

# Locomotion et Activités Physiques

## Contrôle du mouvement

# L'agenda / Plan

HORAIRE 1<sup>ère</sup> année 2025-2026

SEMAINE 23



	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	23.03.2026		24.03.2026		25.03.2026		26.03.2026		27.03.2026	
08h15-09h00					Chimie organique 11 S. Matile / J. Viger-Gravel CMU/Champendal		Biomécanique et physiologie de la locomotion S. Armand CMU/Champendal		Chimie organique 12 S. Matile / J. Viger-Gravel CMU/Champendal	
09h15-10h00	Introduction à la locomotion S. Armand CMU/Champendal		Production du mouvement S. Armand CMU/Champendal							
10h15-11h00	Métabolisme des triglycérides P. Maechler CMU/Champendal		Physique 21 Physique nucléaire M. Kunz / C. Senatore CMU/Champendal		Contrôle du mouvement S. Armand CMU/Champendal		Cas de liaison Athérosclérose 8 F. Mach CMU/Champendal		Répétitoire immunité innée J. Bertrand / C. Jandus / C. Scheiermann / K. Egervari CMU/Champendal	
11h15-12h00					Biomécanique du membre inférieur S. Armand CMU/Champendal		MFE 5 : Catalogue PROFILES M. Bideau CMU/Champendal		Répétitoire immunité adaptative J. Villard / O. Hartley / S. Hugues CMU/Champendal	
12h15-13h00										

# Infos

- **Liens avec autres cours**

- Système nerveux – D. Jabaubon
  - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=3907>
- Muscles – S. Koenig
  - <https://moodle.unige.ch/course/view.php?id=3906>



- **Speakup**

<https://web.speakup.info/room/join/52126>



- **Quiz - Pingo**

[pingo.coactum.de](https://pingo.coactum.de) → 264448



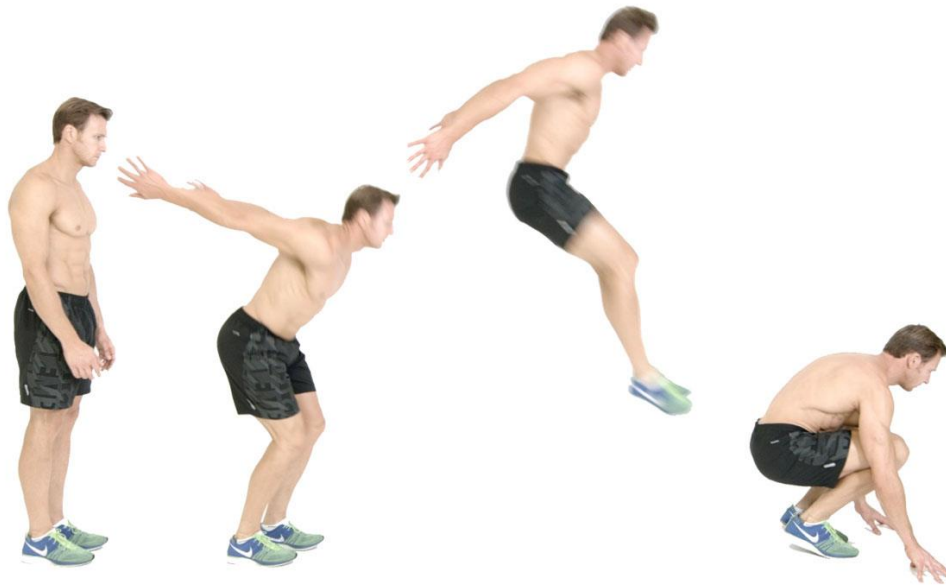
- **Rappels**

Notions déjà abordées dans un autre cours



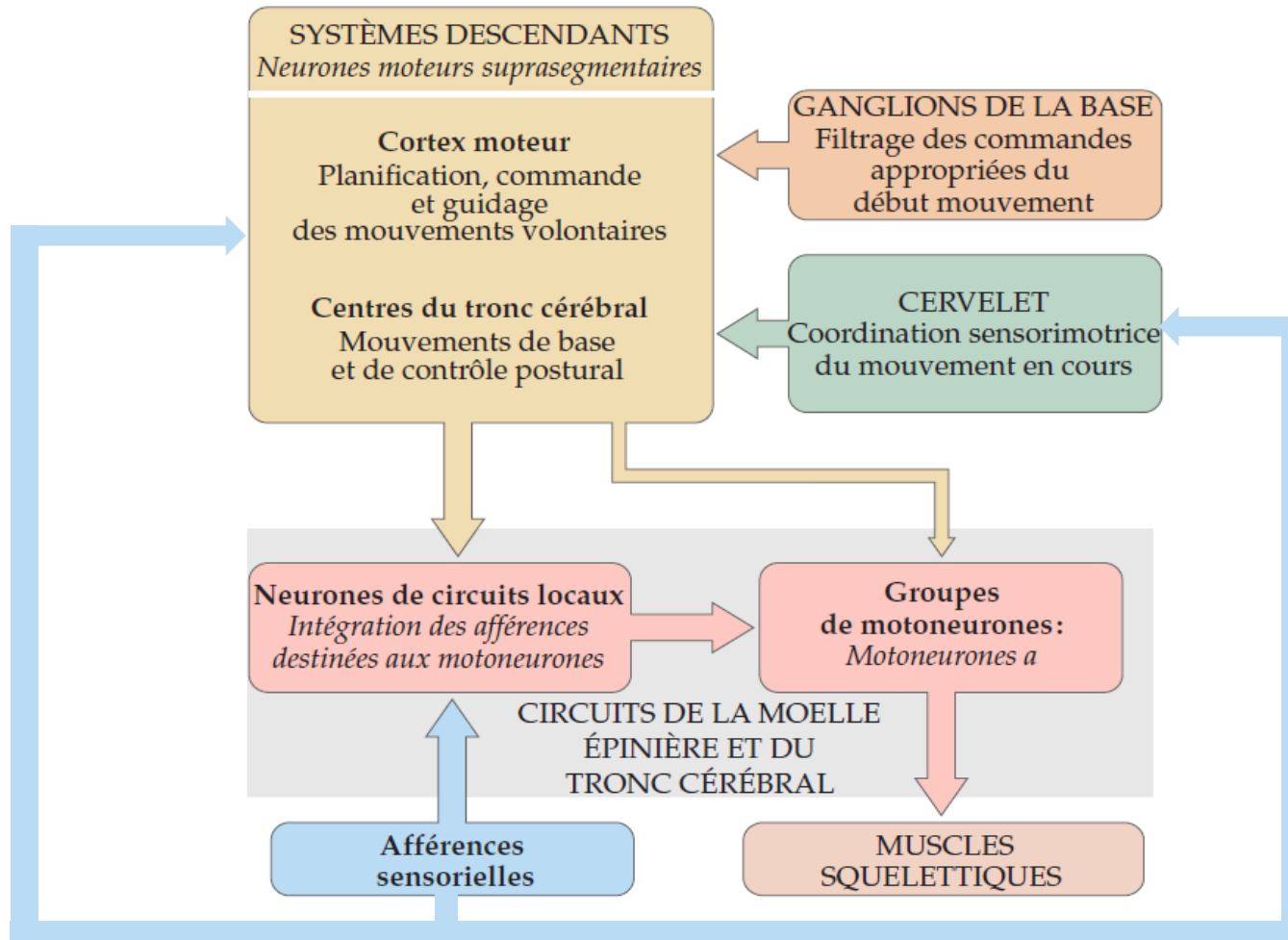
# Objectif

- Comprendre comment est contrôlé le mouvement humain et plus spécifiquement la locomotion



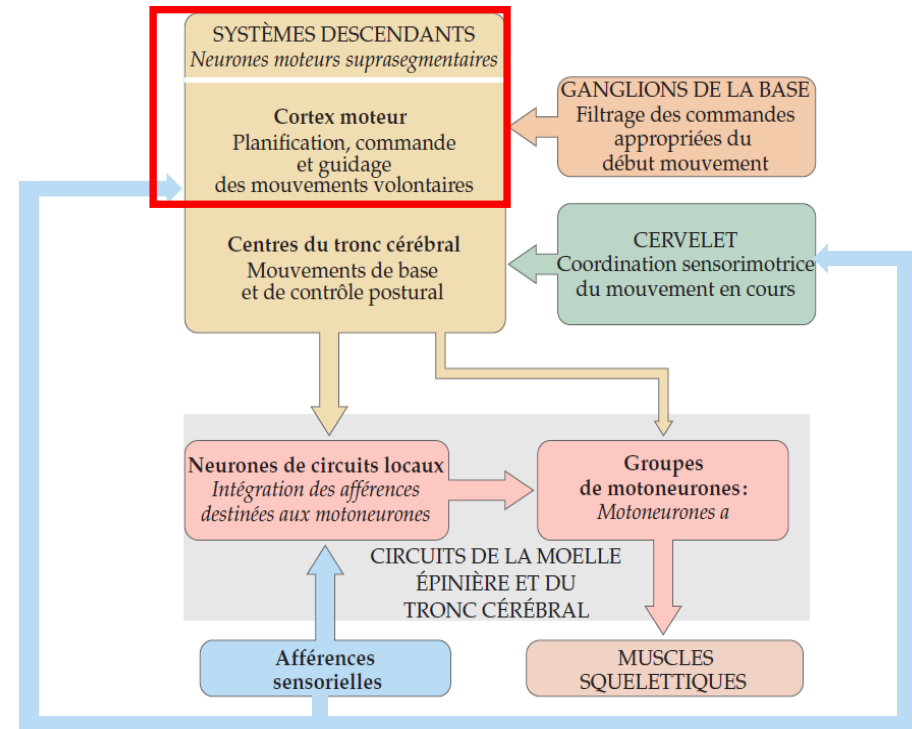
[Voluntary movement : construction of the commands](#)

# Organisation du contrôle moteur



# Plan

- Mouvement volontaire
  - Commande
    - Cortex moteur
    - Tractus corticospinal
  - Régulation
    - Ganglions de la base
    - Cervelet
- Mouvement involontaire
  - Automatique
    - Voies extrapyramidales
    - Générateurs centraux de rythme
  - Réflexes
- Afférences sensorielles
  - Vision
  - Vestibulaire
  - Intégration corticale

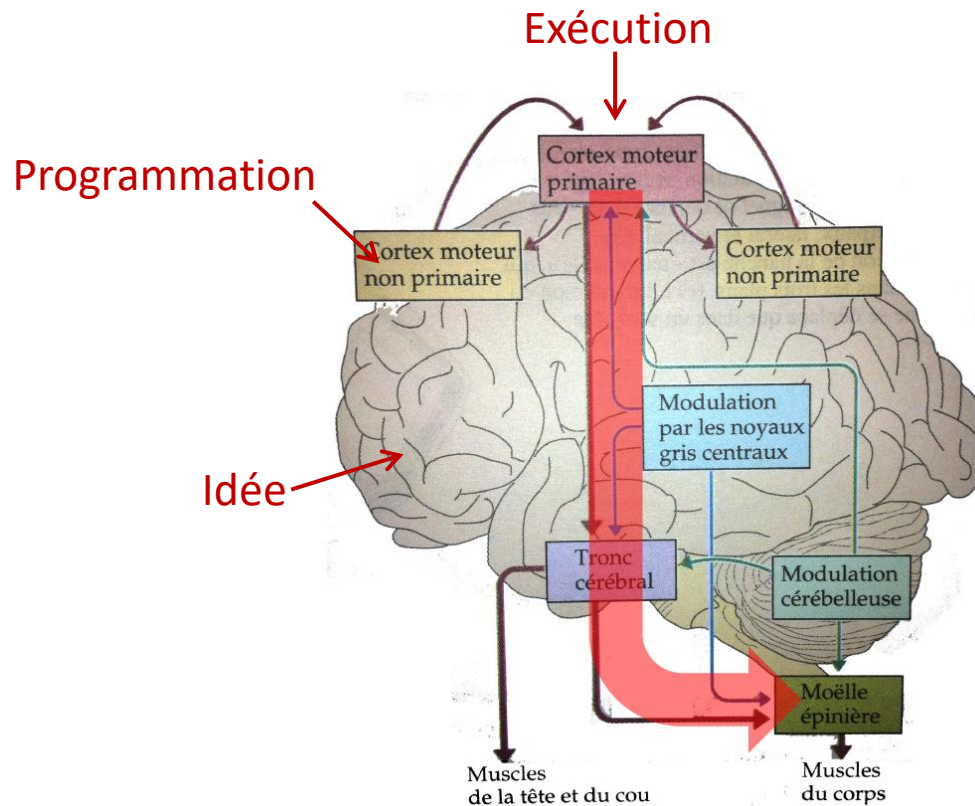


Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

# Mouvement volontaire

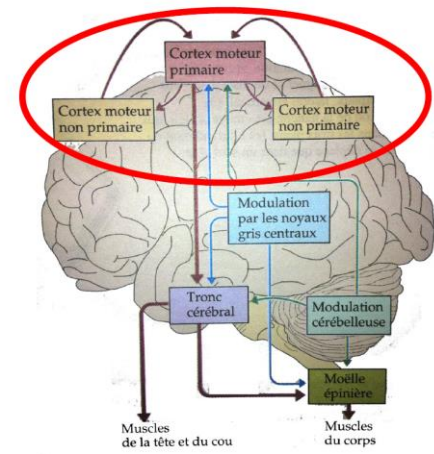
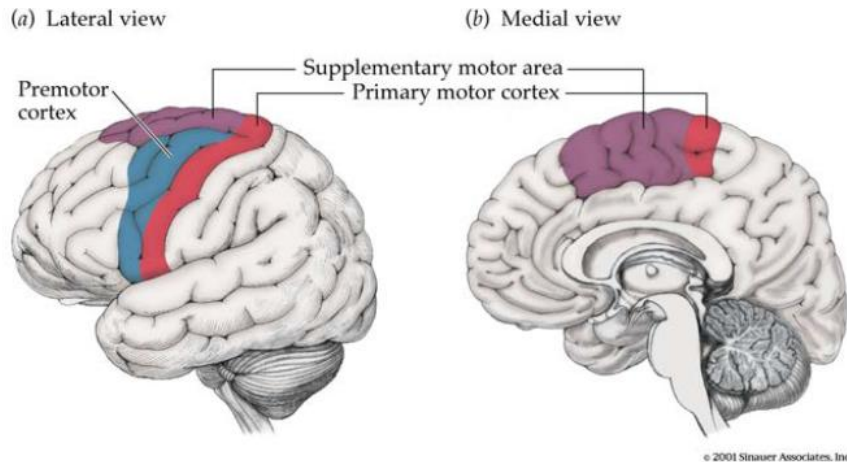
- Définition

- Mouvement qui nécessite la pleine conscience du sujet et dont l'attention est dirigée vers l'action



# Cortex moteur

- Participent à la planification, au contrôle et à l'exécution des mouvements volontaires des muscles du corps
- Comprend
  - Aire **motrice primaire** : Mouvements fins
  - Aire **prémotrice** : Préparation des mouvements
  - Aire **motrice supplémentaire** : Coordination mouvements complexes (ex: bimanuel)

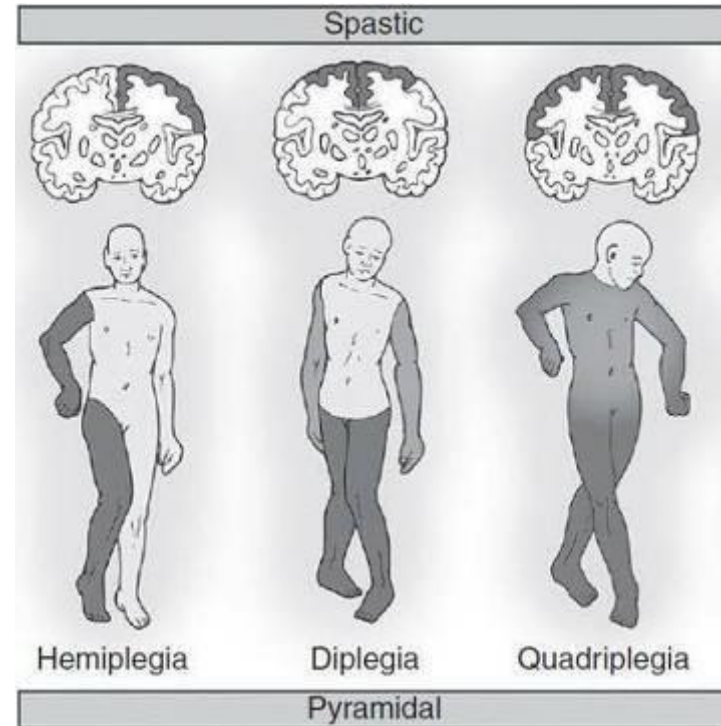
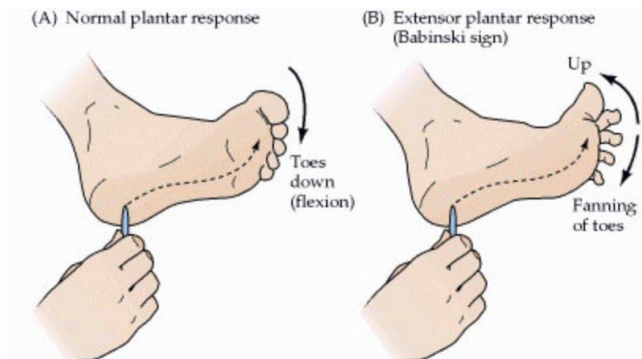






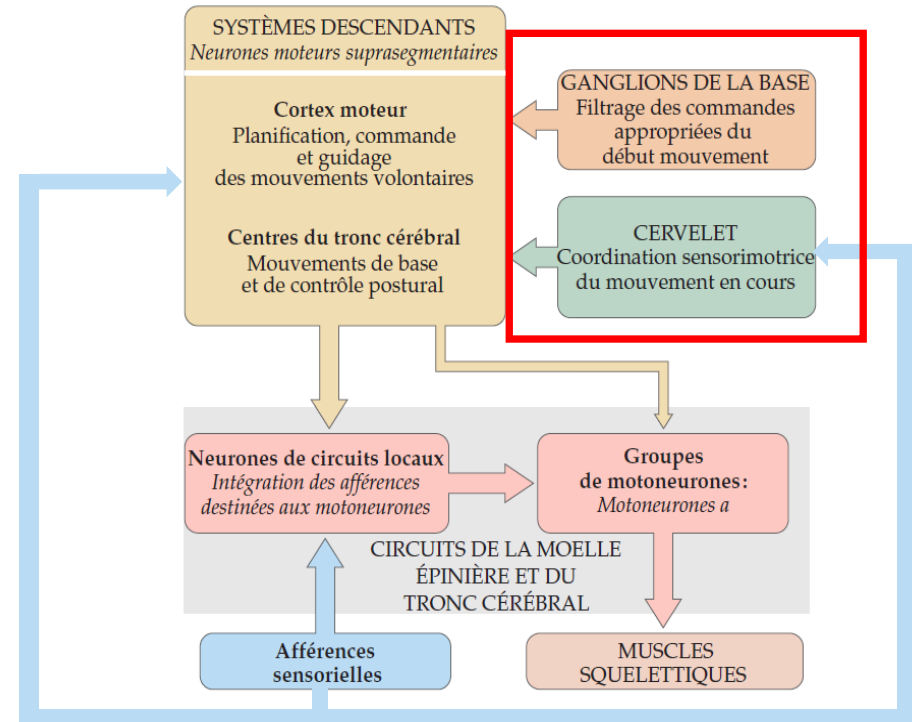
# Syndrome pyramidal

- Signes
  - Spasticité
  - Hyperréflexie
  - Signe de Babinski
  - Faiblesse
  - Perte des mouvements fins volontaires



# Plan

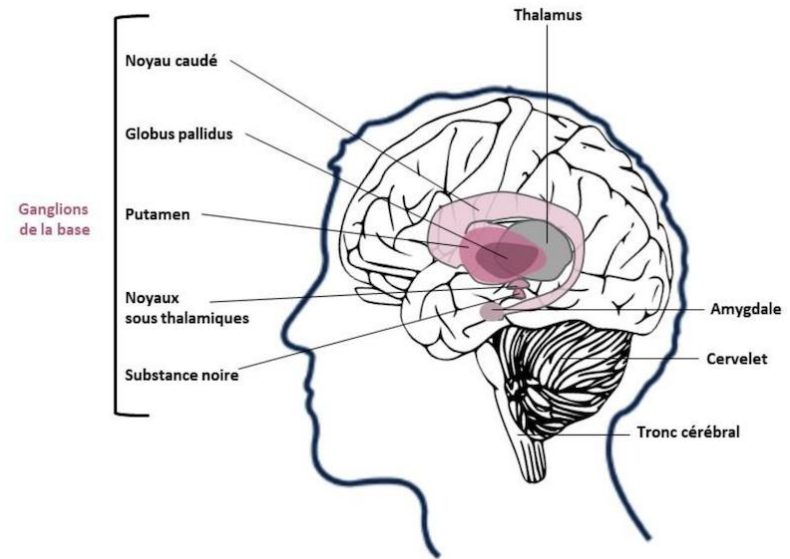
- Mouvement volontaire
  - Commande
    - Cortex moteur
    - Tractus corticospinal
  - Régulation
    - Ganglions de la base
    - Cervelet
- Mouvement involontaire
  - Automatique
    - Voies extrapyramidales
    - Générateurs centraux de rythme
  - Réflexes
- Afférences sensorielles
  - Vision
  - Vestibulaire
  - Intégration corticale



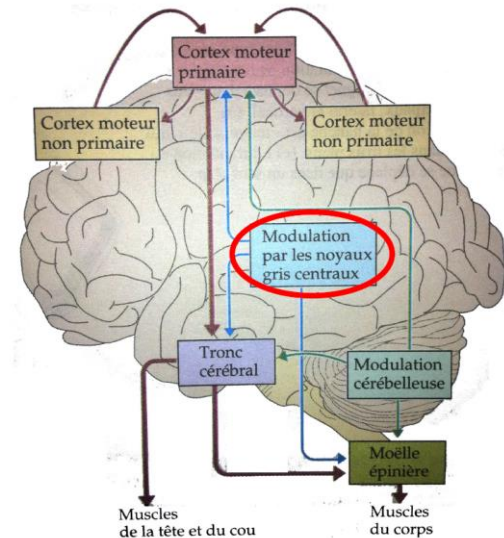
Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

# Ganglions de la base

- Ensemble de noyaux enfouis dans les hémisphères cérébraux
- Aussi appelés : noyaux gris centraux, noyaux sous-corticaux
- Constitués de
  - Striatum = noyau caudé + putamen
  - Pallidum = globus pallidus
  - Substance noire (dopamine)
  - Noyaux sous-thalamiques
- Fonction
  - Démarrage des mouvements désirés (voie directe)
  - Inhibition des mouvements non désirés (voie indirecte)



<https://institutducerveau-icm.org/fr/paralysie-sunranucleaire-progressive/causes/>

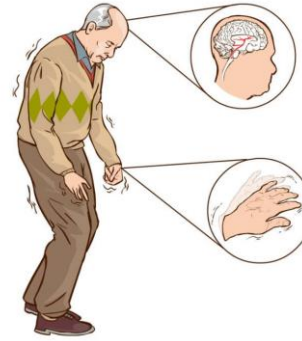




# Syndromes extrapyramidaux

- Maladie de Parkinson

- Dégénérescence des circuits dopaminergiques présents dans la substance noire et le striatum
- Triade de symptômes
  - Tremblement de repos
  - Hypertonie / rigidité
  - Bradykinésie/ Akinésie : mouvement lents ou absence de mouvement



<https://parkinson-matras.nl/hulpmiddelen-bij-parkinson/>



<https://www.youtube.com/watch?v=WYidVAtMMdY>

- Maladie de Huntington

- Dégénérescence des neurones du striatum
- Symptômes
  - Troubles moteurs
    - Chorée, puis bradykinésie progressive
    - Trouble de l'équilibre
  - Troubles cognitifs
  - Troubles psychiatriques



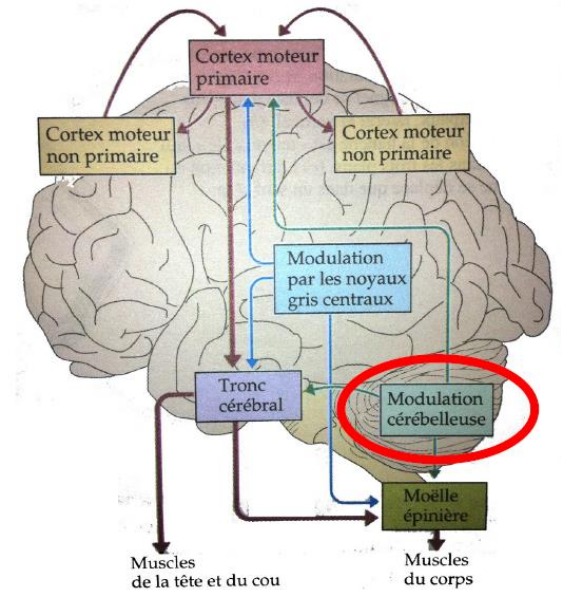


# Cervelet

- Fonction principale :
  - **Coordination et synchronisation des gestes** → pilote automatique
- Fonctions secondaires :
  - Planification/Anticipation du mouvement
  - Comparaison du mouvement réalisé et du mouvement planifié
  - Intégration des informations venant des récepteurs du mouvement
  - Intervient dans les fonctions d'apprentissage



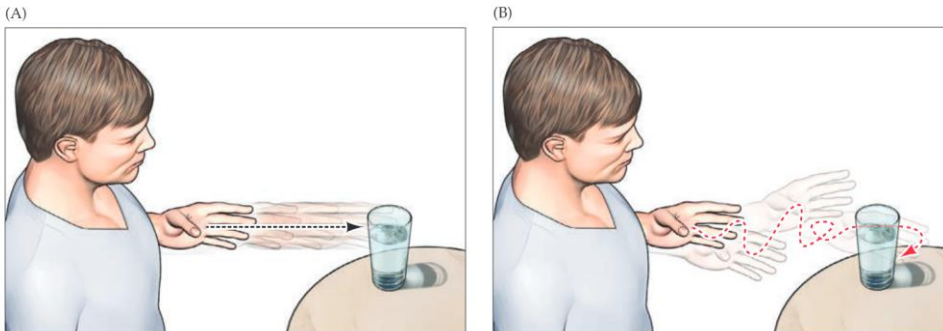
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cerebellum.gif?uselang=fr>





# Cervelet

- Atteinte cérébelleuse
  - Tremblement d'intention ou ataxie
  - Posture instable
  - Démarche ébrieuse
  - Difficulté d'apprentissage de nouvelles tâches motrices



<https://www.youtube.com/watch?v=w45eritT8V4>

# Plan

- Mouvement volontaire

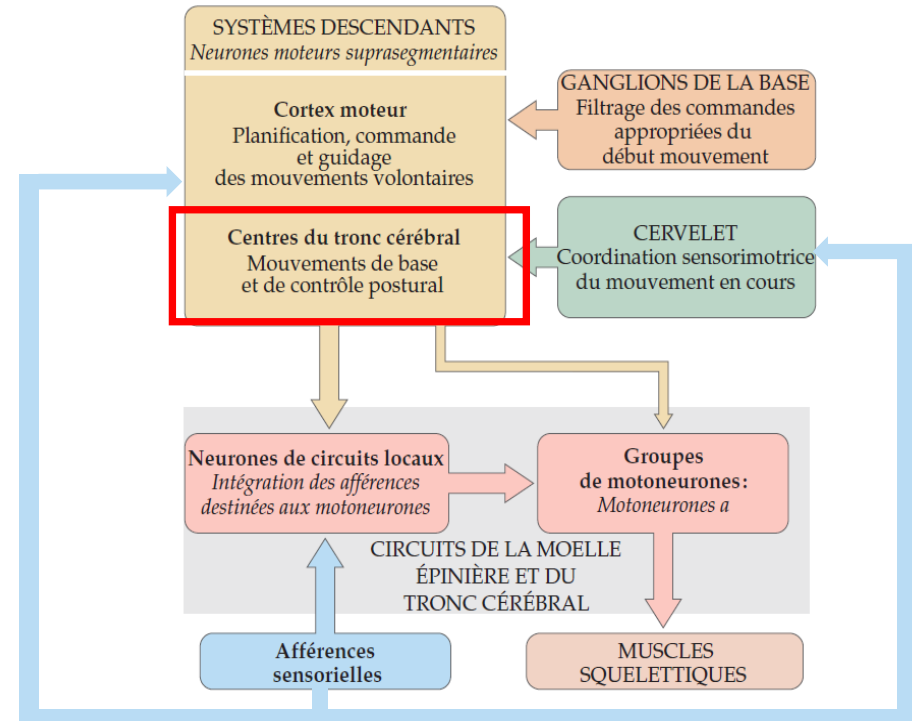
- Commande
  - Cortex moteur
  - Tractus corticospinal
- Régulation
  - Ganglions de la base
  - Cervelet

- Mouvement involontaire

- Automatique
  - Voies extrapyramidales
  - Générateurs centraux de rythme
- Réflexes

- Afférences sensorielles

- Vision
- Vestibulaire
- Intégration corticale



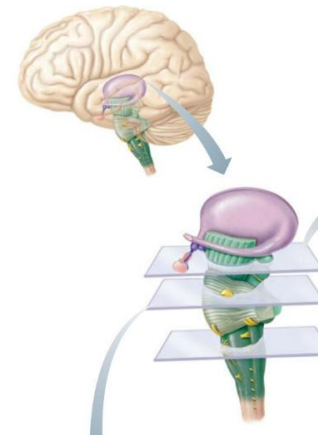
Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

# Mouvement involontaire

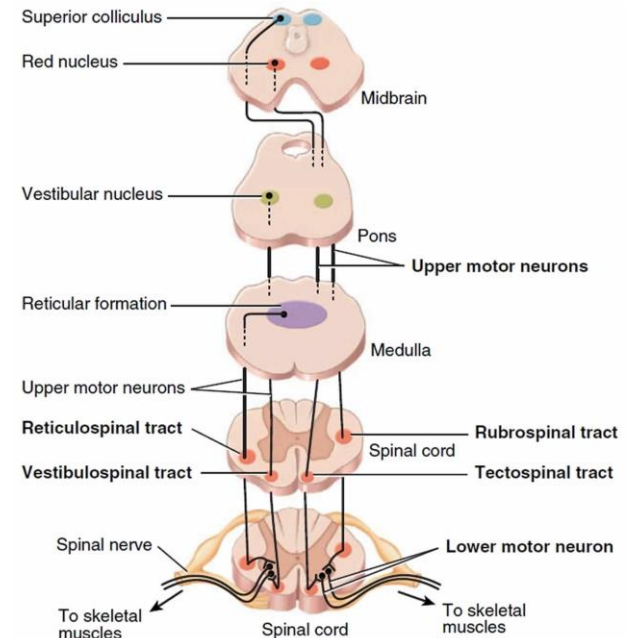
- Définition
  - Mouvement réalisé sans en avoir conscience de manière automatique ou réflexe
- Fonction
  - Contrôle de la posture
  - Activité rythmique (marche)
  - Réaction rapide

# Voies extrapyramidales

- **Voie vestibulospinale**
  - Noyaux vestibulaires
  - Équilibre, contrôle postural **rétroactif**
- **Voie reticulospinale**
  - Formation réticulée
  - Rôle sur le contrôle **proactif** de la posture (anticipation), action sur les muscles antigravitaires, régulation tonus musculaire
- **Voie rubrospinale**
  - Noyau rouge
  - Action sur muscles des bras
- **Voie tectospinale**
  - Colliculus supérieur
  - Coordination mouvement tête / yeux

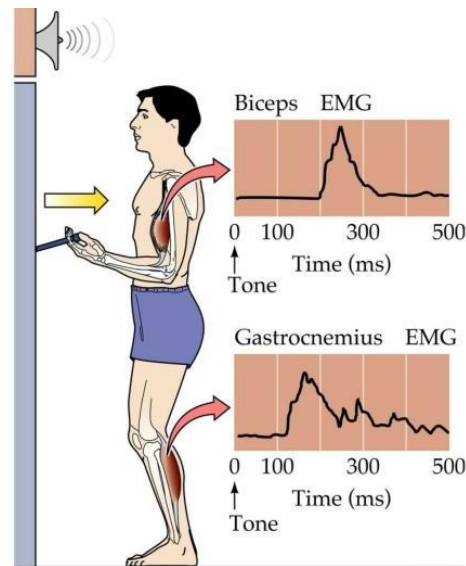


Anatomie et physiologie humaines, Elaine Marieb, Katja Hoehn, 2019



# Ajustements posturaux anticipés

- Définition : mouvements qui précèdent une tâche motrice et qui placent le corps dans une position favorable à l'exécution de la tâche
- Principalement par la voie **reticulospinale**



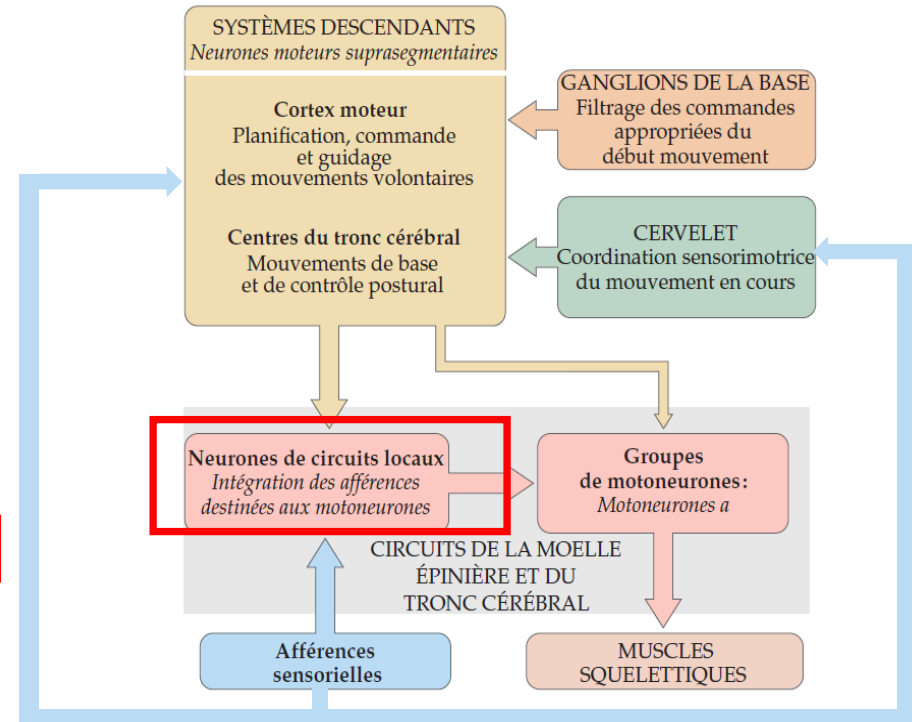
# Ajustements posturaux réactionnels

- Définition : Mécanisme de correction posturale intervenant pour maintenir la stabilité
- Principalement par la voie **vestibulospinale**



# Plan

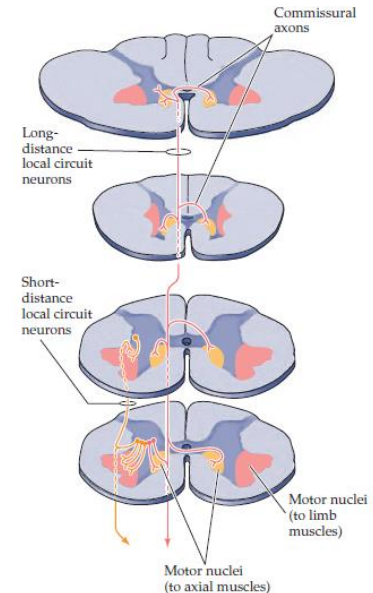
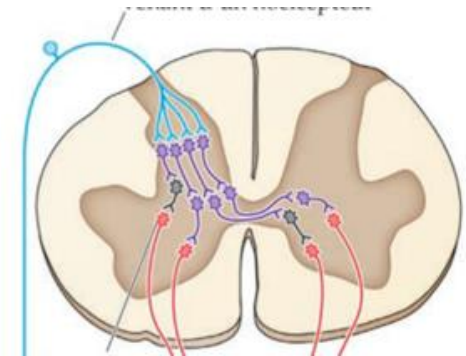
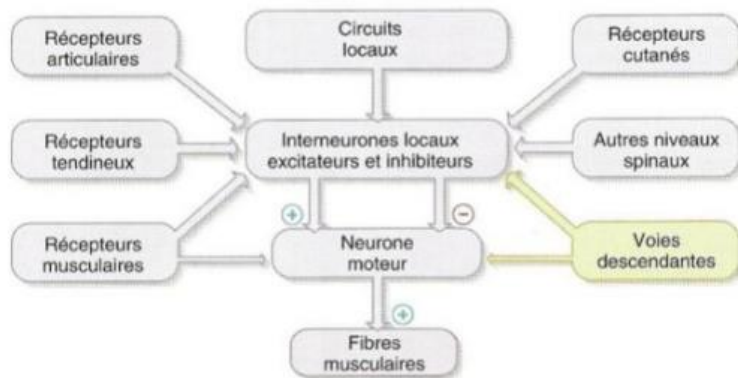
- Mouvement volontaire
  - Commande
    - Cortex moteur
    - Tractus corticospinal
  - Régulation
    - Ganglions de la base
    - Cervelet
- Mouvement involontaire
  - Automatique
    - Voies extrapyramidales
    - Générateurs centraux de rythme
  - Réflexes
- Afférences sensorielles
  - Vision
  - Vestibulaire
  - Intégration corticale



Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

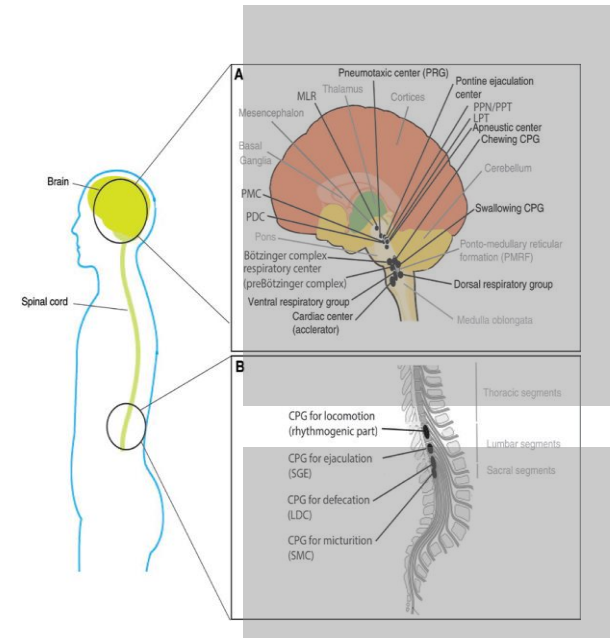
# Interneurones

- Neurones entre les neurones des voies descendantes et des neurones moteurs
- Représentent environ 90% des neurones de la moelle épinière
- Rôle d'interrupteurs qui déclenchent ou empêchent un mouvement



# Générateurs centraux de rythme

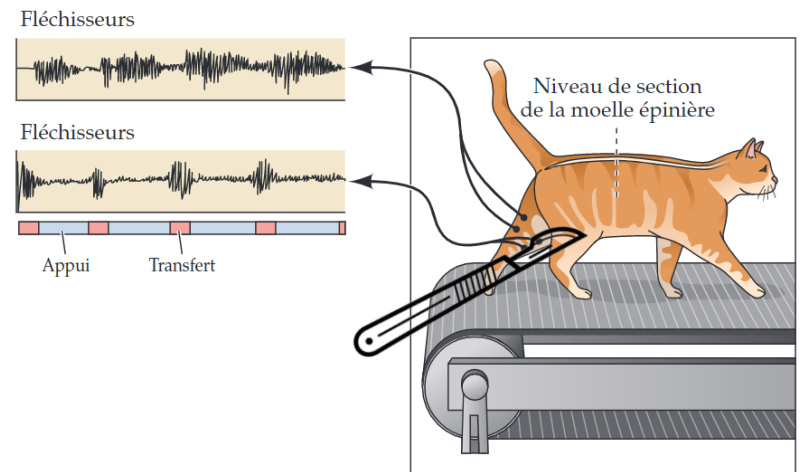
- *Central pattern generator (CPG)*
- Circuits locaux dans la moelle épinière
- Fonctions: contrôler la chronologie et la coordination de l'activité motrice (notamment les activités cycliques comme la locomotion)



Steuer, I., and P. A. Guertin. "Central Pattern Generators in the Brainstem and Spinal Cord: An Overview of Basic Principles, Similarities and Differences." *Rev Neurosci* 30, no. 2 (Jan 28 2019): 107-64. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2017-0102>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30543520>

# CPG - historique

- Sherrington (1910) montre qu'un chat décérébré (section de la moelle) pouvait marcher
  - Brown (1911) montre qu'un chat décérébré et désafférenté (section des racines dorsales) pouvait marcher
- ➔ Activation alternée des muscles agonistes et antagonistes pouvait survenir sans efférences corticales et sans afférences sensibles
- ➔ Existence de réseaux de neurones spinaux capables de produire une activité musculaire alternée entre les muscles agonistes et antagonistes de manière autonome

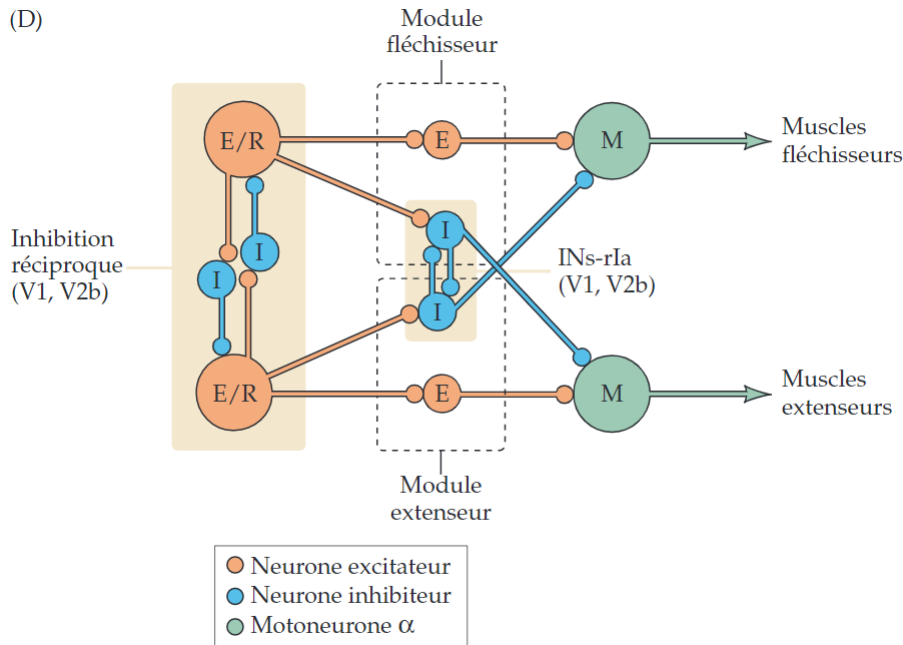


Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

Sherrington, C. S., (1910), Flexion-reflex of the limb, crossed extension-reflex, and reflex stepping and standing. *The Journal of Physiology*, 40 doi: 10.1113/jphysiol.1910.sp001362.

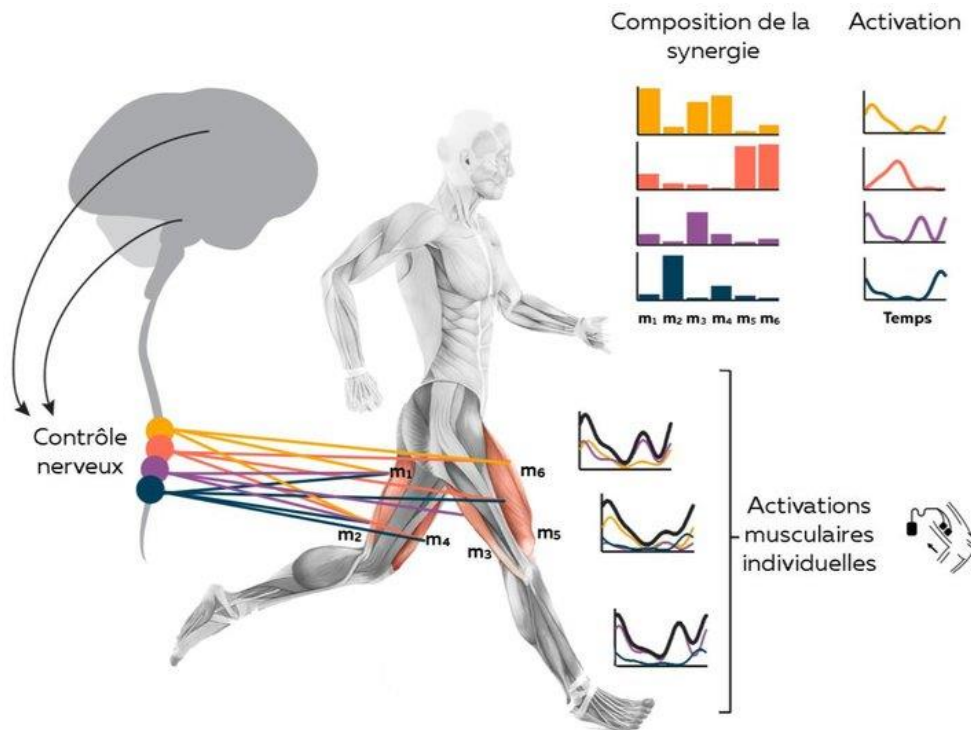
# CPG – chez l'Homme

- Forte probabilité d'existence de CPG
- Notion de synergie musculaire à la locomotion
- CPG pas suffisant pour la marche humaine
- Intervention des centres nerveux centraux supérieurs est donc indispensable à la marche humaine



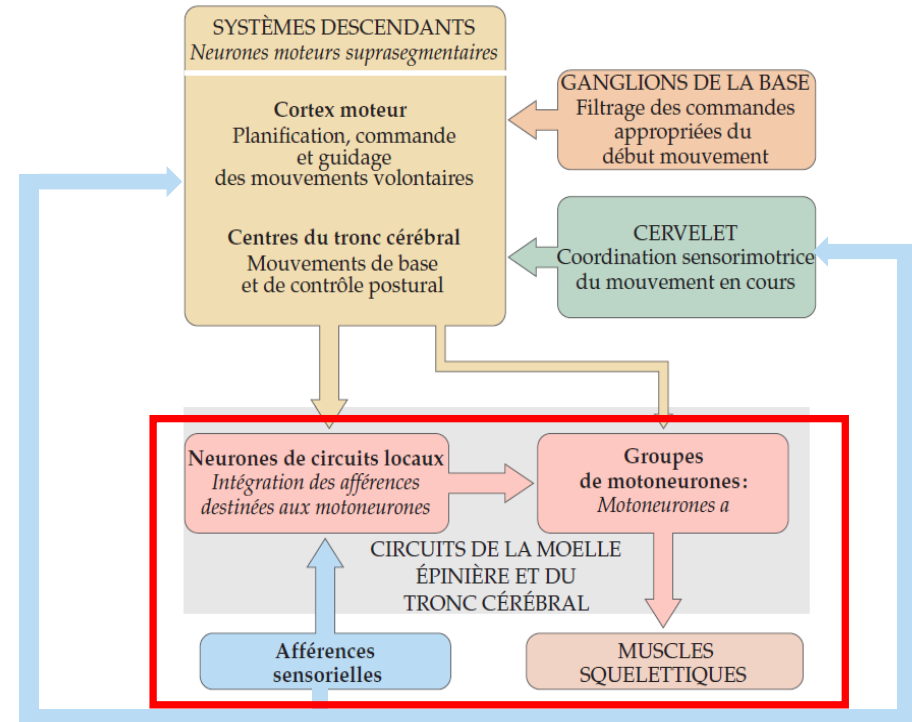
# Synergies musculaires

- Contrôle simultanée de plusieurs muscles par une même commande
  - Réduction de la complexité du contrôle
- Mouvements rythmiques contrôlés par CPG
- 4 à 6 synergies pour la marche



# Plan

- Mouvement volontaire
  - Commande
    - Cortex moteur
    - Tractus corticospinal
  - Régulation
    - Ganglions de la base
    - Cervelet
- Mouvement involontaire
  - Automatique
    - Voies extrapyramidales
    - Générateurs centraux de rythme
  - **Réflexes**
- Afférences sensorielles
  - Vision
  - Vestibulaire
  - Intégration corticale



Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

# Réflexes - Question



Quelles sont les réponses justes concernant la régulation de la contraction musculaire par les réflexes ?

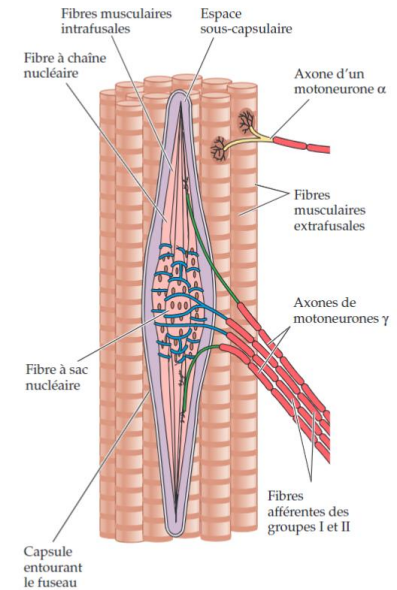
- A) Le fuseau neuromusculaire détecte les changements dans la longueur musculaire, tandis que l'organe tendineux de Golgi détecte les changements dans la tension musculaire
- B) Le réflexe d'étirement inhibe la contraction musculaire du muscle considéré
- C) Le réflexe tendineux inhibe le muscle antagoniste
- D) La co-activation des motoneurones  $\alpha$  et  $\gamma$  est nécessaire au bon fonctionnement du fuseau neuromusculaire
- E) Les voies descendantes peuvent moduler la sensibilité des fuseaux neuromusculaires en activant les motoneurones  $\gamma$



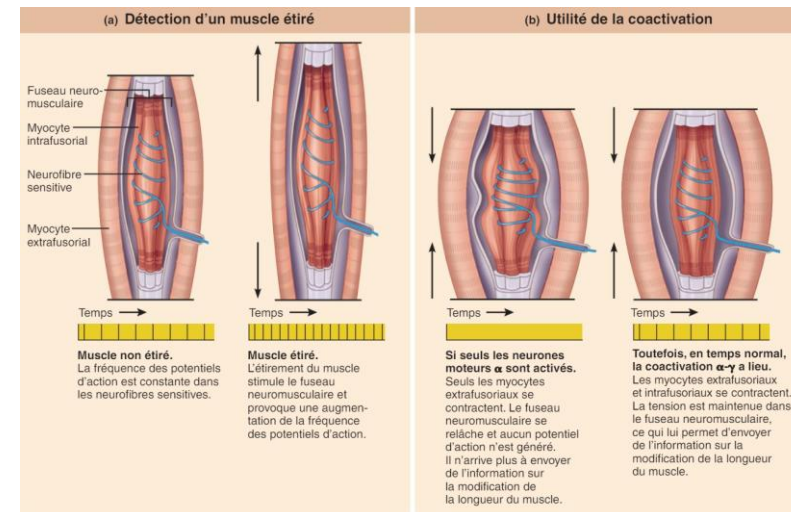


# Fuseau neuromusculaire

- Composé de 8 à 10 fibres **intrafusales**
- Disposés en parallèle avec les fibres extrafusales
- Fonction :
  - Fibres la détectent les **changements de longueur du muscle** (vitesse)
- Innervé par fibre  $\gamma$
- Nécessite **coactivation** des motoneurones  $\alpha$  et  $\gamma$  pour fonctionner
- Régulation de l'activité des motoneurones  $\gamma$  par les centres supérieurs selon activité



Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

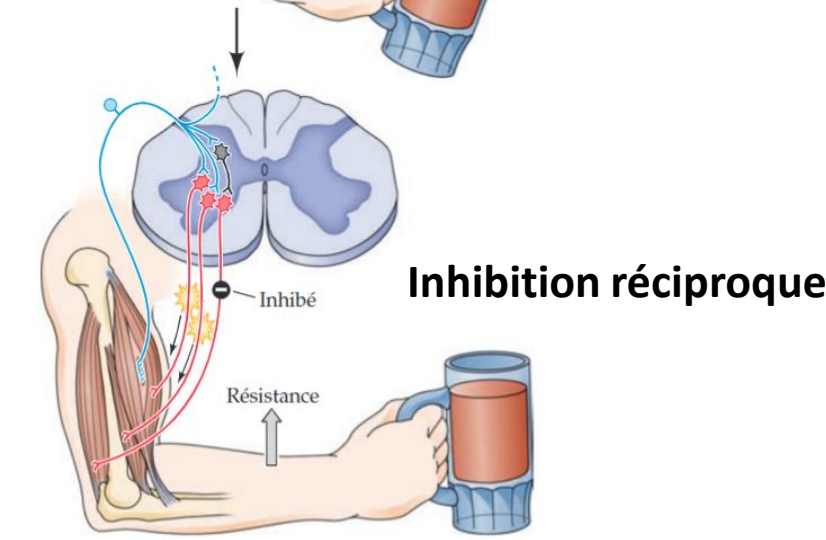
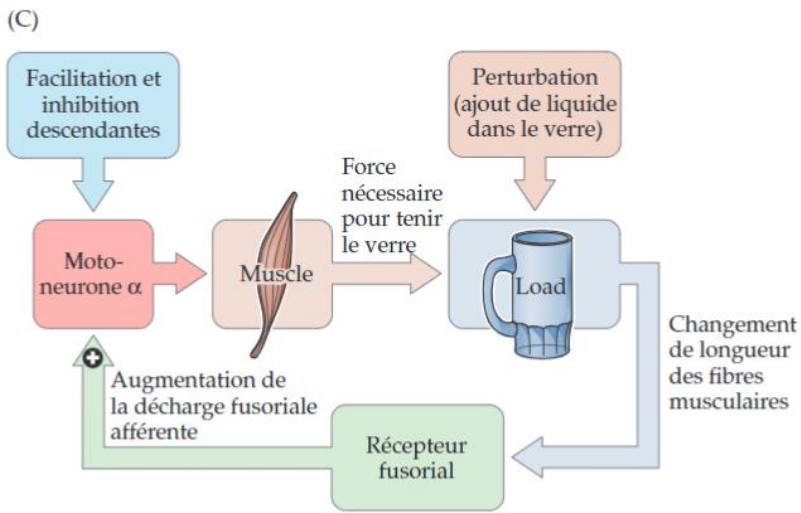
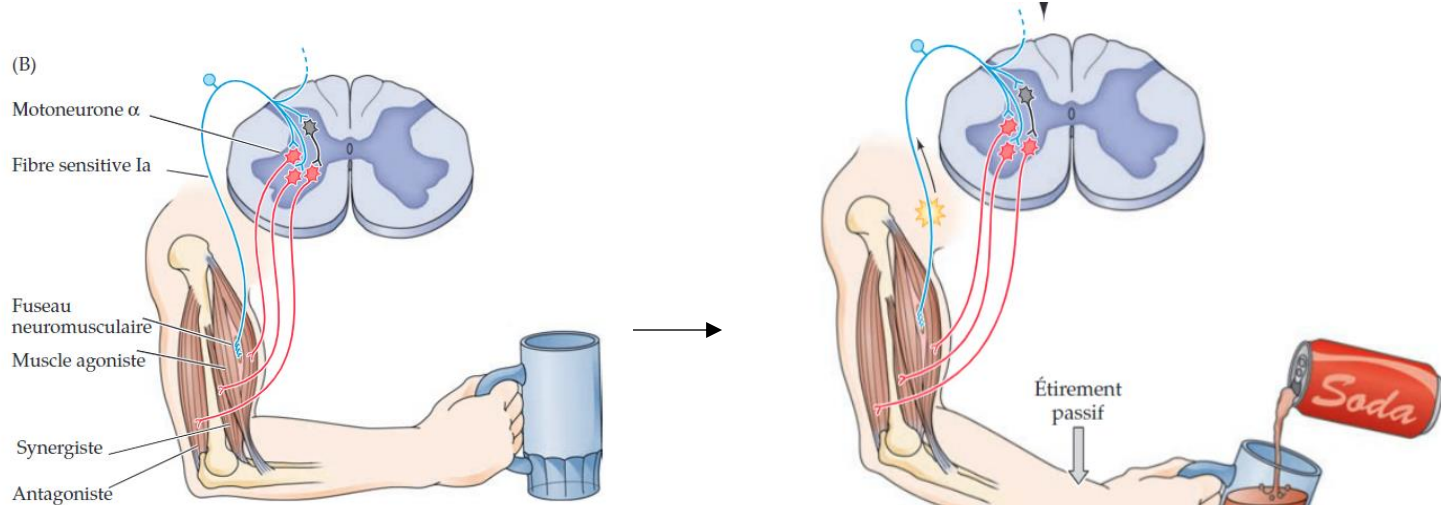


Anatomie et physiologie humaines, Elaine Marieb, Katja Hoehn, 2019





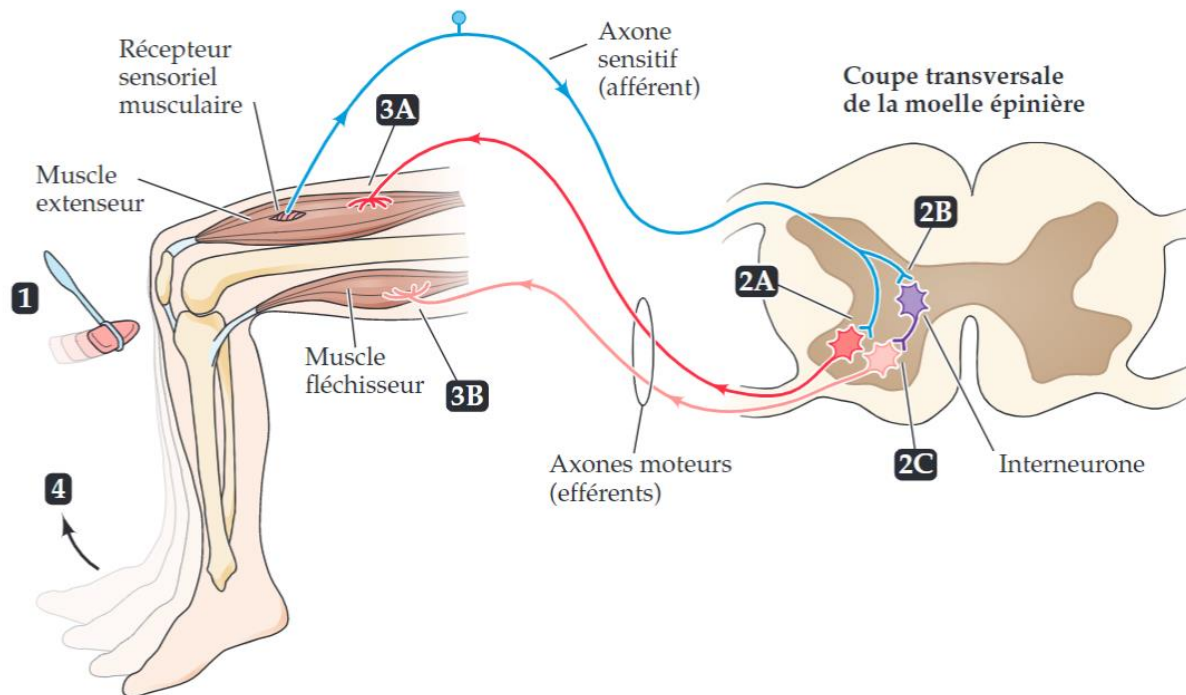
# Fuseau neuromusculaire





# Réflexe d'étirement

- Réflexe **monosynaptique**
- Synonyme : réflexe myotatique



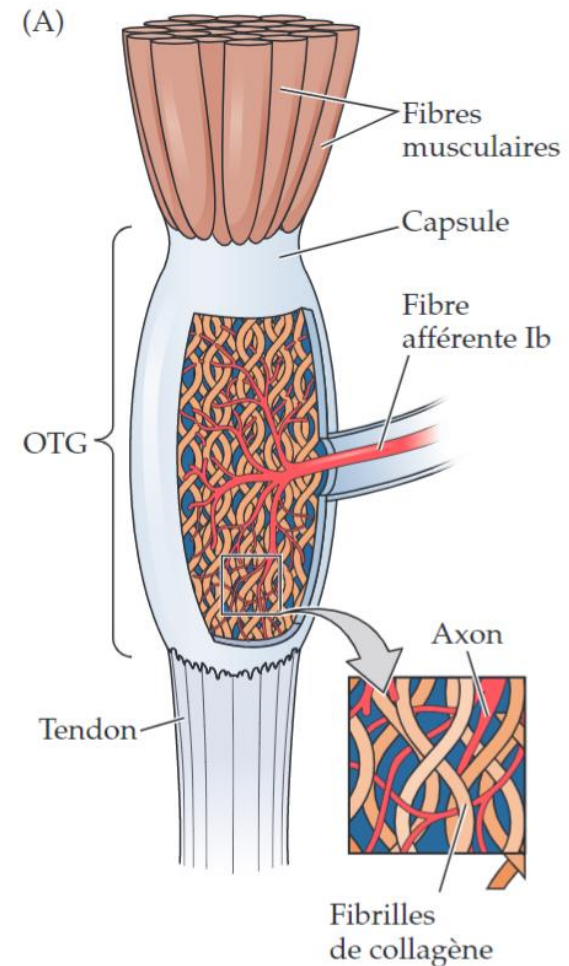
# Tonus musculaire

- Définition : niveau de tension d'un muscle au repos
- Fonction :
  - permet aux muscles de répondre le mieux possible aux commandes volontaires ou réflexes
  - garder le maintien de la posture debout
- Contrôle : niveau de décharge des motoneurones  $\alpha$



# Organe tendineux de Golgi

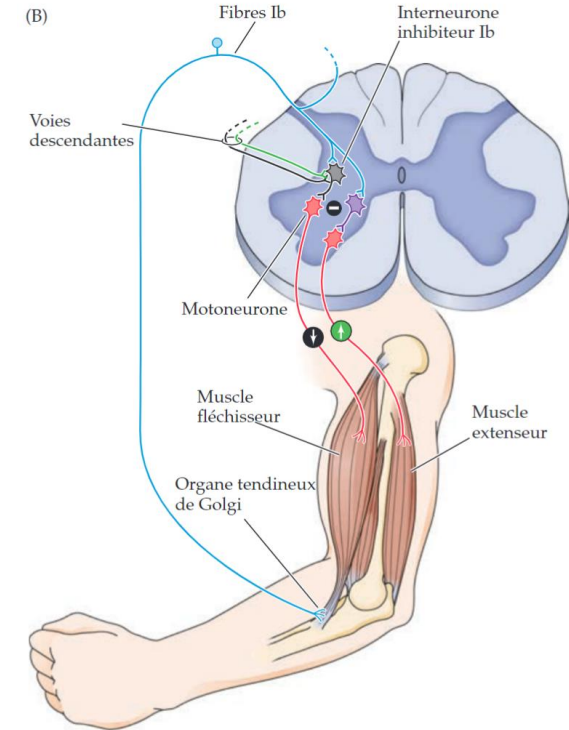
- OTG situé à la jonction entre muscle et tendon
- Disposés en série avec les fibres extrafusales
- Fonction :
  - **Protection** (empêche les muscles de développer des tensions excessives)
  - **Maintien** du niveau de **force**



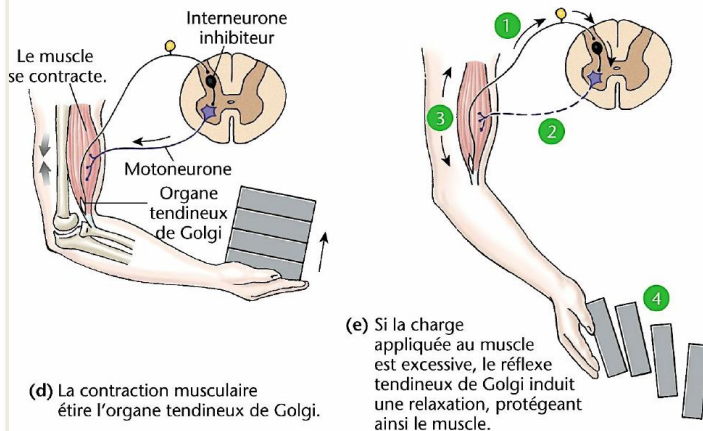


# Réflexe tendineux

- Fibres Ib issues de OTG s'articulent avec des interneurons inhibiteurs
- Réduisent l'activité du motoneurone  $\alpha$  innervant le muscle **agoniste**
- **Activent** le motoneurone  $\alpha$  innervant des muscles **antagonistes**
- Interneurones reçoivent aussi des informations d'autres fibres sensibles et des voies descendantes



Le réflexe tendineux de Golgi protège le muscle d'une charge trop lourde, en induisant sa relaxation et la chute de la charge.



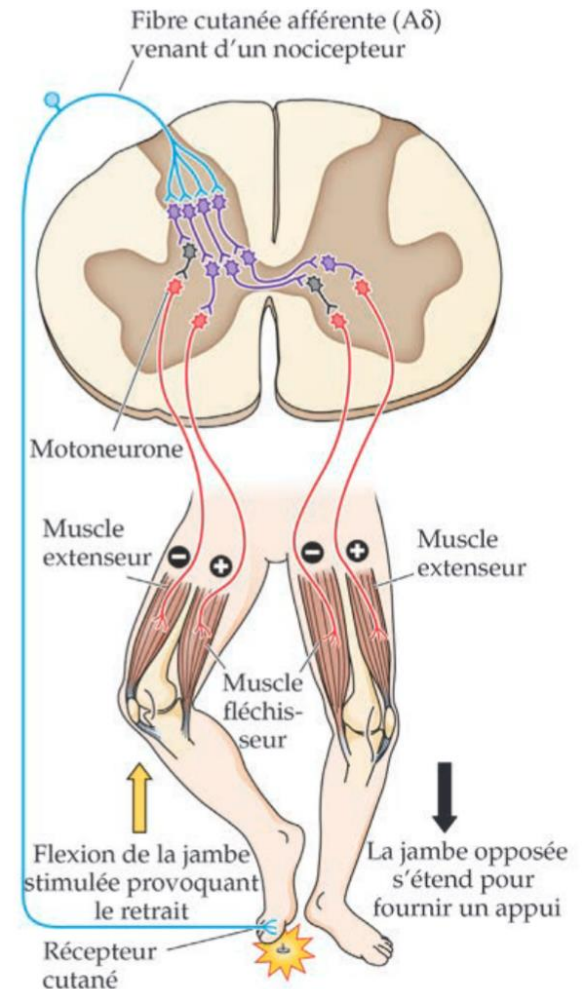
(d) La contraction musculaire étire l'organe tendineux de Golgi.

(e) Si la charge appliquée au muscle est excessive, le réflexe tendineux de Golgi induit une relaxation, protégeant ainsi le muscle.

- 1 Le neurone de l'organe tendineux de Golgi est actif.
- 2 Le motoneurone est inhibé.
- 3 Le muscle se relâche.
- 4 La charge tombe.

# Autres réflexes

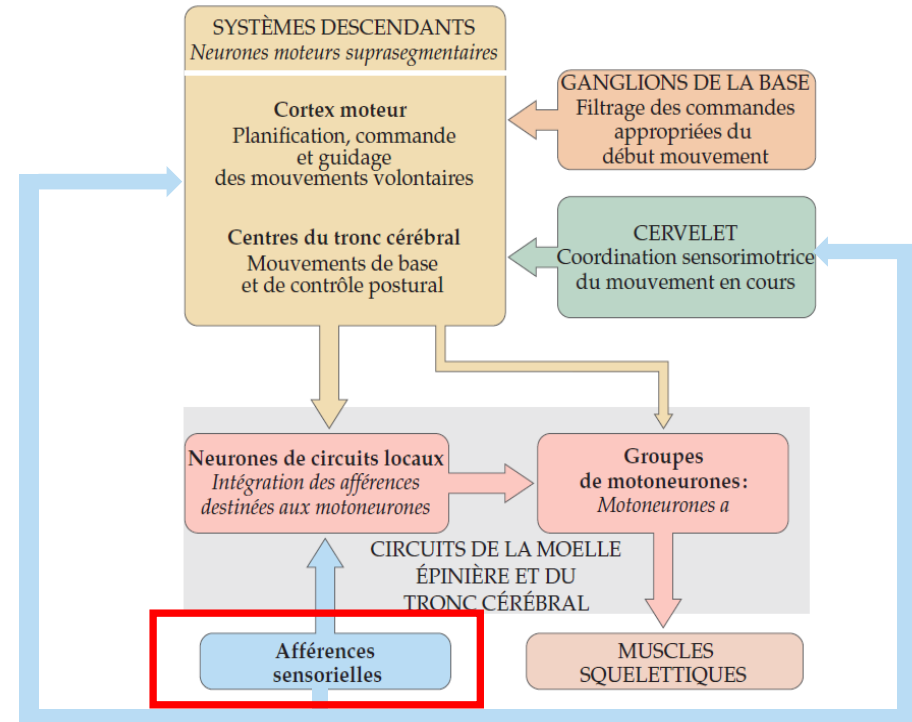
- Réflexe de flexion
  - Retrait (flexion) du membre ipsilatéral à la douleur ou peur
- Réflexe d'extension croisée
  - Retrait (flexion) du membre ipsilatéral à la douleur ou peur
  - Extension du membre controlatéral à la douleur ou peur



Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

# Plan

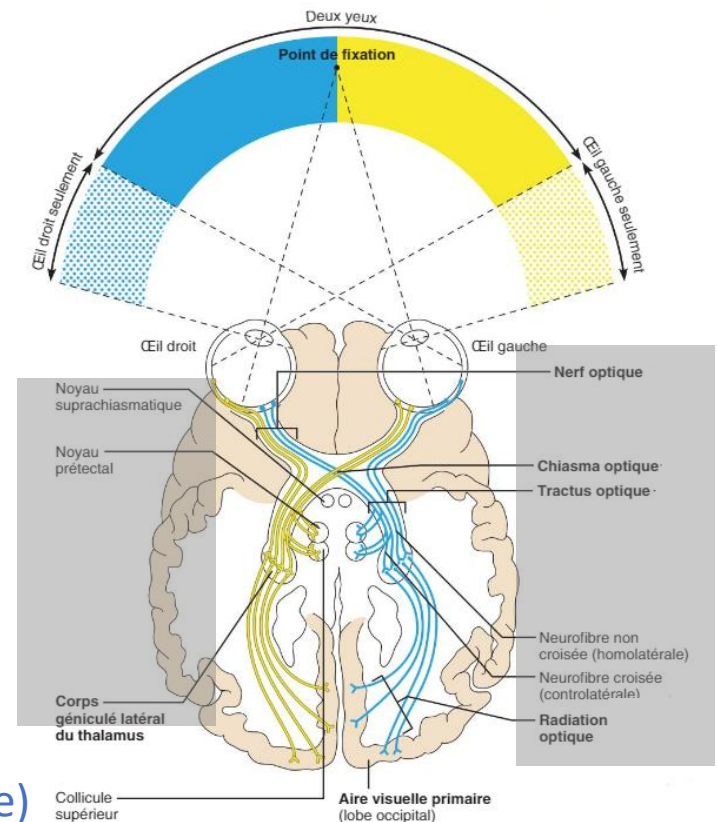
- Mouvement volontaire
  - Commande
    - Cortex moteur
    - Tractus corticospinal
  - Régulation
    - Ganglions de la base
    - Cervelet
- Mouvement involontaire
  - Automatique
    - Voies extrapyramidales
    - Générateurs centraux de rythme
  - Réflexes
- Afférences sensorielles
  - Vision
  - Vestibulaire
  - Intégration corticale



Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

# Vision (pour la locomotion)

- Stabilisation du corps
- Navigation
- Evitement des obstacles
- Perception de son mouvement (flux optique) par rapport à l'environnement
- Perception du mouvement d'objets par rapport à soi



(Vers voie tectospinale)

Anatomie et physiologie humaines, Elaine Marieb, Katja Hoehn, 2019

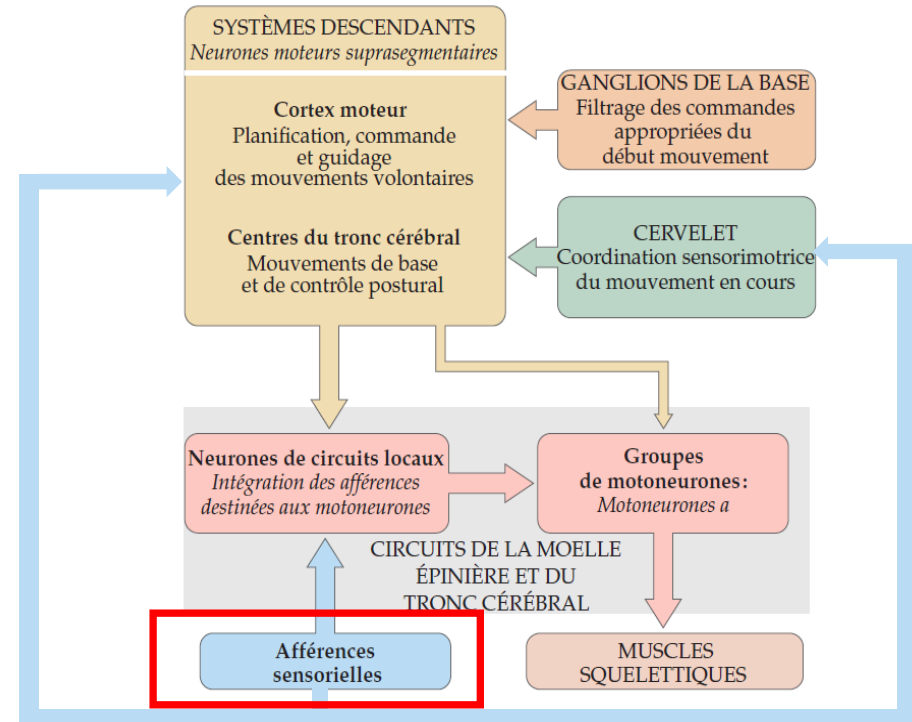
# Vision



[https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(18\)30309-9](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(18)30309-9)

# Plan

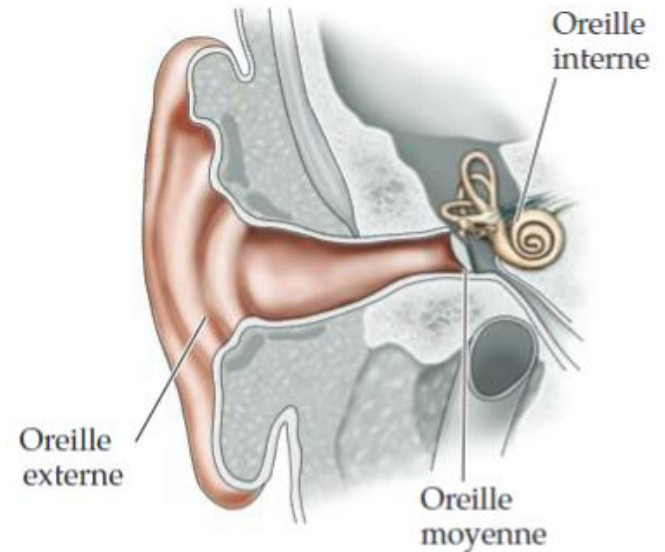
- Mouvement volontaire
  - Commande
    - Cortex moteur
    - Tractus corticospinal
  - Régulation
    - Ganglions de la base
    - Cervelet
- Mouvement involontaire
  - Automatique
    - Voies extrapyramidales
    - Générateurs centraux de rythme
  - Réflexes
- Afférences sensorielles
  - Vision
  - Vestibulaire
  - Intégration corticale



Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

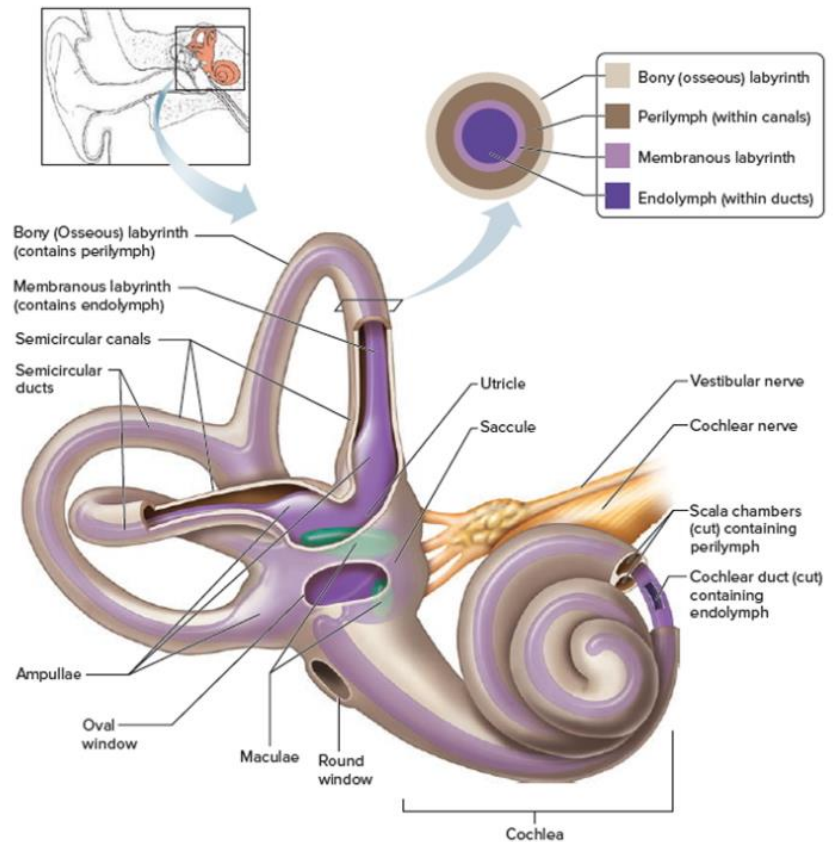
# Systeme vestibulaire (locomotion)

- Fonction
  - perception position et orientation, déplacements de la tête et du corps dans l'espace
- Les informations issues du SV sont utilisées pour :
  - Stabilisation du regard
  - Stabilisation de la tête
  - Stabilisation de la posture



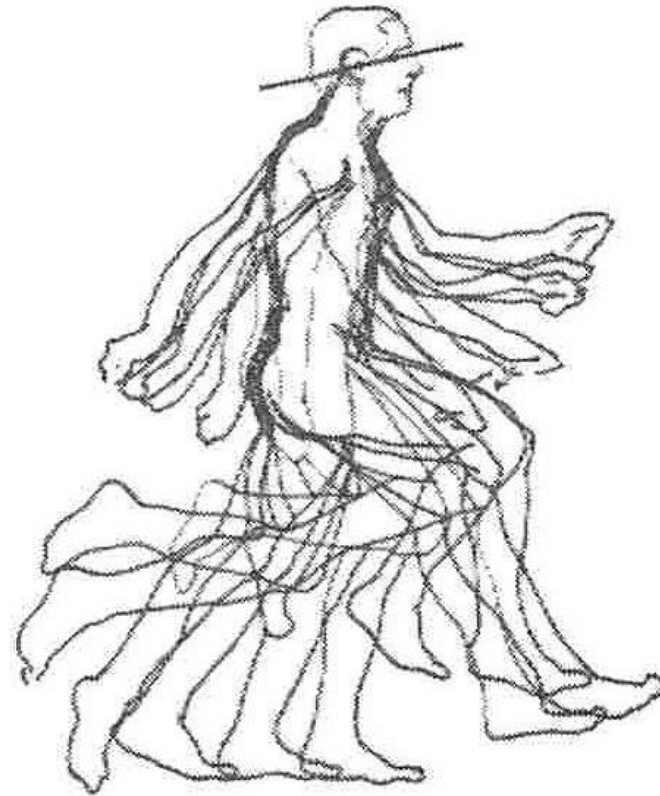
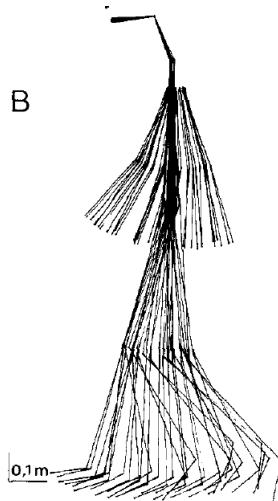
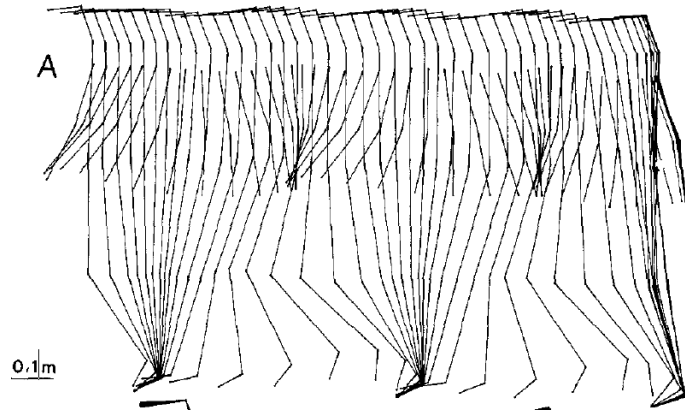
# Systeme vestibulaire

- Organes otolithiques
  - Utricule et saccule
  - Mouvement linéaire
- Canaux semi-circulaires
  - Orientés dans les 3 plans de l'espace
  - Mouvement de rotation



<https://healthjade.com/wp-content/uploads/2017/09/inner-ear-bones.jpg>

# Stabilisation de la tête



Pozzo T, Berthoz A, Lefort L, Vitte E. Head stabilization during various locomotor tasks in humans. II. Patients with bilateral peripheral vestibular deficits. *Exp Brain Res.* 1991;85(1):208-17. doi: 10.1007/BF00230002. PMID: 1884759.

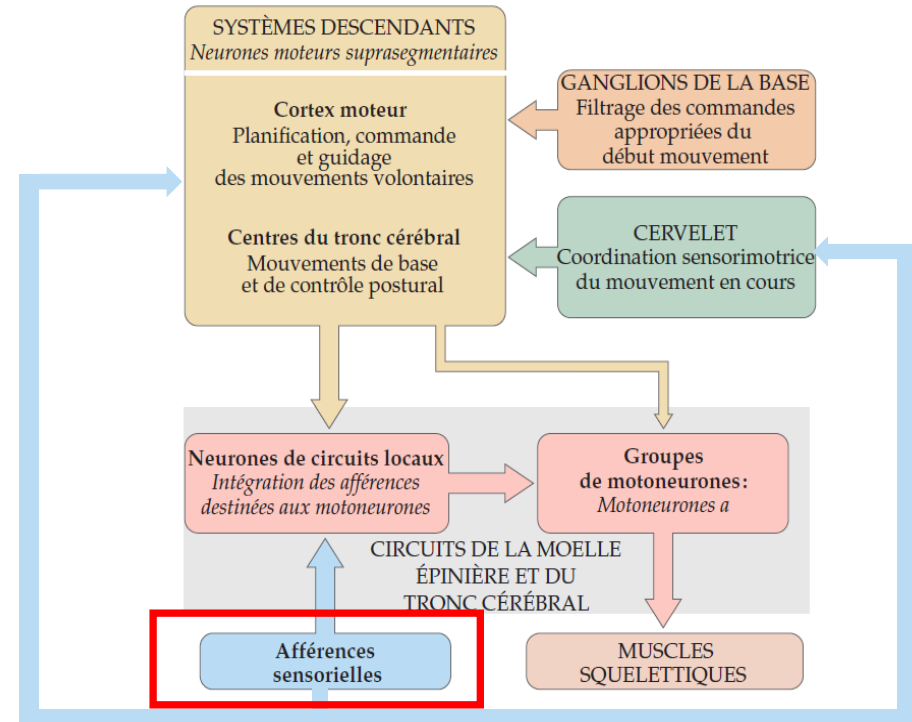
# Stabilisation de la tête



<https://www.dailymotion.com/video/x152rj2>

# Plan

- Mouvement volontaire
  - Commande
    - Cortex moteur
    - Tractus corticospinal
  - Régulation
    - Ganglions de la base
    - Cervelet
- Mouvement involontaire
  - Automatique
    - Voies extrapyramidales
    - Générateurs centraux de rythme
  - Réflexes
- Afférences sensorielles
  - Vision
  - Vestibulaire
  - Intégration corticale

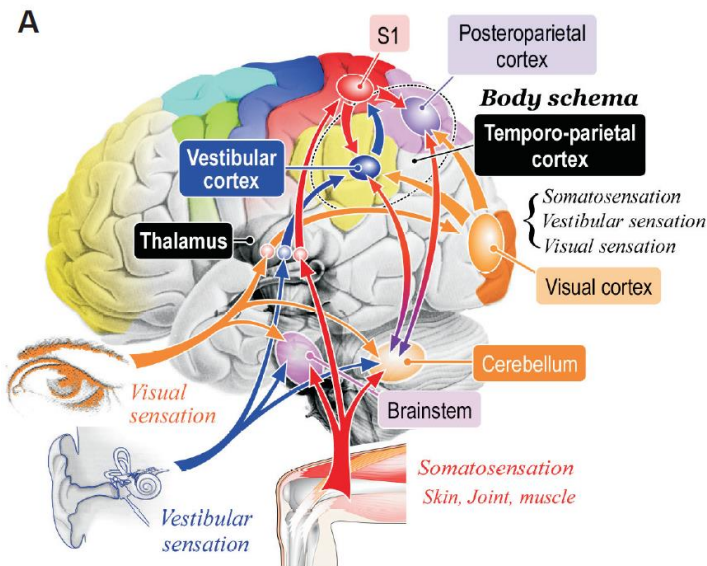


Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019

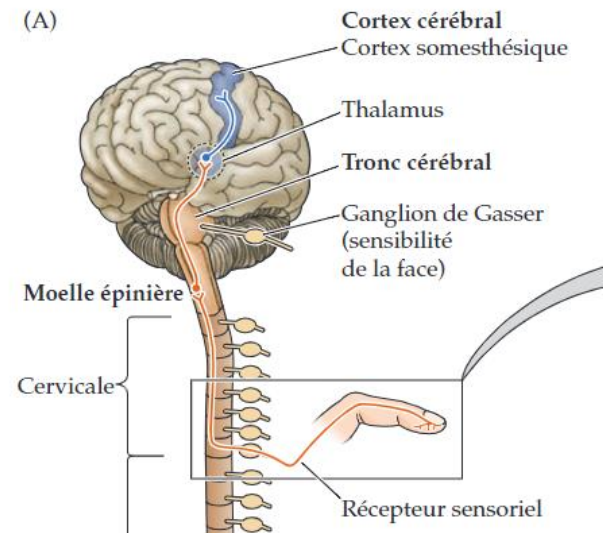
# Intégration corticale des afférences sensorielles



- Thalamus - Porte d'entrée du cortex
  - Quasi tous les influx nerveux ascendants passent par lui
- Rôle de tri et traitement de l'information



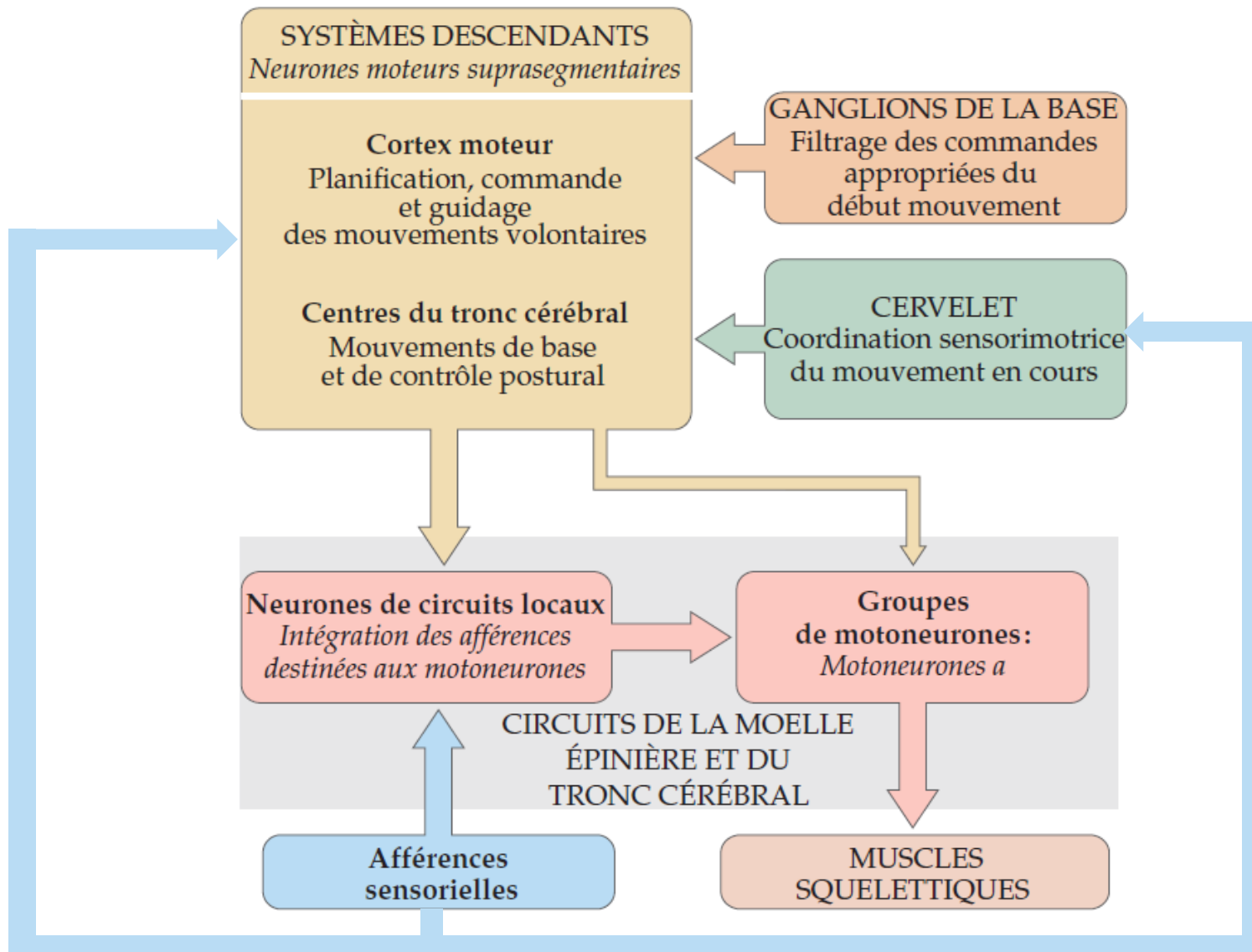
Takakusaki K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. Journal of Movement Disorders. 2017 Jan;10(1):1-17. DOI: 10.14802/jmd.16062. PMID: 28122432; PMCID: PMC5288669.



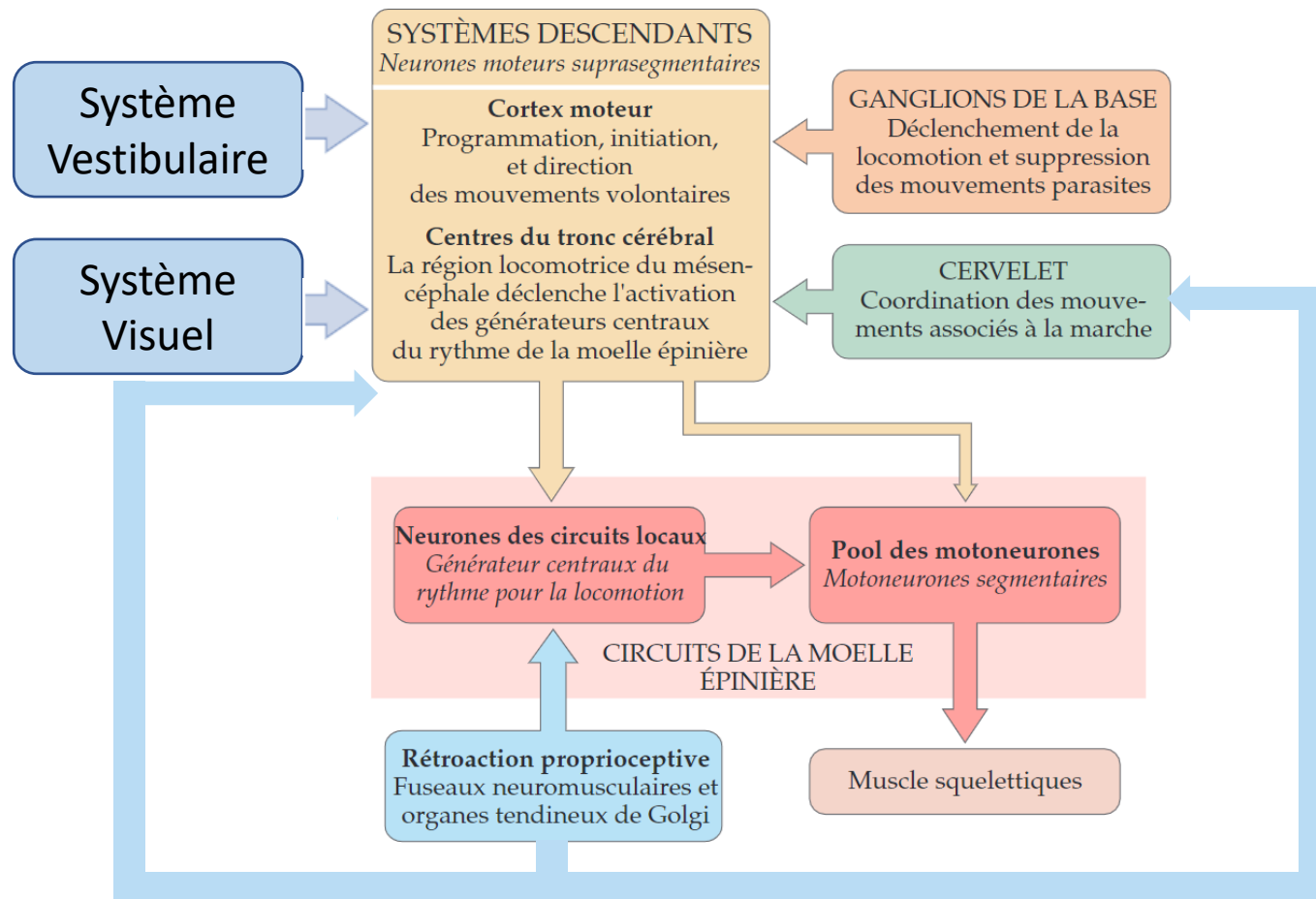
Purves et al. Neurosciences. De Boeck Supérieur. 2019



# Organisation du contrôle moteur



# Organisation du contrôle de la locomotion



# Speakup



<https://web.speakup.info/room/join/52126>