

# CHAPITRE 7

## LA PROPRIOCEPTION

RIGAL ROBERT

Comment avons-nous  
conscience de notre  
corps en l'absence de  
vision?

# par la proprioception

- **définition**
  - perception totale de notre corps;
  - perception de la position et du mouvement des différentes parties du corps dans l'espace;
  - perception de la force.
- **sensations kinesthésiques et vestibulaires;**
- **les informations proprioceptives sont nécessaires:**
  - pour maintenir l'équilibre;
  - pour contrôler et guider les mouvements volontaires;
  - pour évaluer la forme d'un objet dans la main.

## Sous-modalités de la proprioception

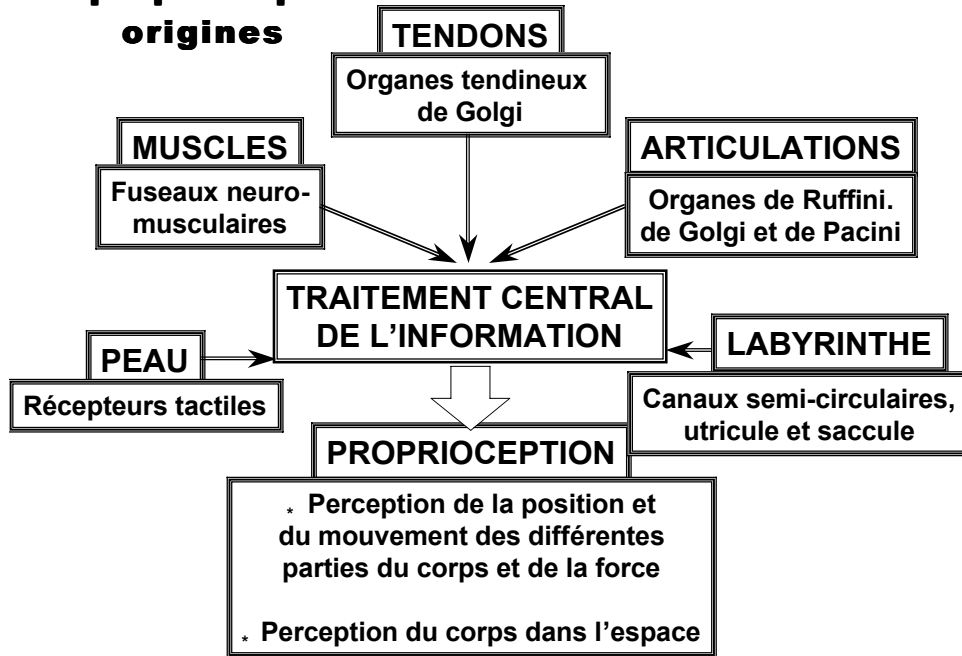
### *La* **statesthésie**

- **Sensation de la position des membres ou des segments les uns par rapport aux autres**
- **Information statique**

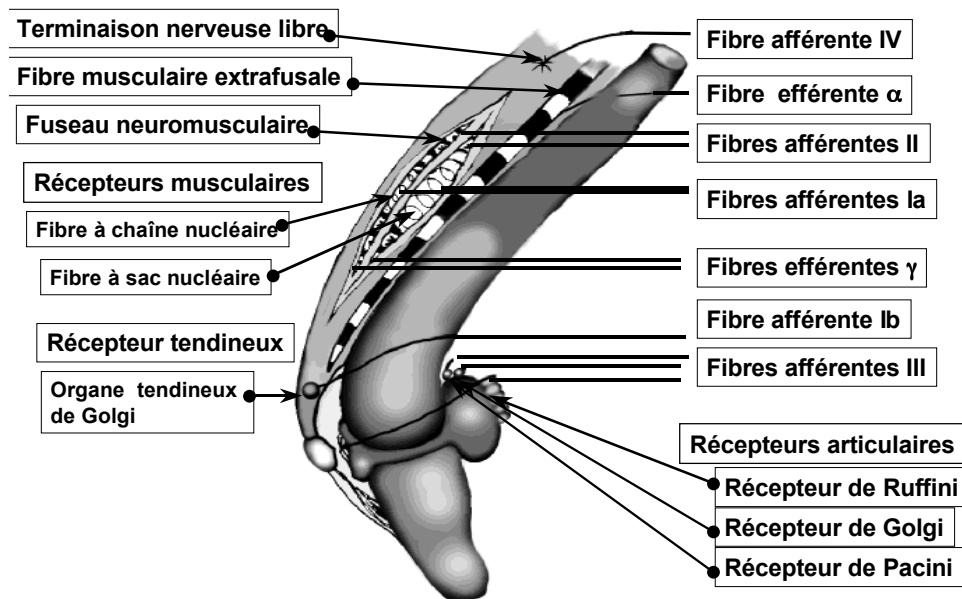
### *La* **kinesthésie**

- **Sensation de mouvement permettant de localiser les différentes parties de notre corps et d'évaluer leur déplacement (vitesse et direction)**
- **Information dynamique**

**La proprioception:  
origines**



**Figure 7.1: Les récepteurs kinesthésiques musculaires, articulaires et tendineux**

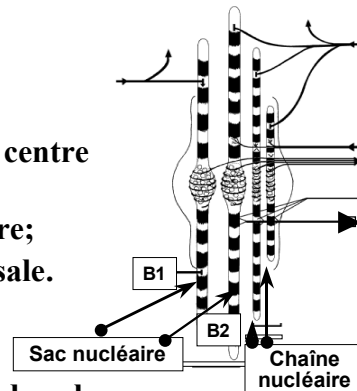


# Le fuseau neuromusculaire

- Composé d'une partie musculaire, les fibres musculaires intrafusales et
- d'une partie nerveuse sensitive réceptrice, les récepteurs primaires et secondaires.

## Les fibres musculaires intrafusales

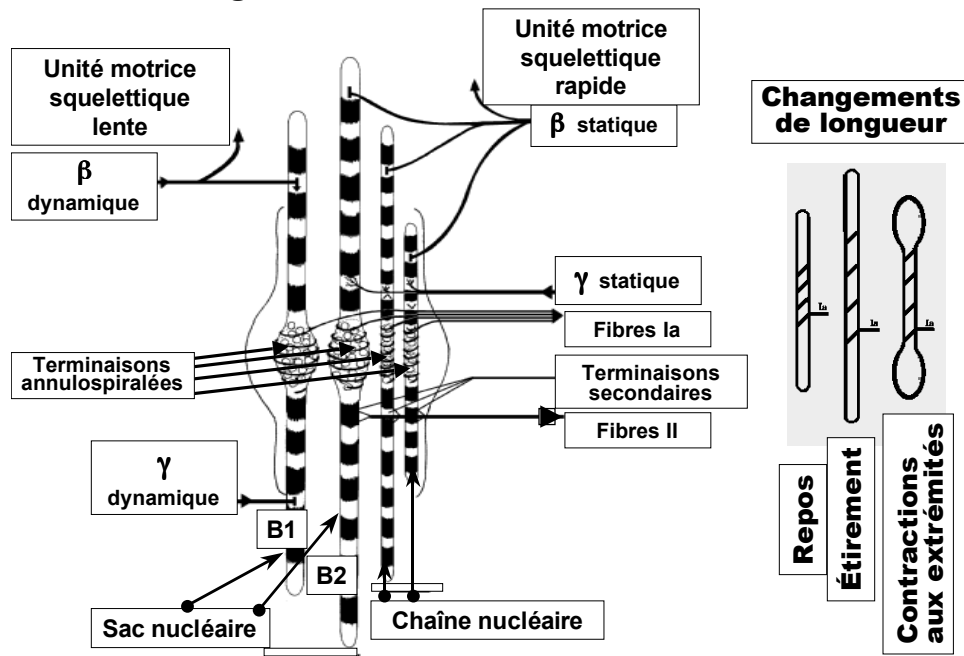
- 2 types de fibres intrafusales:
- fibres à sac nucléaire (FSN)
  - noyaux regroupés dans un sac au centre de la région réceptrice;
  - 1 à 3 FSNs/fuseau neuromusculaire;
  - diamètre = 1/2 de la fibre extrafusale.
- fibres à chaîne nucléaire (FCN)
  - noyaux disposés en chaîne (ligne) dans la région réceptrice;
  - 3 à 9 FCNs/fuseau neuromusculaire;
  - diamètre et longueur = 1/2 FSN.



# Le fuseau neuromusculaire

- Organisé en parallèle avec les fibres musculaires extrafusales ou fibres musculaires squelettiques.
- Contient des fibres musculaires spécialisées, les fibres musculaires intrafusales:
- 2-12 fibres intrafusales/fuseau neuromusculaire;
- entourées par une branche terminale des fibres afférentes.
- Le fuseau inclut 2 parties:
  - une partie centrale non-contractile dans une capsule remplie de liquide
  - 2 régions polaires (extrémités) contractiles.

Figure 7.2: Le fuseau neuromusculaire

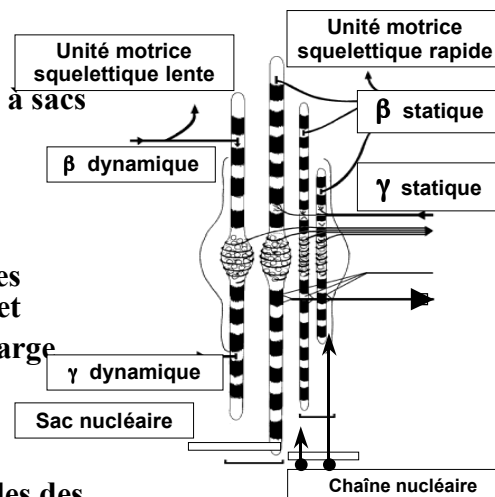


# Innervation motrice du fuseau neuromusculaire

- Chaque fuseau a sa propre innervation motrice: des motoneurones font contracter les fibres intrafusales.

- Ce sont les motoneurones gamma ( $\gamma$ ), (2 à 12 motoneurones gamma pour chaque fuseau):

- dynamiques qui innervent surtout les fibres à sacs nucléaires et influencent la décharge des afférences de type Ia;
- statiques qui innervent principalement les fibres à chaînes nucléaires et influencent surtout la décharge des afférences de type II



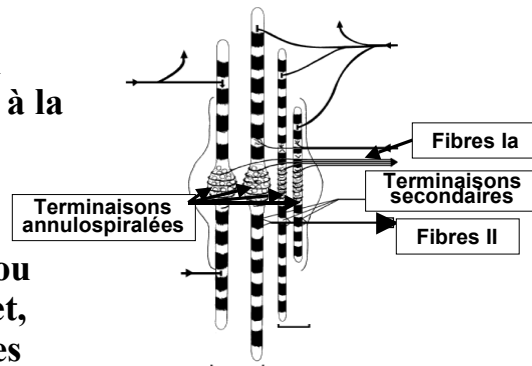
- et les motoneurones bêta ( $\beta$ ) (innervations semblables à celles des motoneurones gamma)

# Rôle de l'innervation motrice du fuseau neuromusculaire

- maintenir la sensibilité des fuseaux neuromusculaires lors de la contraction (raccourcissement) du muscle;
- les motoneurones gamma et les motoneurones alpha sont activés simultanément pendant les mouvements;
- c'est la co-activation alpha-gamma (p. 315);
- renforcer la contraction musculaire volontaire en servo-assistance:
  - par activation du fuseau neuromusculaire et de la boucle réflexe, l'excitation des motoneurones alpha est augmentée (charges inattendues).

# L'innervation sensitive du fuseau neuromusculaire

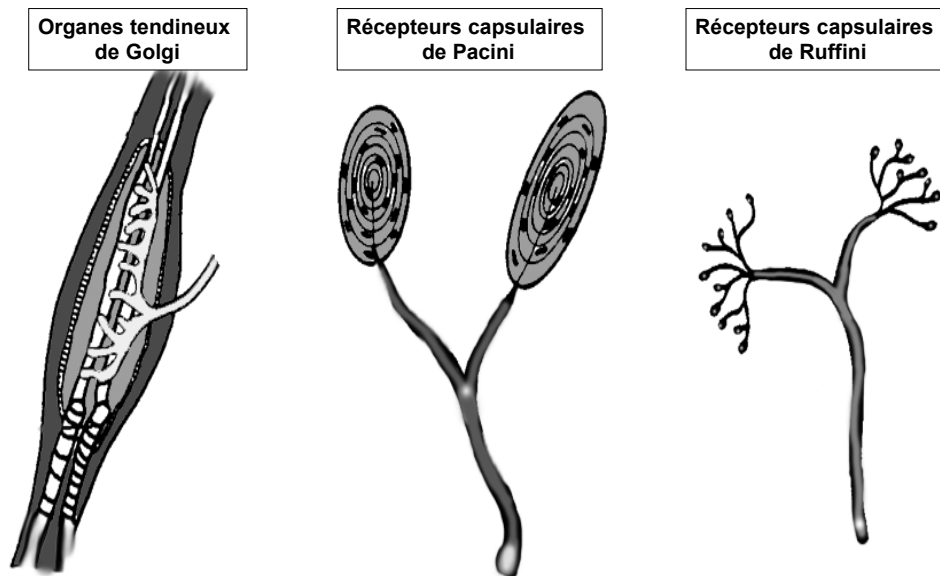
- elle est constituée par deux catégories de cellules réceptrices:
- - les fibres primaires ou annulo-spiralées reliées à la moelle par les fibres Ia
- - les fibres secondaires ou terminaisons en bouquet, reliées à la moelle par les fibres II.



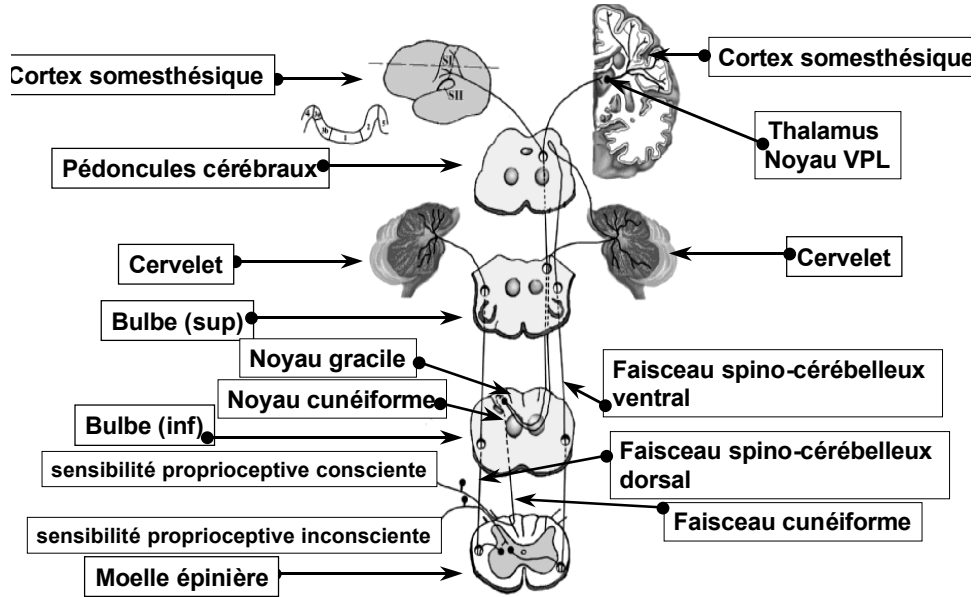
# Les récepteurs tendineux et articulaires

- Les organes tendineux de Golgi:
- récepteurs encapsulés, localisés dans les tendons musculaires, en série avec les fibres musculaires;
- reliés à la moelle par les fibres Ib;
- Les récepteurs articulaires:
- localisés dans les tissus périarticulaires:
  - capsule articulaire: récepteurs de Ruffini;
  - ligament articulaire: récepteurs de Golgi;
  - périoste près des insertions ligamentaires: récepteurs de Pacini.
- reliés à la moelle par les fibres III

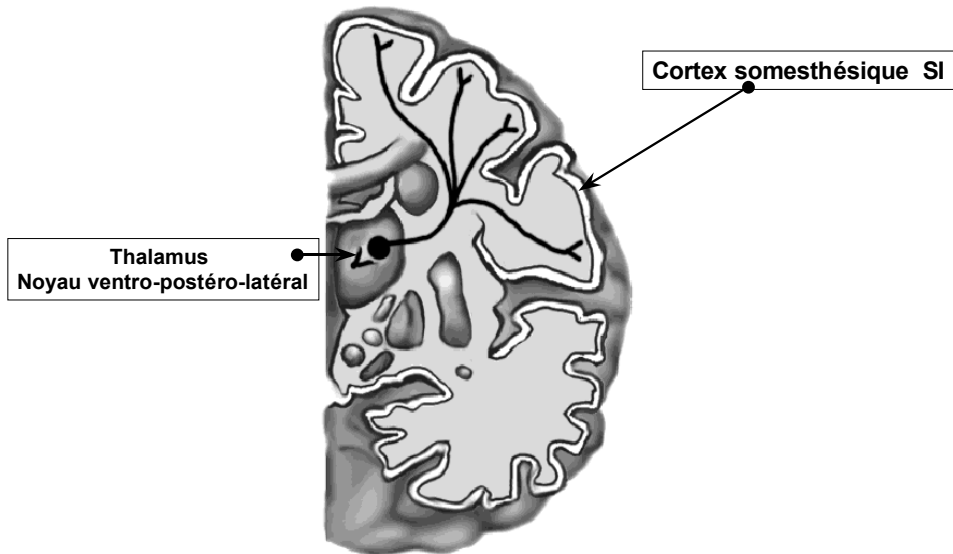
Figure 7.3: Les récepteurs tendineux et articulaires



**Figure 7.4a: Les voies proprioceptives**



**Figure 7.4b: Les voies proprioceptives**



## **Quelles informations nous transmettent ces différents récepteurs?**

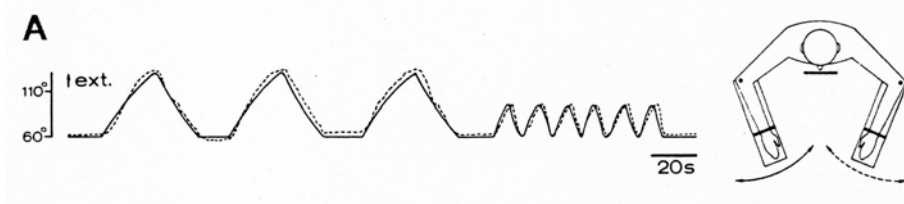
### **Les afférences fusoriales primaires**

- **Les afférences de type IA**
- **les récepteurs primaires réagissent à l'étirement passif des fibres musculaires intrafusales par une forte bouffée initiale;**
- **signalent les changements de longueur du muscle, donc les mouvements; récepteurs dynamiques;**
- **leur fréquence de décharge varie avec la vitesse du changement de longueur du muscle;**
- **lors du raccourcissement lent du muscle qui les supporte, activité importante associée à la coactivation alpha-gamma ( $\alpha$ - $\gamma$ );**
- **données très utiles pour le contrôle du mouvement.**

# Les afférences fusoriales secondaires (II)

- Les afférences de type II
- les récepteurs secondaires signalent la longueur atteinte par les fibres musculaires intrafusales, récepteurs « statiques », et déchargent aussi pendant l'étirement du muscle en fonction de sa vitesse;
- informent le système nerveux de la longueur atteinte par le muscle participant à la perception de la position des membres.

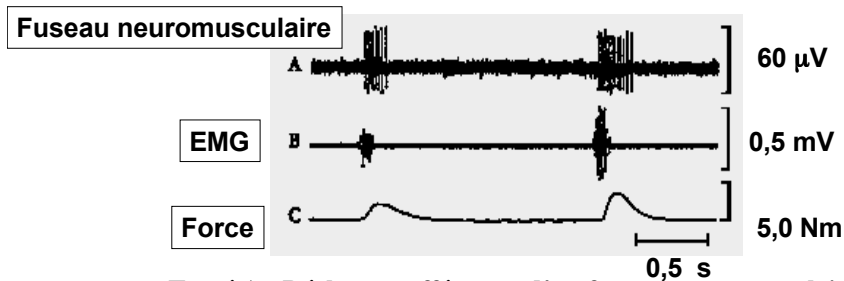
Fig. 7.11A: **Conscience des mouvements articulaires** (p. 318)  
Roll (1981)



### Reproduction de mouvements passifs

Le sujet, les yeux fermés, reproduit très précisément avec le bras gauche (trait plein) les mouvements passifs imposés à son bras droit (traits pointillés).

**Figure 7.5: Réponse d'un fuseau neuromusculaire à deux saccades isométriques successives**



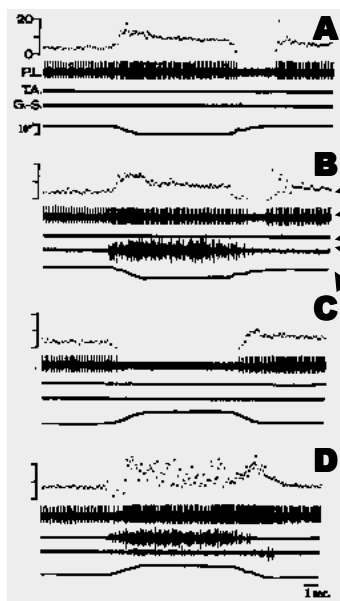
Tracé A : Décharges afférentes d'un fuseau neuromusculaire

Tracé B : Activité électromyographique du muscle

Tracé C : Force développée par la contraction musculaire

L'activité électromyographique (B) précède celle du fuseau neuromusculaire (A).

**Figure 7.6 Le fuseau neuromusculaire (réponse d'un récepteur primaire au cours de mouvements passifs et actifs)**



Le fuseau enregistré est localisé dans le muscle jambier antérieur (fléchisseur dorsal de la cheville).

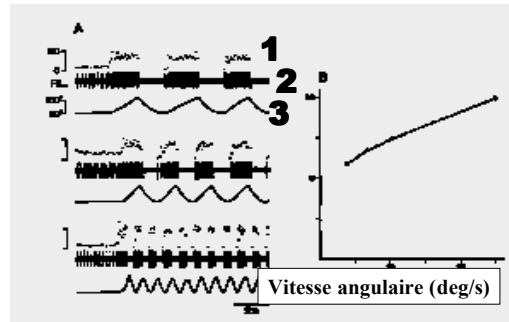
Pour différents tracés d'un même enregistrement, de haut en bas :

- courbe de fréquence instantanée ;
- activité nerveuse afférente unitaire ;
- EMG de surface des muscles jambier antérieur (J.A.) et gastrocnémien-soléaire (G.S.) ;
- position angulaire de la cheville (position de départ 90° ; une déflexion vers le bas signale une flexion plantaire)

A-B : Réponse d'un récepteur primaire au cours de mouvements passifs (A) et actifs (B) de flexion plantaire suivie de flexion dorsale

C-D : Réponse du même récepteur primaire au cours de mouvements passifs (C) et actifs (D) de flexion dorsale suivie de flexion plantaire

# Réponses des récepteurs fusoriaux primaires (fig. 7.9A)



Activité de la terminaison primaire au cours de trois séquences de mouvements passifs alternatifs imposés à des vitesses différentes.

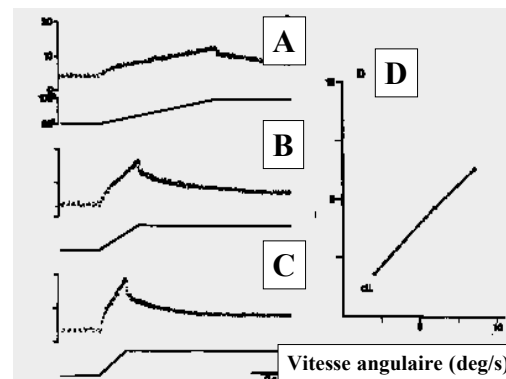
Pour chaque séquence de haut en bas:  
 - courbe de fréquence instantanée ; **1**  
 - activité nerveuse unitaire afférente ; **2**  
 - position angulaire. **3**

Analyse de la sensibilité dynamique de la terminaison primaire par sa courbe de fréquence moyenne

En ordonnées :  
 Fréquence moyenne de décharge de la terminaison pendant la phase de flexion plantaire calculée sur dix mouvements successifs

En abscisses :  
 Vitesse angulaire moyenne de la cheville (degrés / secondes) calculée sur les dix flexions plantaires successives utilisées pour établir la fréquence moyenne de décharge de la terminaison

# Activité des récepteurs fusoriaux secondaires (fig. 7.9A)

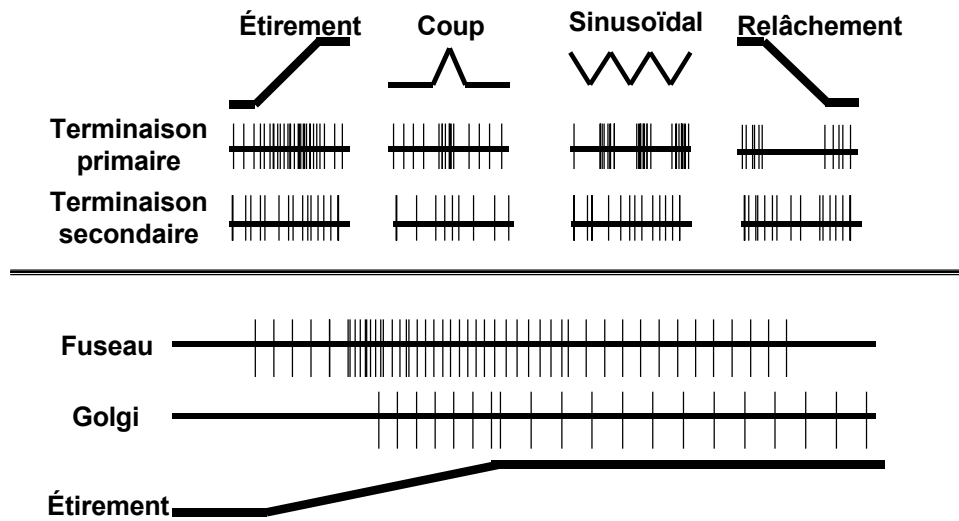


A, B et C : L'activité fusoriale est représentée pour les trois vitesses (A: 2 degrés / s.; B: 6 degrés / s.; C: 8,5 degrés / s.) sous la forme de fréquence-grammes.

Chaque fréquence-gramme est obtenue par la superposition photographique de trois courbes de « fréquence instantanée » obtenues au cours de trois mouvements identiques successifs.

Le graphique D illustre la sensibilité dynamique de la terminaison secondaire mesurée par son « index dynamique » (ordonnée) en fonction de la vitesse angulaire du mouvement de flexion plantaire (abscisse).

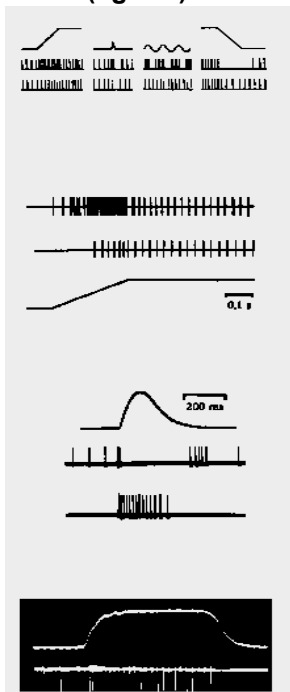
**Figure 7.7:**  
**Les afférences proprioceptives musculaires**



## Les afférences tendineuses

- réponse des récepteurs à la tension développée dans le muscle;
- informent le système nerveux du degré de force musculaire mis en place par la contraction;
- modulent l'intensité de la force musculaire.

(fig. 7.7)



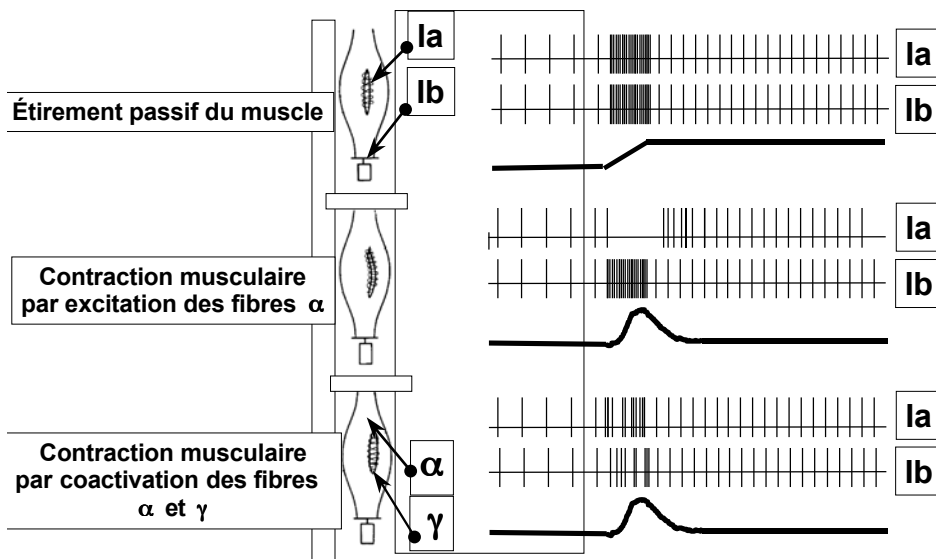
Réponse des récepteurs musculaires primaires et secondaires à l'étirement en rampe ou sinusoïdal, à un petit coup et au relâchement.

Réponse des fuseaux neuromusculaires et des organes tendineux de Golgi à l'étirement en rampe.

Relâchement du fuseau neuromusculaire et excitation du récepteur tendineux lors d'une saccade musculaire.

Activation d'un récepteur tendineux de Golgi lors de la contraction d'une unité motrice isolée.

Figure 7.10: Comparaison des réponses des fuseaux neuromusculaires et des récepteurs tendineux de Golgi



# Les afférences articulaires

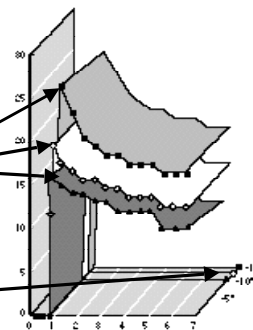
- réponse des récepteurs à l'ouverture des articulations;
- informent le système nerveux de la vitesse, de la direction et de l'amplitude des mouvements articulaires.

## Activité des récepteurs articulaires

Activité d'un récepteur articulaire au cours de trois flexions passives successives ( $s10^\circ$ ,  $m12^\circ$ ,  $n14^\circ$ ) réalisées à vitesse constante ( $10^\circ / s$ ) à partir d'une même position

Les courbes supérieures de chaque graphe représentent les fréquences de décharge en fonction du temps.

Les courbes inférieures représentent les déplacements angulaires imposés à l'articulation du genou.

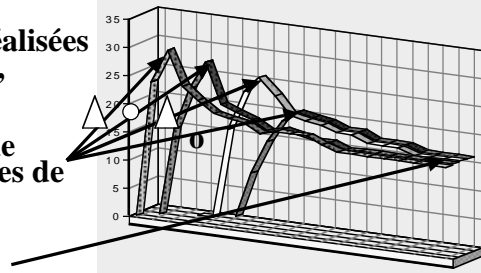


## Activité des récepteurs articulaires

Activité de la même unité articulaire au cours de quatre flexions passives successives de même amplitude réalisées à des vitesses différentes ( $\Delta 35^\circ/s$ ,  $\bullet 17^\circ/s$ ,  $\triangle 10^\circ/s$ ,  $\circ 6^\circ/s$ )

Les courbes supérieures de chaque graphe représentent les fréquences de décharge en fonction du temps.

La fréquence de décharge, après adaptation, est identique pour les quatre mouvements.



## Rôle du feed-back sur le contrôle de l'écriture

Guillaume bonjour il fait beau	Guillaume bonjour il fait beau
Olivier bonjour il fait beau	Olivier bonjour il fait beau
Louis bonjour il fait beau	Louis bonjour il fait beau
Simette bonjour il fait beau	Simette bonjour il fait beau

Quatre personnes doivent écrire leur prénom, un mot, puis une courte phrase avec, puis sans vision.

Pour les trois premières personnes, l'absence de vision ne perturbe presque pas le déroulement du geste, malgré le peu d'années d'expérience graphique pour les deux enfants.

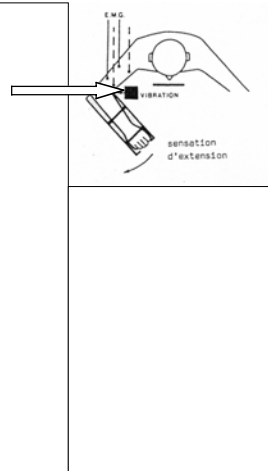
Pour la quatrième, atteinte de polyneuropathie générant une absence de sensations périphériques proprioceptives, l'écriture reste normale quand elle est guidée visuellement. En l'absence de vision subsiste une activité graphique largement perturbée spatialement avec une écriture illisible. Toutefois, la longueur du tracé indique une programmation centrale du mouvement qui correspond à la « longueur » des mots à écrire. Les afférences apportent un soutien au contrôle moteur du geste graphique. (Exemple 4 offert par R. Forget et Y. Lamarre)

## En résumé :

- les récepteurs primaires sont des récepteurs dynamiques sensibles aux modifications de la longueur du muscle et à leur vitesse;
- leur fréquence de décharge augmente fortement dès le début du changement de longueur puis diminue par la suite;
- les récepteurs secondaires sont des récepteurs statodynamiques sensibles à la longueur atteinte par le muscle et à la vitesse des changements de longueur;
- leur fréquence de décharge augmente tout au long du changement de longueur du muscle en fonction de la vitesse de ce changement;
- les récepteurs tendineux signalent le degré de contraction (force) du muscle;
- les récepteurs articulaires nous informent sur la vitesse, la direction et l'amplitude des mouvements articulaires.

## Expériences de vibrations tendineuses

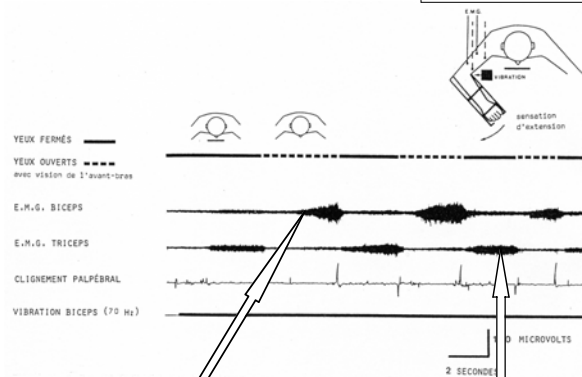
- il est possible d'appliquer un vibreur sur les tendons musculaires et d'exciter ainsi les récepteurs fusoriaux;
- il en résulte une activité dans le muscle vibré se traduisant par des perceptions différentes selon que le sujet a les yeux ouverts ou fermés;
- les yeux fermés, le sujet a l'impression d'un étirement du muscle vibré et d'un mouvement correspondant de l'articulation.



## Fig. 7.12 Vibrations tendineuses

Roll (1980)

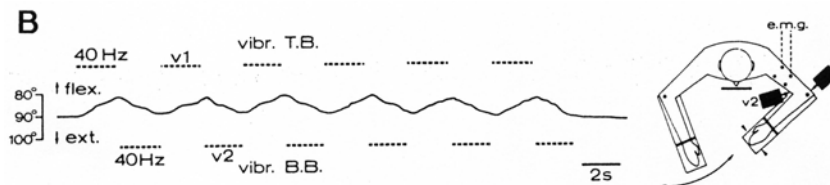
Le sujet est assis. Son avant-bras droit est immobilisé à un angle au coude de 110°. Le tendon distal du biceps est vibré à une fréquence de 70 Hz. L'activité EMG de surface est enregistrée dans les muscles biceps et triceps.



Quand le sujet a les yeux fermés, une activité musculaire apparaît dans le muscle triceps (RVA: réponse vibratoire antagoniste) accompagnée d'une sensation d'extension de l'avant-bras; les yeux ouverts, une activité musculaire apparaît dans le biceps (RTV: réponse tonique vibratoire) sans sensation de mouvement.

## Fig. 7.11 Vibrations tendineuses

Roll (1981)



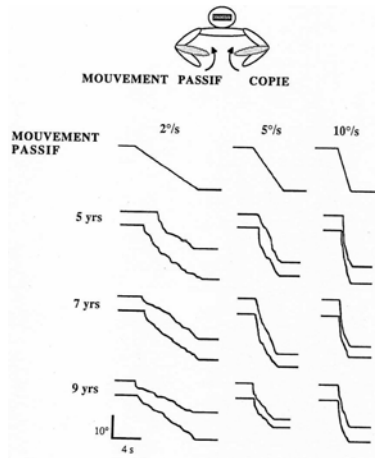
### Reproduction de mouvements illusoires

Les tendons musculaires du biceps et du triceps du bras gauche immobilisé du sujet (yeux fermés) sont vibrés alternativement. Le sujet «perçoit» respectivement un mouvement d'extension (vibration du biceps: V2) ou de flexion (vibration du triceps: V1) qu'il illustre bien avec le mouvement correspondant de son bras droit

# La kinesthésie chez l'enfant

(Redon et coll., 1994)

## Copies de mouvements passifs par des enfants de 5 à 9 ans (Redon et coll., 1994)



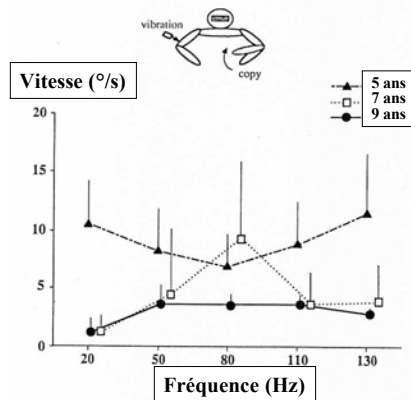
L'enfant doit reproduire avec le bras gauche les mouvements imprimés à son bras droit par l'expérimentateur, à des vitesses différentes.

Dès 5 ans l'enfant tient bien compte de la vitesse du mouvement.

# La kinesthésie chez l'enfant

(Redon et coll., 1994)

## Effets de l'âge et de la fréquence des vibrations sur la vitesse des mouvements de copie (Redon et coll., 1994).

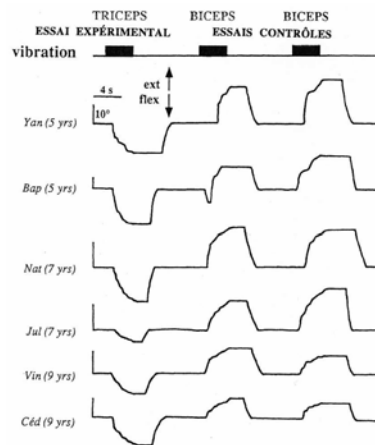


L'enfant doit reproduire avec le bras gauche les mouvements « sentis » par son bras droit suite aux vibrations.

Dès 5 ans la fréquence des vibrations induit des déplacements du bras à des vitesses spécifiques.

# La kinesthésie chez l'enfant

(Redon et coll., 1994)



Tracés de copies de mouvements illusoires induits par vibration tendineuse chez des enfants (Redon et coll., 1994).

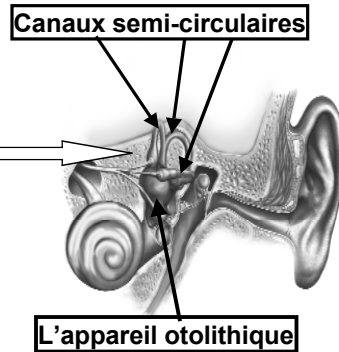
L'enfant doit reproduire avec le bras gauche les mouvements « sentis » par son bras droit suite aux vibrations alternées des biceps et triceps brachiaux.

## Les sensations vestibulaires

perception des mouvements  
de la tête et des  
déplacements du corps

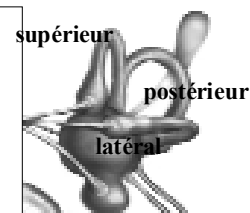
# Le système vestibulaire

- logé à l'intérieur de tubes osseux et de compartiments de l'os temporal:
  - le labyrinthe osseux
- un système de chambres et de tubes membraneux remplis de liquide:
  - le labyrinthe membraneux
- l'appareil vestibulaire comprend
  - les canaux semi-circulaires
  - l'appareil otolithique
    - utricule et saccule
- détection d'accélération linéaires (otolithes) et angulaires (les canaux) du corps ou de la tête.



## Les canaux semi-circulaires

- 3 canaux dans chaque oreille
  - Supérieur ou antérieur
    - plan vertical sagittal antérieur
  - Postérieur
    - plan vertical postérieur frontal
  - Latéral ou horizontal ou externe
    - plan horizontal
- orthogonaux, perpendiculaires entre eux.
- paires fonctionnelles entre canaux controlatéraux
- sensibles à la direction du mouvement
- détectent les accélérations angulaires de la tête



# Les canaux semi-circulaires

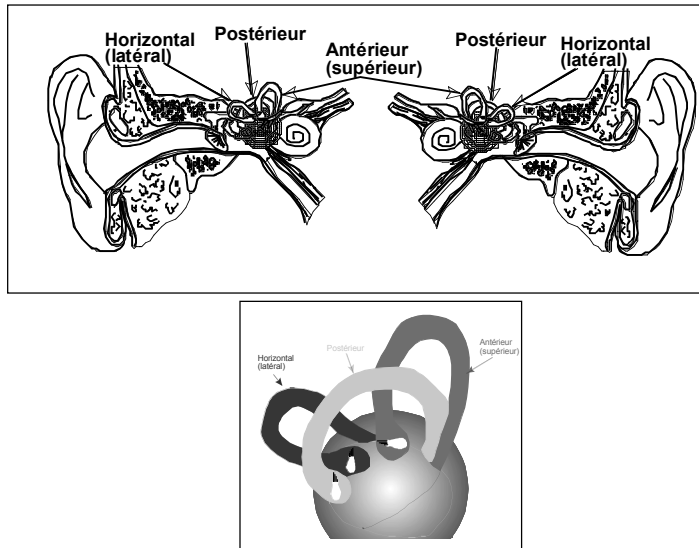


Figure 7.14a:  
L'appareil vestibulaire (le labyrinthe gauche)

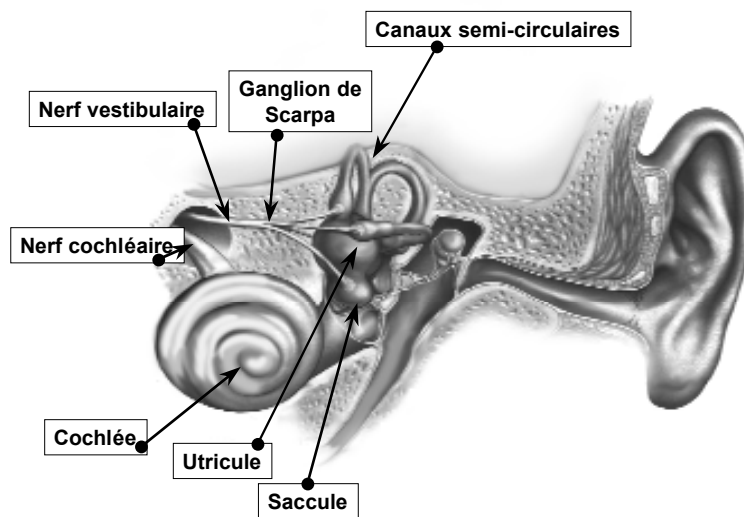
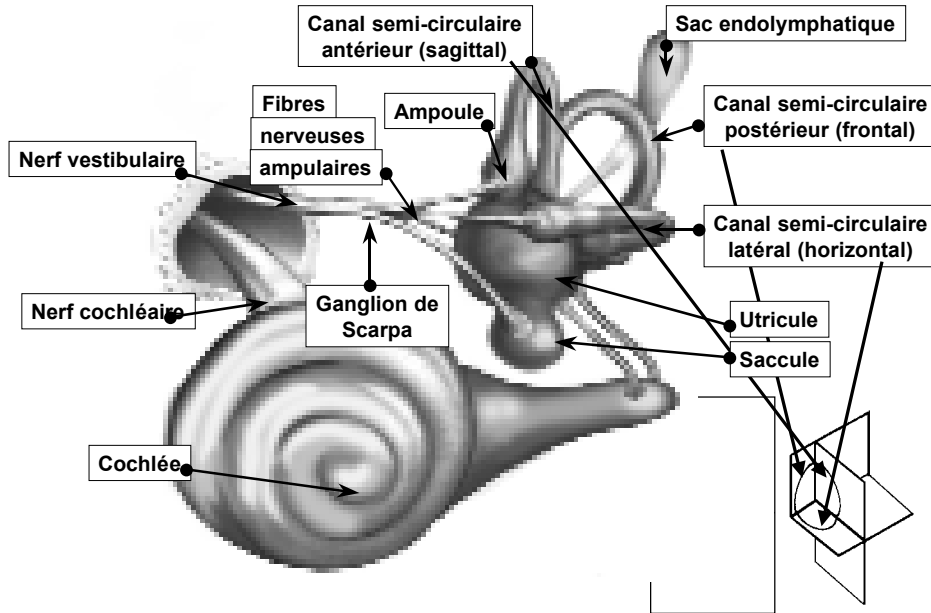


Figure 7.15: L'appareil vestibulaire



## Les canaux semi-circulaires

- Chaque canal:
- communique par les deux bouts avec l'utricule.
- possède un renflement ou ampoule
  - crête ampulaire
- au sommet de la crête ampulaire
  - masse gélatineuse (cupule) qui s'étend jusqu'au toit de l'ampoule
- l'ampoule contient des cellules ciliées reliées aux fibres nerveuses formant le nerf vestibulaire
  - les cils des cellules ciliées s'étendent dans la masse gélatineuse

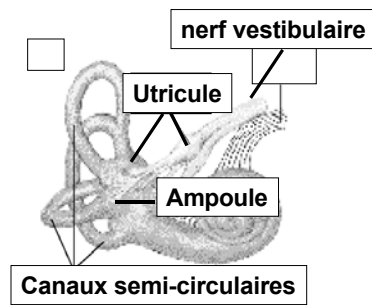


Figure 7.16: Cupule des ampoules des canaux

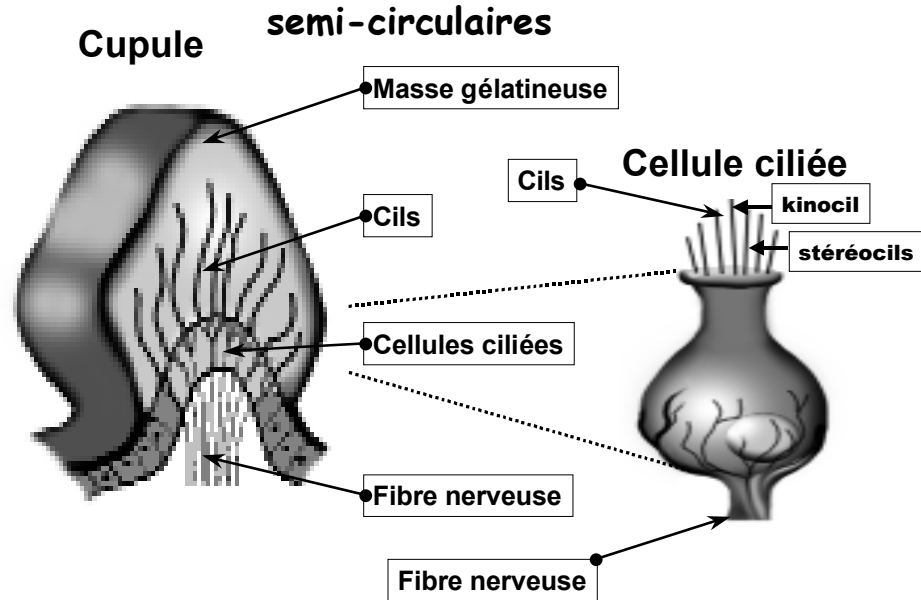
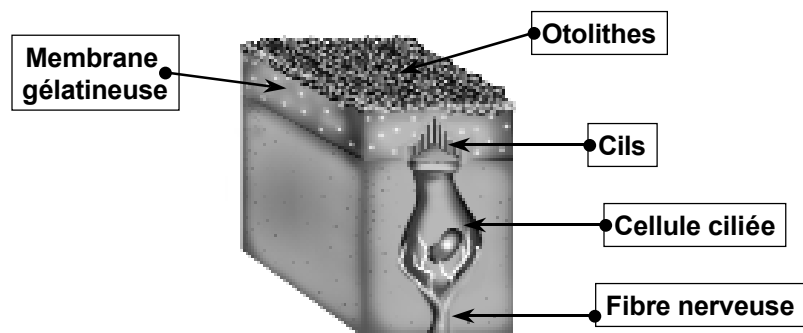
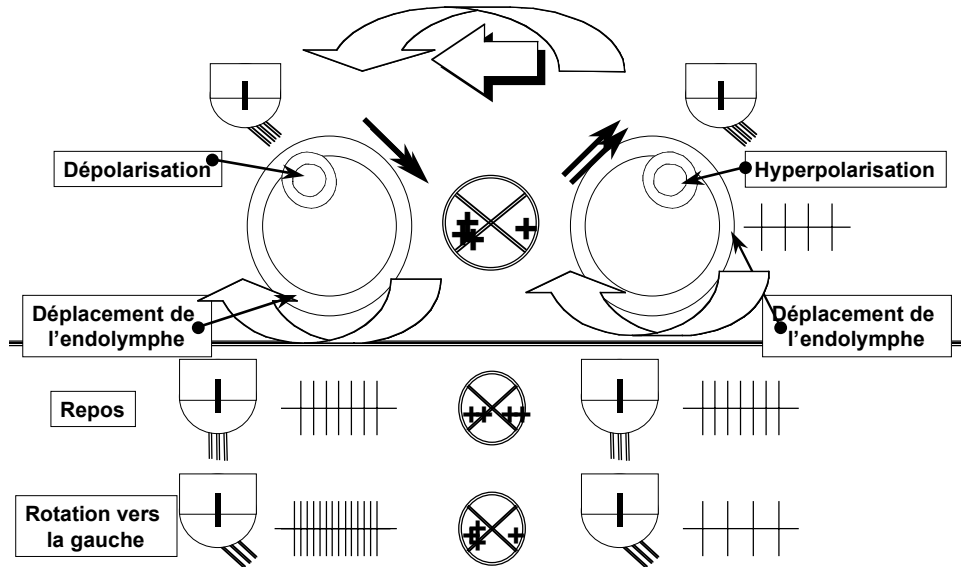


Figure 7.16c: Otolithes des maculae de l'utricule et du saccule



**Réagissent aux accélérations:**  
 linéaires verticales: saccule  
 linéaires horizontales: utricule

Figure 7.17: Réponse des canaux circulaires latéraux à la rotation de la tête vers la gauche



## Les efférences vestibulaires

- transportées par le nerf vestibulaire, elles aboutissent:
- aux 4 noyaux vestibulaires,
- au lobe flocculo-nodulaire du cervelet.

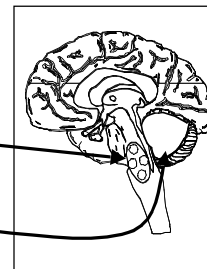
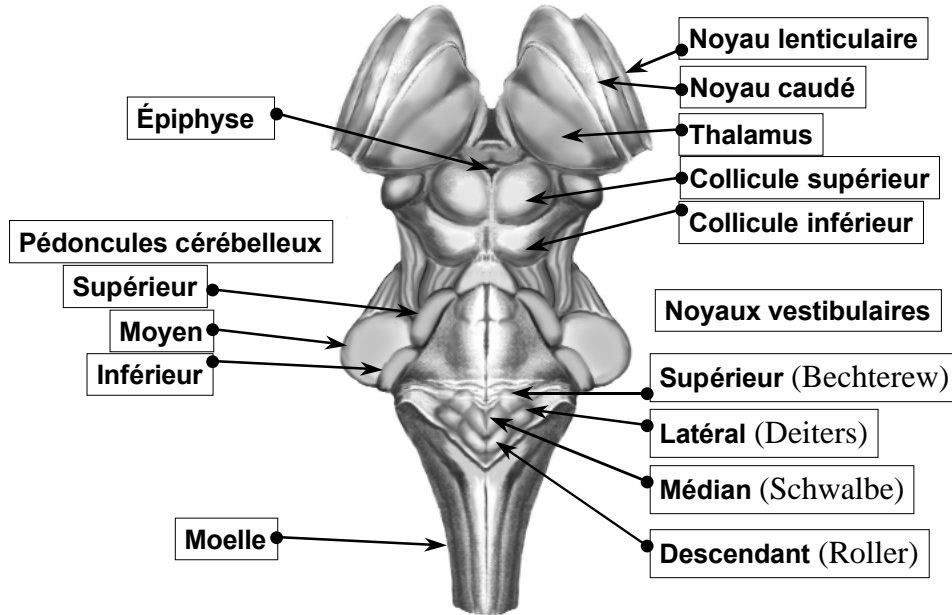
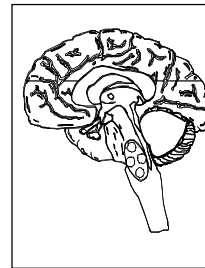


Figure 7.18: Les noyaux vestibulaires  
(vue postérieure du tronc cérébral)



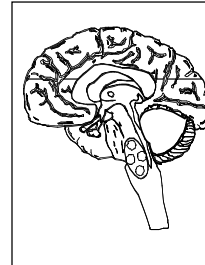
## Les noyaux vestibulaires: rôles

- **Noyau vestibulaire supérieur (Bechterew)**
  - faisceau longitudinal médian
    - principal contrôleur des mouvements des yeux et de la tête
    - et du réflexe vestibulo-oculaire
  
- **Noyau vestibulaire latéral (Deiters)**
  - surtout relié à l'utricule
  - voie vestibulospinale latérale
    - réflexes vestibulo-spinaux
    - motoneurones des muscles antigravitaires

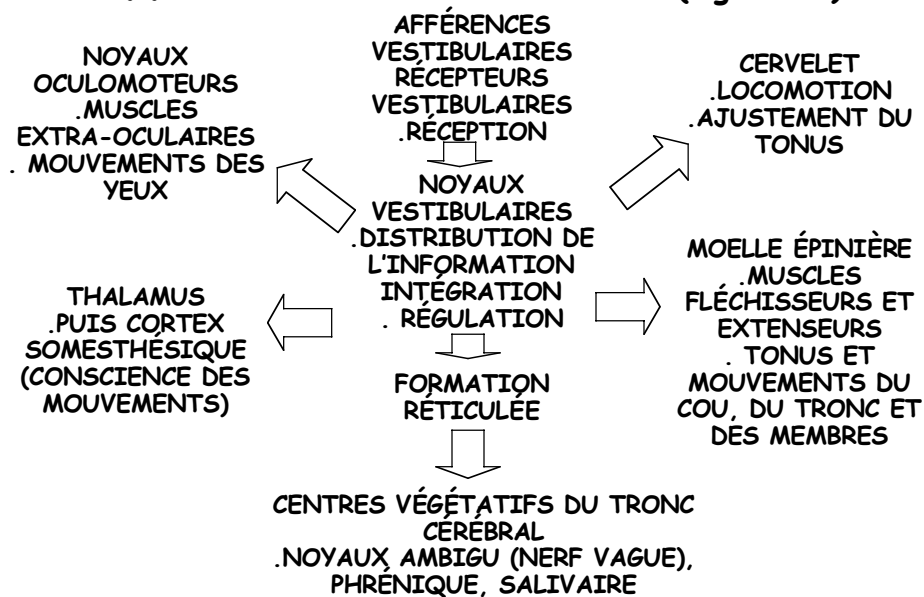


## Les noyaux vestibulaires: rôles

- Noyau vestibulaire médian (Schwalbe)
  - faisceau vestibulo-spinal médian
  - reçoit de tous les récepteurs labyrinthiques
    - contrôle les mouvements du cou et régulation des mouvements yeux-tête-cou
  
- Noyau vestibulaire descendant (Roller)
  - relié aux otholites
  - envoie les signaux au cervelet et aux voies vestibulo-spinales et vestibulo-réticulaires



### Centres influencés par les afférences vestibulaires (fig. 7.19)



# Rôle du système vestibulaire

- **Joue un rôle important dans:**
  - l'ajustement de la posture;
  - le contrôle des mouvements;
  - la direction du regard (mouvements oculaires);
  - la stabilisation du regard (mouvements oculaires).

## Expérience

- 1- prenez votre livre; lisez en bougeant rapidement la tête de droite à gauche ou de haut en bas en gardant le livre fixe;
- 2- maintenant, lisez en bougeant rapidement le livre de droite à gauche ou de haut en bas en gardant la tête fixe.
- Peut-on lire dans les 2 cas?
- Dans lequel? Pourquoi?

# Le vertige

- sensation de tournoiement, illusion de mouvement de soi ou de l'environnement.
- Vertige physiologique:
  - résulte d'une surstimulation des canaux semi-circulaires (tournoiement, bateau);
  - entraîne souvent des nausées, pâleurs, sueurs, etc, ainsi que des pertes d'équilibre.;
  - traitement par la scopolamine, le décubitus dorsal, l'occupation à des tâches.
- Vertige psychologique:
  - résulte de l'écart entre une perception visuelle habituelle et l'actuelle (hauteurs différentes).

فنزف