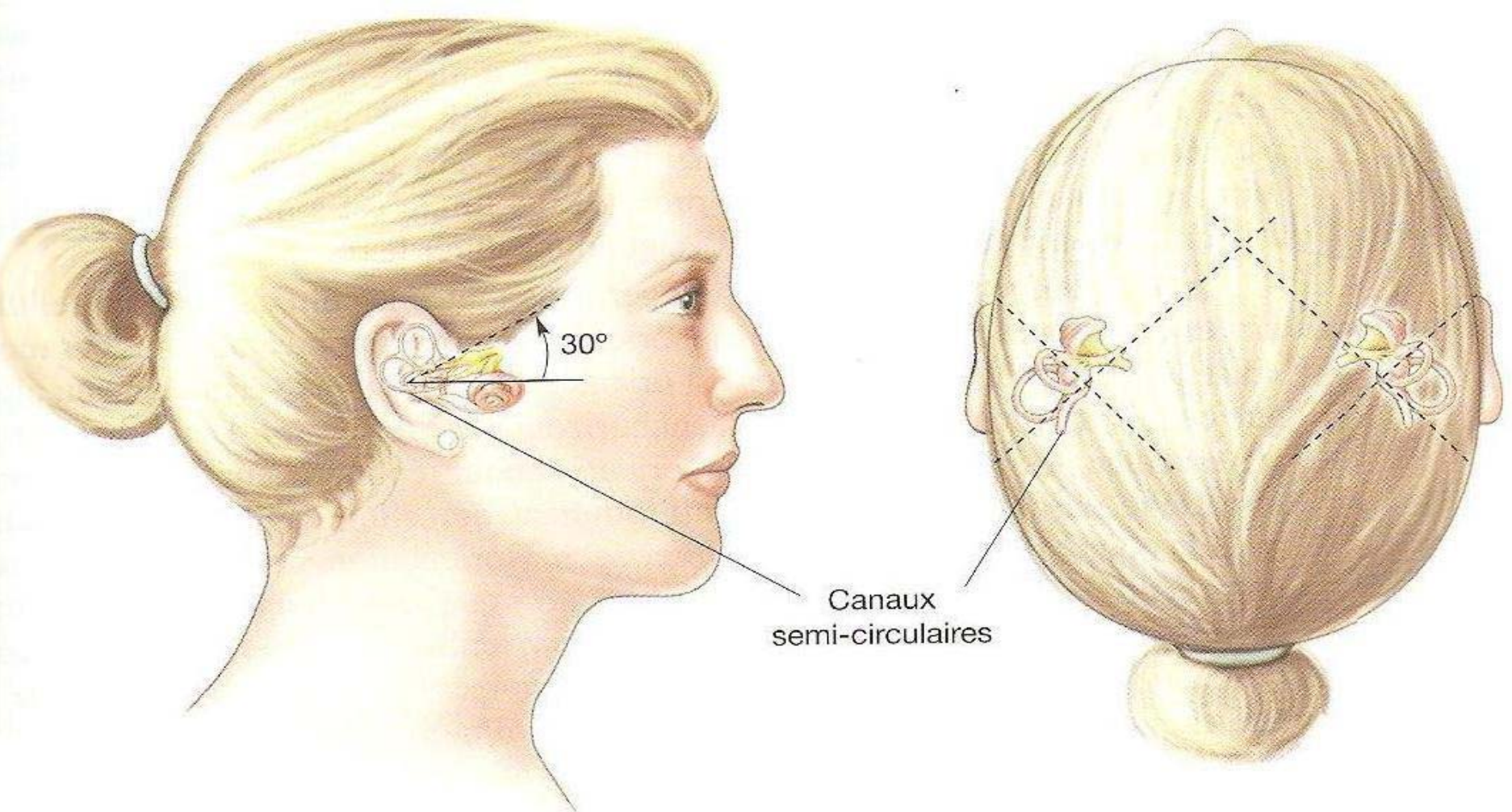


# LES FONCTIONS STATIQUES ET D'EQUILIBRATION

- assurent l'équilibre du corps en toutes circonstances.
- structure importante: le labyrinthe vestibulaire dont dépend:
  - orientation spatiale correcte de toutes les parties du corps dans l'espace.
  - station correcte.
  - stabilisation des yeux dans l'espace pendant les mouvements de la tête permettant une image fixe sur la rétine.

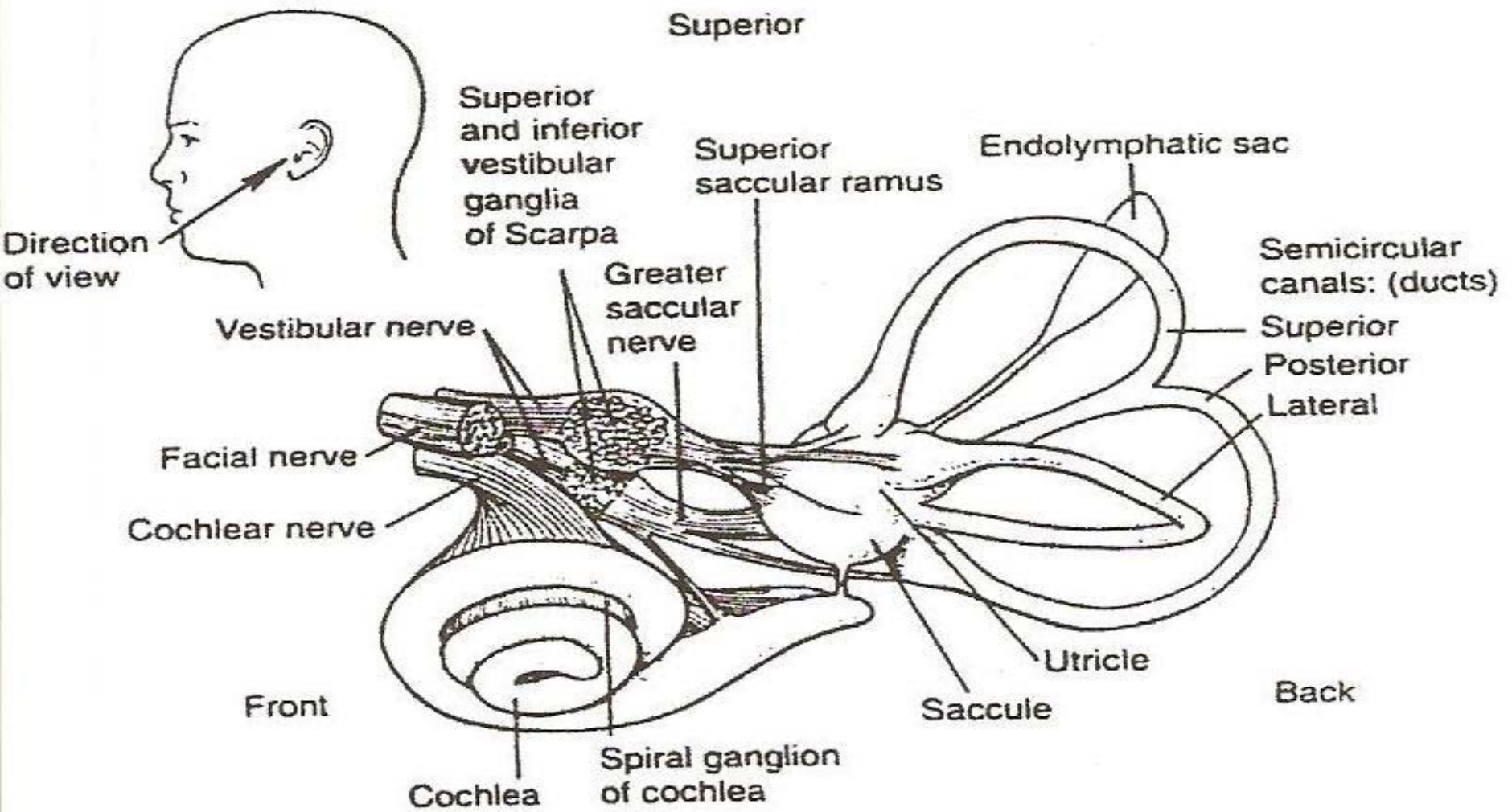
# • I- RECEPTEURS VESTIBULAIRES.

- Le labyrinthe vestibulaire est situé dans l'oreille interne.
- Les gradients des liquides endolymphatique et perilymphatique en ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  sont inverses (140mEq/l et 4,3 Meq/l pour le plasma et 12mEq/l avec 140mEq/l pour le cytosol).
- Comprend 2 types d'appareils sensoriels
  - Le système des canaux semi-circulaires
  - Le système utriculo- sacculaire.



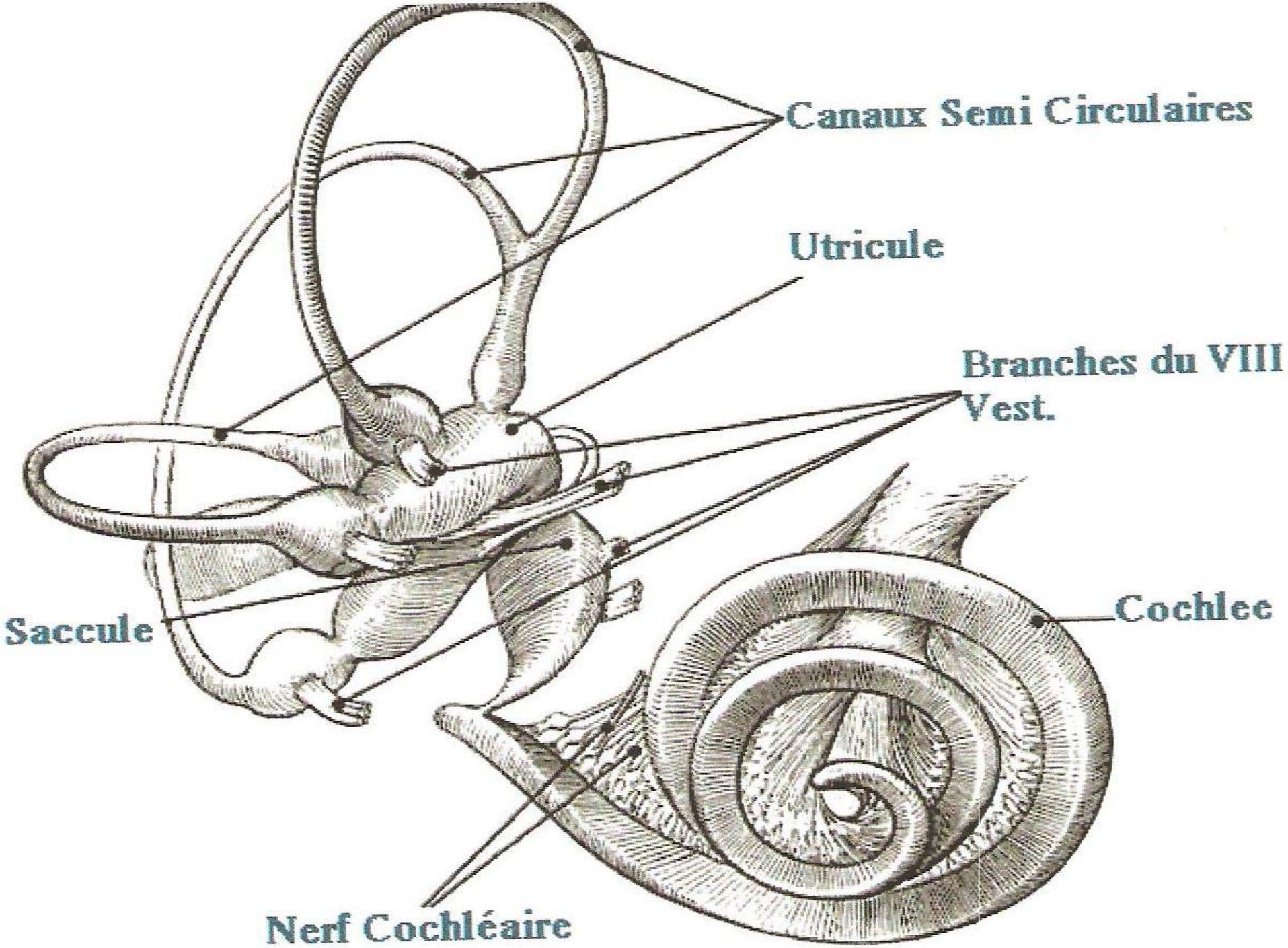
**- Le labyrinthe vestibulaire.**

Il existe un appareil labyrinthique dans chaque oreille, de chaque côté de la tête, avec les canaux semi-circulaires arrangés selon des plans parallèles.



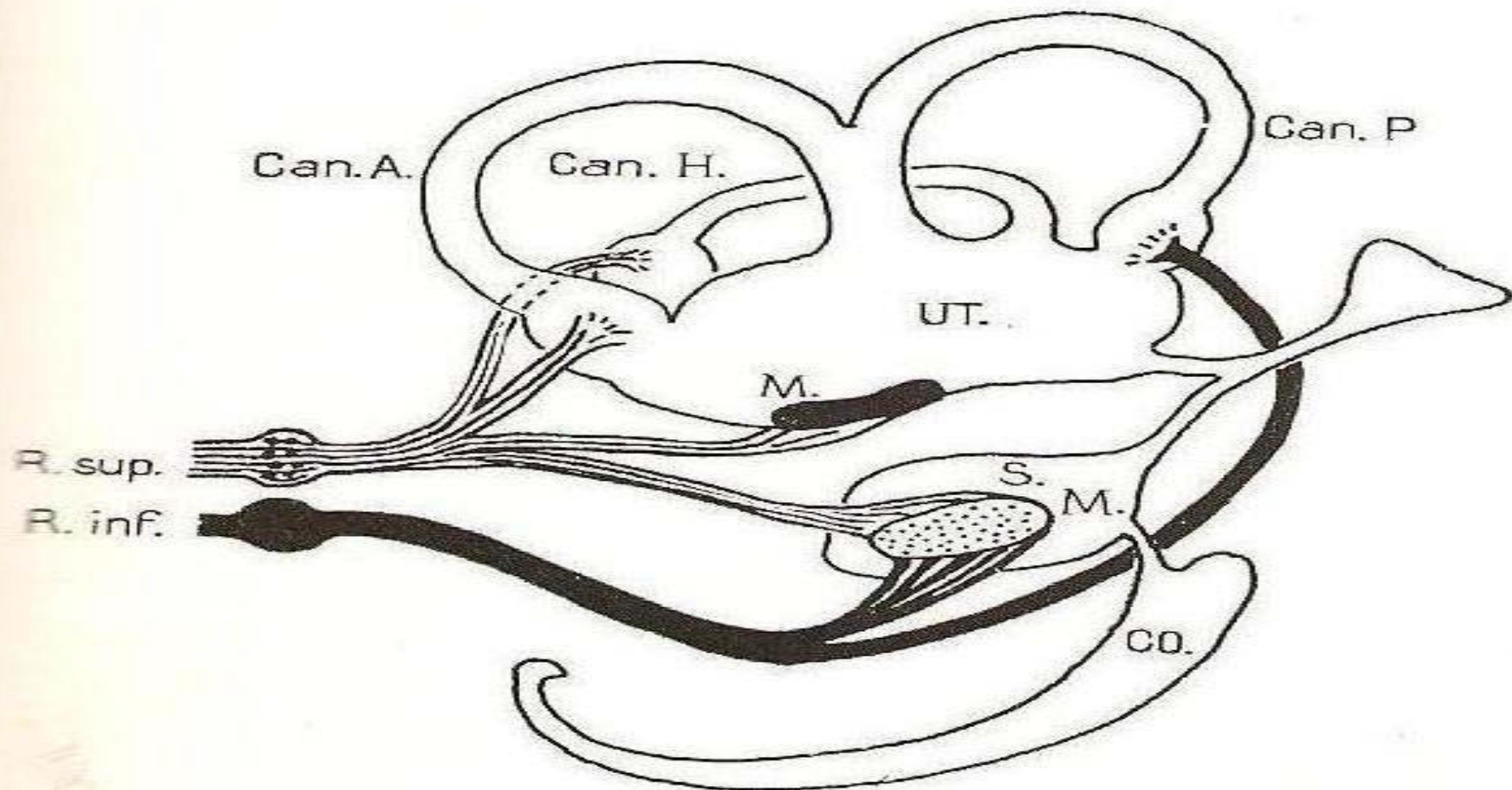
Location of vestibular and cochlear divisions of the inner ear with respect to the head.





## I- 1. Le système des canaux semi-circulaires.

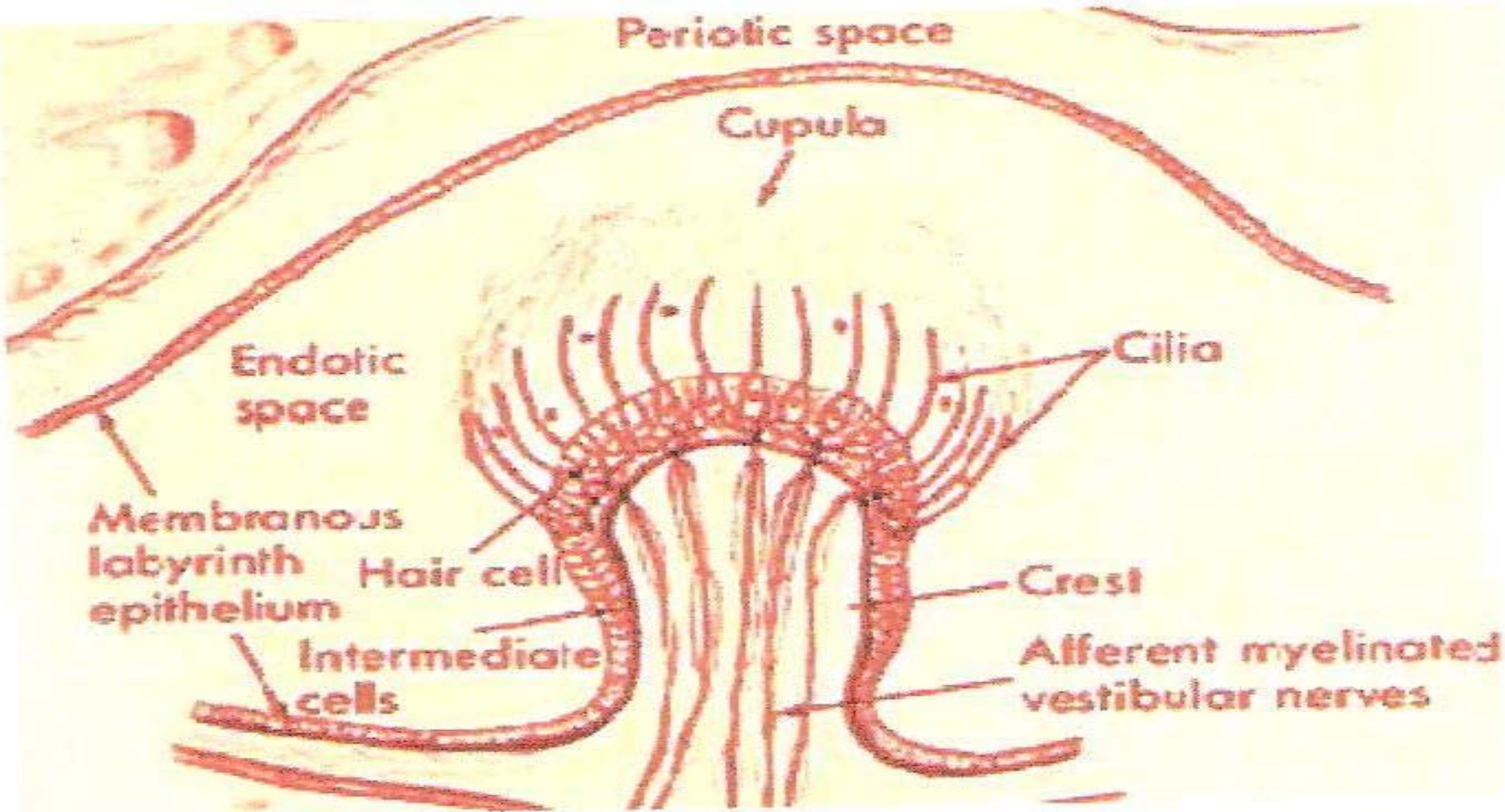
- Sont au nombre de 3, terminés par 1 ampoule
- Chaque ampoule présente une crête ampullaire comprenant les cellules sensorielles.
- Les cellules sensorielles reçoivent les terminaisons du nerf vestibulaire( VIIIe paire de nerfs crâniens) dont les corps cellulaires sont situés dans le ganglion de Scarpa.



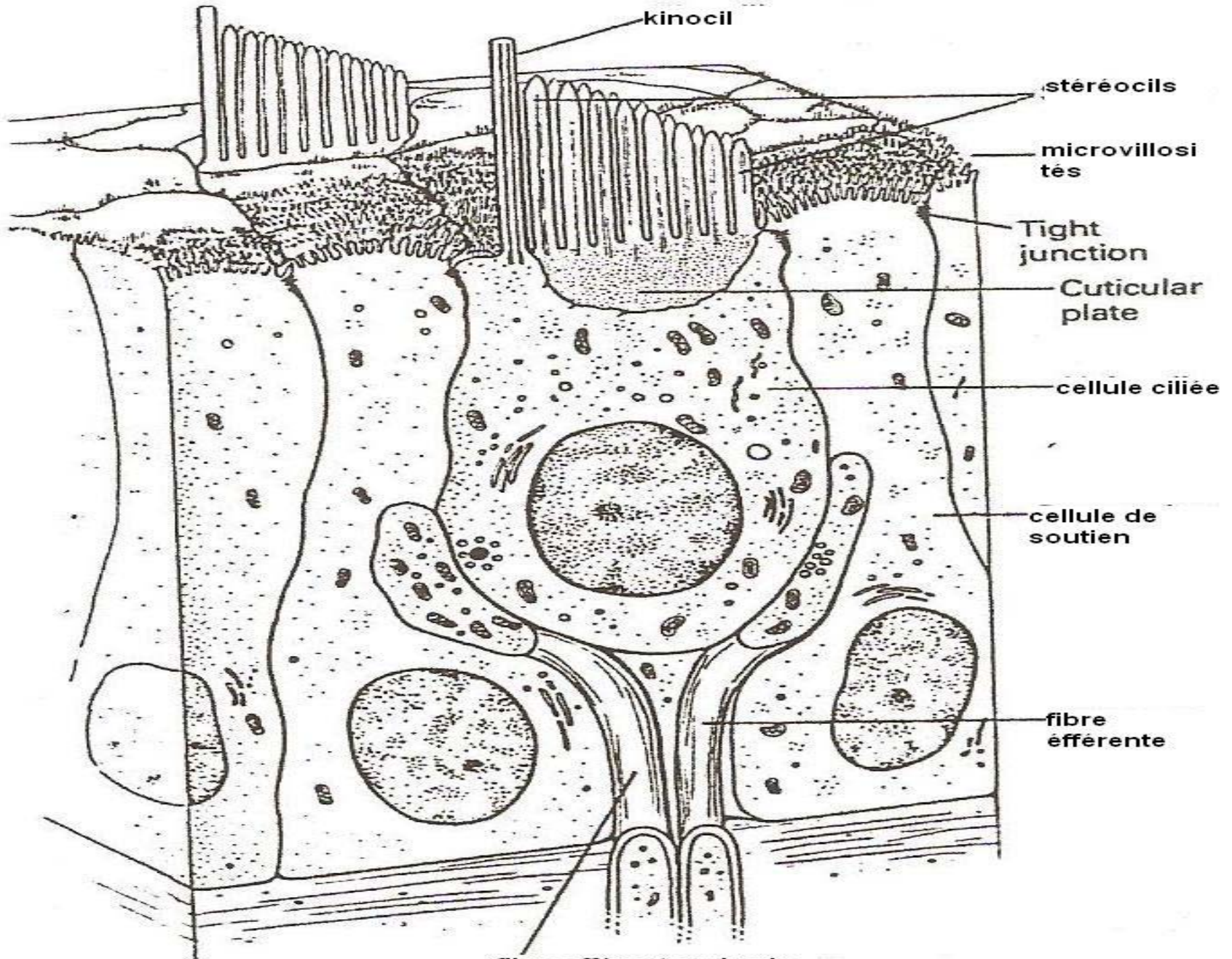
— *Disposition des stato-récepteurs labyrinthiques.*

Can. A. : canal demi-circulaire antérieur; Can. P. : canal demi-circulaire postérieur; Can. H. : canal demi-circulaire horizontal; UT. : utricule; S. : saccule; CO. : canal cochléaire; M. : macules; R. sup. et R. inf. : racines supérieure et inférieure du nerf vestibulaire.





# RECEPTEURS AMPULLAIRES



kinocil

stéréocils

microvillosités

Tight junction

Cuticular plate

cellule ciliée

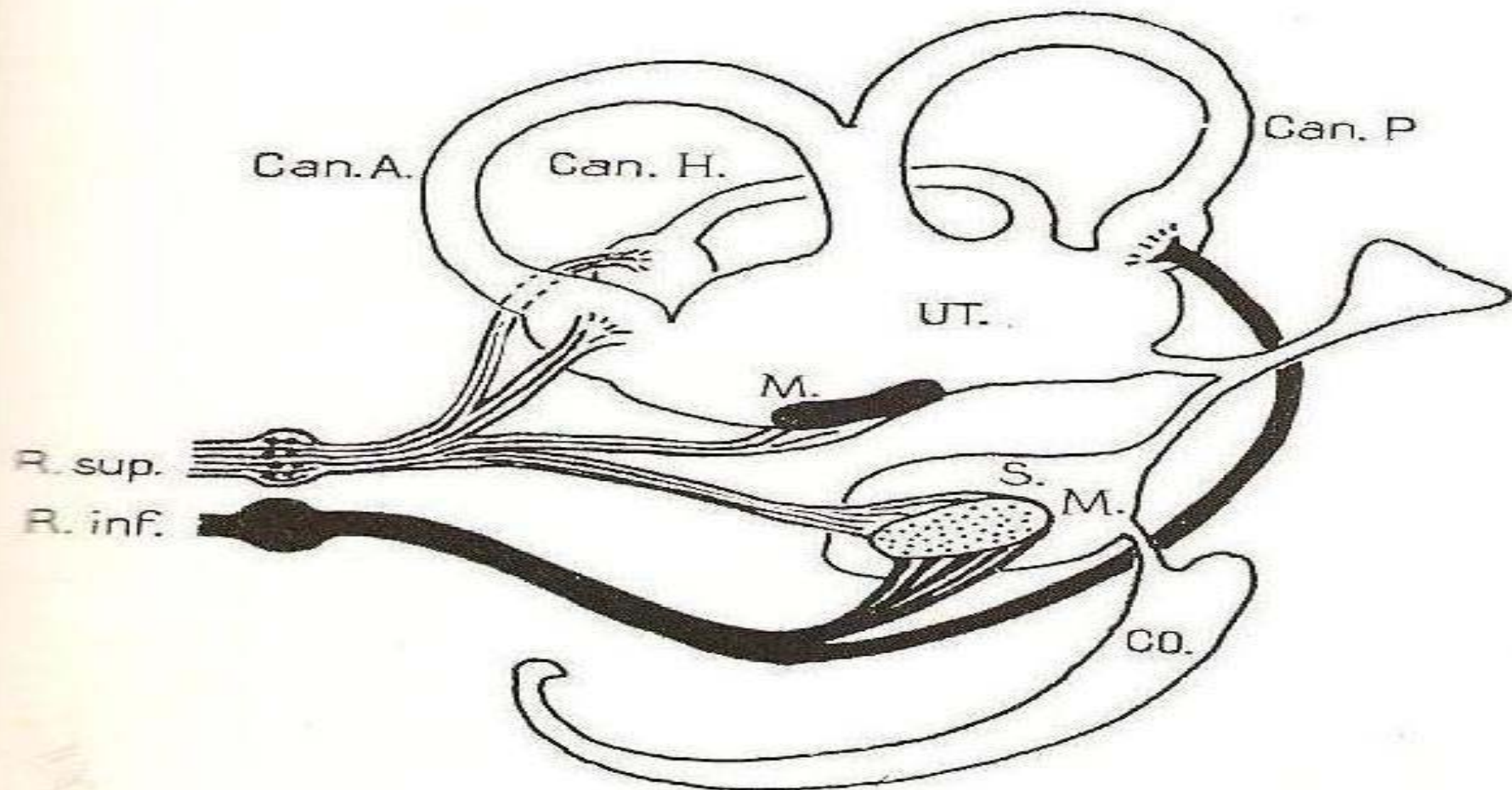
cellule de soutien

fibre éfèrente



## I-2. Les organes utriculo- sacculaires.

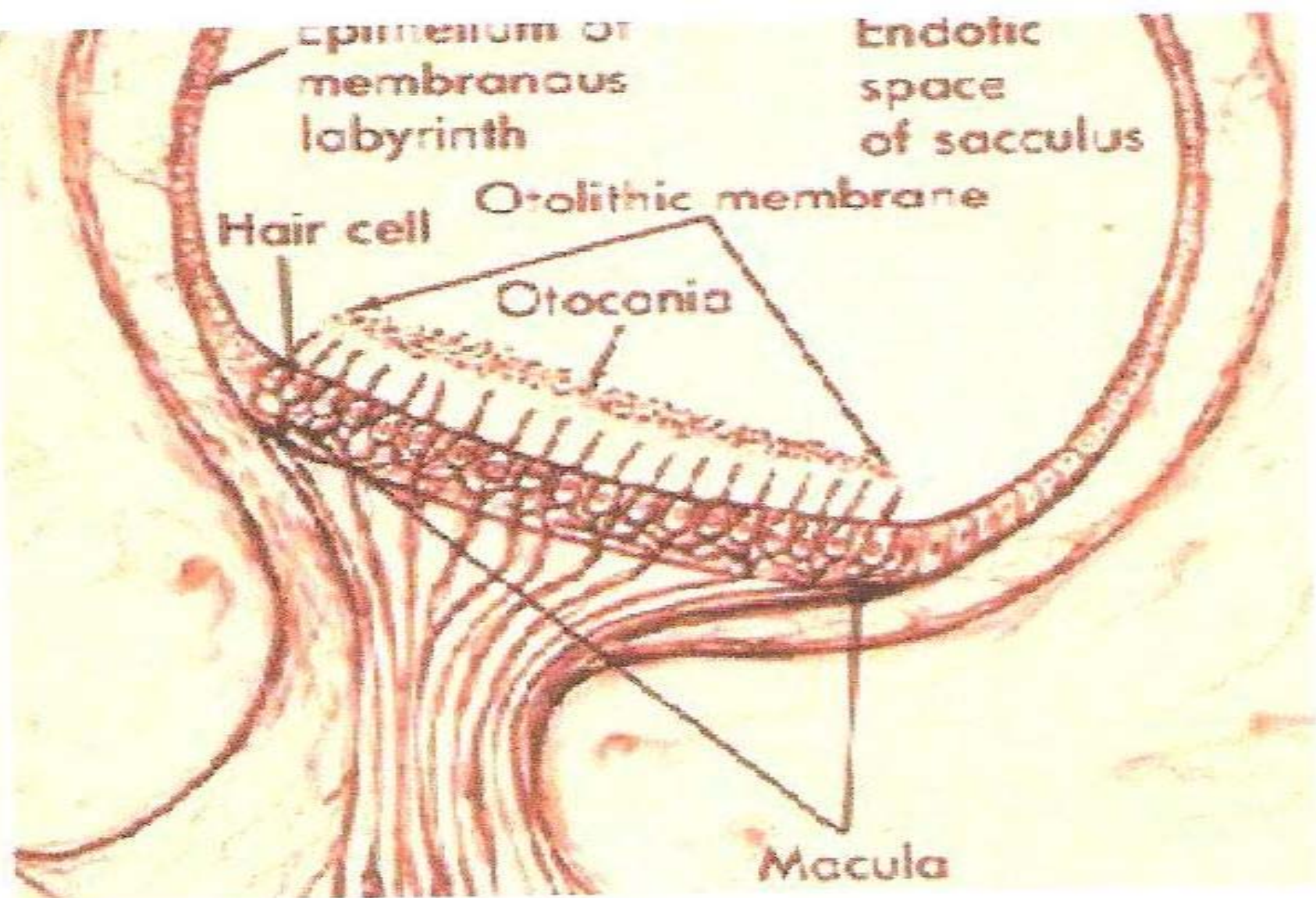
- Sont constitués par les « macula » utriculaire et sacculaire.
- Ds lesquels on trouve en suspension des grains de carbonate de calcium: ***les otholithes ou otoconies.***
- Les cils et les otoconies forment la ***membrane otolithique.***



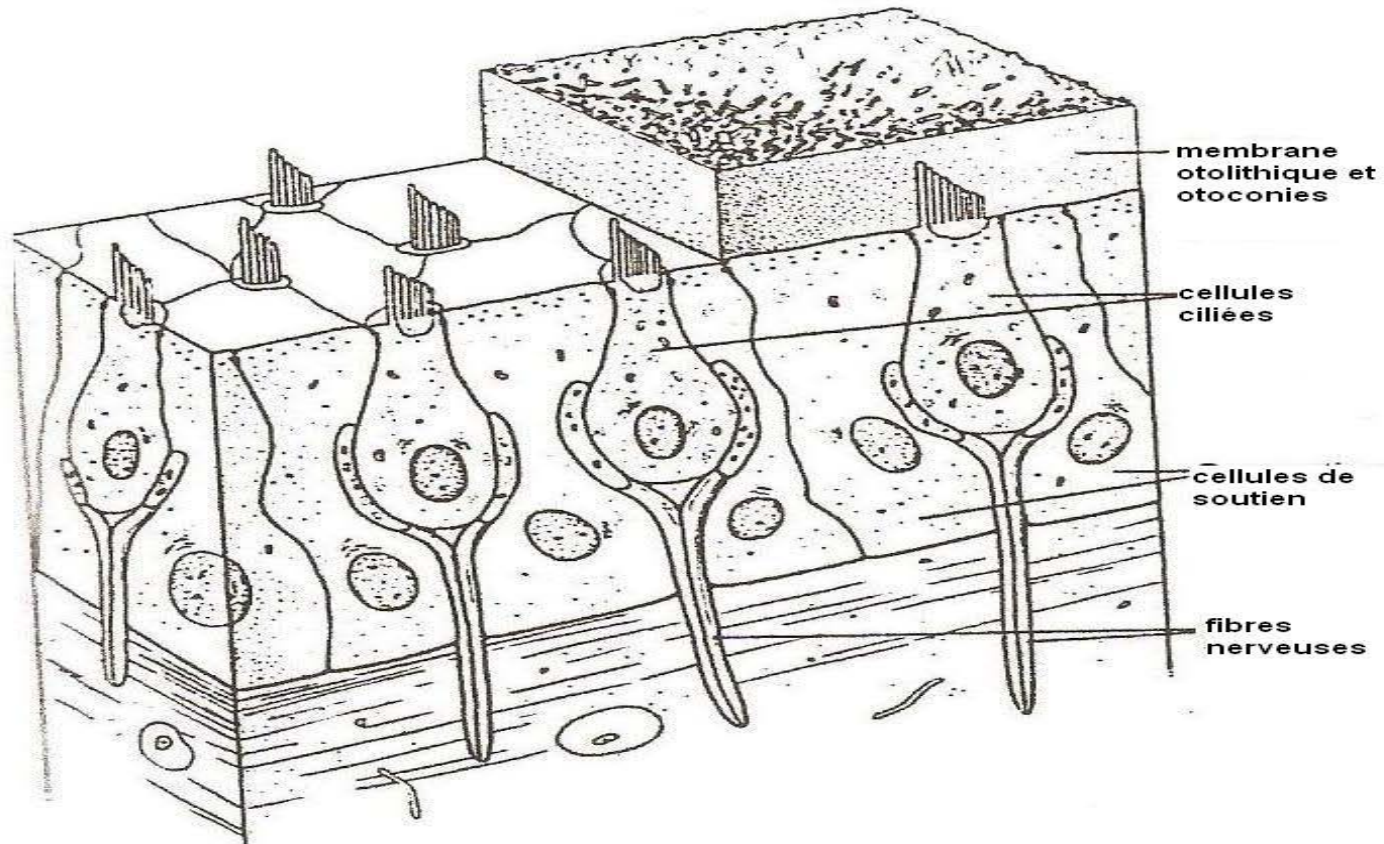
— *Disposition des stato-récepteurs labyrinthiques.*

Can. A. : canal demi-circulaire antérieur; Can. P. : canal demi-circulaire postérieur; Can. H. : canal demi-circulaire horizontal; UT. : utricule; S. : saccule; CO. : canal cochléaire; M. : macules; R. sup. et R. inf. : racines supérieure et inférieure du nerf vestibulaire.





## RECEPTEURS MACULAIRES



RECEPTEURS MACULAIRES.

d'après Kandel et al

## I-3 modalités de stimulation des récepteurs.

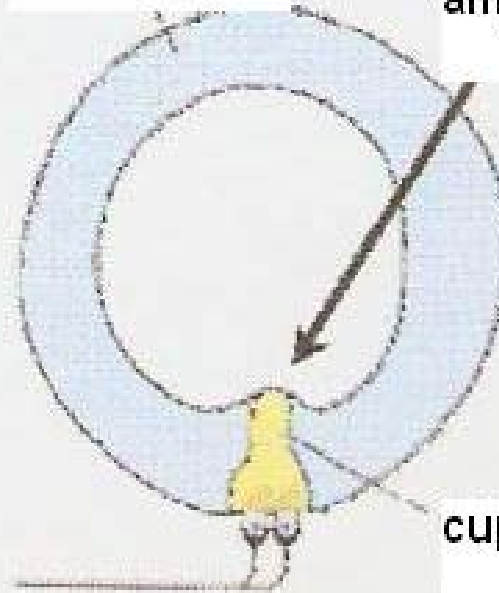
### I-3-1. stimulation des organes ampullaires.

- Les canaux semi- circulaires sont sensibles aux ***accélérations angulaires.***
- Lors d' un mouvement de rotation de la tête, le canal tourne autour de son axe à la manière d'une roue.
- Les cils se déplacent avec leurs kinocils, tandis que l'endolymphe reste immobile du fait de son inertie. Elle exerce alors une force sur la cupule comme le vent sur une voile.
- Cette force courbe la cupule ce qui en fonction du mouvement va stimuler ou au contraire inhiber les cellules ciliées et agir sur la libération du neurotransmetteur au niveau du nerf vestibulaire.

les canaux semi circulaires sont sensibles aux accélérations angulaires

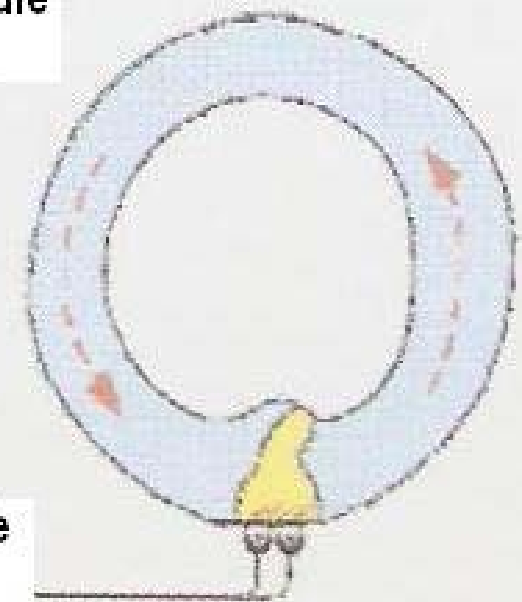
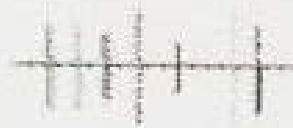
endolymphe

ampoule



cupule

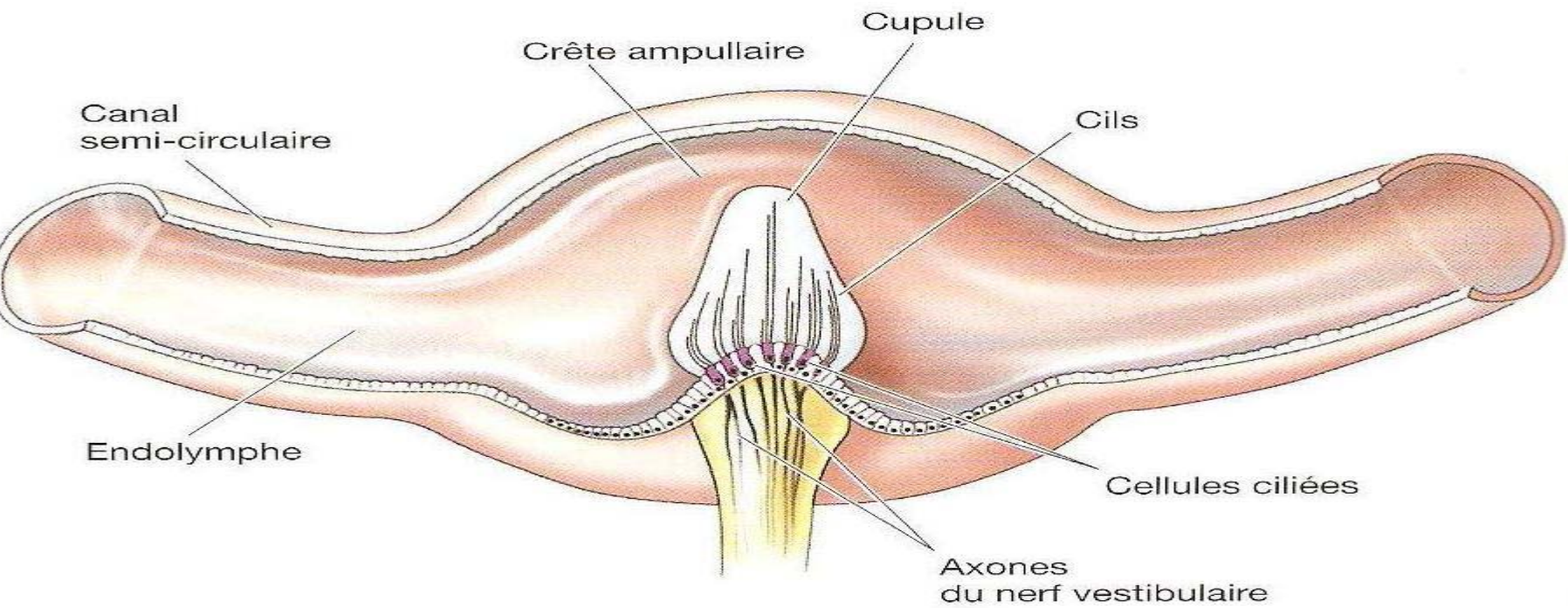
immobile



accélération

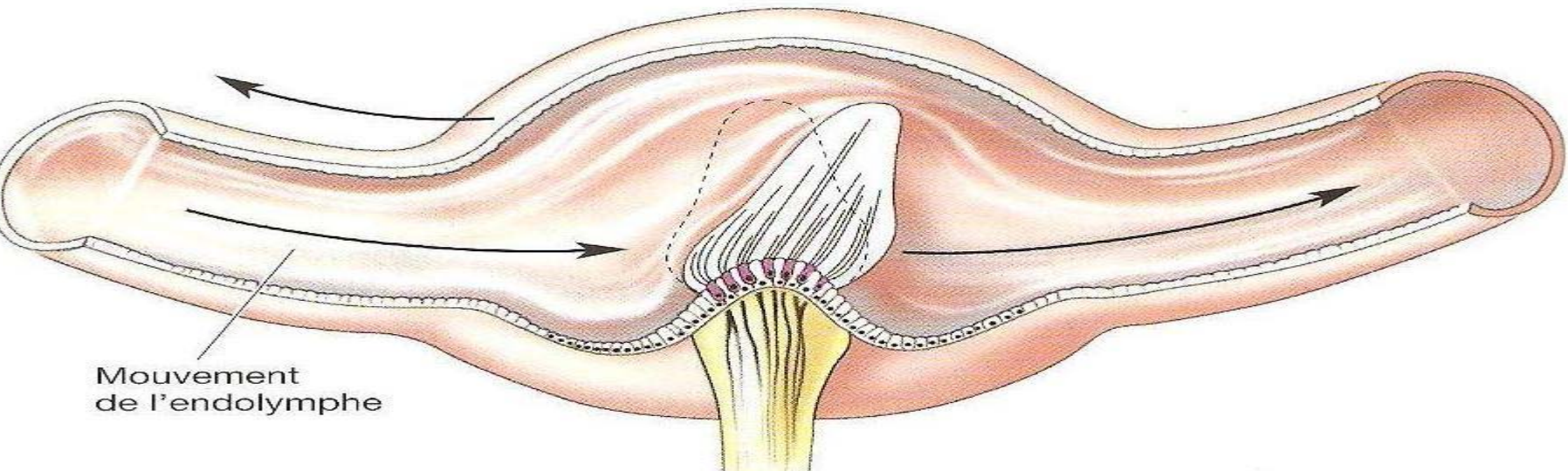


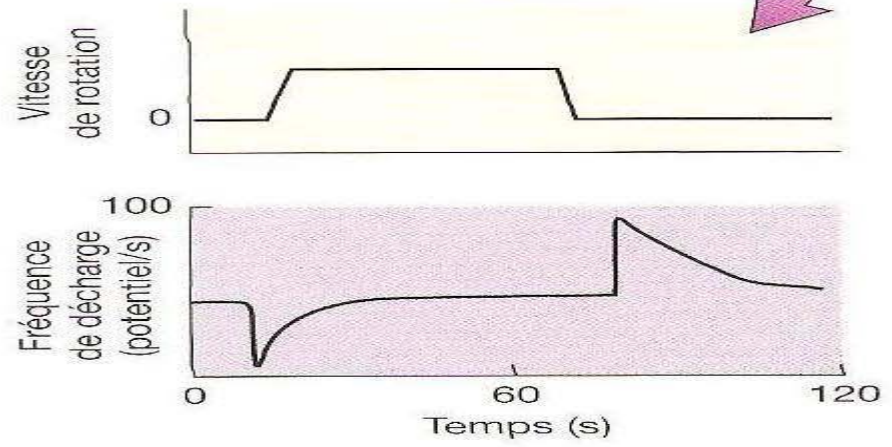
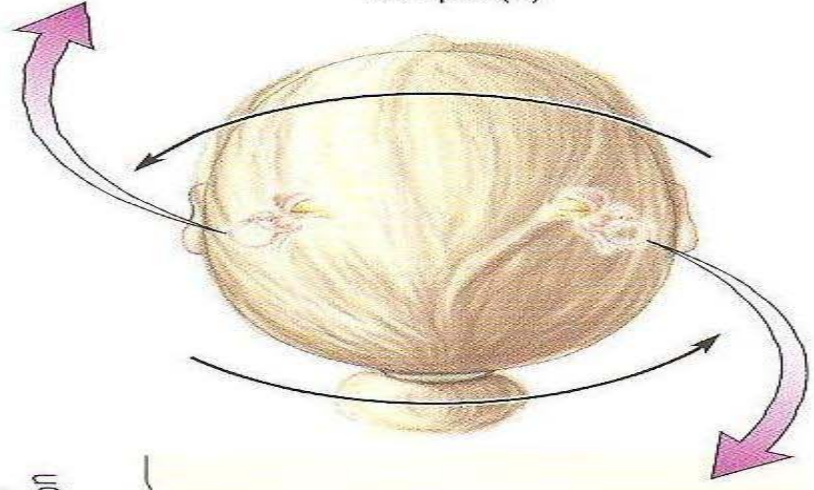
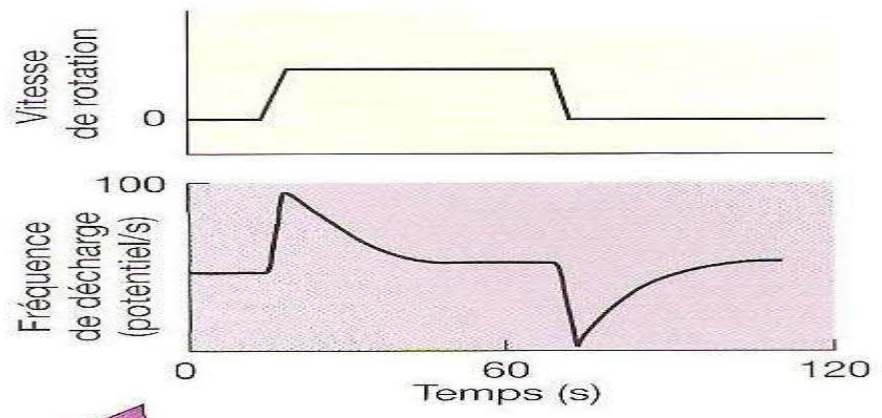




(a)

Repos





- Activation des canaux semi-circulaires.

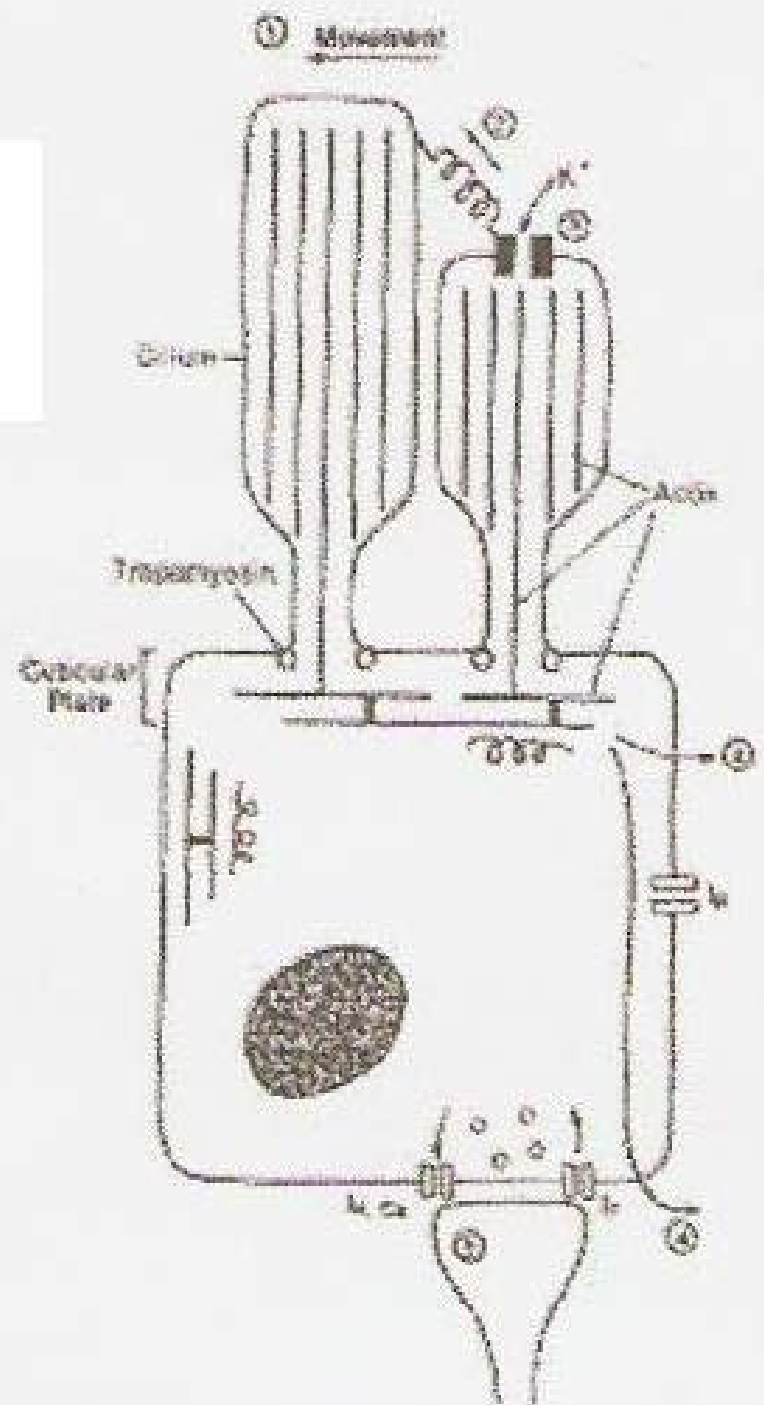
- Lorsque les cils sont au repos, les cellules ciliées libèrent le neurotransmetteur glutamate qui génère la transmission d'un PA dans les fibres nerveuses.

- La rotation de la tête entraîne un mouvement automatique des canaux semi-circulaire .Le mouvement de la cupule qui en résulte modifie la conductance des cations au niveau des cils.

- Lorsque la courbure des stéréocils dans la direction du kinocil augmente, la conductance des ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$  se modifie et un courant ionique entrant s'instaure. La cellule se dépolarise, les canaux  $\text{Ca}^{++}$  s'ouvrent, la libération du glutamate et la fréquence de PA augmente.

Le phénomène inverse se produit lorsque les cils se courbent dans le sens contraire.

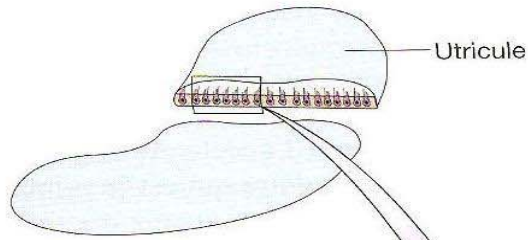
le phénomène de transduction dans les cellules ciliées vestibulaires est analogue à celui des cellules ciliées auditives





## I-3-2 stimulation des organes maculaires.

- Le saccule et l'utricule sont sensibles aux accélérations linéaires.
- Lorsque l'inclinaison de la tête change, une force est exercée sur les otolithes qui vont se déplacer à la surface des cellules ciliées en entraînant leur mouvement. Le déplacement des cils vers le kinocil va générer une dépolarisation du récepteur. A l'inverse, le mouvement des cils dans la direction opposée à celle du kinocil se traduit par une hyperpolarisation qui inhibe le récepteur.
- Il y a suffisamment de cellules ciliées dans chaque macula pour couvrir la plupart des directions.



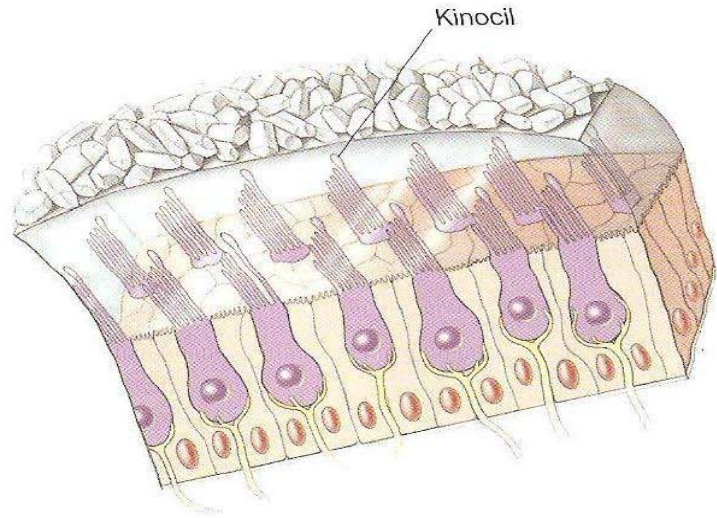
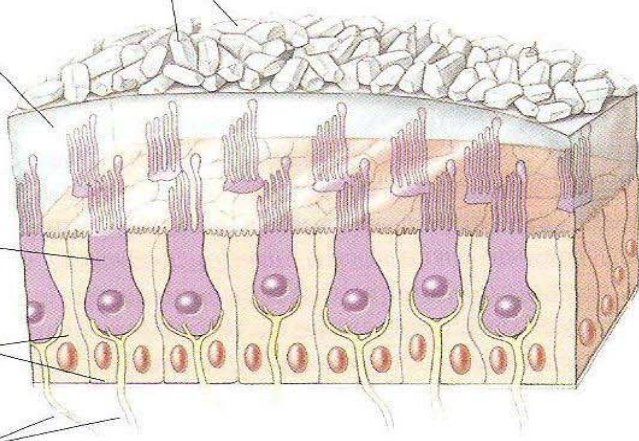
Otolithes

Cape gélatineuse

Cellules ciliées

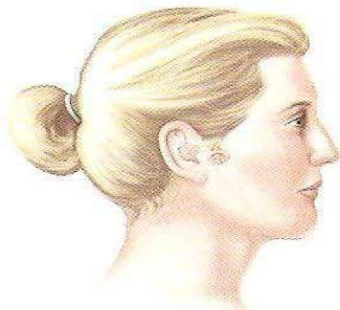
Cellules de soutien

Axones du nerf vestibulaire



- Réponses des cellules ciliées de la macula au basculement de la tête en arrière et en avant.

Quand la tête est droite, en position normale, les cellules ciliées de l'utricule sont également en position droite. Le fait de basculer la tête en arrière a pour conséquence de provoquer un mouvement des otolithes, du fait de la force de gravité, ce qui déforme la cape gélatineuse qui enrobe les cils, et provoque, par conséquent, un déplacement de ces cils.



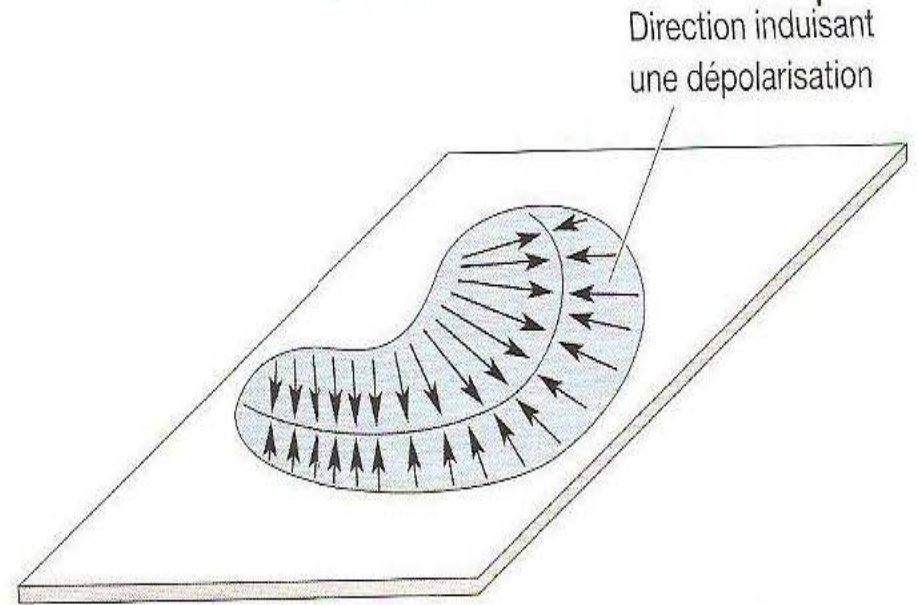
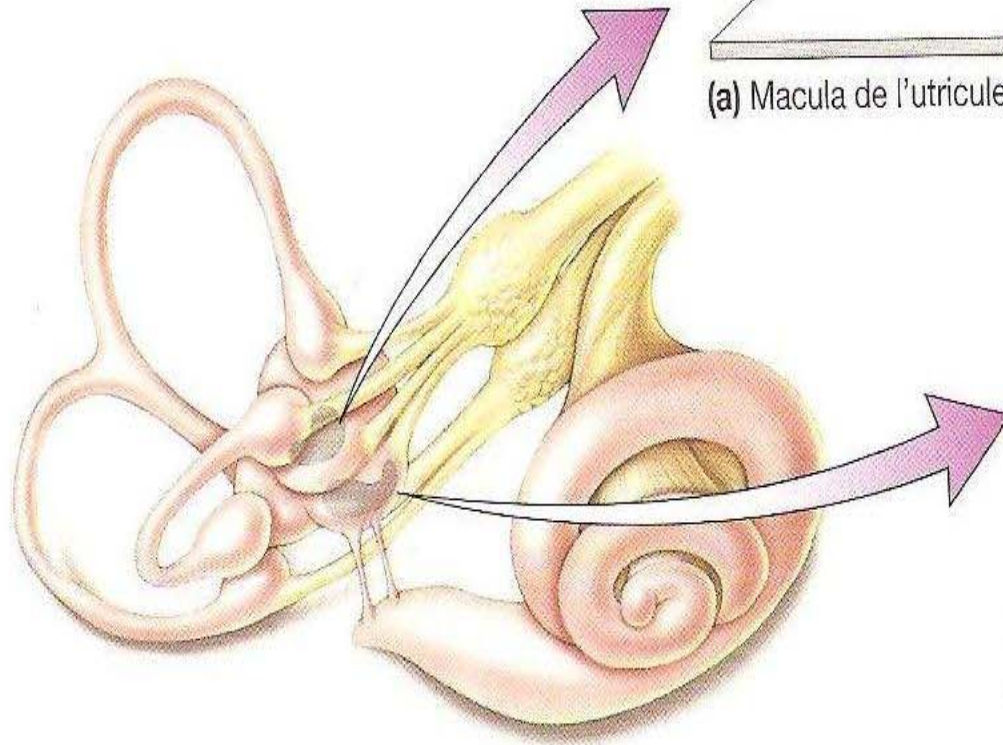
Tête droite



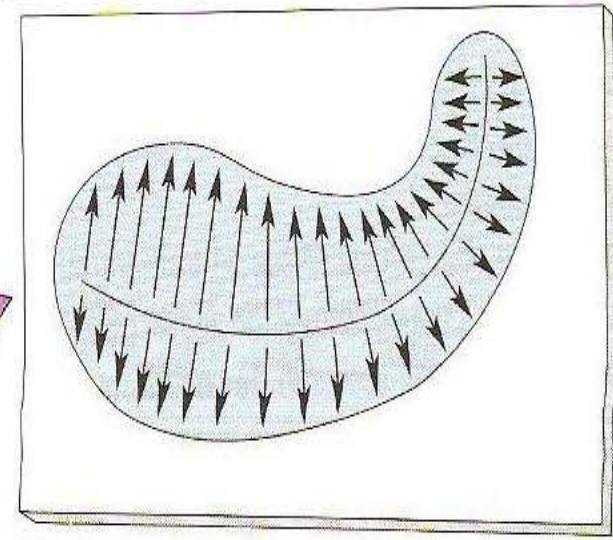
Tête basculée en arrière

- Orientation de la macula.

(a) Au niveau de l'utricule, la macula est horizontale. (b) Au niveau du saccule, en revanche, la macula est verticale. Les flèches issues de chaque macula montrent comment les cellules ciliées sont polarisées. Lorsque les cils se déplacent dans la direction des flèches fines, les cellules ciliées sont dépolarisées.



(a) Macula de l'utricule



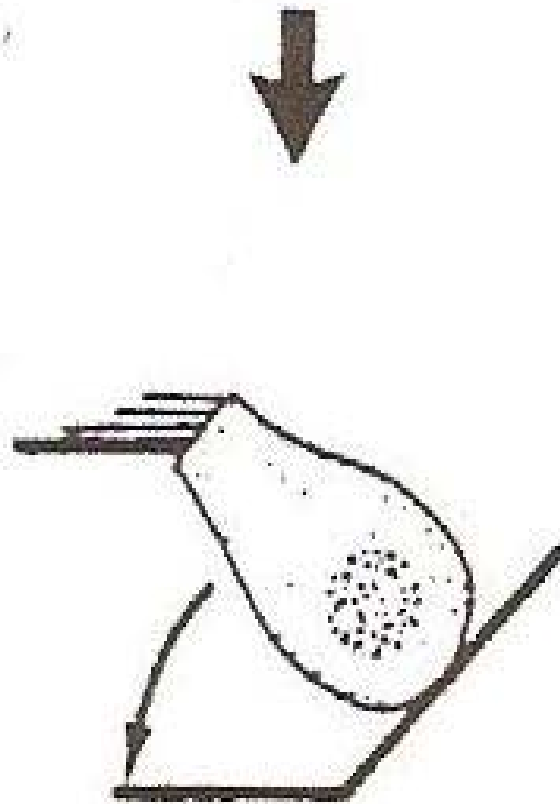
(b) Macula du saccule



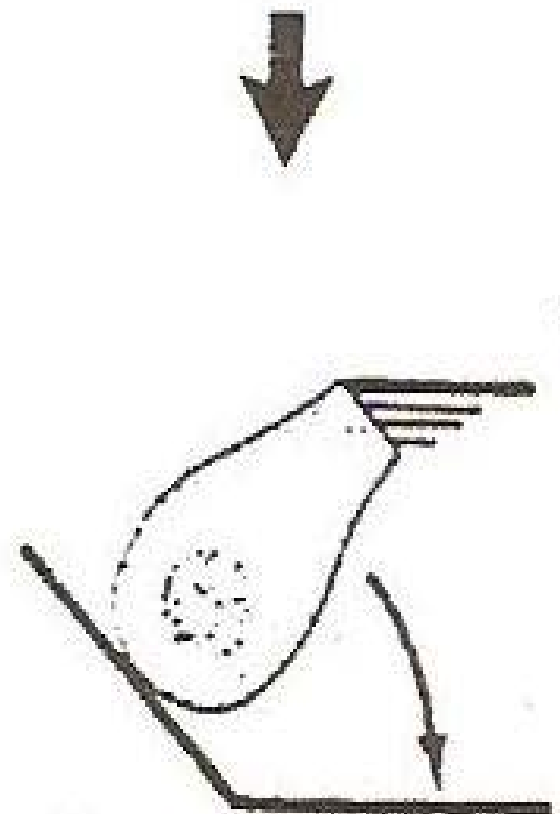
## Gravitational force exerted by otoliths



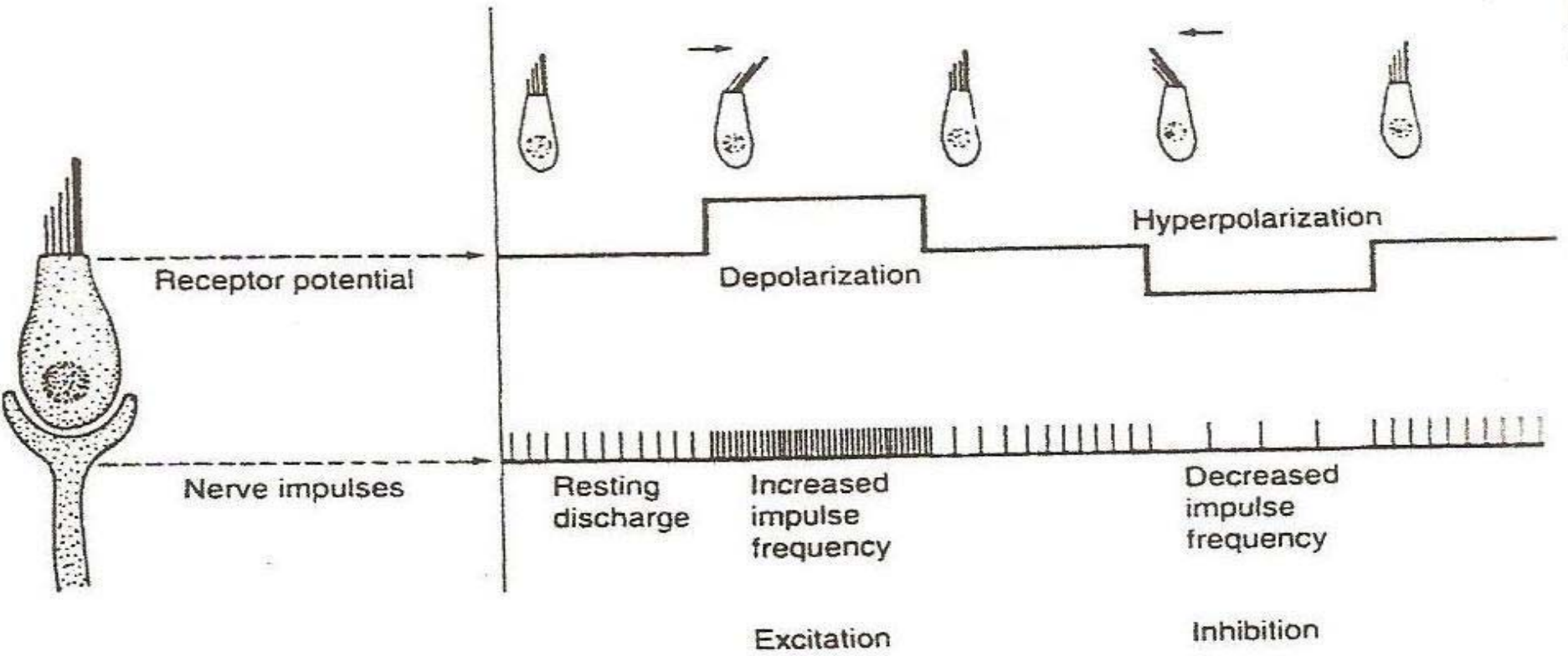
Head erect  
resting membrane  
potential



Tilt toward  
the axis of polarity:  
depolarization



Tilt away from  
the axis of polarity:  
hyperpolarization



- I- 3-3- Au total

- Les récepteurs semi- circulaires sont sensibles aux accélérations angulaires. Ils sont au service de l'équilibre cinétique et sont le siège de réflexes de type phasiques.

- Les récepteurs sacculaires et utriculaires sont sensibles aux accélérations linéaires. Ils sont au service de l'équilibre statique et sont le siège de réflexes de type toniques



# II- LES VOIES LABYRINTHIQUES.

## II-1- fibres du nerf vestibulaire.

- Les fibres vestibulaires constituent la VIIIe paire de nerf crânien .

- les corps cellulaires sont situés dans le ganglion de Scarpa.

## II- 2- fibres centrales

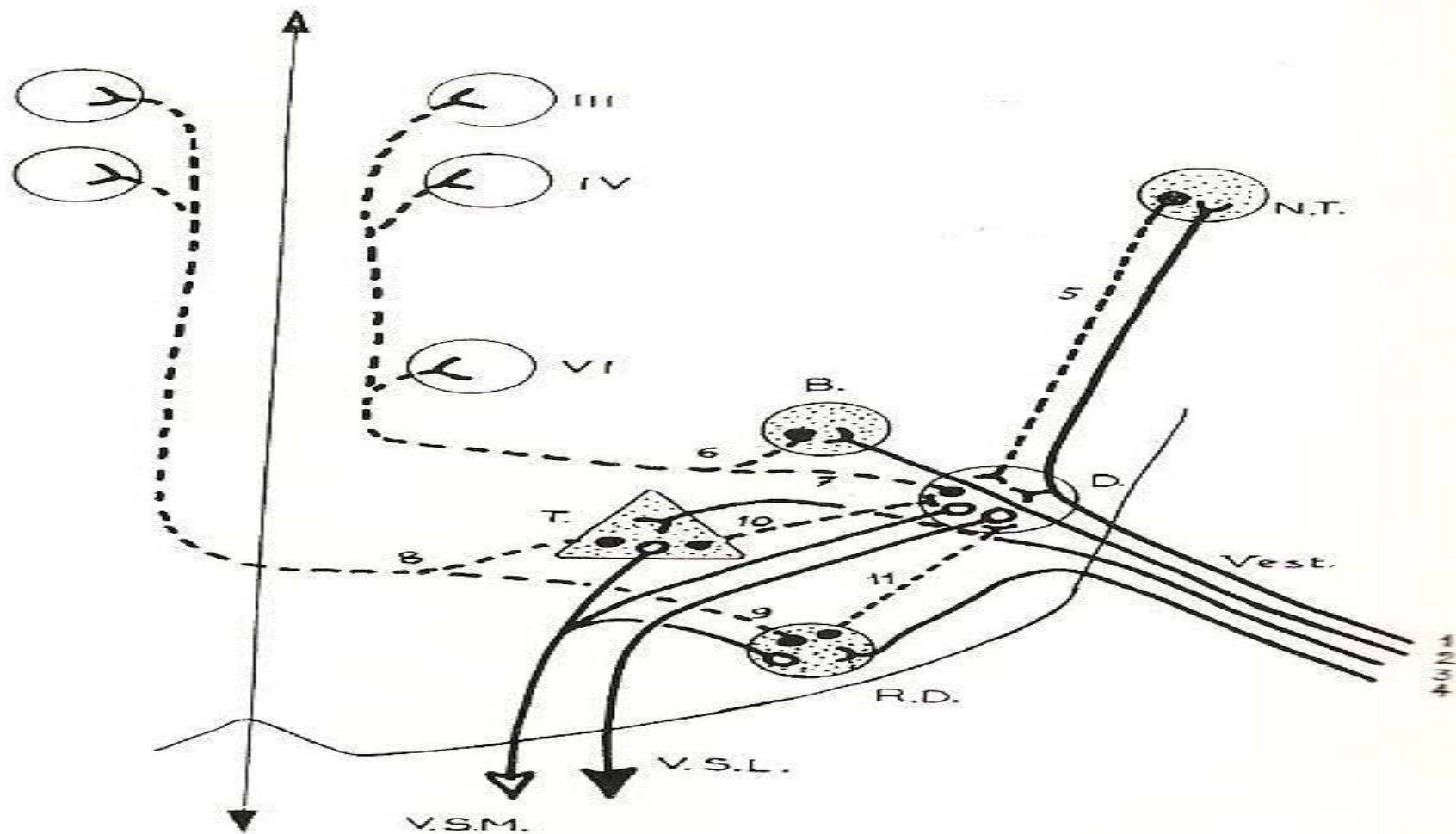
Les fibres vestibulaires se terminent au niveau de 4 noyaux vestibulaires primaires.

- le noyau de Deiters ou vestibulaire latéral.

- le noyau de Bechterew ou vestibulaire supérieur

- le noyau triangulaire ou vestibulaire médian

- le noyau de la racine descendante ou vestibulaire spinal.



— Schéma des voies vestibulaires; les voies vestibulaires centrales sont indiquées en traits interrompus.

Vest. : nerf vestibulaire; D. : noyau de Deiters; B. : noyau de Bechterew; Tr. : noyau triangulaire; R.D. : noyau de la racine descendante; N.T. : noyau du toit; III, IV, VI : noyaux oculo-moteurs; V.S.L. : faisceaux vestibulo-spinal latéral; V.S.M. : faisceau vestibulo-spinal médian.

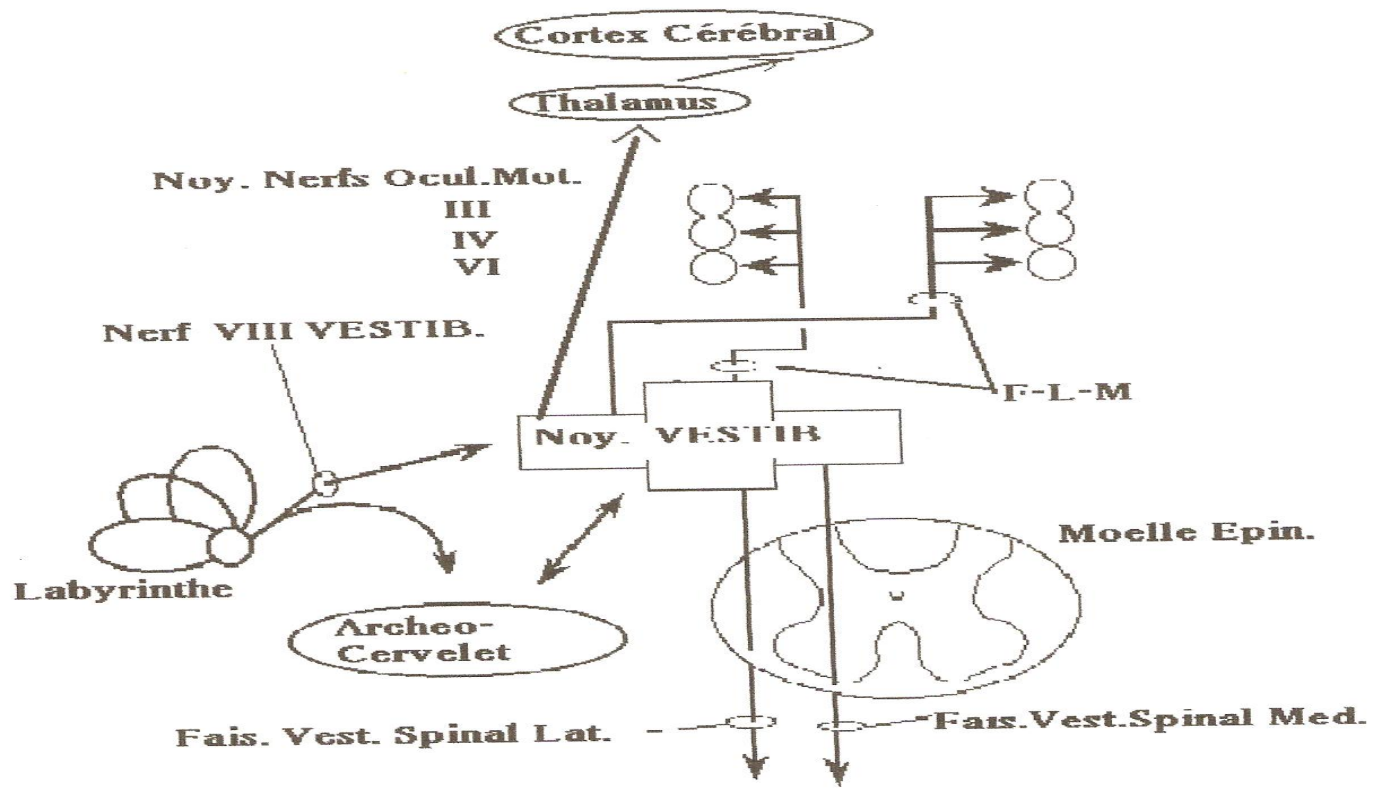
- A partir des noyaux vestibulaires,

- les fibres gagnent les noyaux oculomoteurs par le faisceau longitudinal médian
- Des fibres se rendent également dans le cervelet à partir du noyau de Deiters puis gagne le noyau Ventral Latéral ( VL) du thalamus et enfin le cortex au niveau de l'aire somato-sensorielle vestibulaire.
- Les faisceaux descendants sont représentés par les faisceaux vestibulo-spinaux:
  - le faisceau vestibulo-spinal latéral
  - le faisceau vestibulo-spinal médian
  - le faisceau vestibulo-réticulo-spinal.



## III-3- Voies vestibulaires centrales et réflexes vestibulaires

- Les noyaux vestibulaires reçoivent des informations du cervelet, des systèmes sensoriels somatique et visuel
- Les axones issus des organes otolithiques projettent sur le noyau vestibulaire latéral, qui à son tour projette par le faisceau vestibulaire spinal sur les muscles des membres inférieurs. Ce circuit permet le maintien de la posture des différents parties du corps au cours d'un mouvement.



**INFLUENCES CENTRALES DES MESSAGES VESTIBULAIRES**

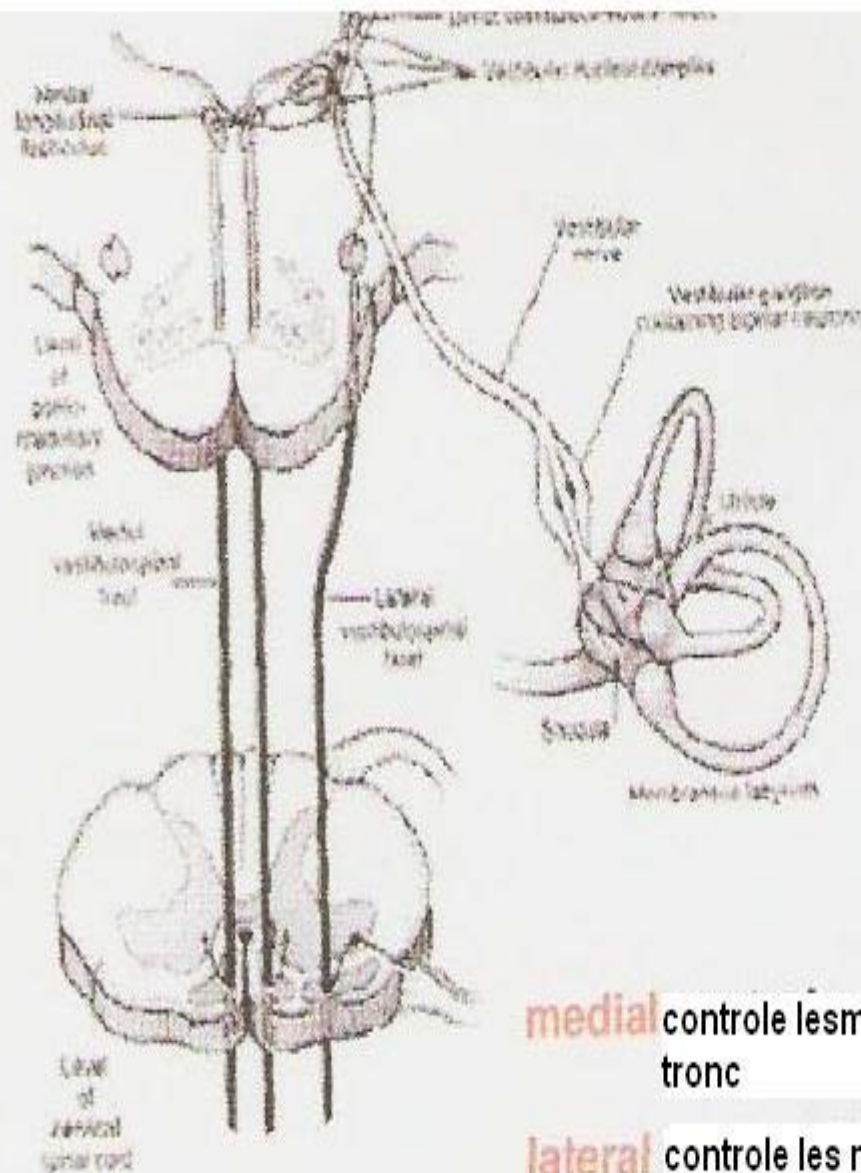
- Les axones issus des canaux semi-circulaires projettent sur le noyau vestibulaire médian qui agit par un faisceau descendant sur les motoneurones des muscles du tronc et du cou impliqués dans l'orientation de la tête.

Ce système permet de maintenir la tête droite en toutes circonstances.

- Les projections vers le Thalamus( noyau VL) et vers le néocortex permettent l'intégration des informations liées aux mouvements du corps et des yeux ainsi que des scènes visuelles.

- Enfin le cortex maintient la représentation du corps et son orientation dans l'espace.

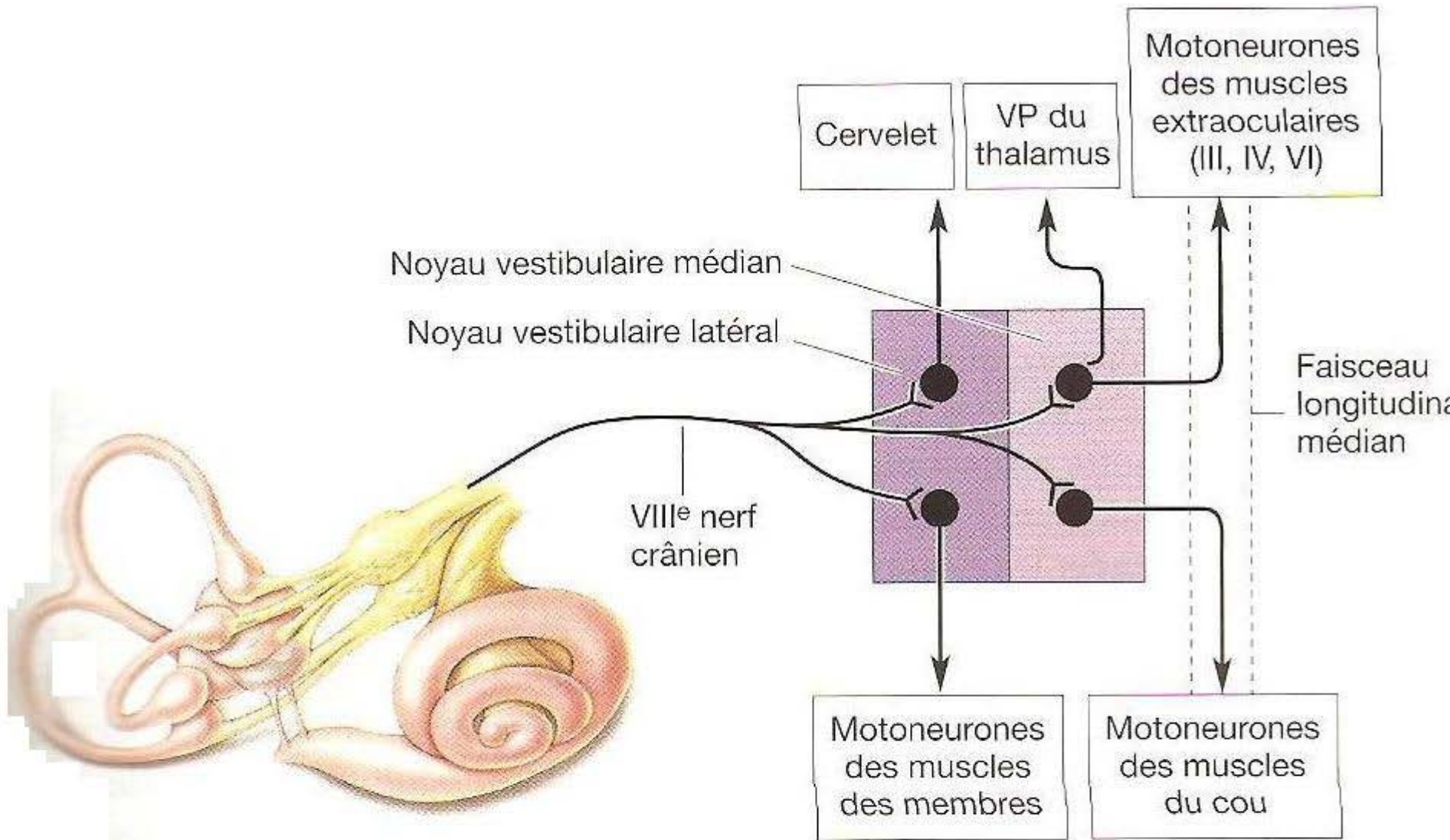
# Représentation des tractus vestibulo-spinal médial et latéral



**medial** controle les muscles de la nuque et du tronc

**lateral** controle les muscles des membres





- Représentation des connexions vestibulaires centrales à partir d'un appareil laby-

ntique.

# IV- Réflexes et stabilité lors d'un mouvement.

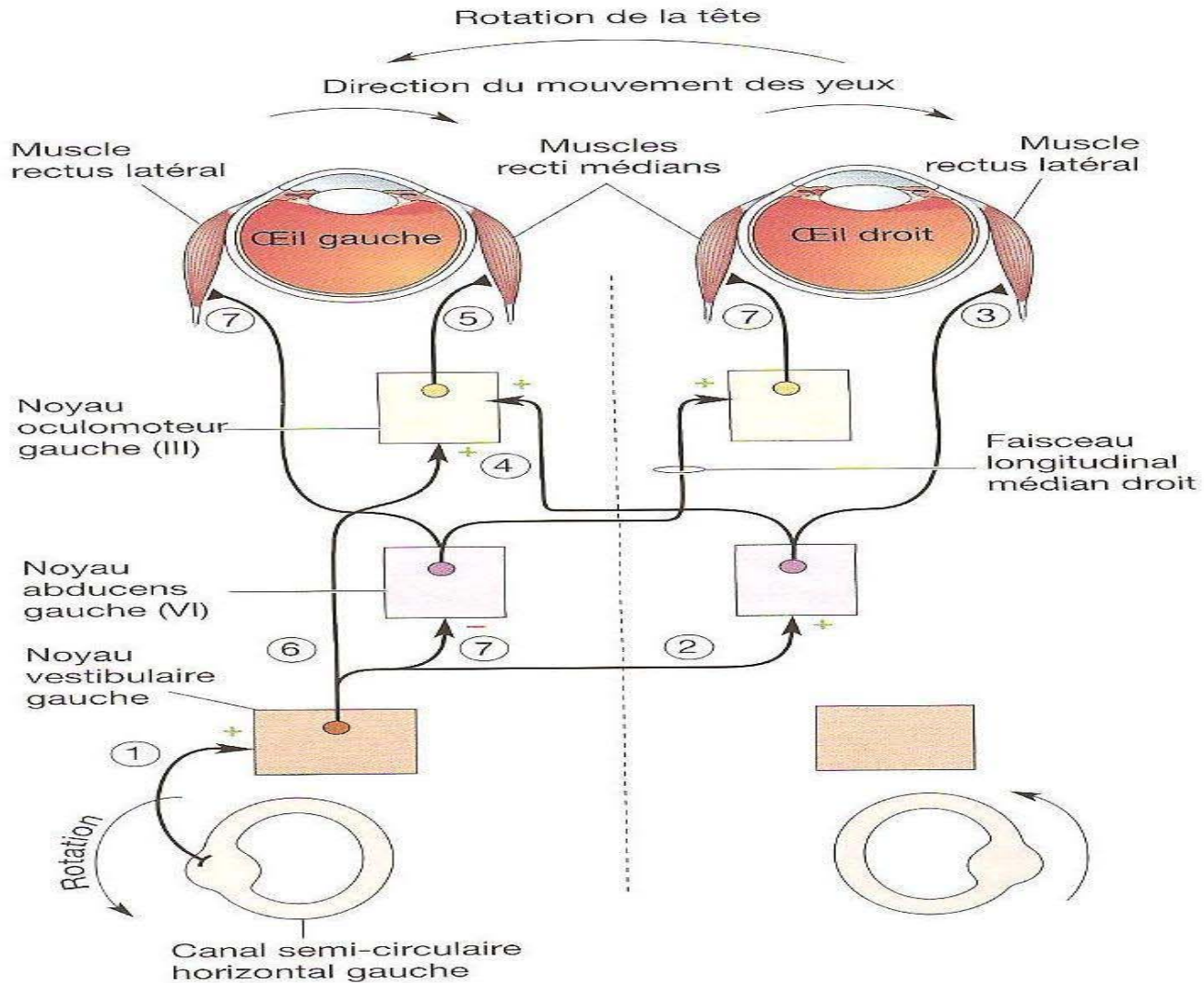
2 types de réflexes interviennent dans la stabilité les yeux lors d'un mouvement.

- le réflexe vestibulo-oculaire (RVO)
- le réflexe optokinétique (ROK)

Ces 2 types de réflexes sont complémentaires mais dépendent de stimulations différentes. Les premiers dépendent de stimulations vestibulaires, les secondes de stimulations visuelles.

## IV-1- Le réflexe vestibulo- oculaire .

- Chaque œil est commandé par 1 groupe de 6 muscles extra oculaires.
- Le RVO détecte les rotations de la tête et déclenche immédiatement un mouvement compensatoire dans la direction opposée qui sert à maintenir le regard dans la direction de la cible qui est fixée.
  - Le signal provient du système vestibulaire au niveau des canaux semi- circulaires.
  - Les informations sont envoyées vers les noyaux oculo- moteurs qui commandent les muscles extra oculaires pour corriger la position des yeux.



**Connexions vestibulaires contrôlant les mouvements horizontaux des yeux lors du réflexe vestibulo-oculaire (RVO).**  
 Ces voies neuronales sont activées lorsque la tête tourne brusquement vers la gauche, entraînant un mouvement des yeux vers la droite. Les connexions excitatrices sont en vert ; les inhibitrices, en rouge.



- mvt de la tête à gauche, le RVO induit un mouvement des yeux vers la droite:

*- Les axones du canal horizontal gauche innervent le noyau vestibulaire gauche, qui innerve à son tour le noyau crânien du VI (noyau abducens) controlatéral qui est stimulé.*

*- Les axones des neurones moteurs du noyau abducens commandent le muscle rectus lateralis (latéral droit) de l'œil droit.*

*- Une autre projection excitatrice à partir du noyau abducens croise la ligne médiane vers le côté gauche et emprunte le faisceau longitudinal médian pour commander les motoneurones du noyau crânien du nerf III (noyau oculomoteur) qui active le muscle rectus médian (médian droit) de l'œil gauche.*

Ainsi les 2 yeux tournent bien à droite.

## IV-2- le réflexe optokinetic.(ROK)

- Le système optokinétique prend le relais du ROV qui s'adapte rapidement .
  
- Les yeux appréhendent les objets comme des corps en mouvements: lorsque l'objet quitte le champ de vision, l'œil initie une saccade afin de le replacer dans le champ visuel

# V- DYSFONCTIONNEMENT OU ATTEINTE DES AFFERENCES VESTIBULAIRES.

Les causes d' atteinte du systèmes vestibulaires sont multiples ex: la toxicité de fortes doses d'antibiotiques comme la streptomycine.

Les patients atteints de lésions du système vestibulaire peuvent présenter de signes tels que:

- difficultés à maintenir leur regard pendant les mouvements , ceci engendre un trouble: le nystagmus
- les patients ne sont plus à même de maintenir l' image sur la rétine, ils ont la sensation que le monde se déplace autour d'eux : c'est le vertige.

## V-1- Le nystagmus

- Ce sont des des mouvements involontaires et rythmiques des yeux . Consistent en un mouvement rapide dans une direction ( saccade) suivi d' un mouvement lent dans la direction opposée.
- Dus à un déséquilibre des pulsions vestibulaires.

## V-2- Le vertige

- Résultat d' un conflit entre les afférences visuelles et vestibulaires.



## V- 3- Causes périphériques de vertige et nystagmus

- anomalies de position: des débris d'otoconies de l'utricule peuvent passer dans le canal semi-circulaire postérieur causant des interférences avec le fonctionnement de la cupule à l'origine d'une sensation de vertige. Ceci peut être traité par la manœuvre d'Epley, manœuvre de rotation rapide de la tête afin d'évacuer les débris.
- infections virales aiguës du labyrinthe.
- Alcool: il est plus léger que le sang, donc les cellules ciliées flottent dans l'endolymphe entraînant une perturbation du signal.

## V- 4- Causes centrales.

- Lésions des noyaux vestibulaires et du tronc cérébral

- lésions du cervelet.

-Un nystagmus par cause périphérique est aggravé par la fermeture des yeux.

# CONCLUSION.

- Une propriété remarquable du système vestibulo-oculaire est la plasticité de ses connexions synaptiques.
  
- En cas de lésions de certaines afférences, le sujet compense en utilisant les afférences intactes .