

Équilibre et motricité

→ cours Neurophysiologie

Pauline Neveu, PhD
docteur en biologie

Plan

1-Centre de gravité et équilibre

2-Posture et équilibre postural

3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

4-Locomotion

1-Centre de gravité et équilibre

1.1-Notion de centre de gravité

Le centre de gravité (CG) ou centre de masse (CM) d'un solide :

- point auquel toute la masse du solide est associée et où s'applique une force appelée poids (\vec{P})
- point d'équilibre
- barycentre

1-Centre de gravité et équilibre

1.2-Force de gravité

→ force avec laquelle un corps en attire un autre

Tous les objets s'attirent:

(-à une constante près (constante gravitationnelle universelle))

-proportionnellement au produit de leurs masses

-de façon inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare

1-Centre de gravité et équilibre

1.3-Recherche du CG: la méthode des suspensions

Un corps suspendu est soumis à deux forces:

- la force de gravité

- la force de suspension

→il y a équilibre quand le CG est à la verticale du point de suspension

→pour trouver l'emplacement du CG, il suffit de suspendre le corps par deux ou trois points différents

1-Centre de gravité et équilibre

1.4-Emplacement du CG chez l'humain

→ en avant de la 1^{ère}/2^e vertèbre sacrée

Sa position varie en fonction de différents paramètres

1-Centre de gravité et équilibre

1.4-Emplacement du CG chez l'humain

L'emplacement du CG varie en fonction:

-du type morphologique

-du degré d'adiposité

-du sexe:

→ plus bas chez la femme que chez l'homme

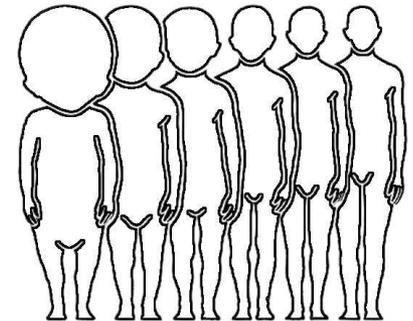
-de la croissance:

→ plus haut chez l'enfant que chez l'adulte

-de l'attitude:

→ le CG s'élève si on lève les bras

→ le CG se déplace dans le même sens que le segment qui bouge, d'une quantité proportionnelle au rapport des masses: segment/corps



1-Centre de gravité et équilibre

1.5-Ligne de gravité, base de sustentation et équilibre

La ligne de gravité:

→ c'est la verticale qui passe par le CG

La base de sustentation:

→ c'est la surface d'appui au sol

Un corps est en équilibre:

→ quand sa ligne de gravité coupe sa base de sustentation

1-Centre de gravité et équilibre

1.5-Ligne de gravité, base de sustentation et équilibre

Un corps sera d'autant plus stable:

- que la hauteur de son centre de gravité est faible

- que sa base de sustentation est grande

→ l'angle de stabilité renseigne sur la stabilité d'un corps

2-Posture et équilibre postural

2.1-Notion de posture

→ activité motrice quasi-permanente

→ position de base du corps sur laquelle peuvent se greffer différentes activités motrices

2-Posture et équilibre postural

2.1-Notion de posture

→ implique les muscles posturaux:

-localisation:

-axiale

-extenseurs des membres inférieurs

-composition: cellules musculaires lentes:

-faibles forces } tension permanente:
-peu fatigables } tonus musculaire

-stimulés par le système nerveux

→ l'activité posturale consomme de l'énergie



2-Posture et équilibre postural

2.1-Notion de posture

Deux rôles de la posture:

→ statique: lutter contre la gravité; l'affaissement

→ dynamique: support à l'activité motrice:

-l'activité posturale prépare le corps au mouvement: coordonne le maintien de l'équilibre avec l'exécution d'un mouvement

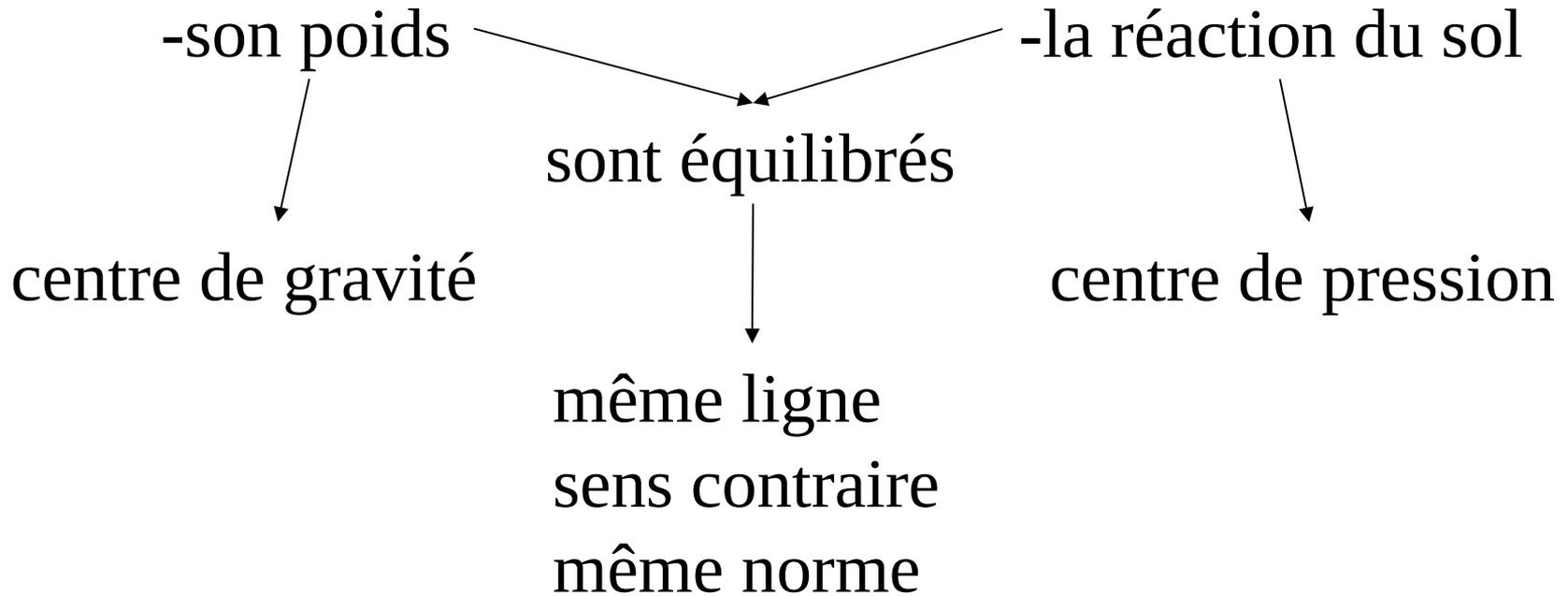
-l'activité posturale rétablit l'équilibre après perturbation

Ajustements posturaux

2-Posture et équilibre postural

2.2-Équilibre postural

Un solide posé sur un support est en équilibre si:



2-Posture et équilibre postural

2.2-Équilibre postural

Les êtres vivants ne sont pas immobiles:

→ le centre de gravité se déplace

→ le centre de pression se déplace



Henkidefix, CC BY-SA 3.0
<<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

2-Posture et équilibre postural

2.2-Équilibre postural

Étude de l'équilibre postural sur plate-forme de force

Profil des variations de position des centres de pression:

- de disques de fonte ———

- d'un individu essayant de rester immobile ———



→ l'individu n'est jamais en équilibre: équilibre métastable

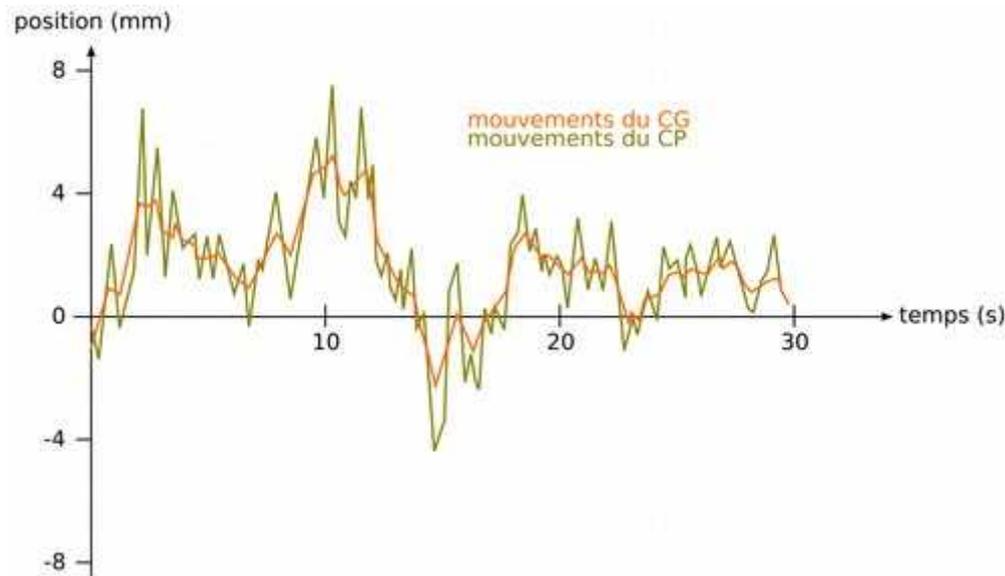
2-Posture et équilibre postural

2.2-Équilibre postural

Évolution des positions des centres de pression et de gravité

Variation de positions le long de l'axe antéro-postérieur:

- du centre de masse (CM)
- du centre de pression (CP)



→ le CP se déplace en permanence de part et d'autre du CM

2-Posture et équilibre postural

2.3- Principales causes des oscillations posturales

-musculaires

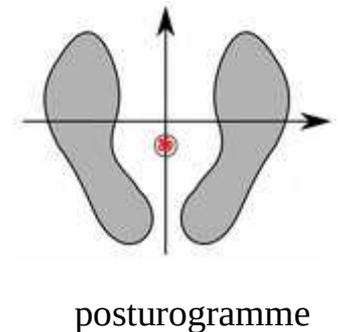
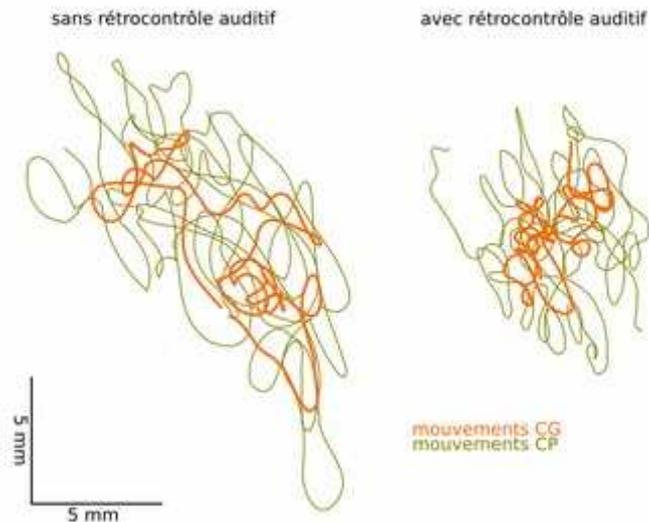
→ une tension ne peut être maintenue parfaitement constante

-neuro-sensoriels (récepteurs sensoriels)

→ manque de précision

Comparaison des variations de position du CM et du CP dans le plan horizontal d'une même personne debout:

- avec rétrocontrôle auditif (à droite)
- sans rétrocontrôle (à gauche)



2-Posture et équilibre postural

2.3- Principales causes des oscillations posturales

Remarque: collaboration entre récepteurs sensoriels ?

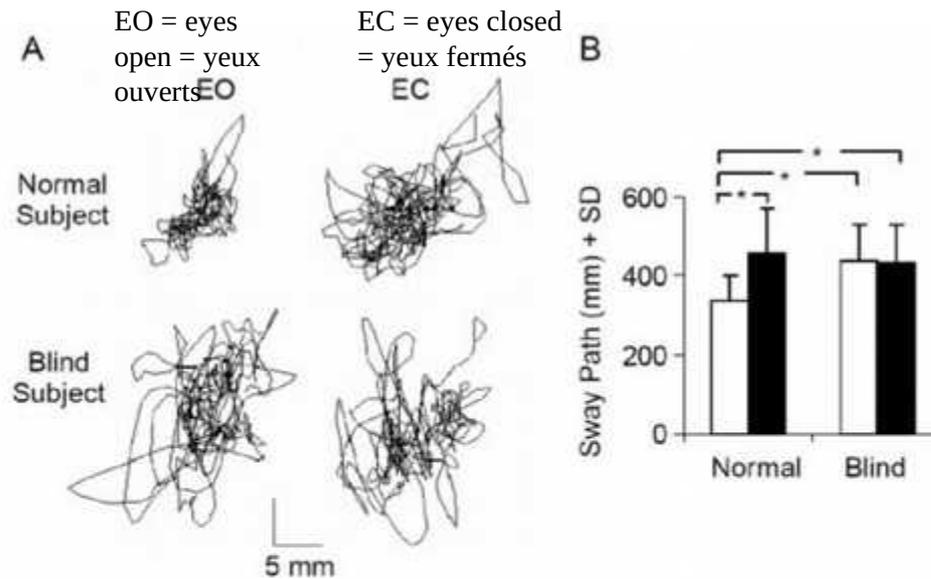


Fig. 1 (A) Example of stabilometric recordings during quiet stance in a normal and in a blind representative subject with EO and EC. **(B)** Mean sway path (+SD) in normal and blind subjects under the two visual conditions. The differences between EO and EC condition, clearly visible in normal subjects, disappear in blind subjects.

Schmid M, Nardone A, De Nunzio AM, Schmid M, Schieppati M. Equilibrium during static and dynamic tasks in blind subjects: no evidence of cross-modal plasticity. *Brain*. 2007 Aug;130(Pt 8):2097-107. doi: 10.1093/brain/awm157. Epub 2007 Jul 4. PMID: 17611240.

2-Posture et équilibre postural

2.3- Principales causes des oscillations posturales

-mouvements inévitables

→ respiration

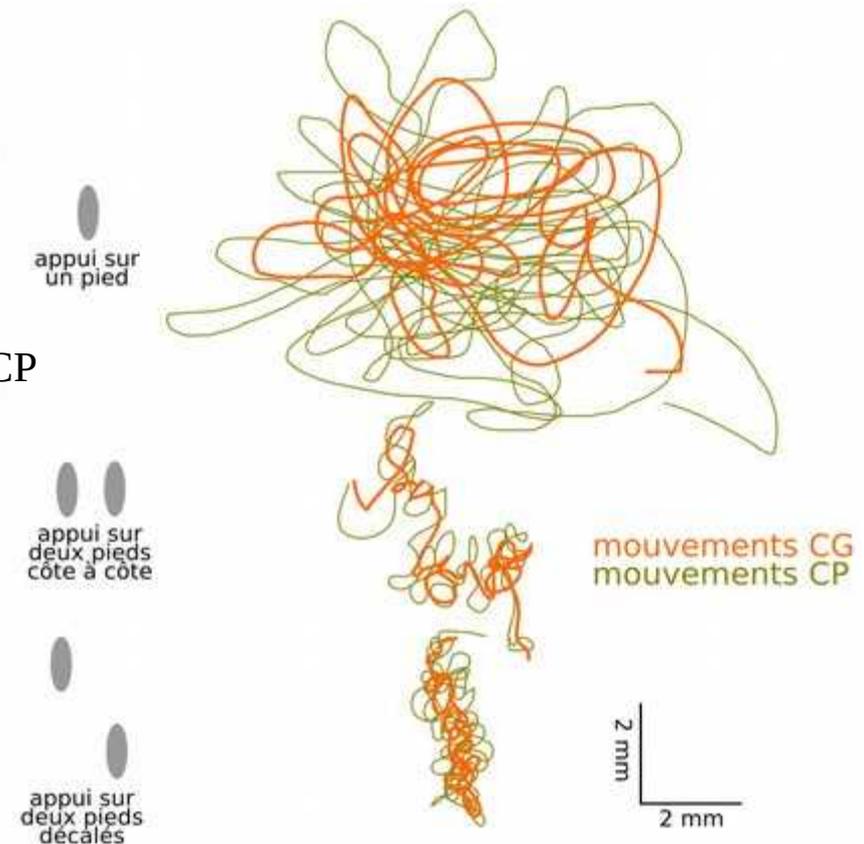
→ circulation

-facteurs mécaniques

→ allure de la base de sustentation

Comparaison des variations de position du CM et du CP dans le plan horizontal d'une même personne :

- sur un pied
- sur deux pieds serrés
- sur deux pieds écartés



2-Posture et équilibre postural

2.3- Principales causes des oscillations posturales

- état de la personne
- fatigue
- motivation
- apprentissage
- expertise
- âge

Influence de l'âge sur la stabilisation de la posture

 6-9 ans	 10-14 ans	 16-19 ans	 20-29 ans	 30-39 ans
 40-49 ans	 50-59 ans	 60-69ans	 70-79 ans	 >79 ans

2-Posture et équilibre postural

2.4-Posture et mouvement: les ajustements posturaux

Les ajustements posturaux:

- sont des ensembles coordonnés d'actes moteurs

- permettent à chaque instant de maintenir ou d'adapter une posture en dépit de perturbations:

 - internes → ajustement anticipateur

 - externes → ajustement compensateur

2-Posture et équilibre postural

2.4-Posture et mouvement: les ajustements posturaux

Ajustements posturaux anticipateurs:

- la perturbation est d'origine interne

 - ex: lever un bras

- la perturbation peut être prévue

- les ajustements posturaux peuvent être anticipés

 - la posture s'ajuste avant que le mouvement n'ait lieu

2-Posture et équilibre postural

2.4-Posture et mouvement: les ajustements posturaux

Ajustements posturaux compensateurs:

- la perturbation est d'origine externe

 - ex: bousculade

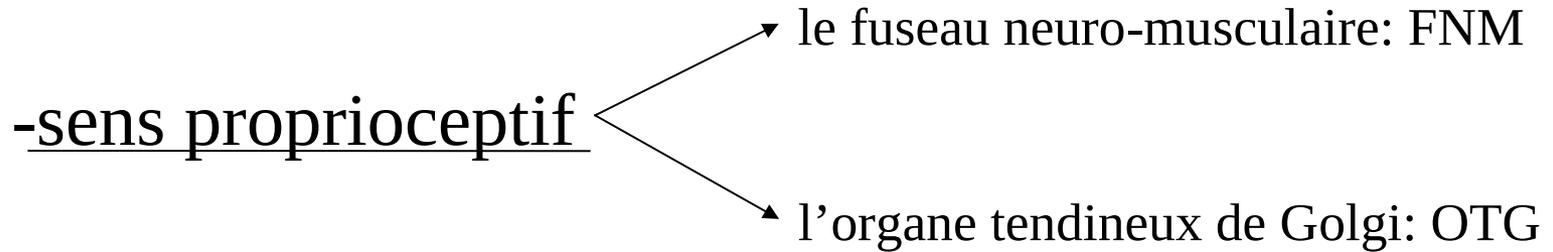
- la perturbation ne peut pas être prévue

- les ajustements posturaux ne peuvent pas être anticipés

 - la posture se rétablit après détection de la perturbation par les systèmes sensoriels

3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.1-Sens impliqués



-sens vestibulaire

-sens visuel

récepteurs → réflexes → automatismes

3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

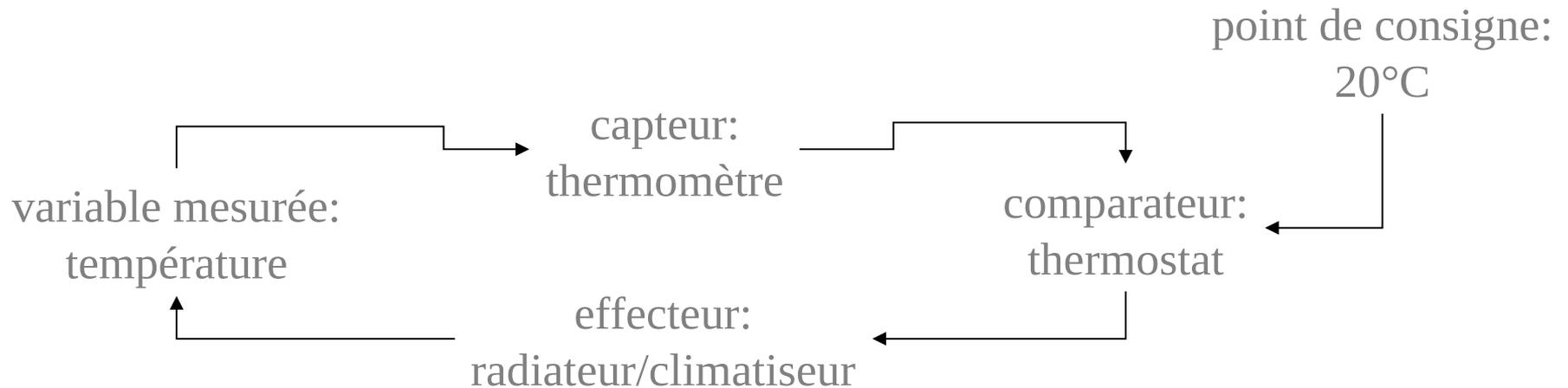
3.2-Réflexes proprioceptifs

Servomécanisme:

ex: thermostat:

→ système de maintien de la température constante

→ asservissement de la température

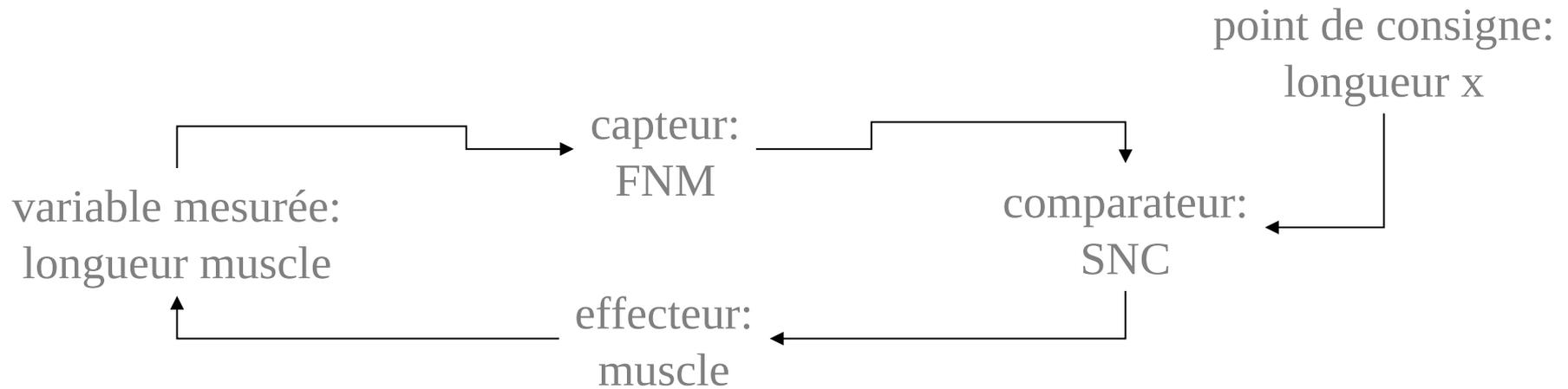
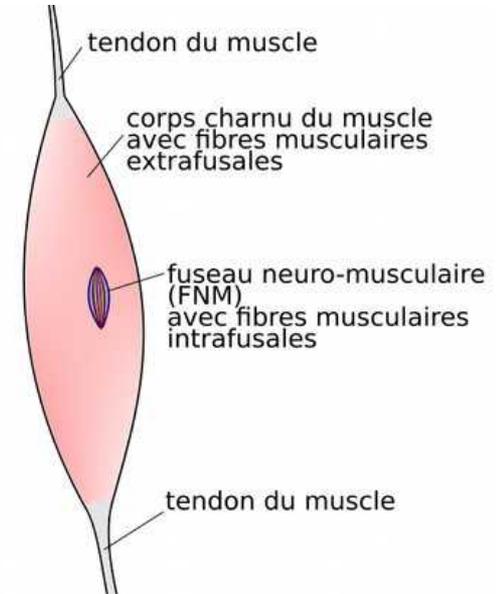


3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.2-Réflexes proprioceptifs

Fuseau neuro-musculaire et réflexe myotatique:

→ asservissement du muscle en longueur

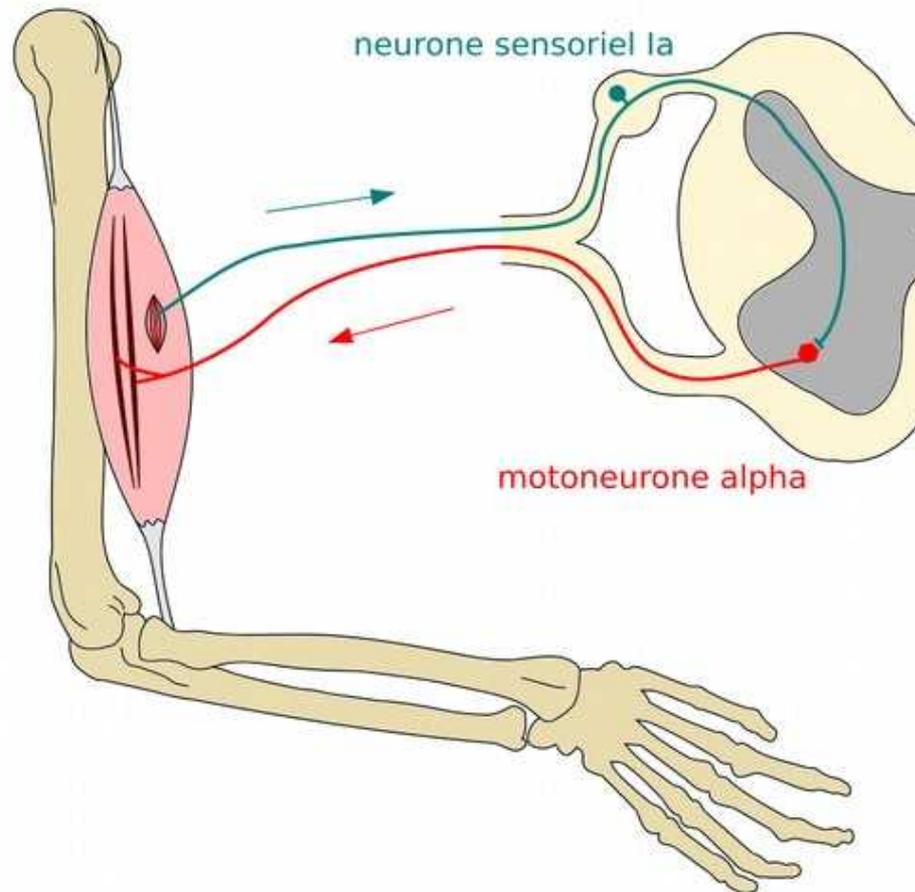


3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.2-Réflexes proprioceptifs

Fuseau neuro-musculaire et réflexe myotatique:

→ arc réflexe du réflexe myotatique:



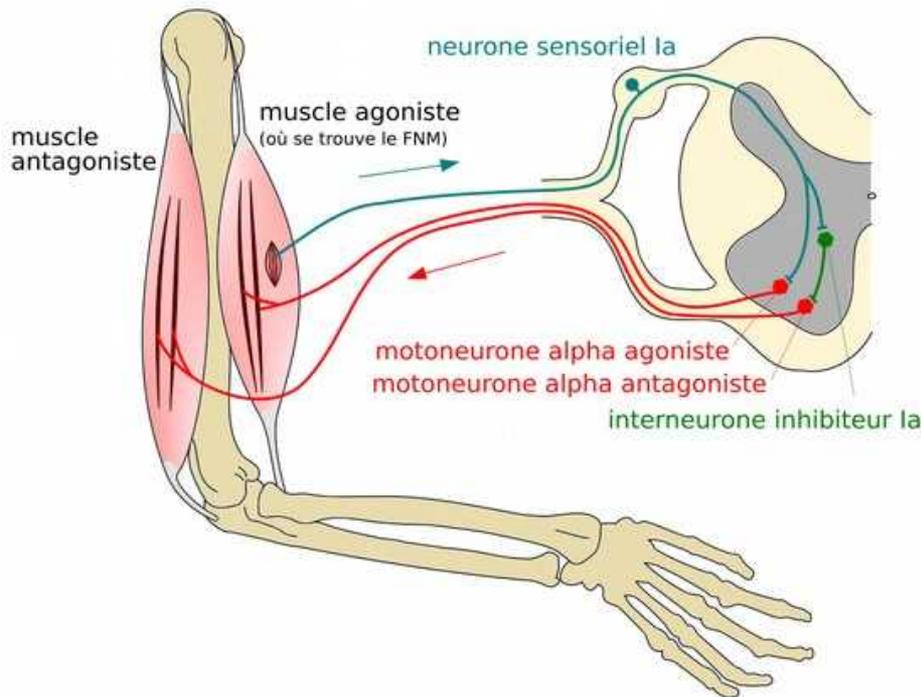
3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.2-Réflexes proprioceptifs

Fuseau neuro-musculaire et réflexe myotatique:

Le réflexe myotatique est soumis au principe de l'innervation réciproque:

principe général d'organisation du système nerveux dans lequel l'activation de certains motoneurones entraîne l'inhibition de motoneurones de fonction opposée (ou inversement: dans lequel l'inhibition de certains motoneurones entraîne l'activation de motoneurones de fonction opposée)



intervention d'un interneurone Ia inhibiteur à l'origine d'une inhibition réciproque

3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.2-Réflexes proprioceptifs

Fuseau neuro-musculaire et réflexe myotatique:

Le réflexe myotatique ‘fige’ le muscle à une certaine longueur:

-il est idéal dans le cas du maintien d’une position

-il empêche l’étirement des muscles et entrave le mouvement...

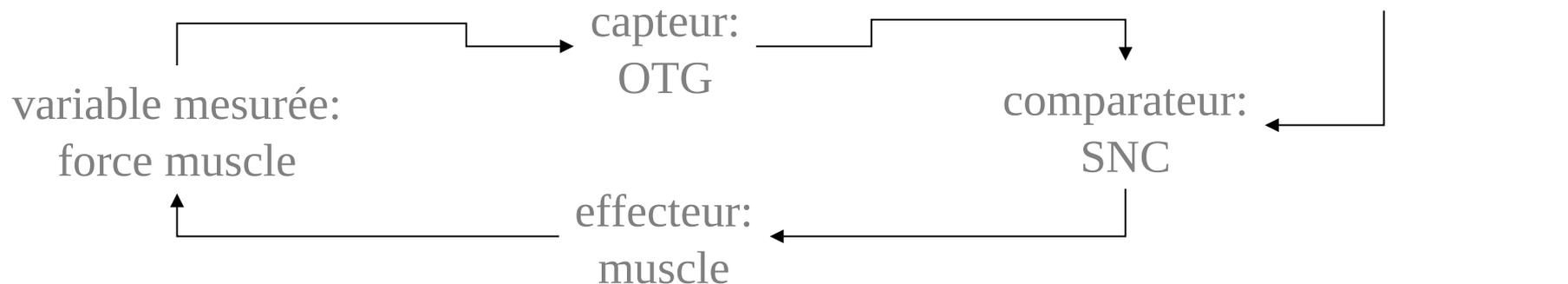
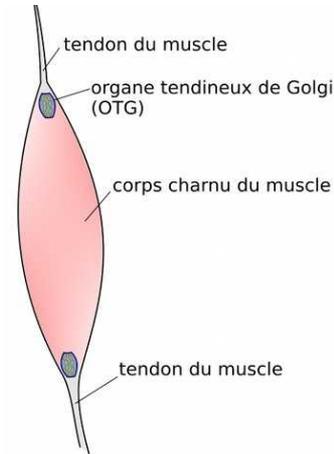
→...heureusement non! un muscle peut être allongé car sa longueur de consigne peut être changée

3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.2-Réflexes proprioceptifs

Organe tendineux de Golgi et réflexe d'inhibition autogénique:

→ asservissement du muscle en force

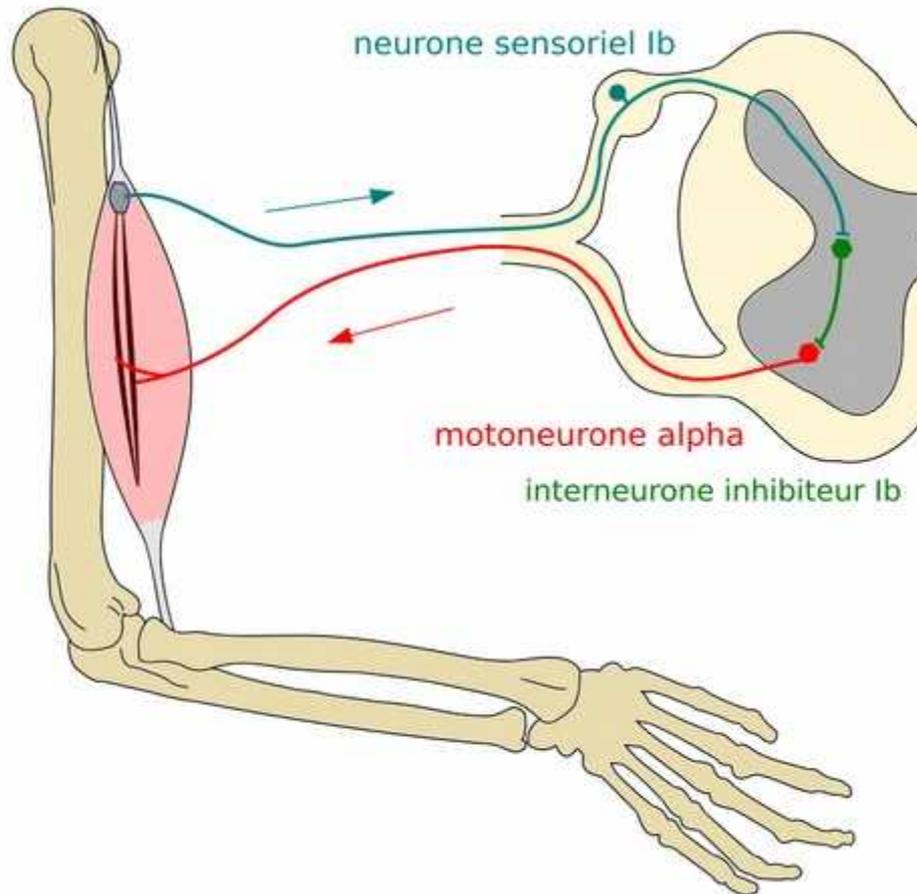


3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.2-Réflexes proprioceptifs

Organe tendineux de Golgi et réflexe d'inhibition autogénique:

→ arc réflexe du réflexe d'inhibition autogénique:

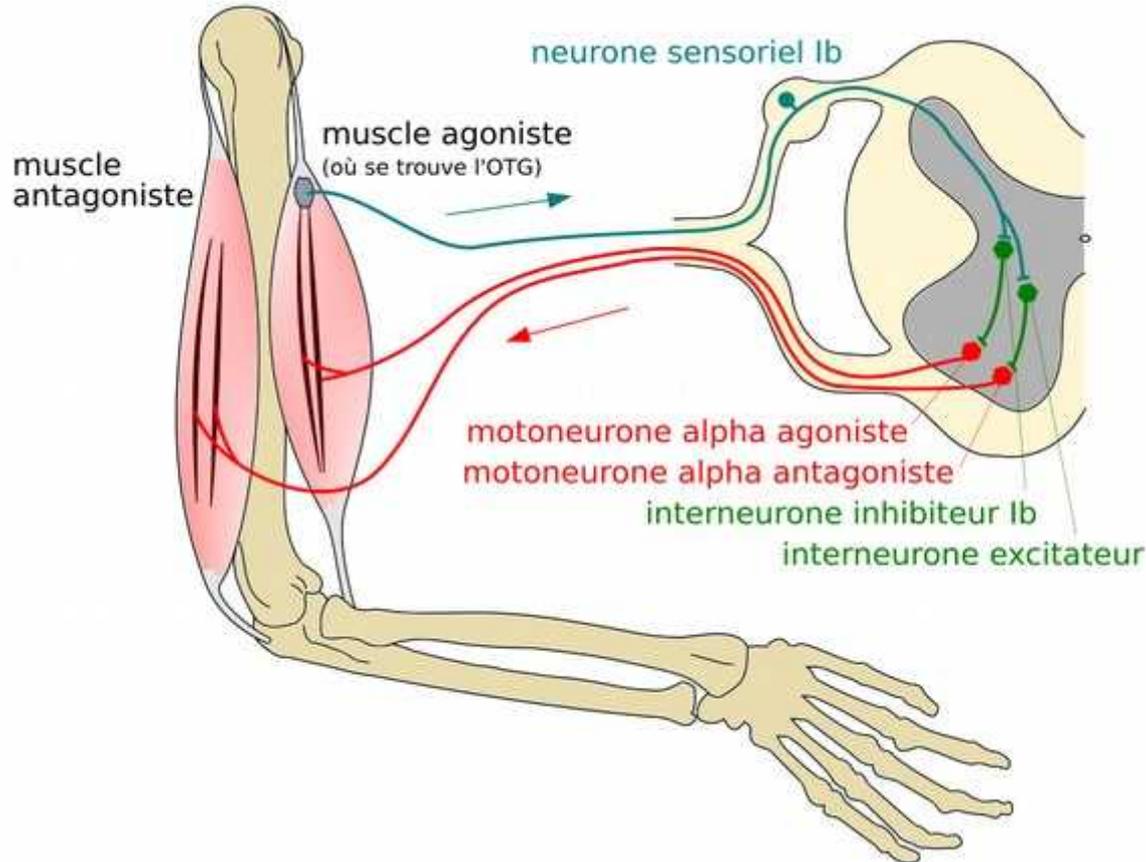


3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.2-Réflexes proprioceptifs

Organe tendineux de Golgi et réflexe d'inhibition autogénique:

Le réflexe d'inhibition autogénique est soumis au principe de l'innervation réciproque:



intervention d'un interneurone exciteur à l'origine d'une excitation réciproque

3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.2-Réflexes proprioceptifs

Organe tendineux de Golgi et réflexe d'inhibition autogénique:

Le réflexe d'inhibition autogénique empêche les variations de force musculaire

Physiologiquement, ce réflexe ne se produit que dans les premiers temps de la variation de force musculaire et plus particulièrement quand la variation de force est importante (le réflexe est stoppé)

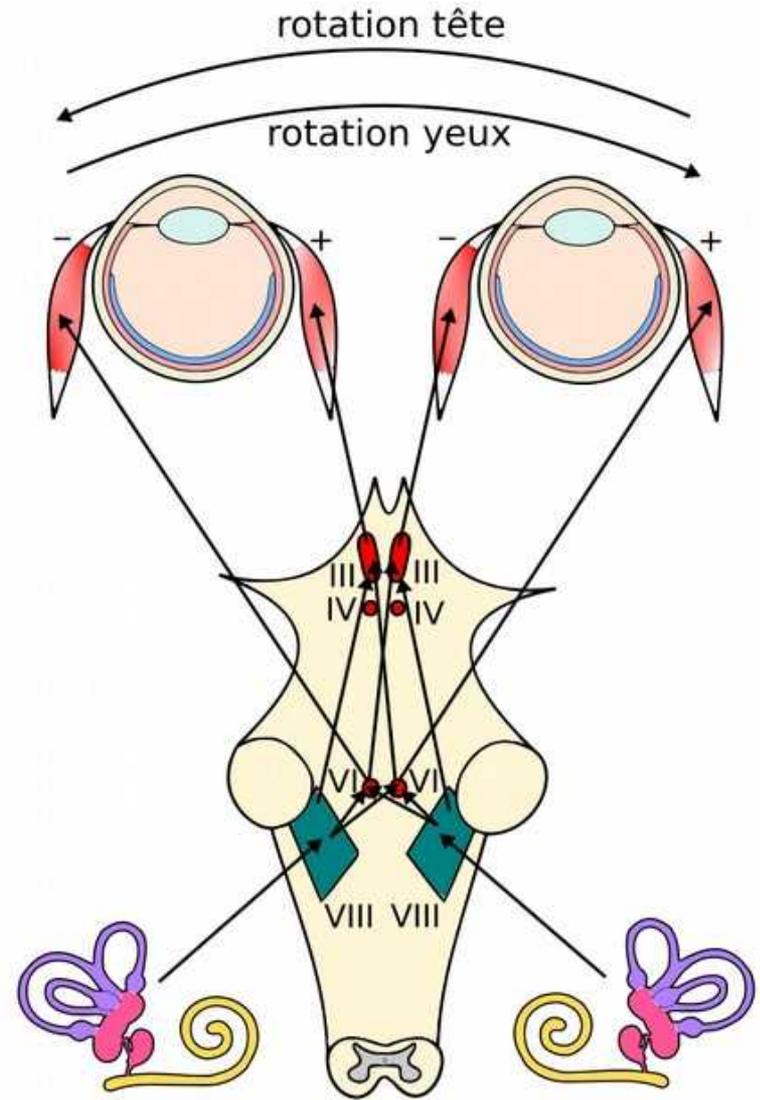
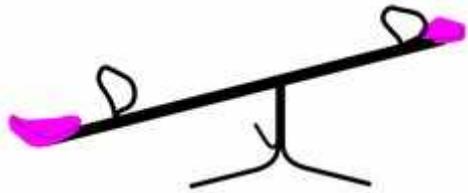
Ce réflexe pourrait avoir un effet de lissage qui permettrait de passer 'en souplesse' d'un niveau de contraction à un autre

3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.3-Réflexes vestibulaires

Réflexes vestibulo-oculaires (RVO):

→ permettent de garder le regard fixé sur une cible en dépit des mouvements de l'organisme



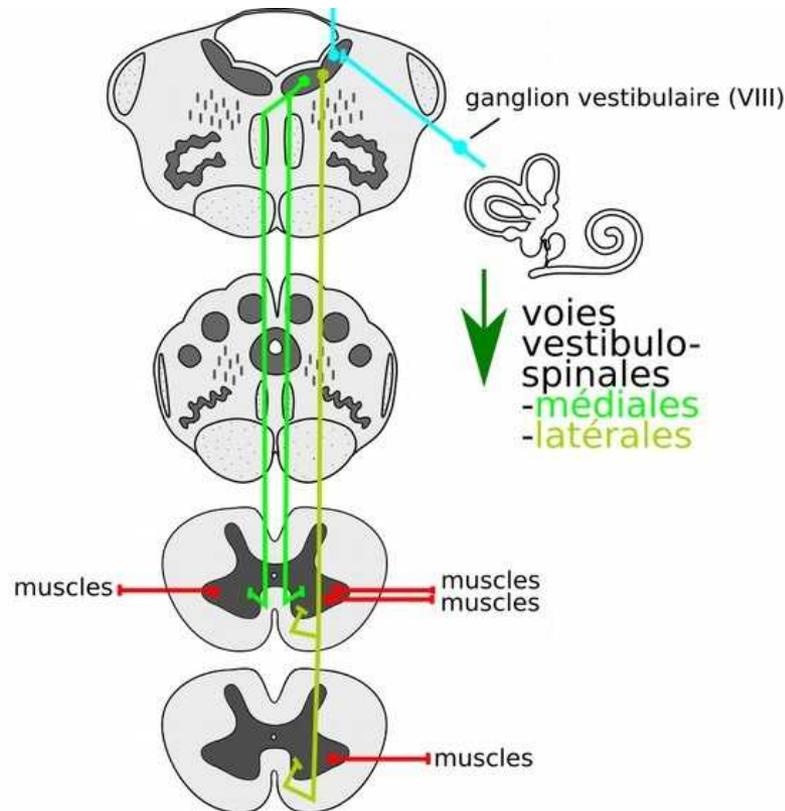
3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.3-Réflexes vestibulaires

Réflexes vestibulo-cervicaux (RVC) Réflexes vestibulo-spinaux (RVS)

permettent de maintenir la posture (et le tonus musculaire) en dépit de perturbations

contrôlent la position de la tête via une action réflexe sur les muscles de la nuque



contrôlent la position du corps via une action réflexe sur les muscles du corps

3-Systèmes sensoriels et contrôle postural

3.4-Remarque: évolution du squelette et équilibre

Membres en position transversale

→ stabilité

→ poids

Membres en position parasagittale

→ légèreté

→ équilibre précaire ← rétrocontrôle nerveux

4-La locomotion

4.1-Définition

Qu'est-ce que la locomotion?

→ activité motrice qui assure le déplacement d'un organisme dans son environnement

→ la locomotion ne se réalise pas pour elle-même; elle s'inclut dans d'autres comportements:

- recherche de nourriture

- fuite devant un prédateur

- recherche d'un partenaire reproducteur

4-La locomotion

4.2-Différents types de locomotion

La locomotion comprend des formes d'activités motrices variées:



Jeff Kubina, CC BY-SA 2.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>>, via Wikimedia Commons

-nage



Daniel Vianna Mr.Rocks, CC BY-SA 3.0 <<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

-vol



Bhaskaranaidu, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

-marche et course quadrupèdes



Daderot, CC0, via Wikimedia Commons

-marche et course bipèdes



Keven Law from Los Angeles, USA, CC BY-SA 2.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>>, via Wikimedia Commons

-saut



Troy B Thompson, CC BY 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>>, via Wikimedia Commons

-brachiation



Peter Paplanus from St. Louis, Missouri, CC BY 2.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>>, via Wikimedia Commons

-reptation

4-La locomotion

4.3-Aspect biomécanique

4.3.1-Mouvements des membres

Lors de la locomotion:

- les membres effectuent des mouvements alternatifs
 - ces mouvements alternatifs sont transformés en mouvements continus

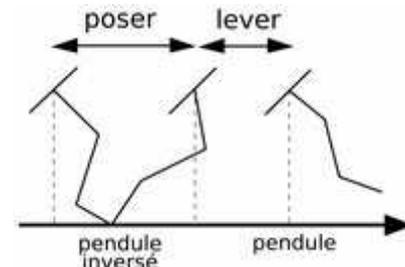
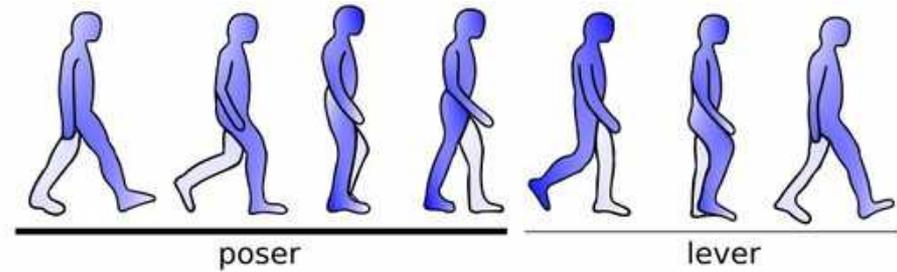
4-La locomotion

4.3-Aspect biomécanique

4.3.1-Mouvements des membres

Chaque membre effectue deux actions:

- cycle de base
- poser
 - phase d'amortissement
 - phase de propulsion
 - lever
 - phase d'escamotage
 - phase d'extension



4-La locomotion

4.3-Aspect biomécanique

4.3.1-Mouvements des membres

Les articulations du membre s'ouvrent et se ferment de façon coordonnée

Selon la façon dont les membres se coordonnent au cours de la locomotion, on observe différentes allures:

→ quadrupèdes:

-pas

-trot

-amble

-galop

→ bipèdes:

-marche

-course



Étienne-Jules Marey, Public domain, via Wikimedia Commons

Chronophotographie de Etienne-Jules Marey (1830-1904)



See page for author, CC BY 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons

→ coordination intra-appendiculaire → coordination inter-appendiculaire

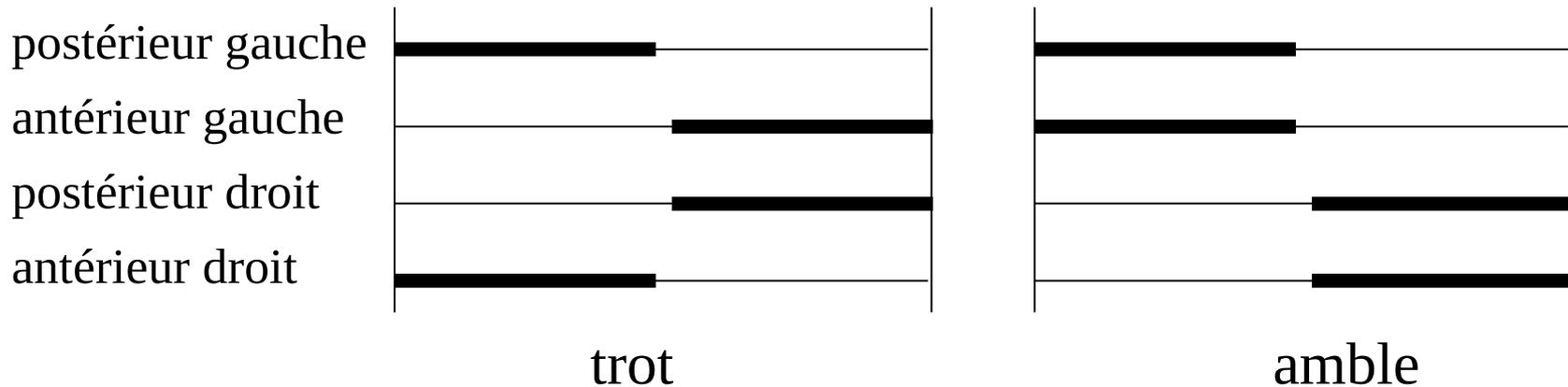
4-La locomotion

4.3-Aspect biomécanique

4.3.1-Mouvements des membres

Une allure peut se représenter sous forme d'un diagramme d'allure qui montre les coordinations inter-appendiculaires

diagramme d'allure (quadrupède)



4-La locomotion

4.3-Aspect biomécanique

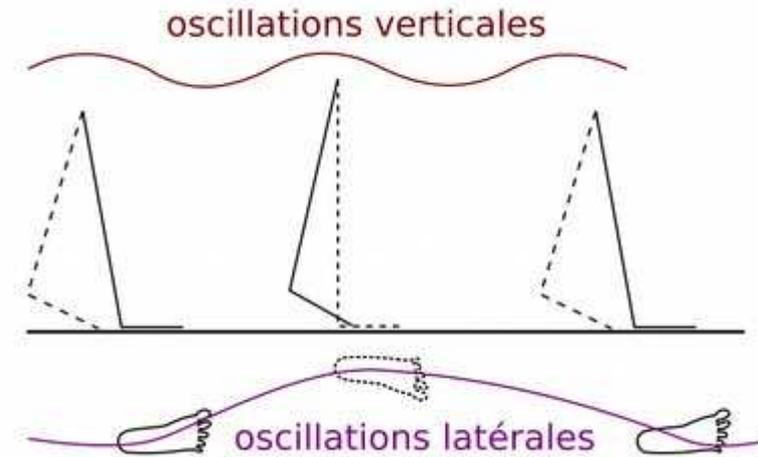
4.3.2-Mouvement du corps et de la tête

→ Durant la locomotion, le corps bouge:

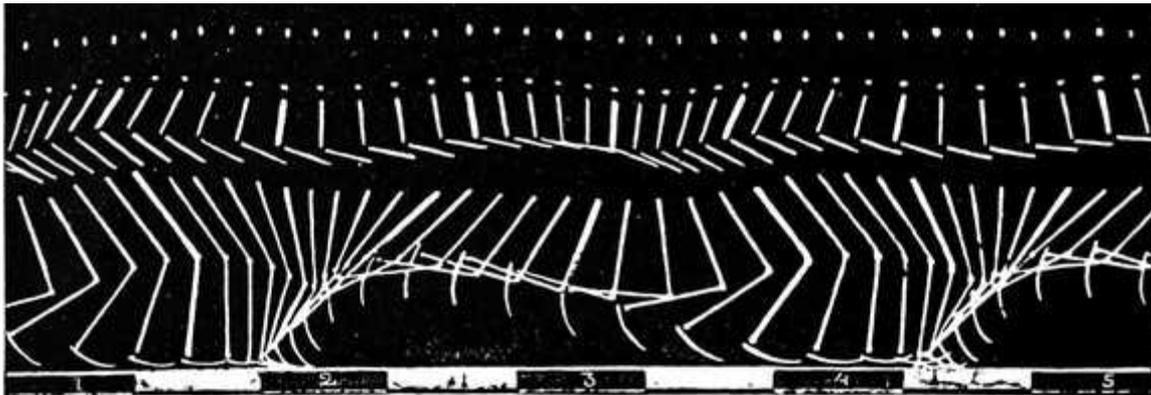
-verticalement (oscillation verticales)

-d'un côté à l'autre (oscillations latérales)

-autour de son axe de symétrie (rotations axiales)



→ Durant la locomotion , la tête est relativement stabilisée



Étienne-Jules Marey, Public domain, via Wikimedia Commons

4-La locomotion

4.4-Détérioration de la locomotion

→vieillesissement

→perte visuelle

4-La locomotion

4.5-La locomotion: une activité automatique

La locomotion nécessite:

- mouvements articulaires précis pour chaque membre
- coordination entre les membres
- coordination entre les membres et les autres parties du corps

→complexité

Cependant, la locomotion est une activité rythmique:
les mouvements faits sont toujours les mêmes (sur sol lisse)

4-La locomotion

4.5-La locomotion: une activité automatique

La solution du système nerveux consiste:

-à déléguer l'aspect rythmique à la moelle épinière

→réseaux de neurones qui coordonnent l'activité rythmique, il s'agit des CPG ou Central Pattern Generator ou centres générateurs de marche

-à conférer à l'encéphale:

-le contrôle du déclenchement et de l'arrêt de la locomotion

-l'adaptation de l'activité locomotrice en fonction de l'environnement, pente, obstacle....

4-La locomotion

4.5-La locomotion: une activité automatique

Les muscles impliqués:

-dans la locomotion

ex: marche

-dans un mouvement volontaire

ex: frapper dans un ballon

} sont les mêmes

Ce qui est différent, c'est la commande nerveuse, mais la sortie est la même

4-La locomotion

4.5-La locomotion: une activité automatique

En résumé:

-nous faisons des gestes avec notre tête

-nous ne marchons pas avec notre tête!