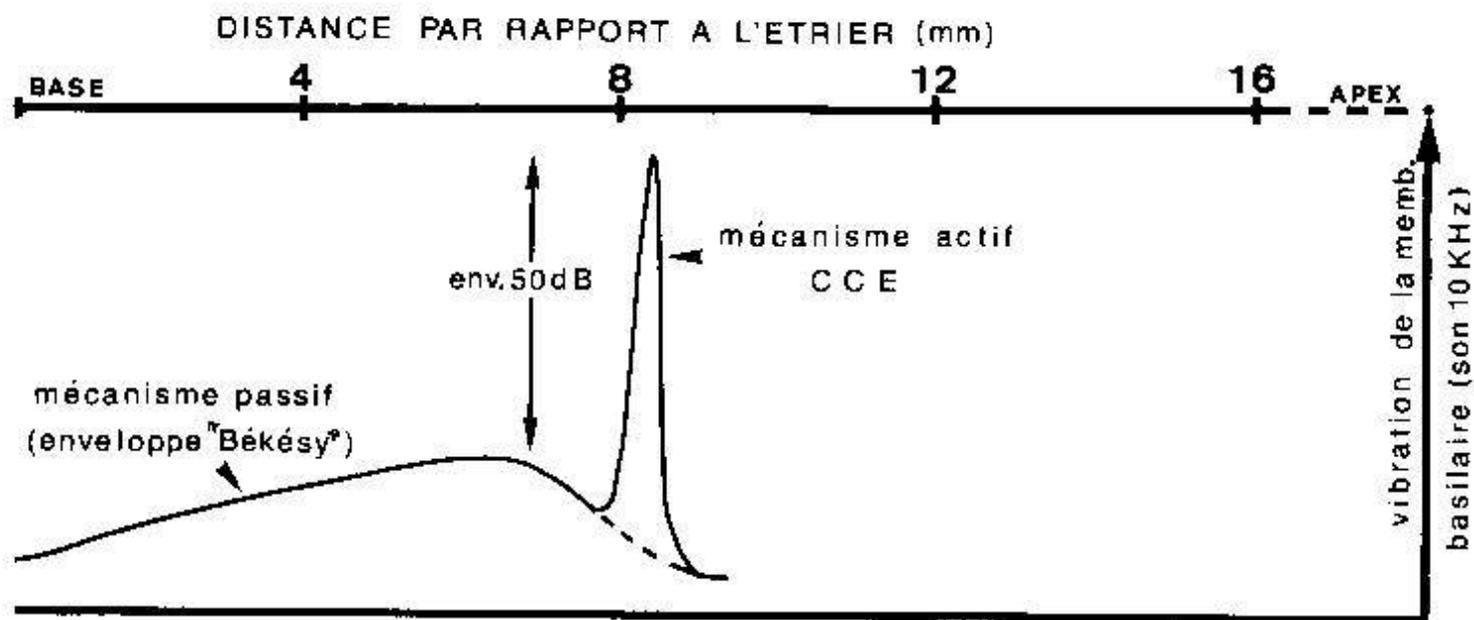
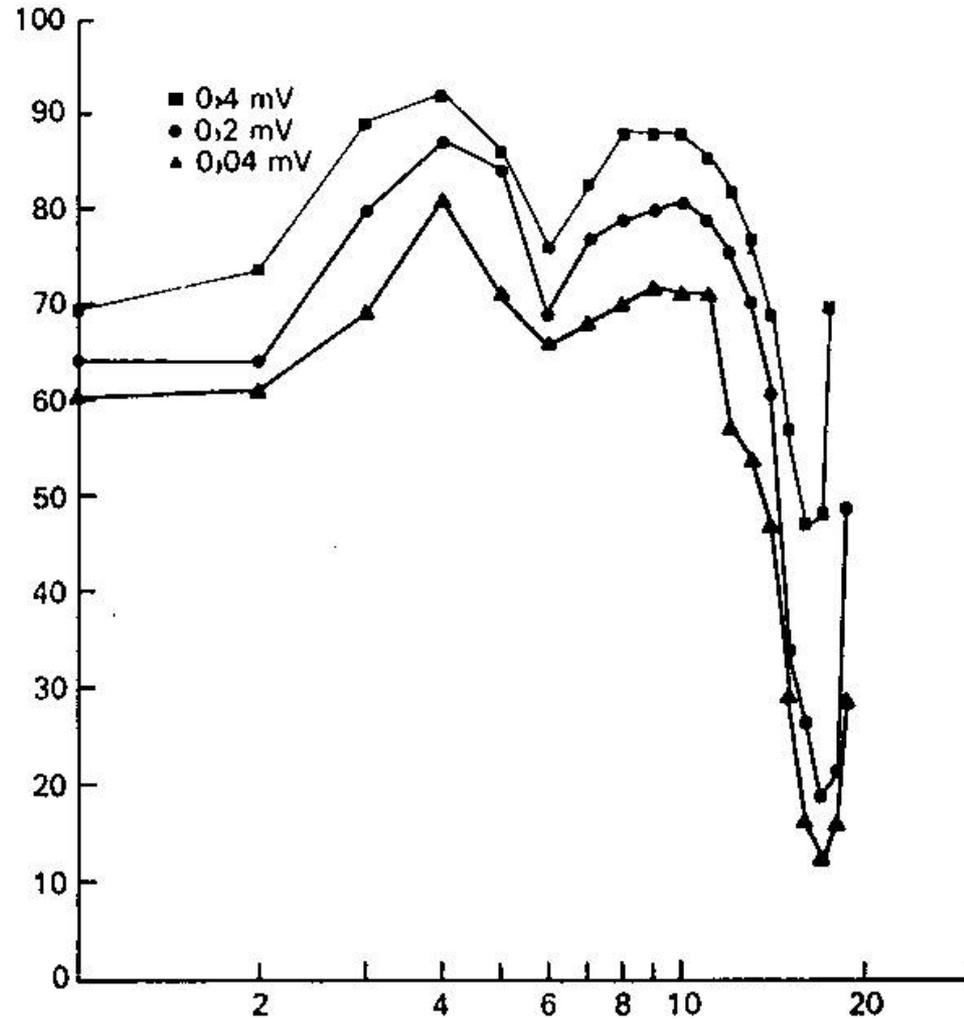
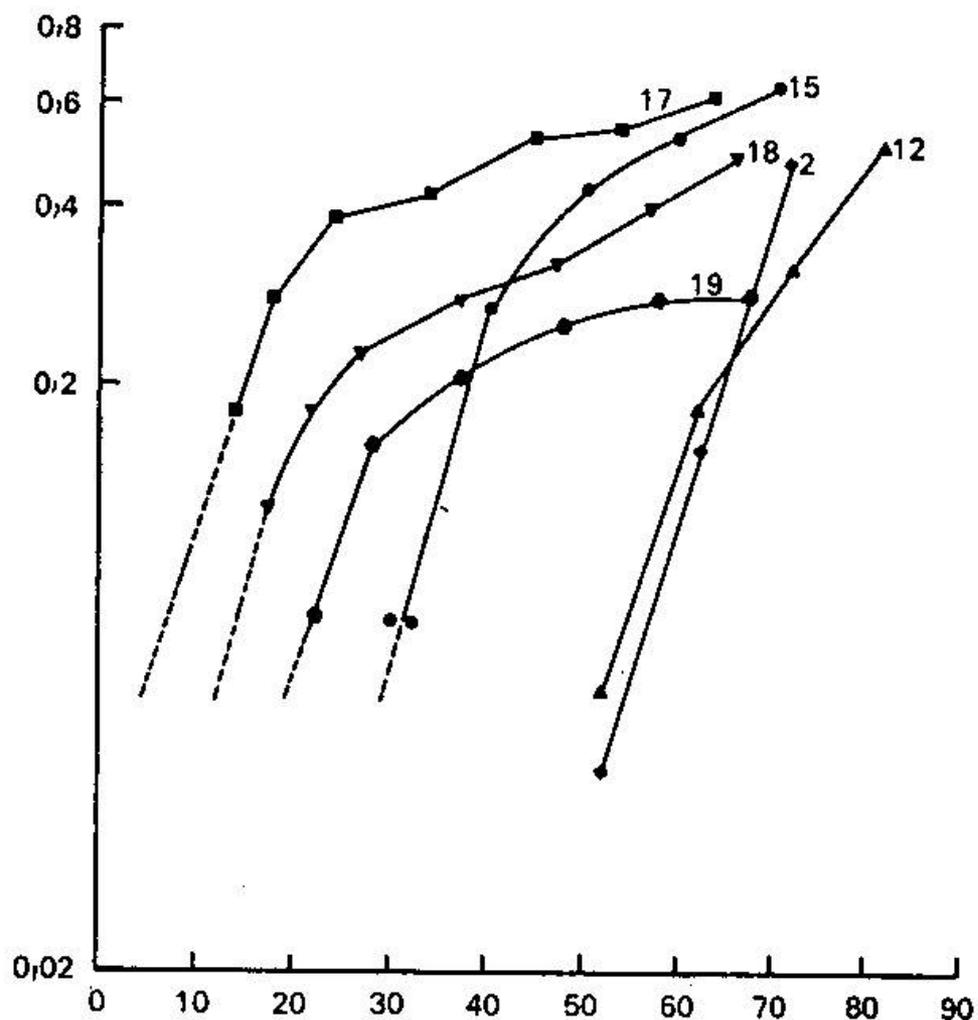


FIG. 2. Enveloppe de la vibration de la membrane basilaire (cloison cochléaire) pour un son de 10 kHz. Noter que près du seuil (exemple choisi) la composante liée au mécanisme actif (CCE), décalée vers l'apex, apporte un gain de 50 dB env. et un filtrage très sélectif. En l'absence de mécanisme actif, seule la courbe "passive" (terminée en pointillés) existe. (D'après DAVIS, 1983).



Courbes d'accord pour une cellule ciliée interne.

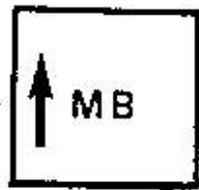
Pression sonore (dB en ordonnées) déterminant une réponse électrique d'amplitude constante (courbe d'isoamplitude), à chaque valeur de la fréquence. Le paramètre est l'amplitude imposée pour la fréquence : 0,4 mV ; 0,2 mV ; 0,04 mV.



Amplitude en mV du potentiel de récepteur d'une cellule ciliée interne en fonction de l'intensité du stimulus sonore.

Le paramètre est la fréquence du son en kHz : la cellule était maximale-ment sensible à 17 kHz. Dans le cas d'espèce, la mesure a porté sur la composante « AC »

STIMULATION
SONORE



transduction
mécano élect.



efférent latéral +

PA nerf auditif

MECANISME
ACTIF



PM



efférent médian

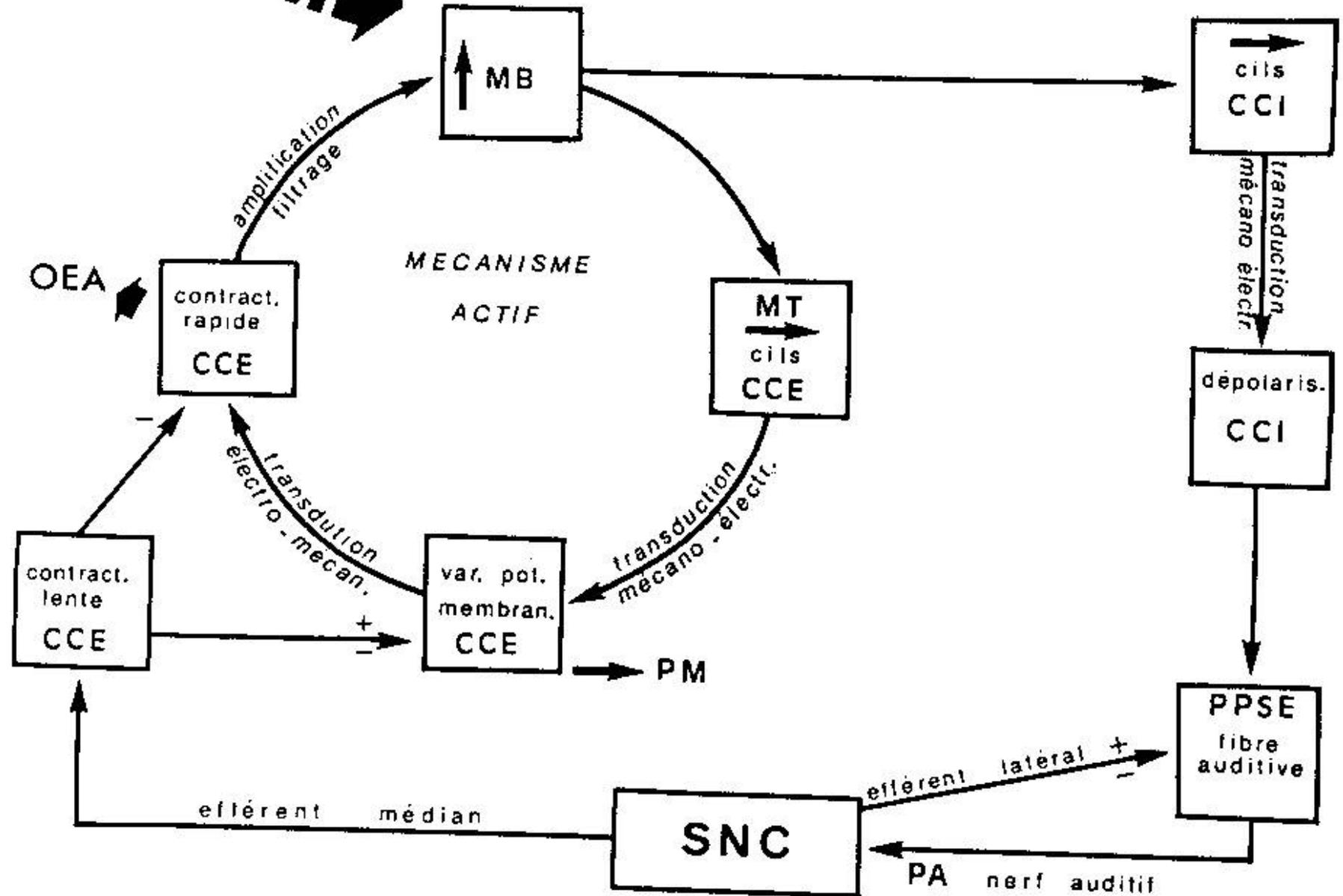


OEA

amplification
filtrage

transduction
électro-mécan.

transduction
mécano-électr.



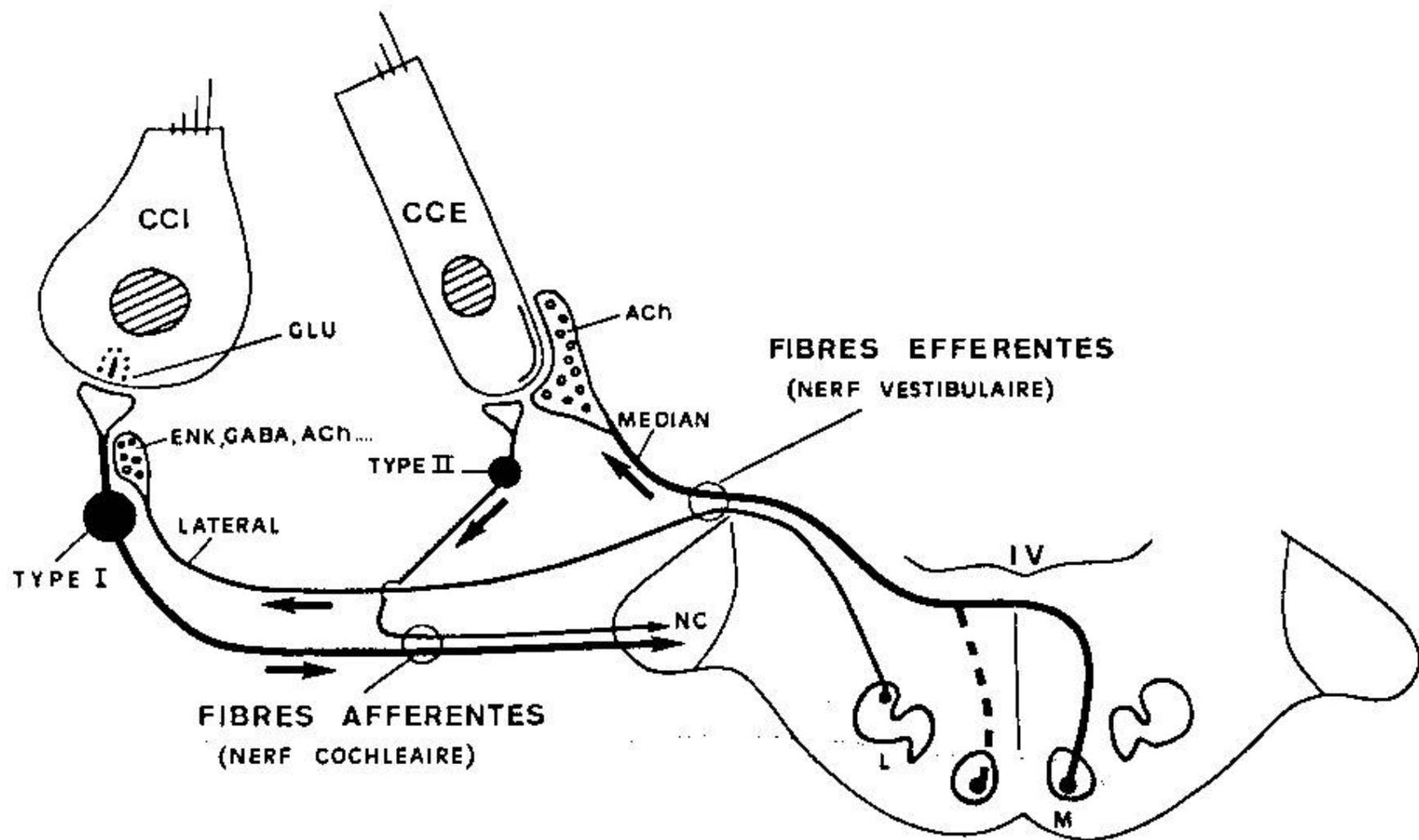


FIG. 4. Représentation schématique de l'innervation afférente et efférente des deux types de cellules ciliées. Les principaux neurotransmetteurs présumés sont indiqués au niveau des synapses : ACh (acétylcholine), Gaba, Enk (enképhalines), Glu (glutamate). Noter que les fibres efférentes suivent le trajet du nerf vestibulaire.

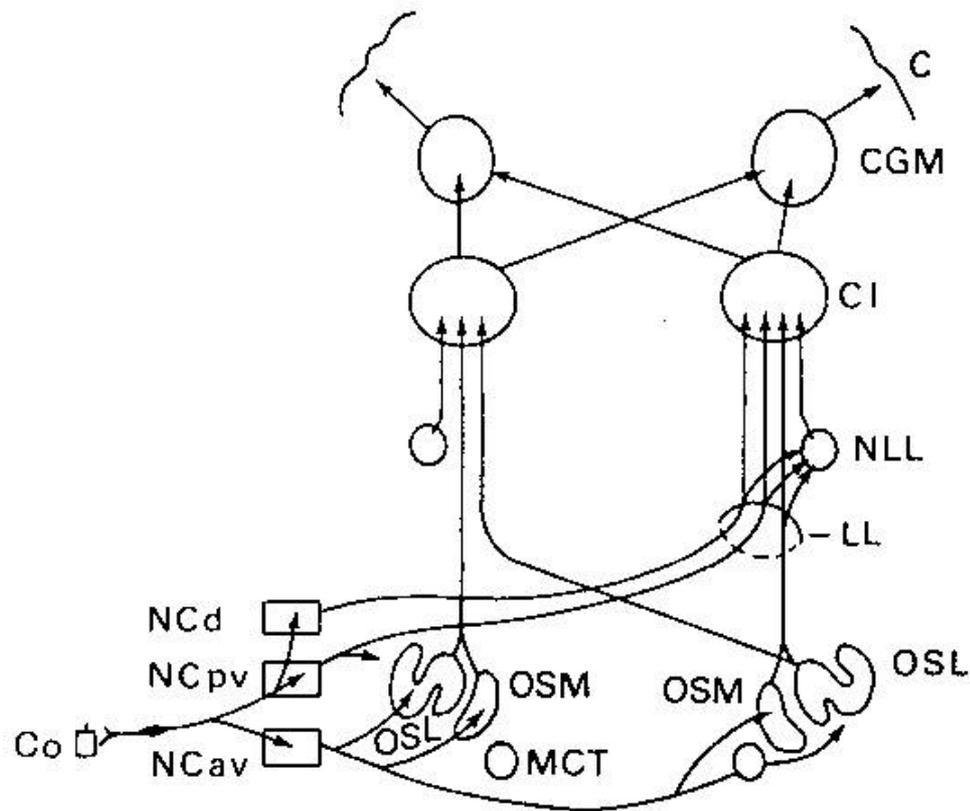


Figure 3.1

Schéma des voies auditives montantes dans le tronc cérébral.

Co, cochlée ; NCav, noyau cochléaire antéro-ventral ; NCpv, postéro-ventral ; NCd, dorsal ; OSM, olive supérieure, noyau médian ; OSL, olive supérieure latérale ; MCT, noyau médian du corps trapézoïde ; LL, lemnicus lateralis ; NLL, noyaux du LL ; CI, colliculus inférieur ; CGM, corps genouillé médian ; C, cortex acoustique. Ce schéma ne représente qu'une mise en place générale ; d'autres détails sont à trouver dans des figures suivantes : pour les voies bulbaires : fig. 3.3 ; pour le colliculus inférieur : fig. 3.15 ; pour le corps genouillé médian : fig. 3.24 ; pour le cortex fig. 3.32 sq. Les flèches n'impliquent pas nécessairement des liaisons directes.

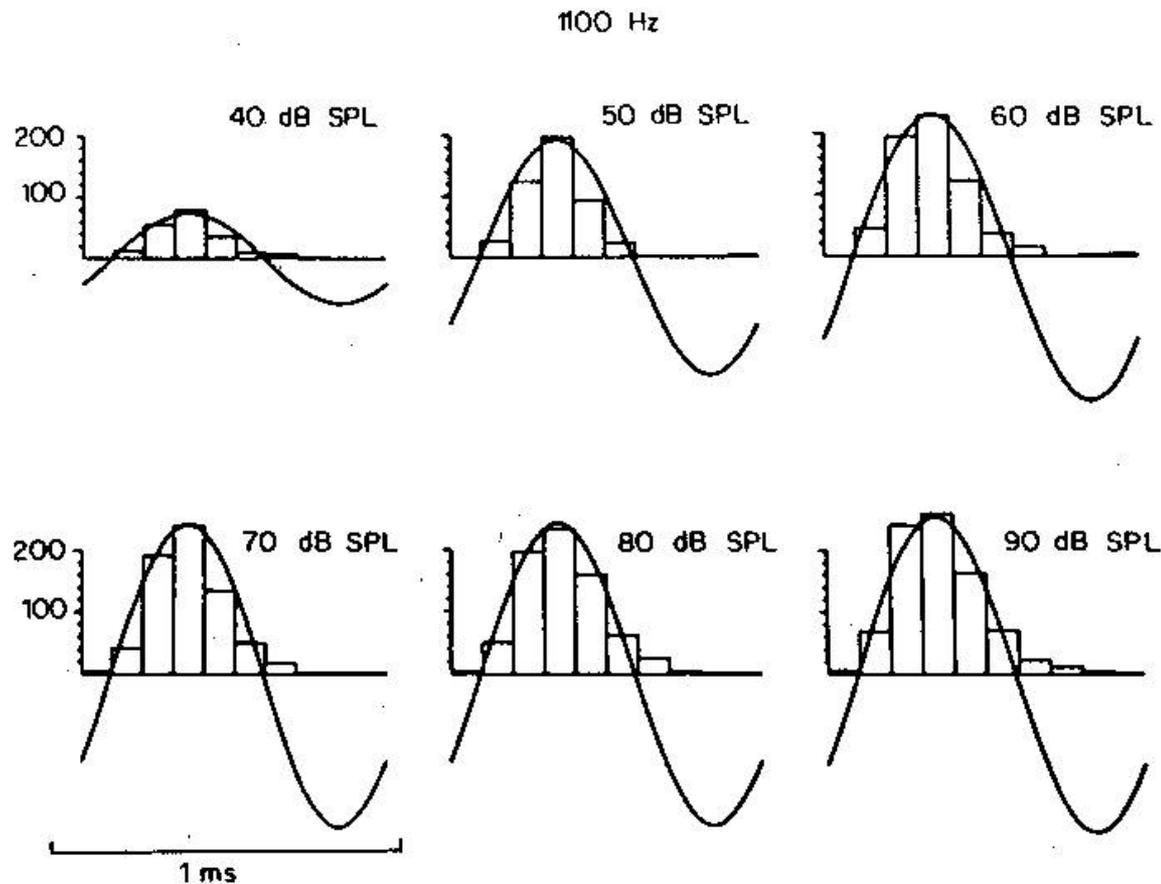


Figure 2.32

Histogrammes de réponse d'une fibre de $f_c = 1,1$ kHz activée par un son de fréquence basse.

La fibre ne répond que pendant la moitié du cycle ; la distribution temporelle des influx suit étroitement le décours de la sinusoïde, avec un effet d'intensité (accroissement de leur nombre) quand le son de 1 100 Hz passe de 40 dB à 70 dB. Toutefois, même à la saturation, c'est-à-dire au-delà de 70 dB, la distribution des influx continue à être périodique et suivre la sinusoïde.

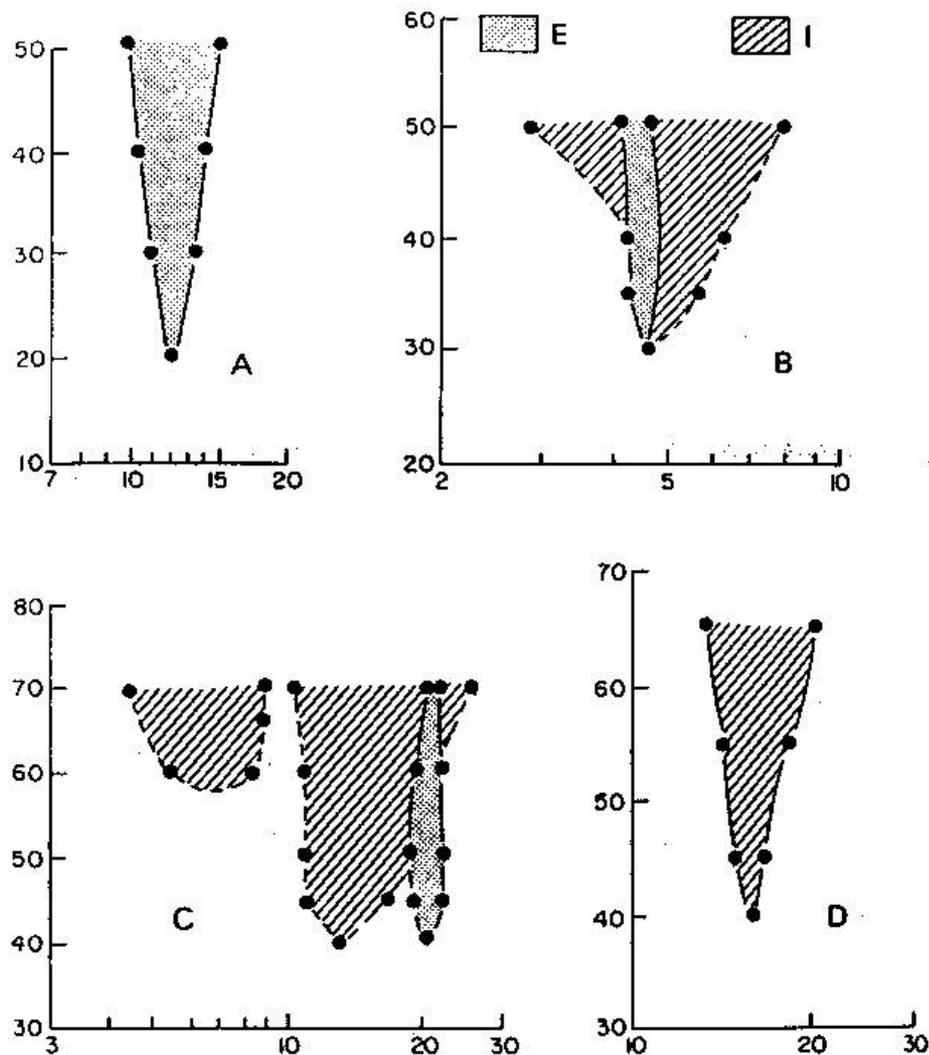


Figure 3.6

Exemples de courbes d'accord rencontrées pour des unités du noyau cochléaire du chat. Des unités à courbe purement excitatrice (A) s'observent dans le noyau cochléaire ventral ; des flancs inhibiteurs, plus ou moins importants (B, C), ou même une simple zone inhibitrice (D) prédominante dans le noyau cochléaire dorsal (E) zone excitatrice ; (I) zone inhibitrice).

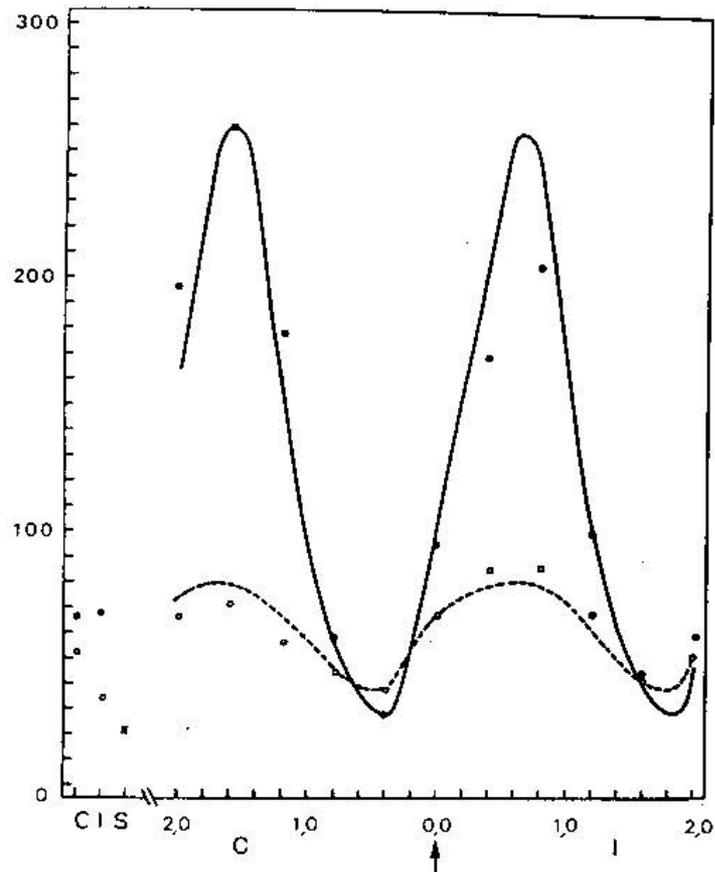


Figure 3.14

Mécanismes de la localisation tonale fondée sur des délais interauraux.

Cellule olivaire à $f_c = 444,5$ Hz; stimulus de 1 s de durée, appliqués contralatéralement (c) et ipsilatéralement (i), avec divers délais interauraux (en ms). Flèche : délai nul ; à gauche de la flèche, retard du stimulus contralateral sur le stimulus ipsilatéral ; à droite, retard de l'ipsilatéral sur le contralateral.

En ordonnées : fréquence de décharge.

C et I, à gauche, désignent les décharges pour des stimulus respectivement contralateral et ipsilatéral appliqués isolément ; S(x) désigne le niveau d'activité spontanée correspondant.

La courbe avec points pleins correspond à des intensités de 80 dB, et celle avec les cercles évidés, à 60 dB.

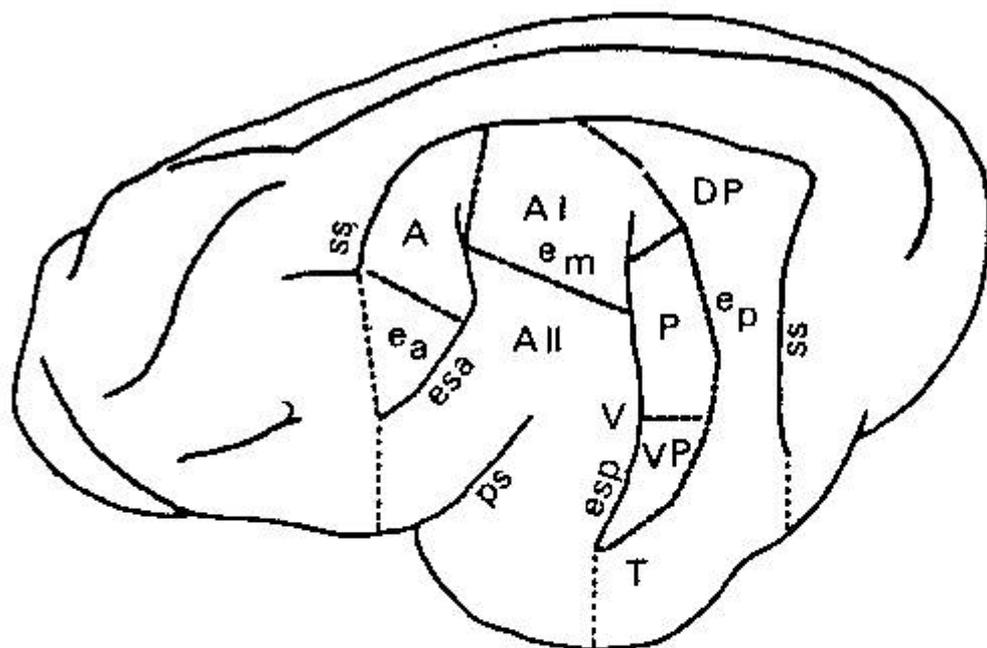


Figure 3.32

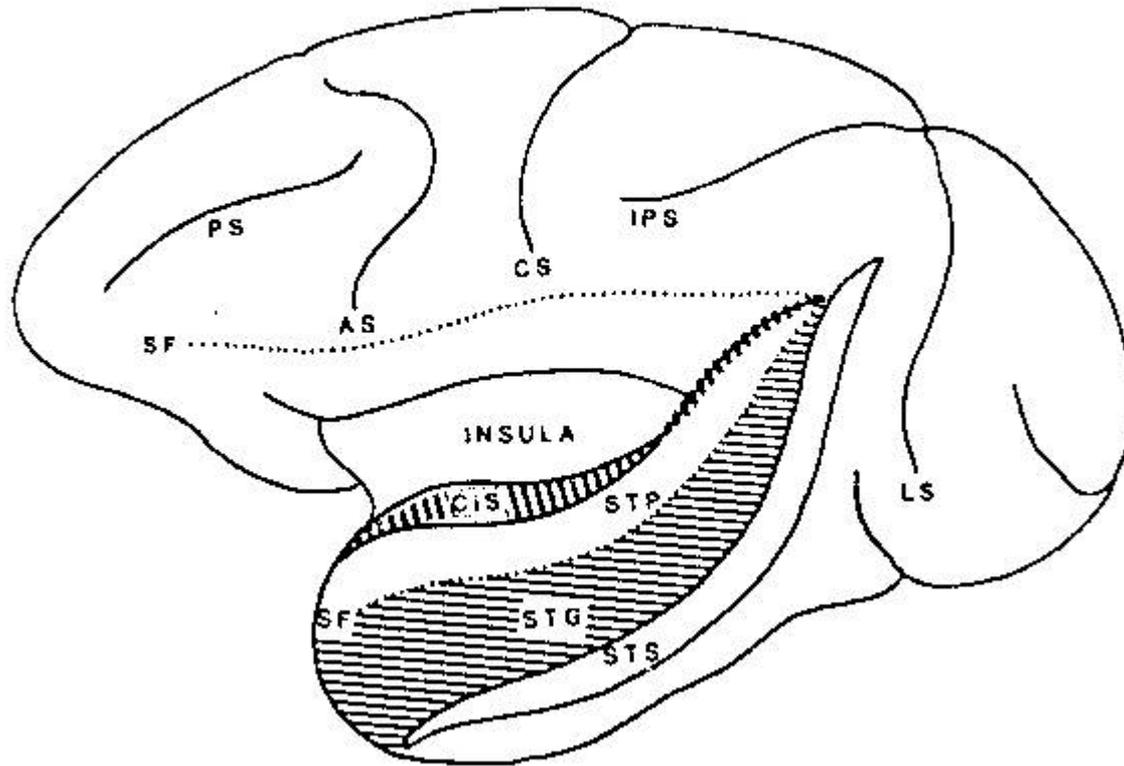
Aires auditives corticales chez le chat.

mise en place des aires sur le cortex temporal gauche.

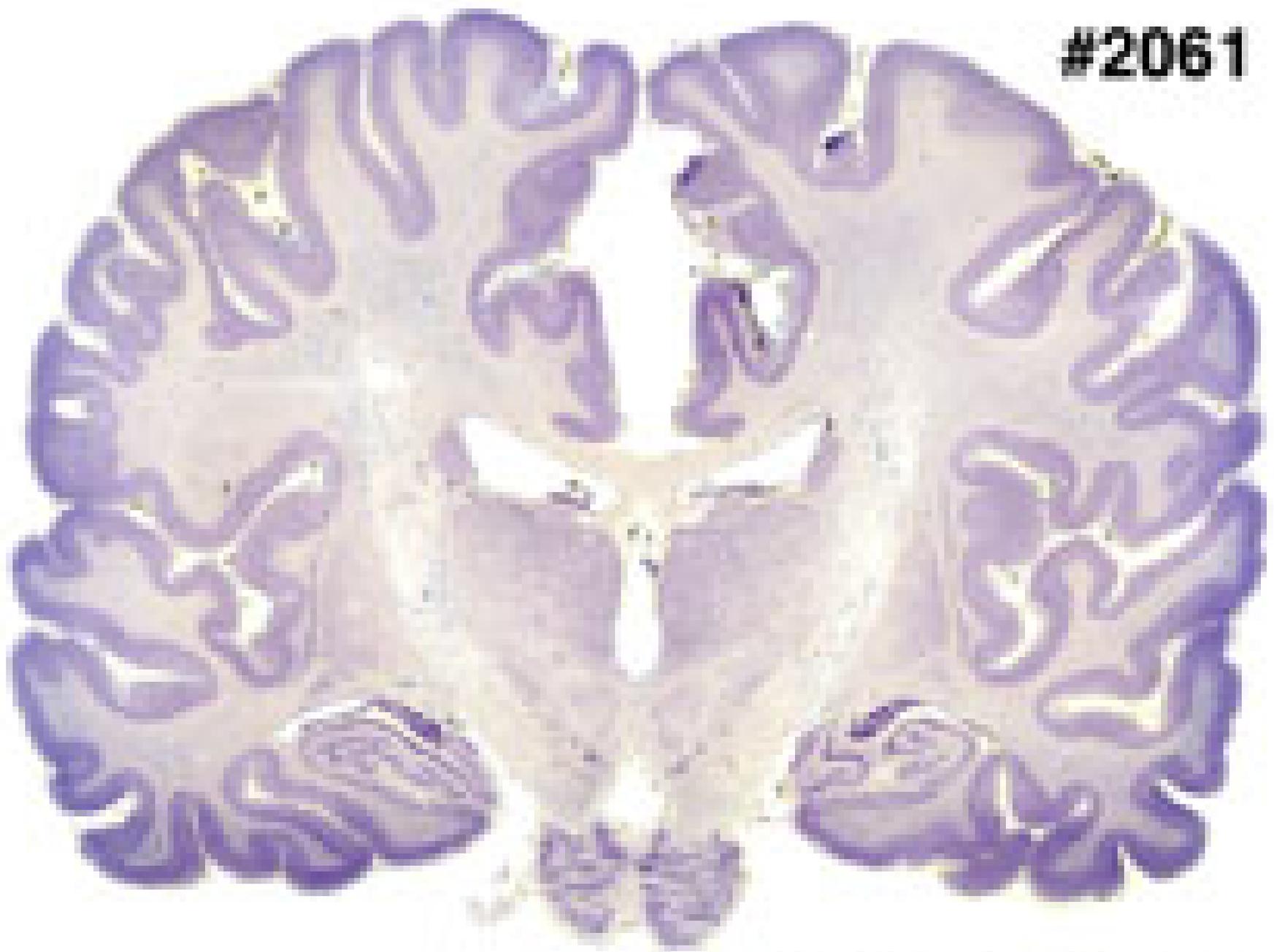
A, AI, P et VP, aires antérieure, primaire, postérieure et ventrale postérieure, les quatre à organisation tonotopique.

DP, T, V, All, aires dorsale postérieure, temporale, ventrale et seconde, à tonotopie large.

REGION TEMPORALE SUPERIEURE



#2061



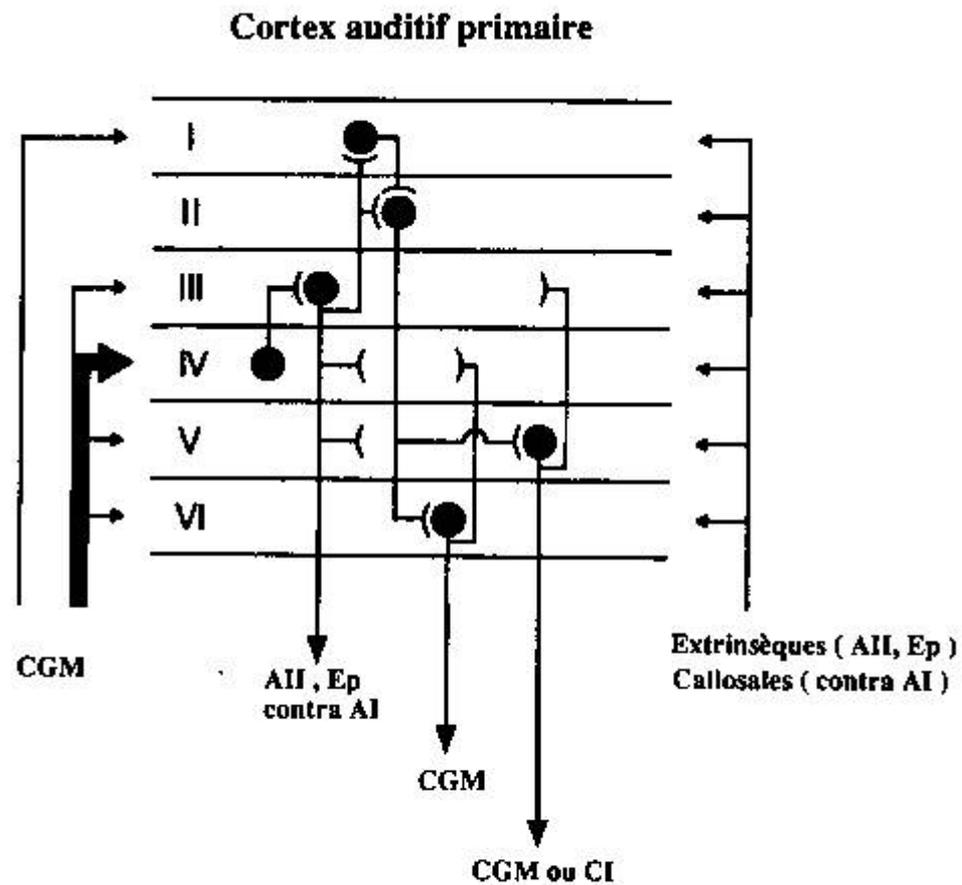


Fig. 5-25 Schéma fonctionnel du cortex auditif, établi par la technique de l'enregistrement et du marquage intracellulaires. (D'après Mitani et coll., 1985)

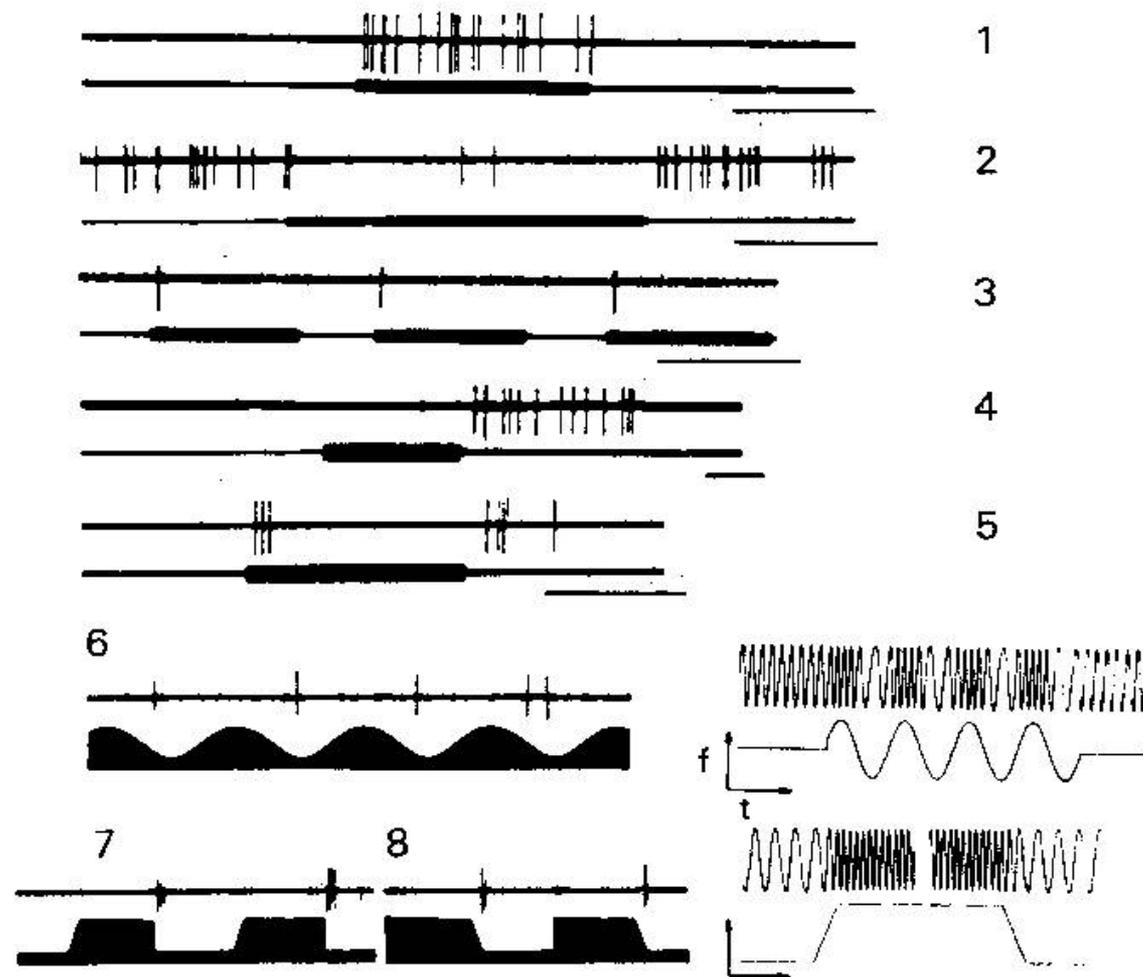


Figure 3.39

Variétés de modalités réactionnelles de cellules du cortex auditif AI du chat.

1 à 5 : réponses à des sons prolongés : excitation soutenue en 1 ; inhibition soutenue en 2 ; réponse ON en 3 ; OFF en 4 ; ON-OFF en 5 ; 6 et 7 : réponses à des sons modulés en fréquence ; en 6 la modulation est à décours sinusoïdal (à droite sont représentés, en haut le tracé du stimulus lui-même, en dessous la variation de la fréquence en fonction du temps).

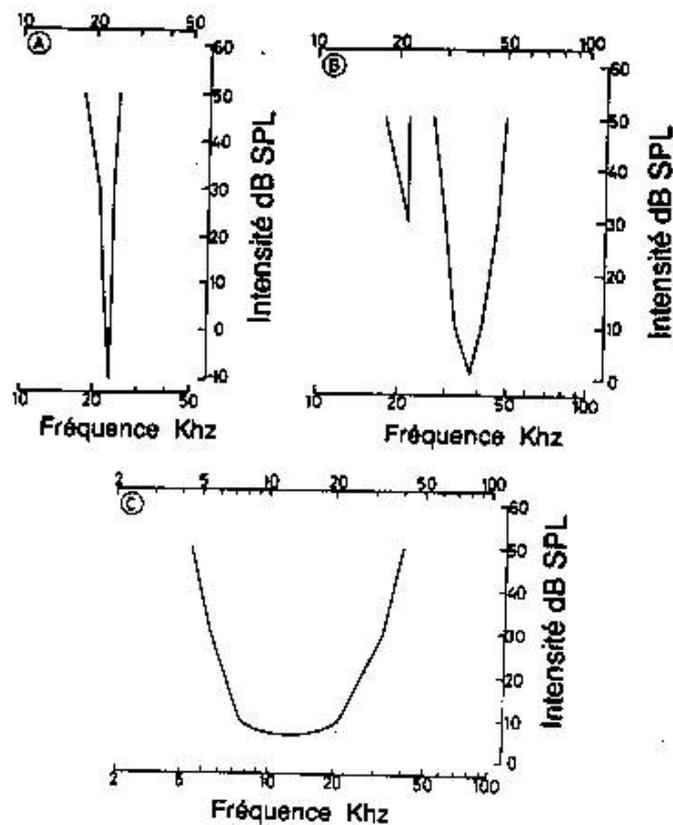
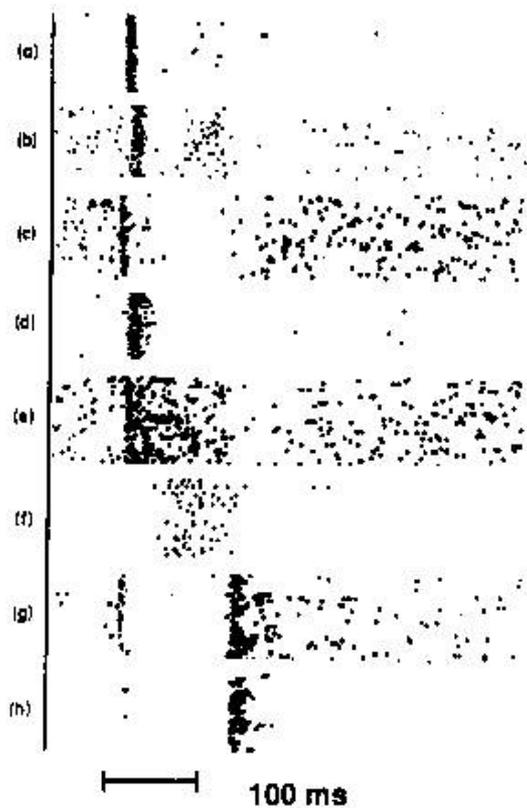


Fig. 5-26 Réponses des unités corticales aux bouffées de sons purs. **Partie gauche :** types de réponses à une bouffée de 100 ms, indiquée par la barre de calibration. Réponses transitoires à l'enclenchement (on) (a-d) ayant des durées et des latences différentes ; réponses soutenues (e, f), transitoires à l'enclenchement et au déclenchement (g) et au déclenchement uniquement (h). *Dot displays* représentant pour chaque cellule les réponses à 25 présentations consécutives du stimulus. **Partie droite :** exemples de 3 types de courbes d'accord, typiques de AI : cellule à courbe étroite (A), à pics multiples (B) et courbe large (C). (D'après Goldstein et Abeles, 1975a)

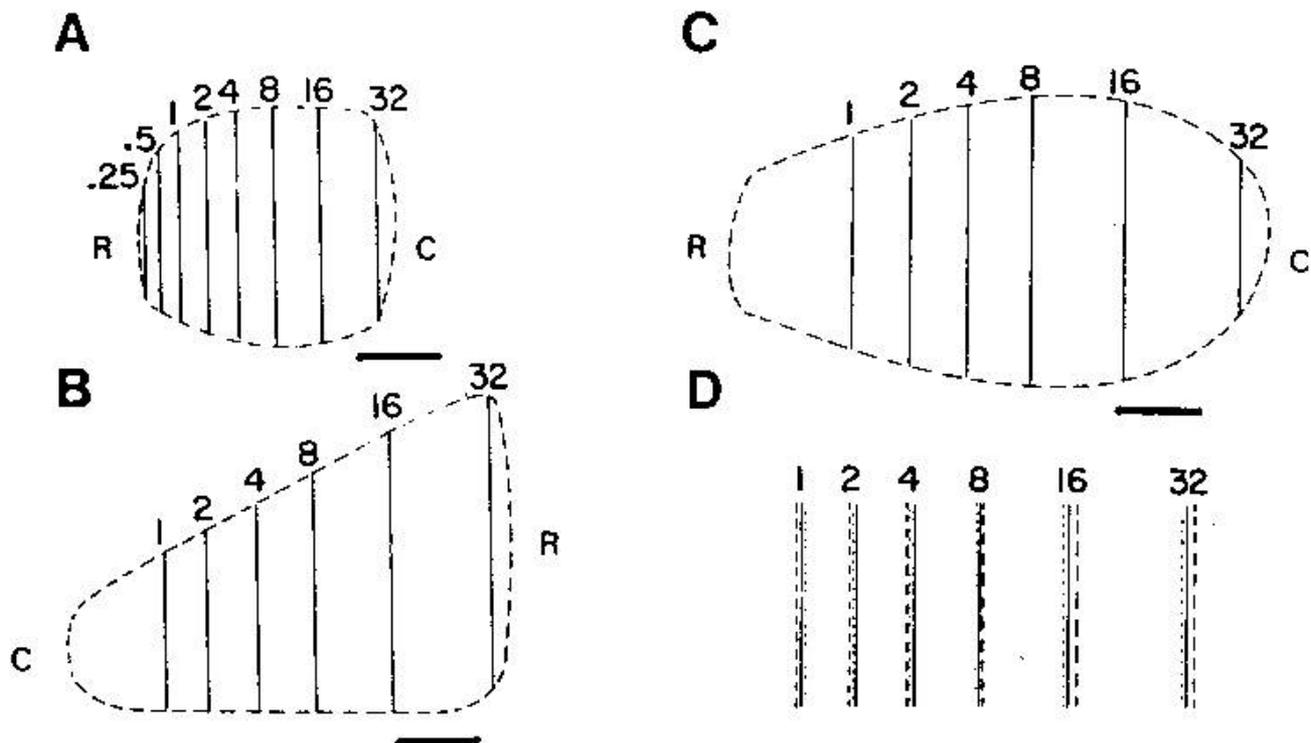


Figure 3.33

Organisation tonotopique des cortex auditifs primaires de l'écureuil (A), du chat (B), et du macaque (C).

L'organisation est vue cette fois en considérant l'étendue de l'aire A1. Etagement des fréquences le long de l'axe antéro-postérieur, rostro-caudalement de gauche à droite pour l'écureuil et le singe, caudo-rostralement pour le chat. La barre horizontale sous chaque schéma donne l'échelle de 1 mm. En D, la répartition des octaves a été normalisée, en sorte que la représentation des diverses fréquences puisse être directement comparée. Les échelles relatives d'abscisses sont ici pour l'écureuil $\times 2,1$; pour le chat, $\times 1,2$; pour le macaque, $\times 1,0$. Noter que la représentation est proportionnelle dans les trois espèces.

Références Bibliographiques

Anatomie et physiologie de la cochlée. Rémy Pujol. Archives Internationales Physiologie et Biochimie, 1989, 97, A51-A78.

Physiologie de la Cochlée. Série Audition. Les éditions INSERM / SFA, 1988, pp 176.

Le système Auditif Central. Anatomie et Physiologie. R. Romand Ed. Série Audition. Les éditions INSERM/SFA, 1992, pp 232.