

# Motricité et Neuroplasticité

Valérie Gaveau, CRNL Equipe ImpAct

**Formavie 2012**  
**5-6 Avril 2012**  
**Ifé / ENS de Lyon**



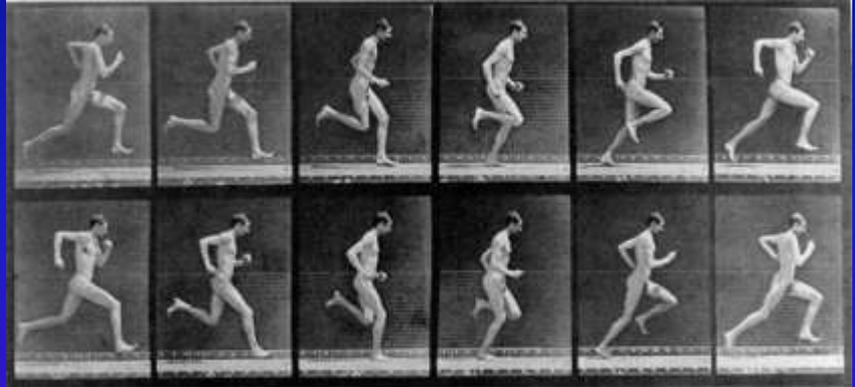
**Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon**

Inserm - CNRS - Université Lyon 1 - Université Saint-Etienne

# La chronophotographie...

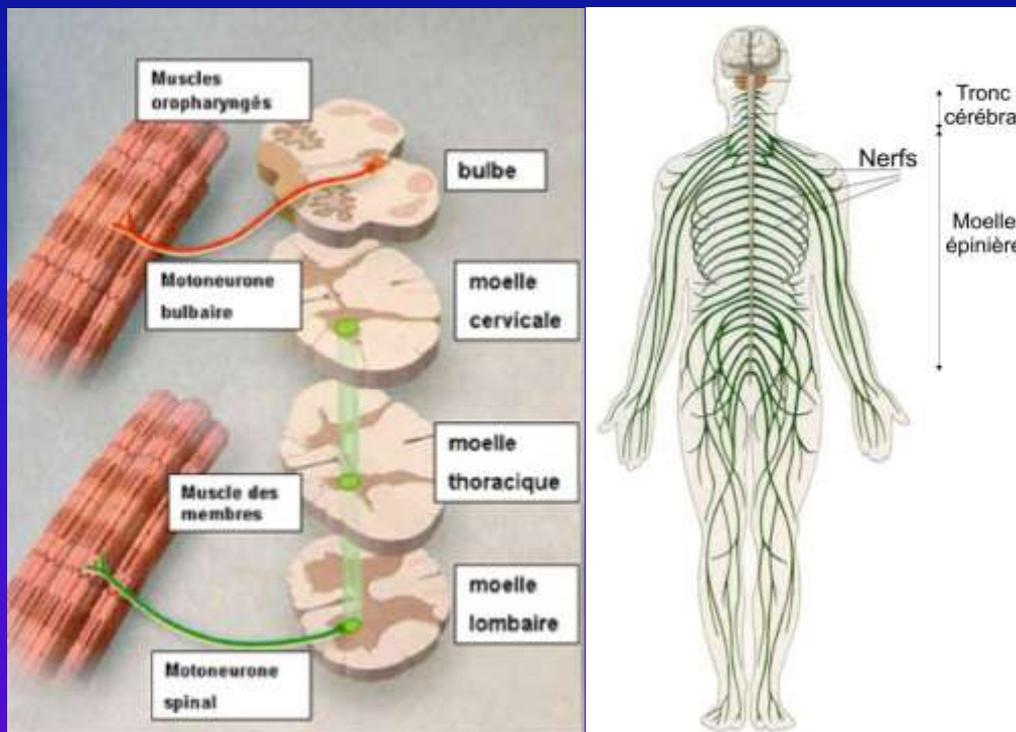
*« Le mouvement est l'acte le plus important en ce que toutes les fonctions empruntent son concours pour s'accomplir » .*

*EJ Marey (1830-1904)*



# Motricité: se déplacer, interagir avec son environnement

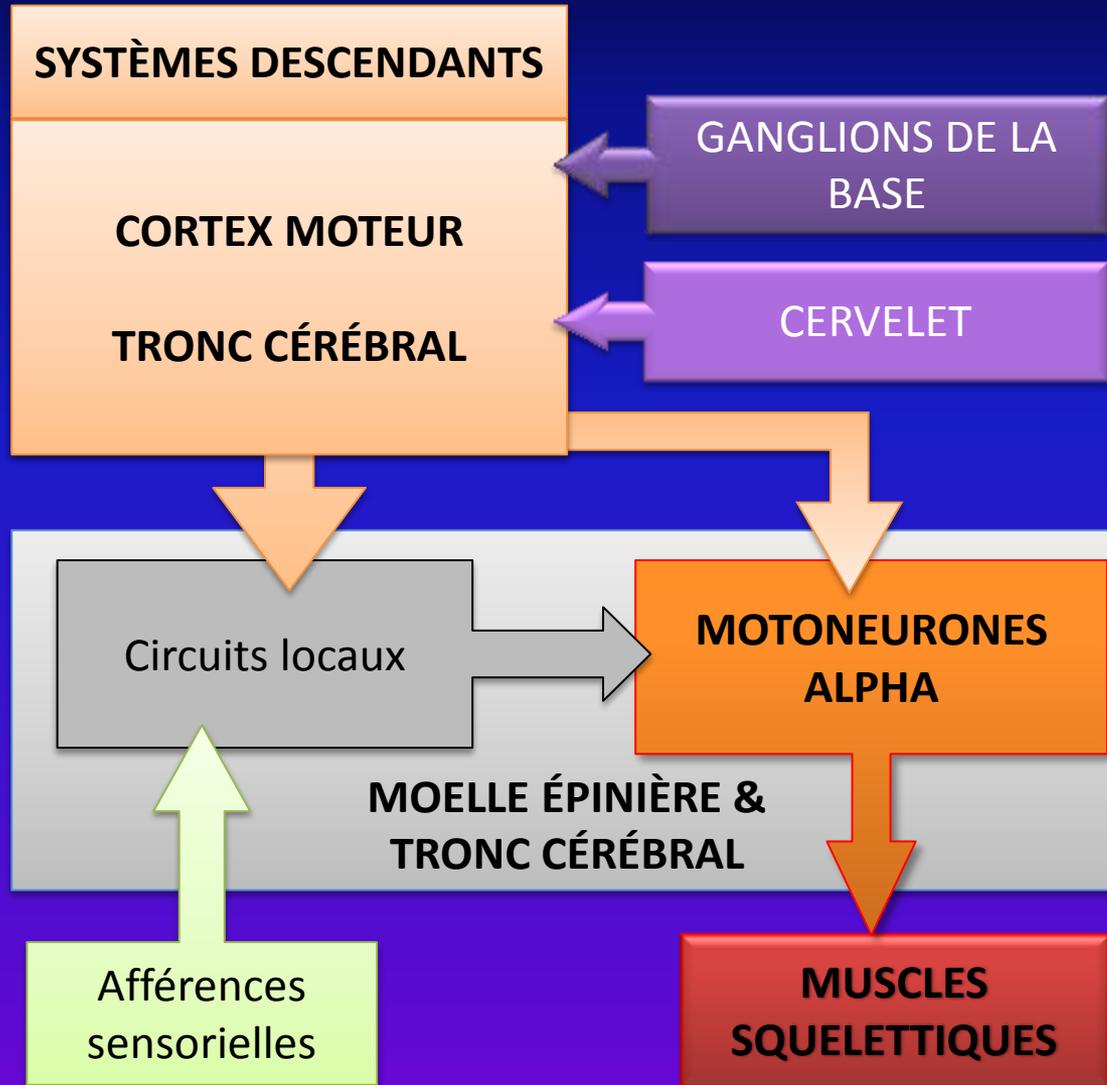
→ Mouvement & Posture



- Cible: muscles squelettiques
- But: Contraction
- Origine: Commandes
  
- Nerfs
- Motoneurones
- Moelle épinière et tronc cérébral

Qui contrôle l'activité des motoneurones ?

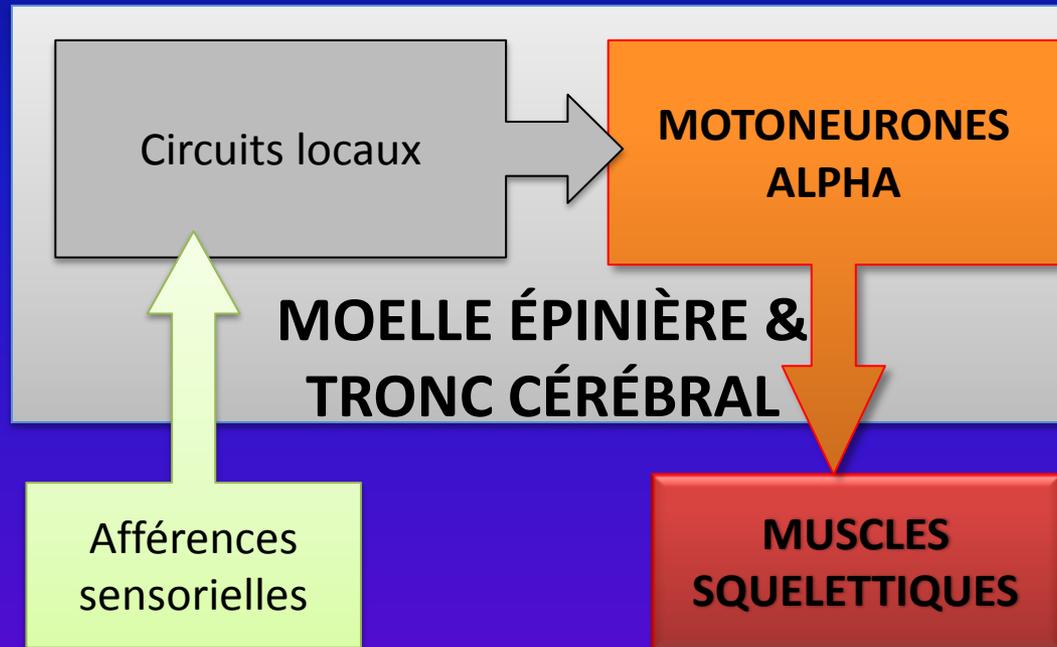
# Organisation des sous-systèmes du contrôle moteur



- Circularité
- Hiérarchie
- Parallélisme

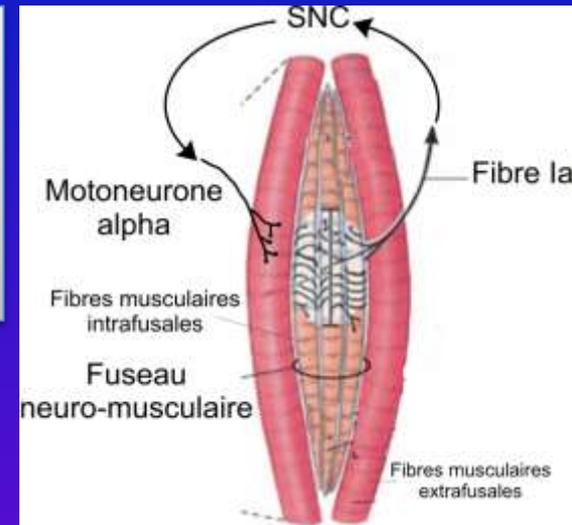
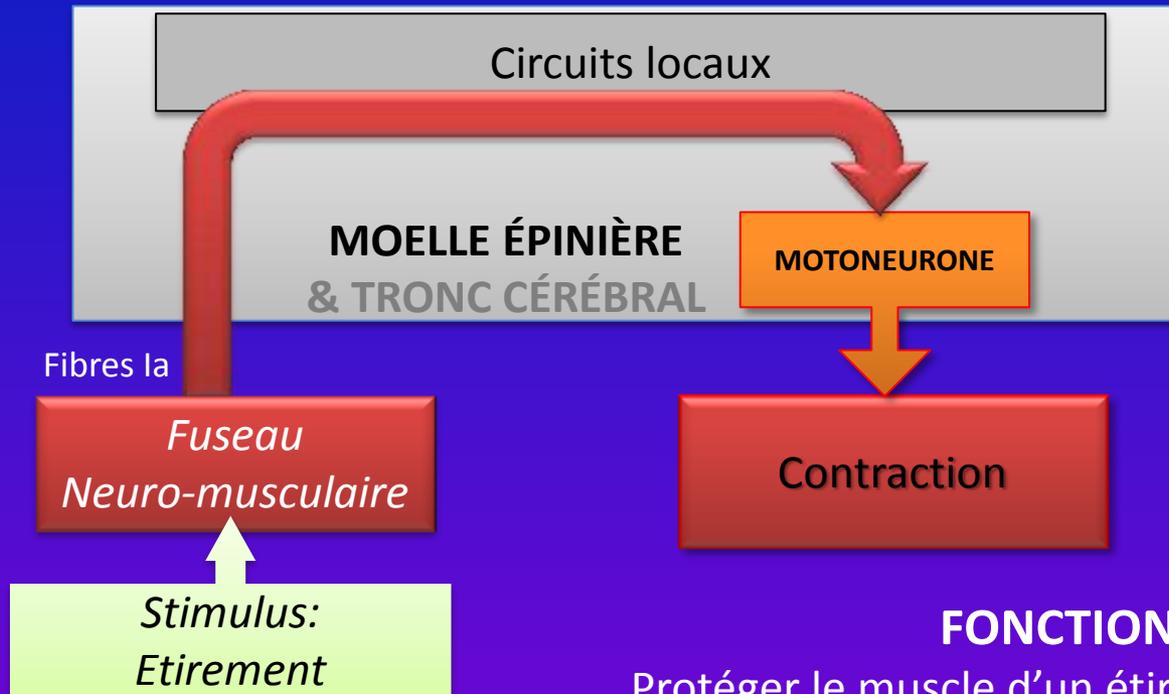
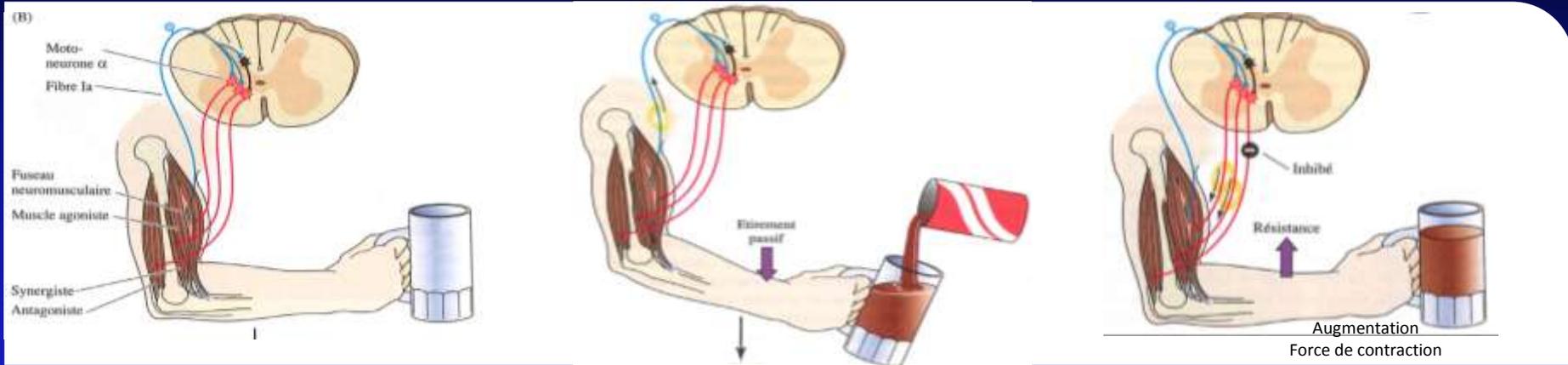
# I - Organisation circulaire

## *Circularité du réflexe médullaire*



# I - Organisation circulaire

*Intégration des afférences: exemple du réflexe myotatique (d'étirement)*



## FONCTION

Protéger le muscle d'un étirement brusque.

# I - Organisation circulaire

## REFLEXES

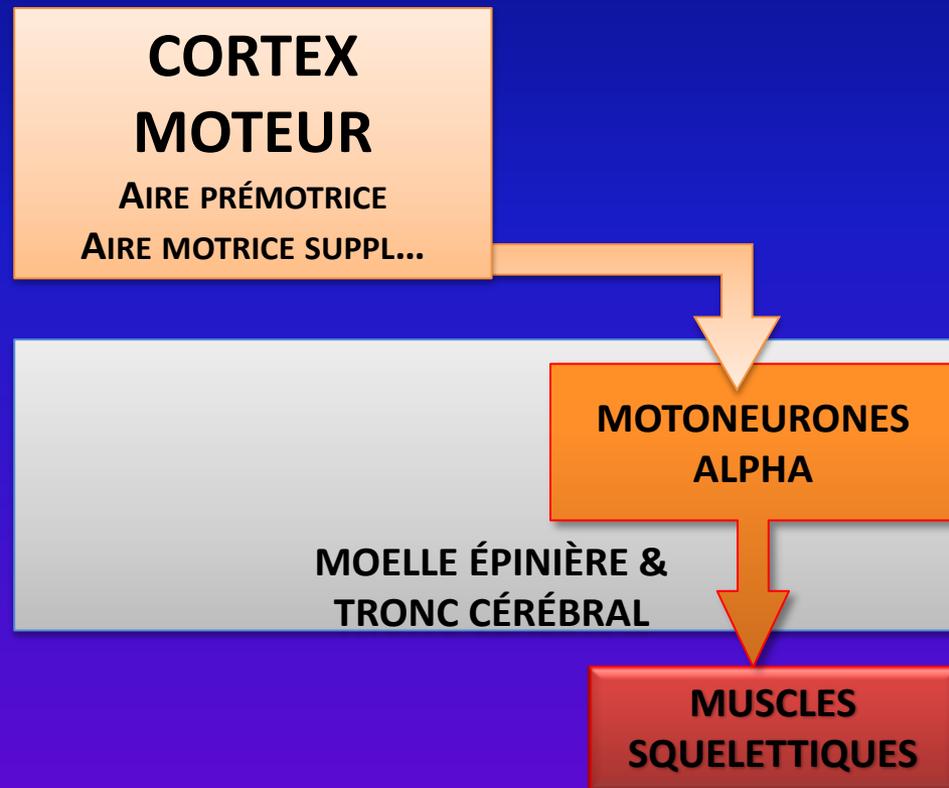
Réponse innée, obligatoire, rapide, stéréotypée,  
**participant à la sauvegarde de l'organisme.**

**Boucles de rétroaction ou organisation circulaire**



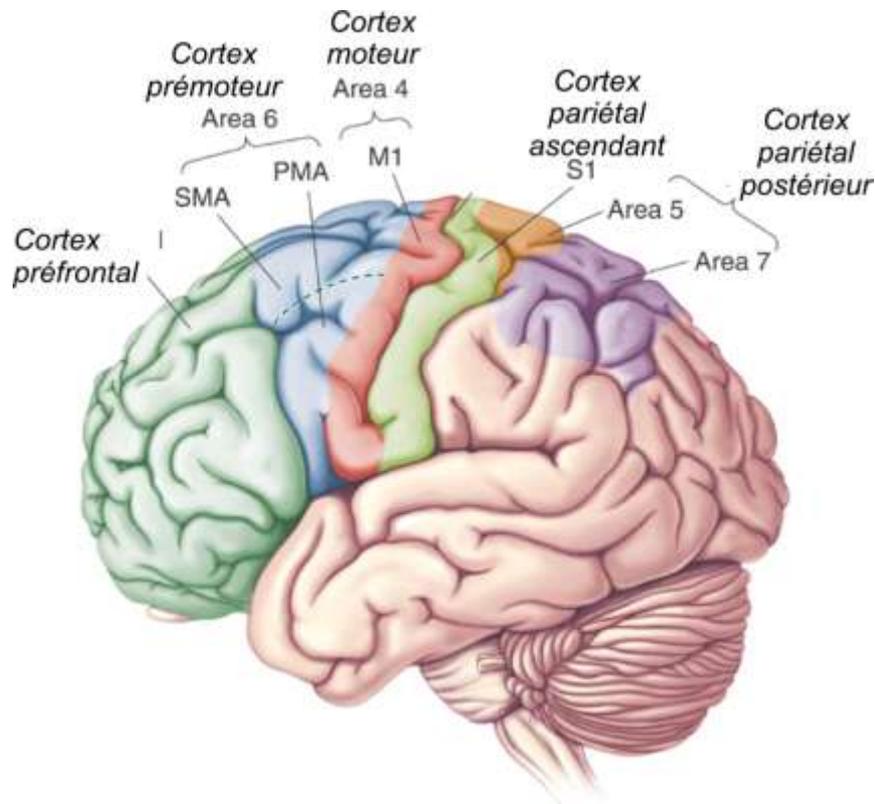
## II - Organisation hiérarchique

### *Hiérarchie corticale du mouvement volontaire*

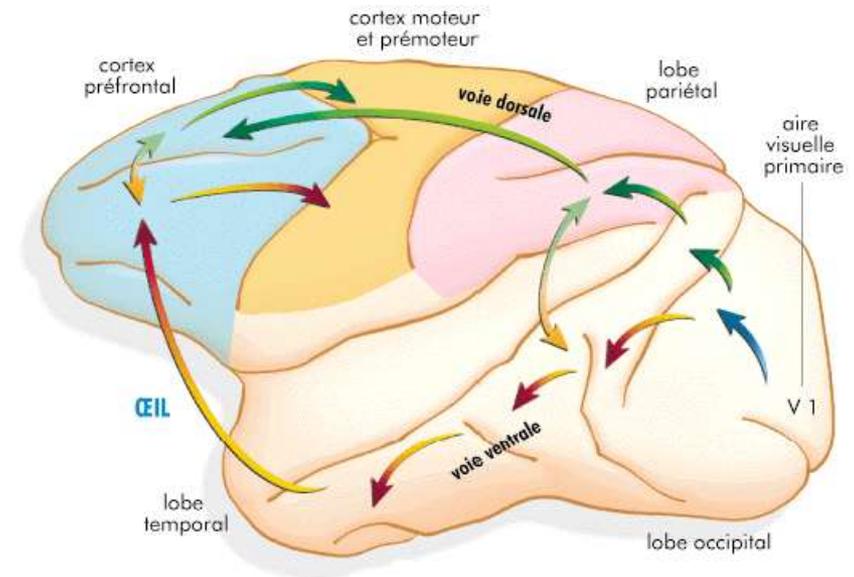


# II- Organisation hiérarchique

## Bases anatomiques



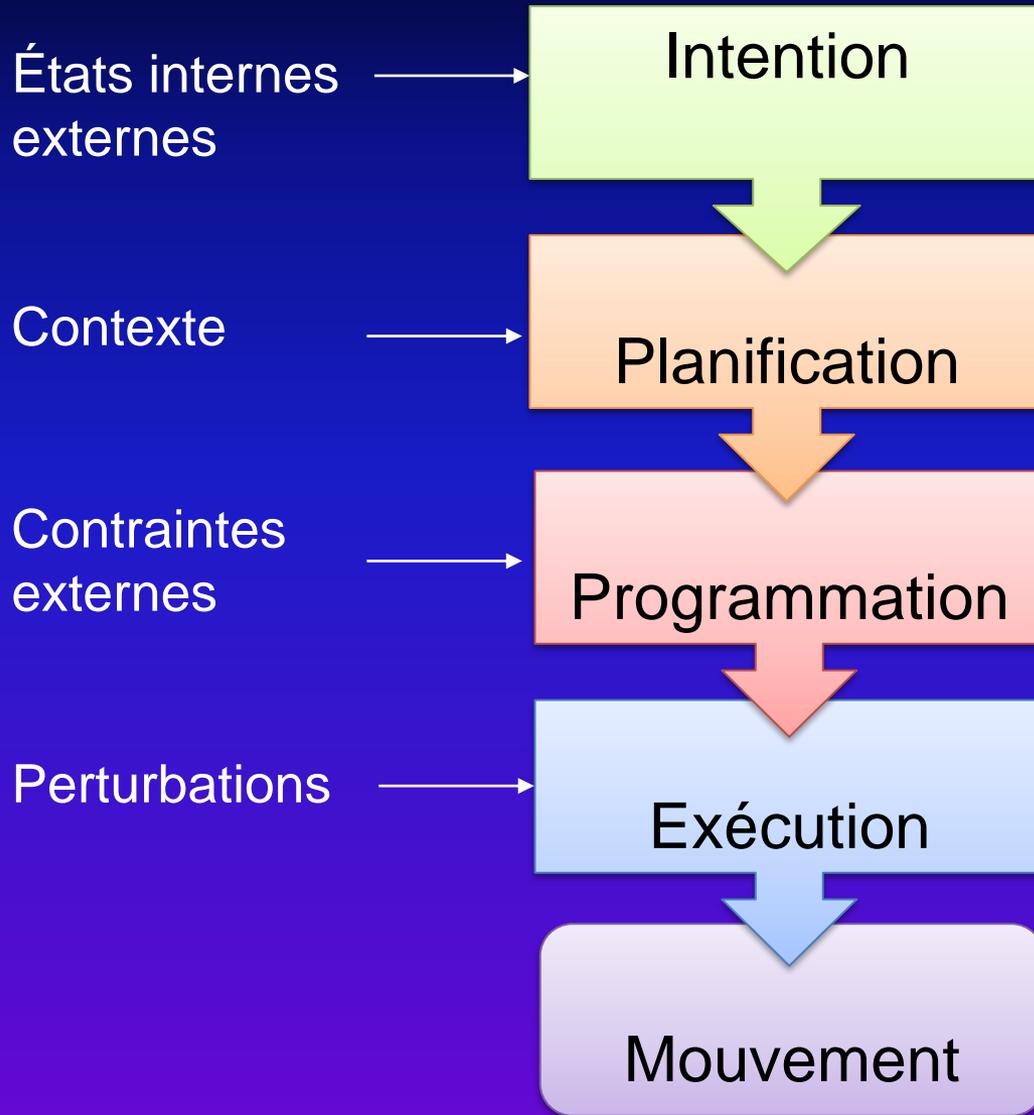
Aires



Voies

# II- Organisation hiérarchique

## *Hiérarchie*



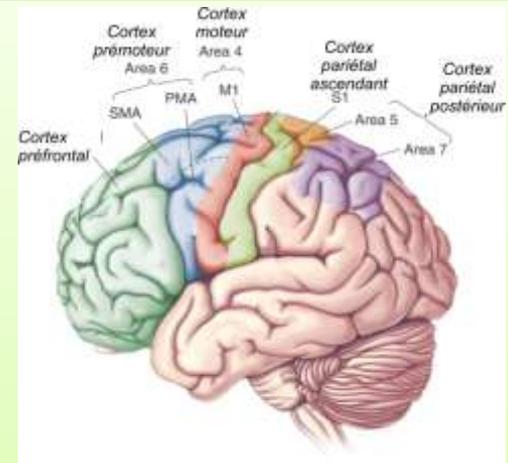
# II- Organisation hiérarchique

## INTENTION

### *Cortex préfrontal*

*Identification du but (informations sensorielles: aires associatives PPC..)*

- Prise de décision, émotions, motivation...
- Troubles: attentionnels, d'inhibition...



## PLANIFICATION

### *Cortex prémoteur (aire prémotrice + SMA)*

*Sélectionner la réponse à donner (+ ggBase, aires associatives...)*

- Repérage de la cible, des effecteurs, choix de stratégies...
- Troubles: apraxie (difficulté à réaliser gestes volontaires complexes) sans paralysies

## II- Organisation hiérarchique

### PROGRAMMATION

#### *Aire motrice supplémentaire*

*Choix des muscles à mobiliser (sélection d'un programme à partir d'un répertoire moteur)*

→ Codage des paramètres temporels et spatiaux du mouvement (séquence, chronologie...)

→ Troubles: perte de coordination

Exemples de traces graphiques produites par une même personne en utilisant (de haut en bas) la main droite, le bras droit, la main gauche, la bouche et le pied (d'après Raibert, 1977).

(a) Able was I ere I saw Elba

(b) Able was I ere I saw Elba

(c) Able was I ere I saw Elba

(d) Able was I ere I saw Elba

(e) Able was I ere I saw Elba

# II- Organisation hiérarchique

## EXÉCUTION

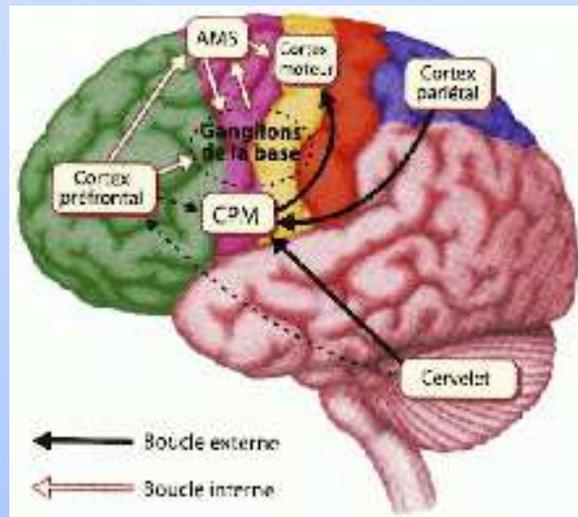
### *Aire motrice primaire*

*Codage d'un mouvement volontaire pour envoi le programme moteur*

- **Efférences de M1**

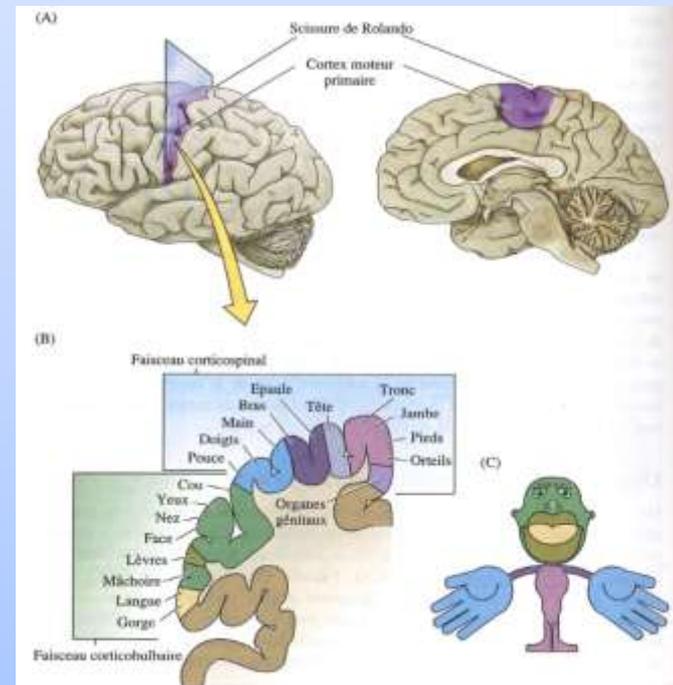
→ Corticales (S1, PPC, SMA...)

→ Sous corticales: moelle épinière, cervelet..



- **Somatotopie**

Carte motrice → patron de décharges → mouvement donné



# II- Organisation hiérarchique

## MOUVEMENTS VOLONTAIRES



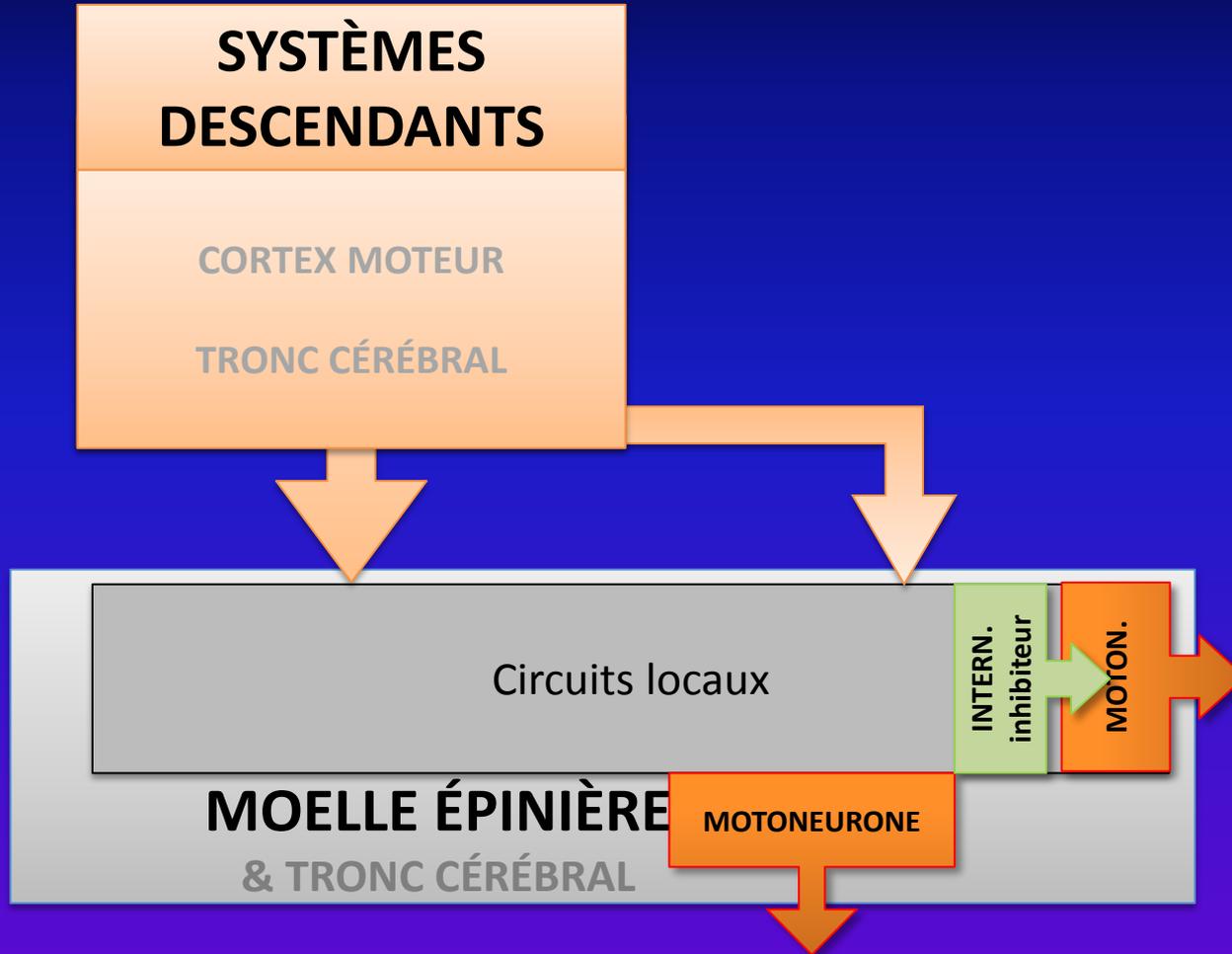
Organisation  
hiérarchique  
descendante



## MOUVEMENTS REFLEXES

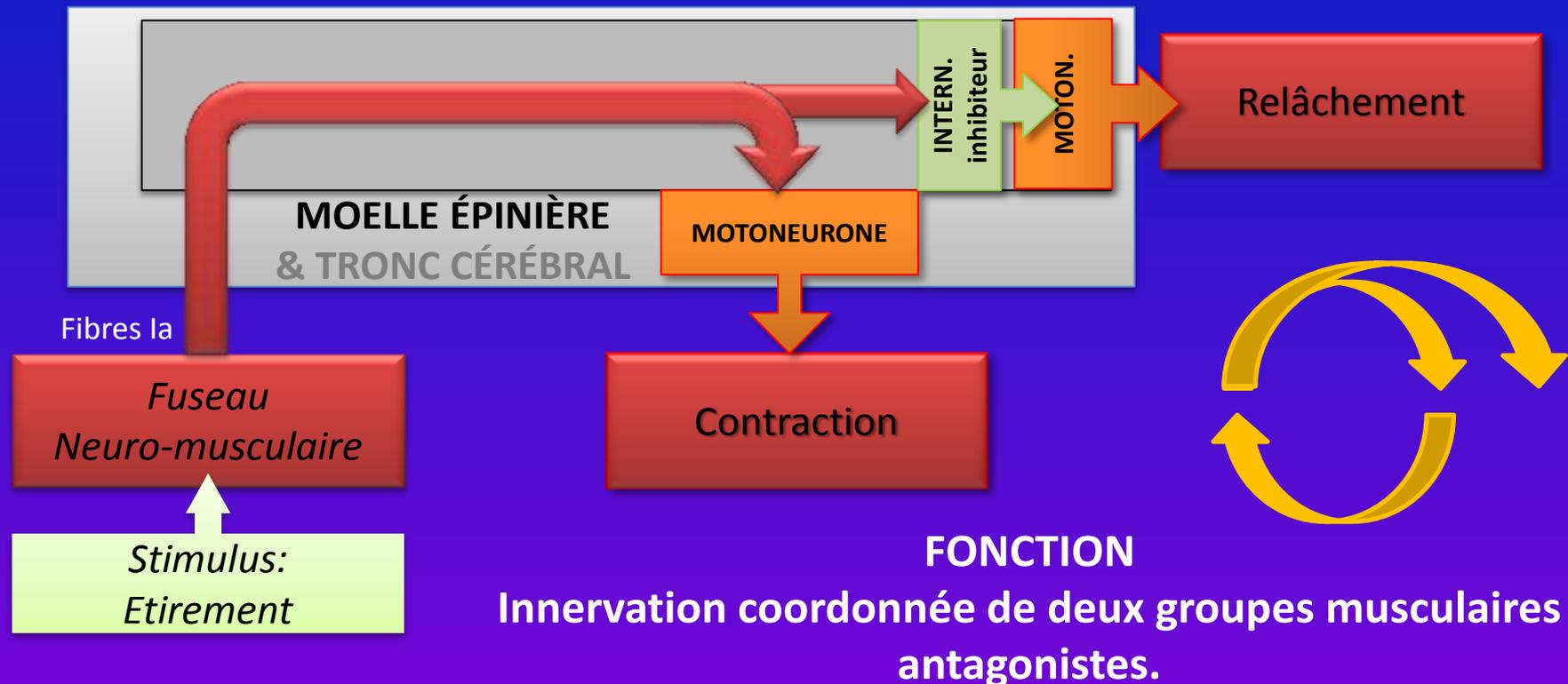
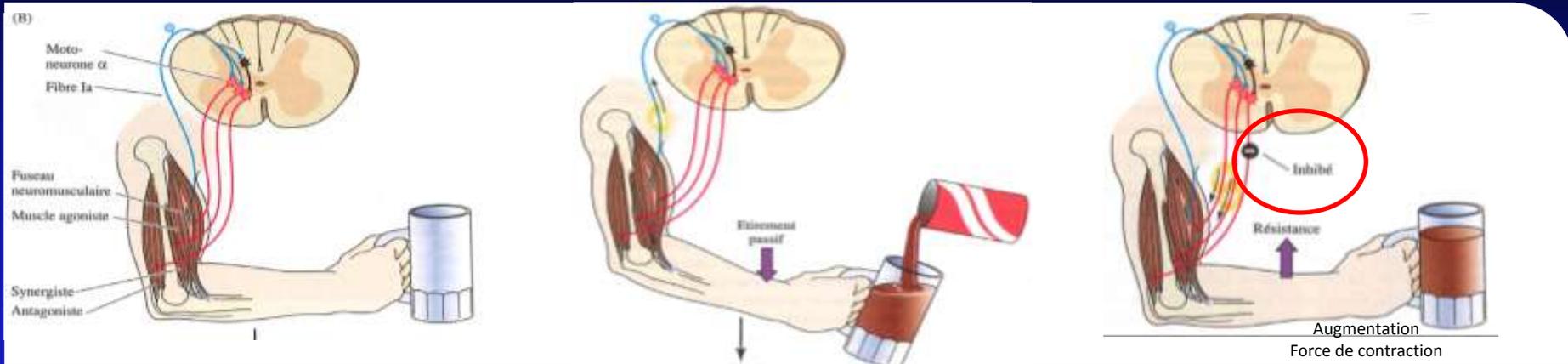
Organisation  
Circulaire

# III- Organisation parallèle



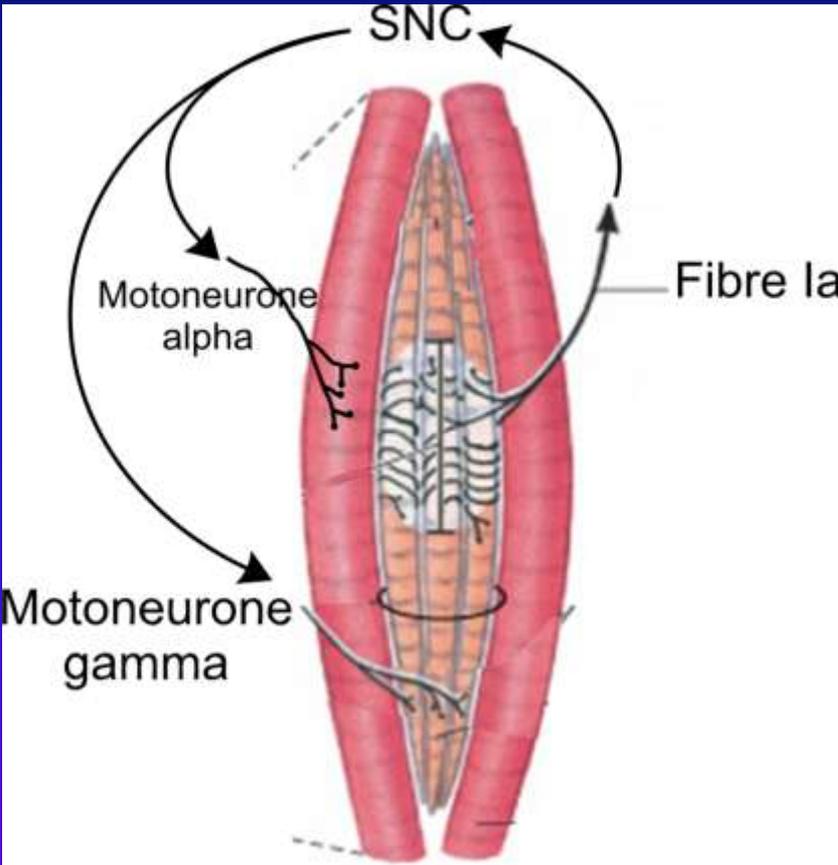
# III- Organisation parallèle

## 3.1 Inhibition réciproque



# III- Organisation parallèle

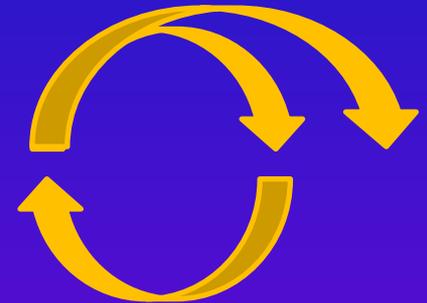
## 3.2 Contrôle spinal du reflexe myotatique



### Motoneurones gamma

Contrôlent les caractéristiques fonctionnelles des fuseaux neuromusculaires.

→ Modification du gain des fuseaux neuromusculaires

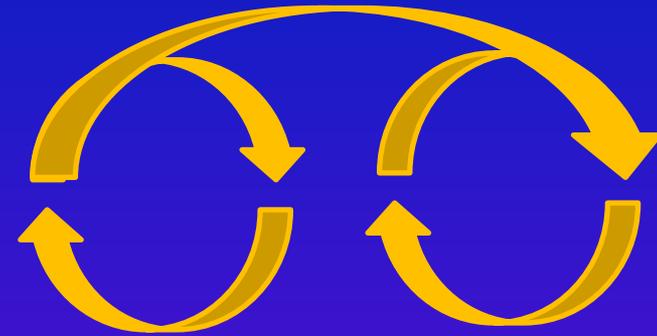
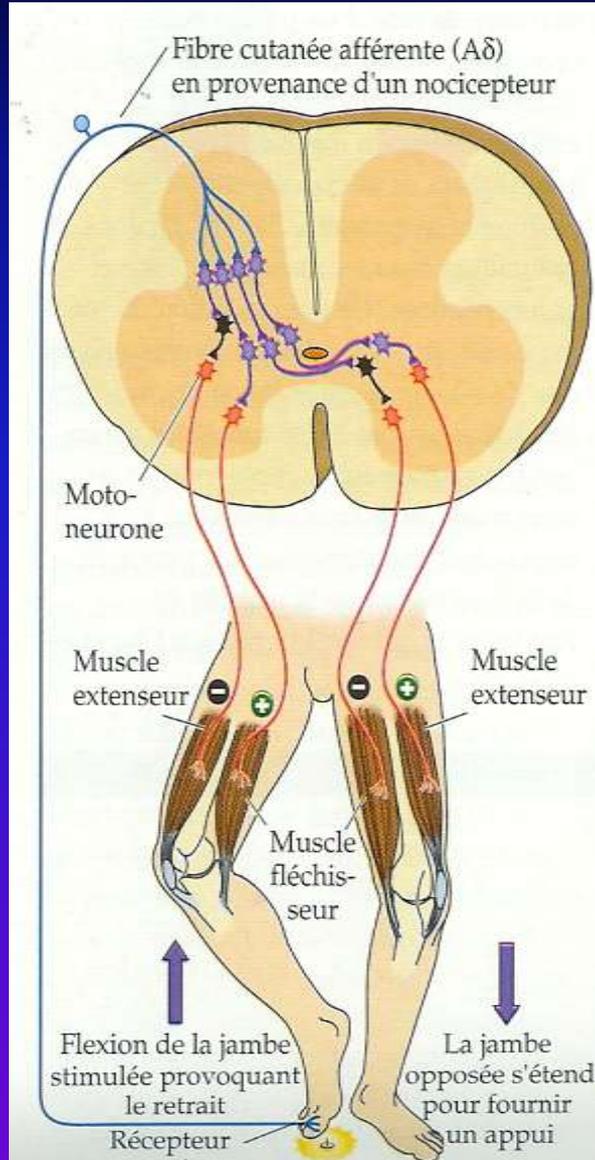


### FONCTION

Fonction: garder l'efficacité du fuseau quelque soit le degrés d'étirement du muscle.

# III- Organisation parallèle

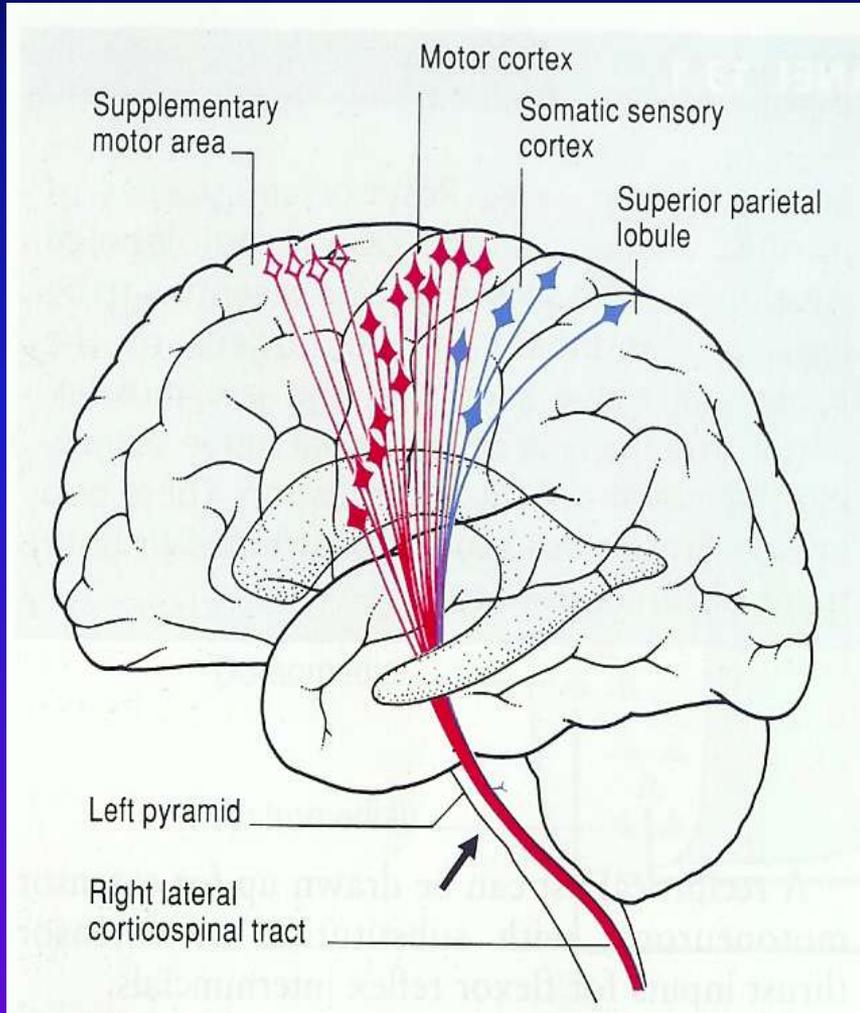
## 3.3 Réflexe de flexion



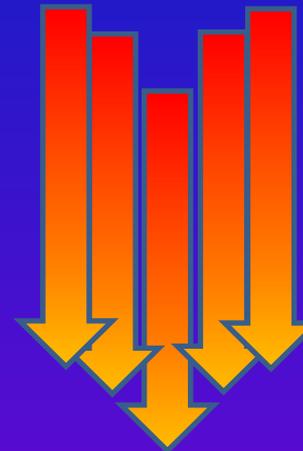
Extéroception

# III- Organisation parallèle

## 3.4 Les voies motrices descendantes corticales



- 30 % de l'aire motrice primaire
- 30 % des aires prémotrice et motrice supplémentaire
- 40 % du cortex somesthésique (pariétal ascendant, S1)



# III- Organisation parallèle

## 3.5 Fonctions des voies motrices descendantes corticales

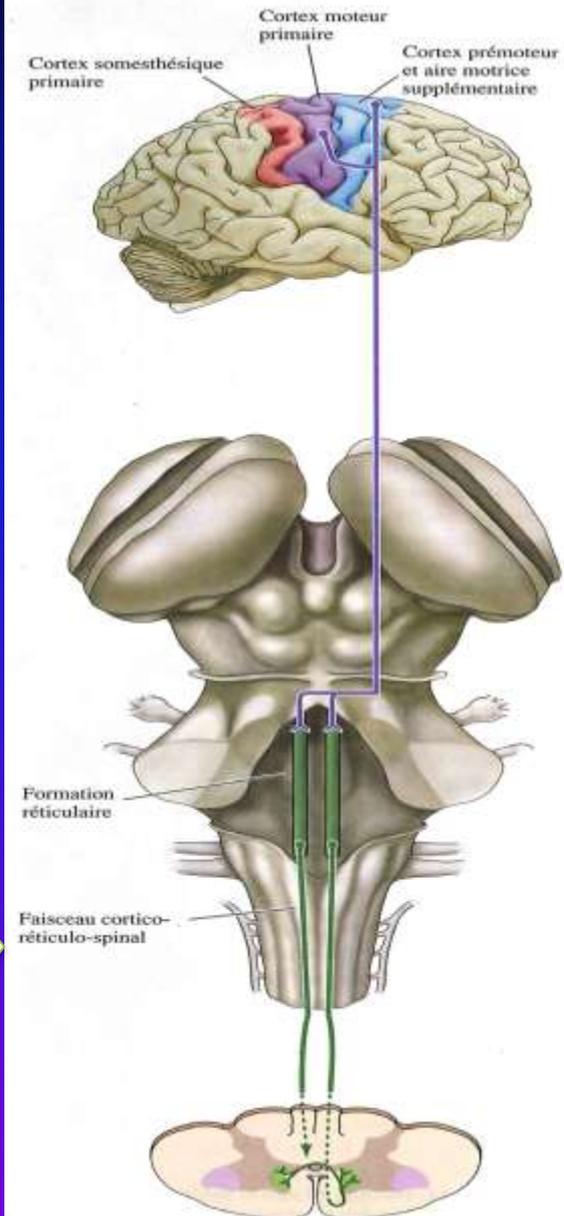
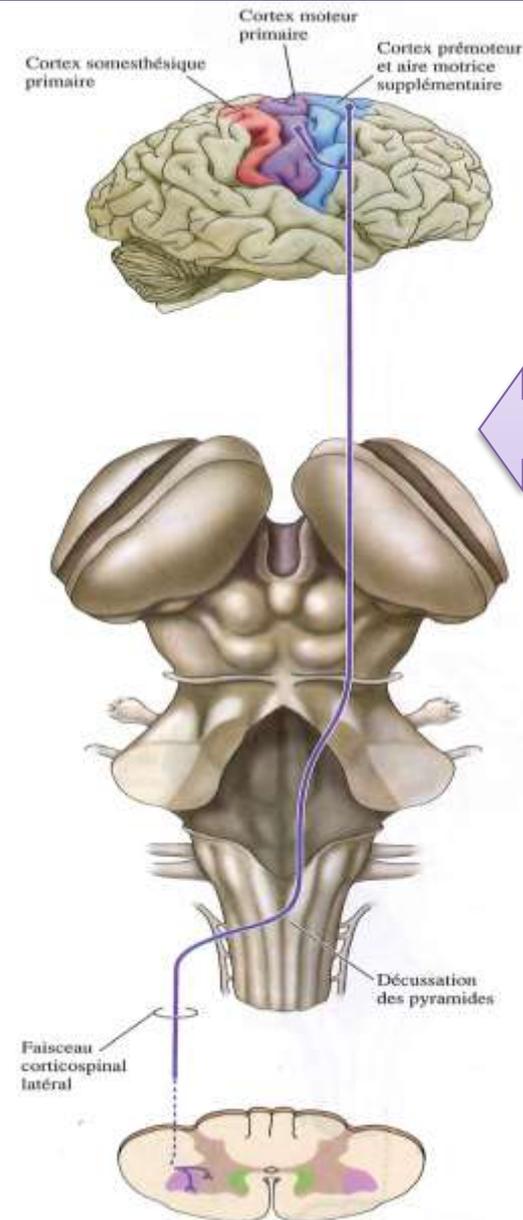
### Projections Anatomo-fonctionnelles

- Interneurones des régions latérales
- Quelques segments
- Ipsilatéral

### Contrôle fin des mouvements

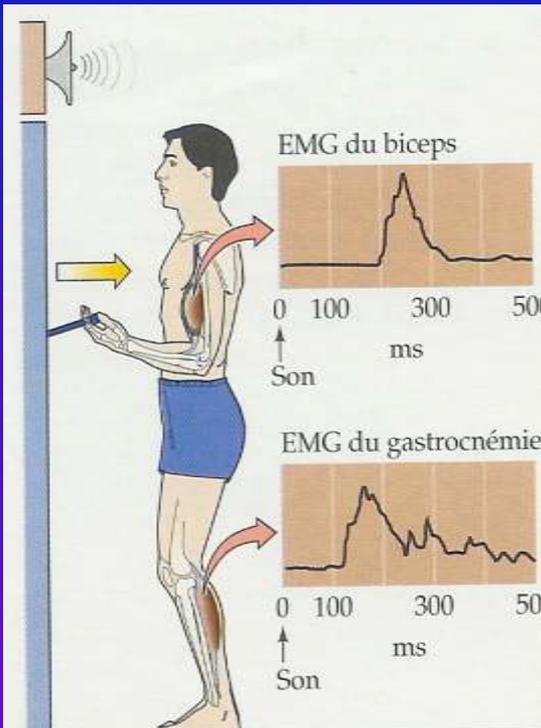
- Interneurones des régions médiane.
- Grand nombre de segments
- Bilatérale

### Contrôle postural



# III- Organisation parallèle

## 3.6 Mouvement et Posture



**POSTURE**

**MOUVEMENT**



**MOUVEMENT**

**POSTURE**



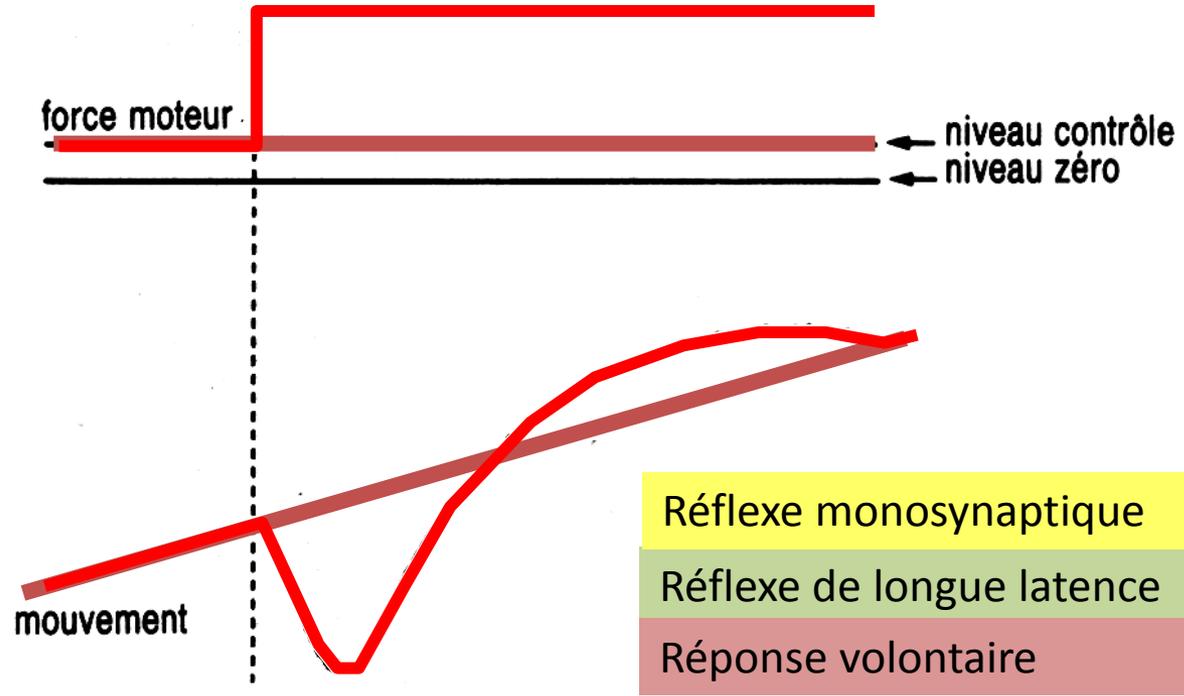
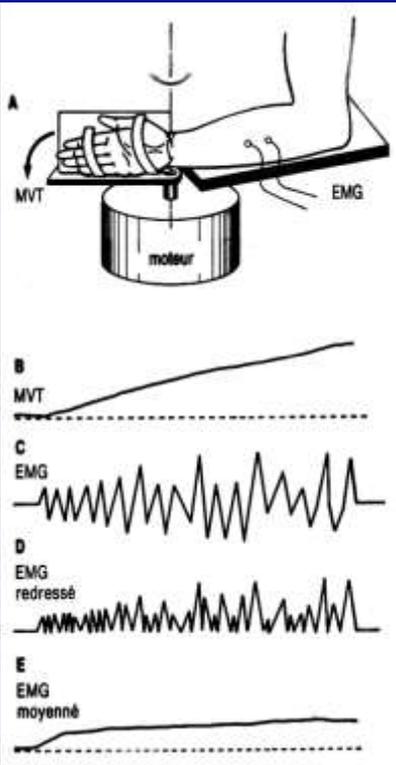
### PROACTION

- Modification *a priori*
- Anticipation de la perturbation
- ou Apprentissage moteur
- Automatisme ou volontaire

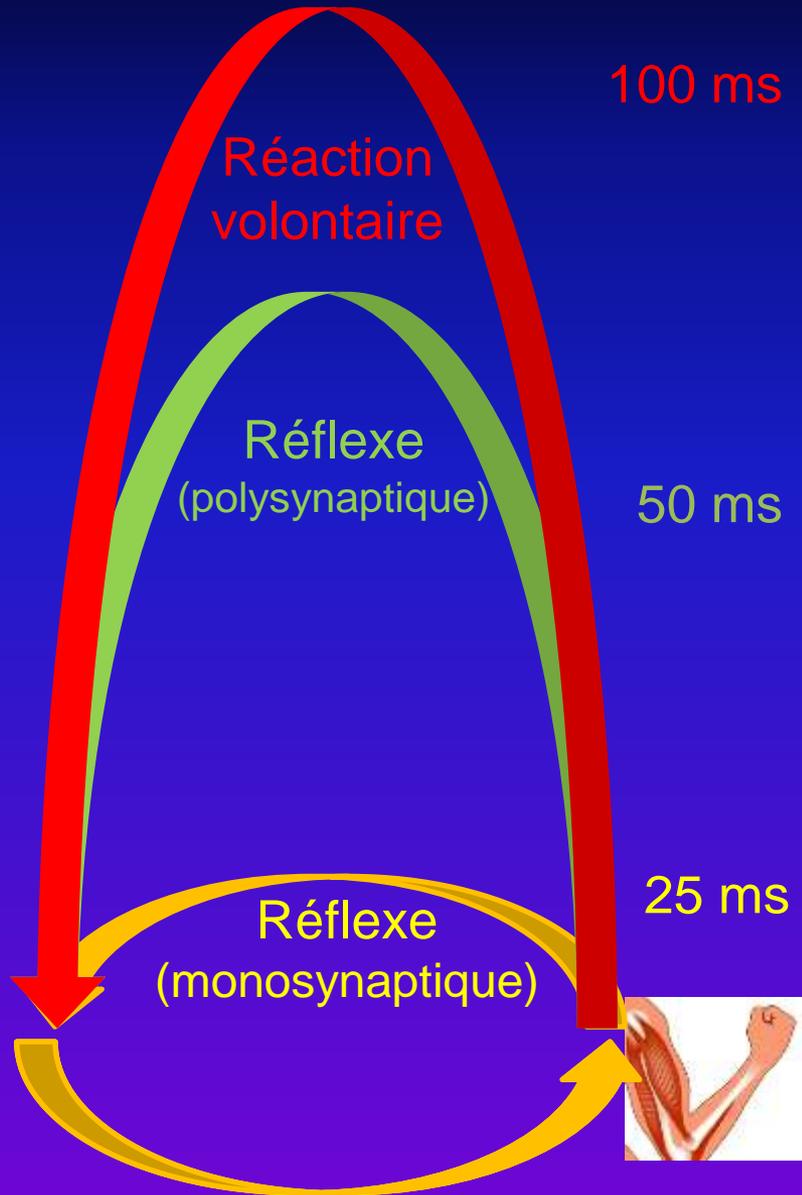
### RÉTROACTION

- Modification *a posteriori*
- Visuelle, proprioceptive, vestibulaire
- Réflexe, automatisme ou volontaire

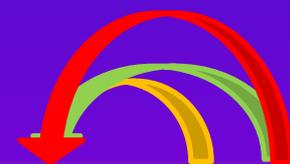
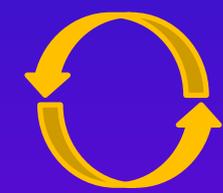
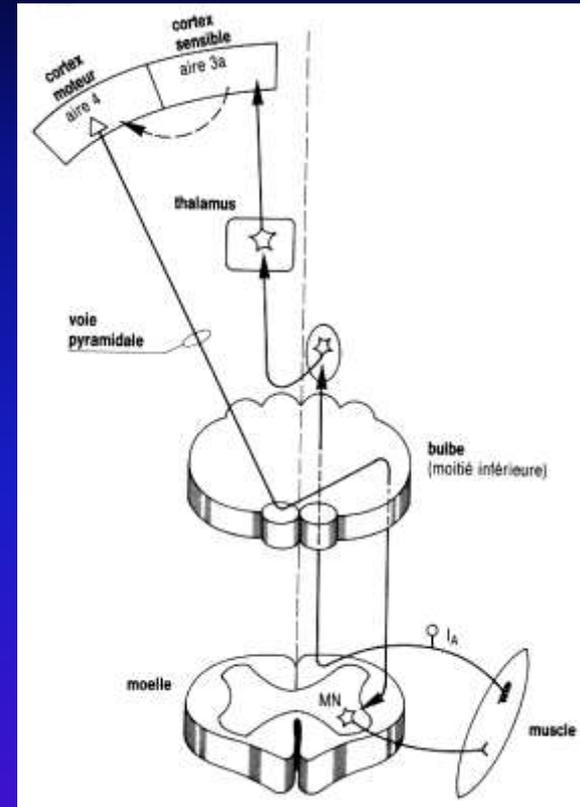
# IV- Circularité, hiérarchie et parallélisme



# IV- Circularité, hiérarchie et parallélisme



Réflexe transcortical



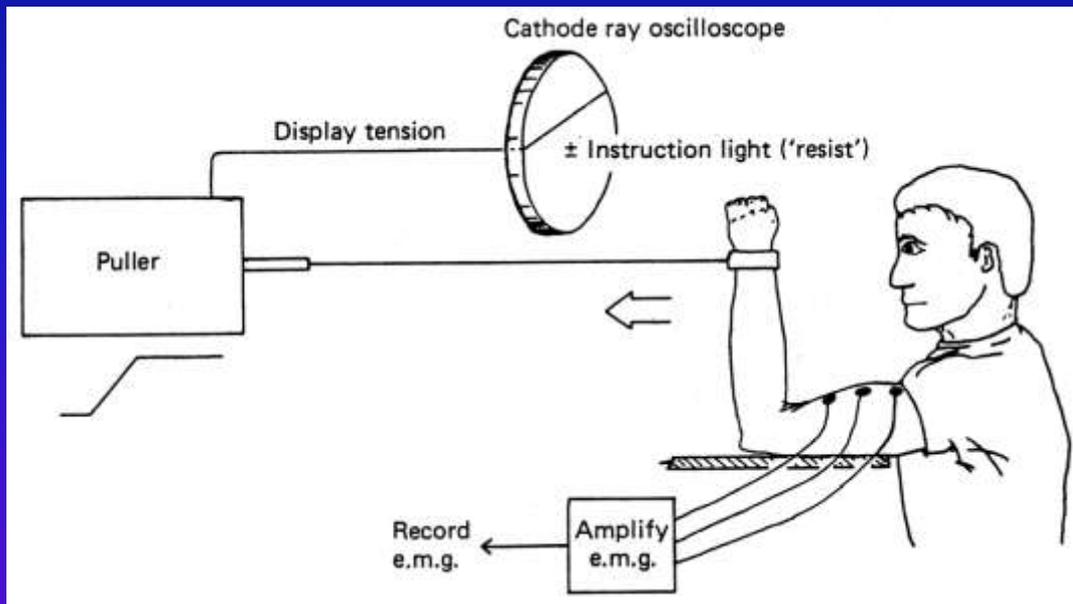
Circularité

Hiérarchie

Parallélisme

# V- Interaction réflexe & mouvement volontaire

Ou comment la réponse réflexe est modulée par la volonté



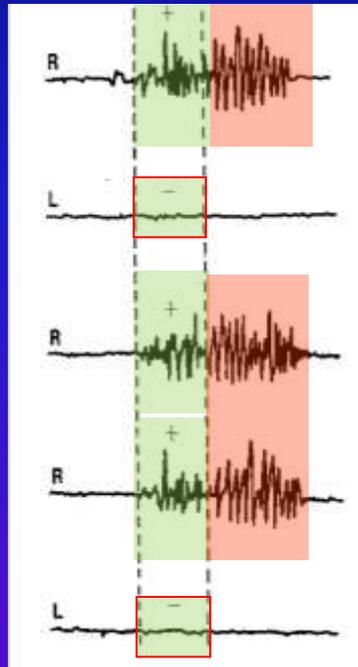
Perturbation

Réponse volontaire

- Opposition à la force
- Laisser aller
- Instruction à l'avance
- Instruction simultanée

# IV- Interaction réflexe & mouvement volontaire

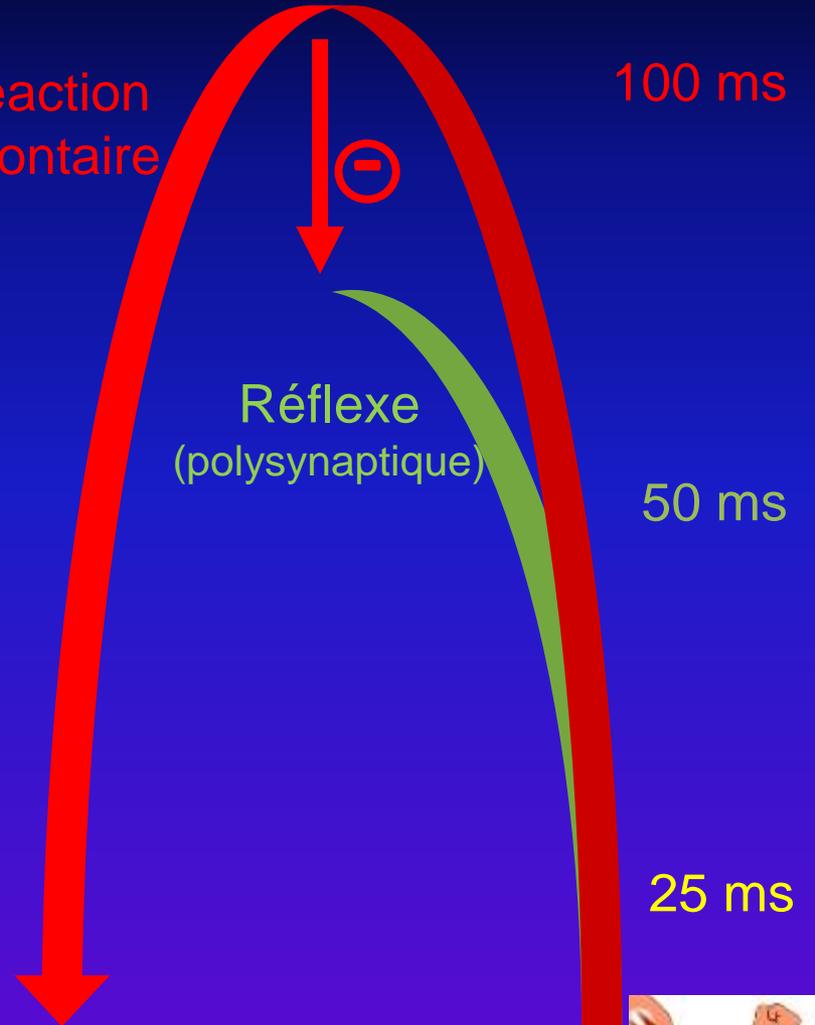
Instruction donnée à l'avance



perturbation

Réflexe (polysynaptique)

Réaction volontaire



100 ms

Réflexe (polysynaptique)

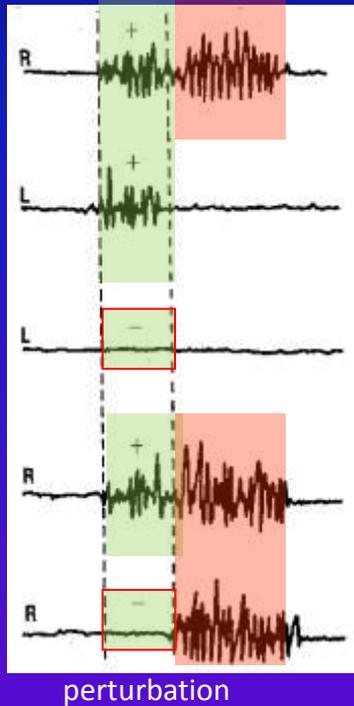
50 ms

25 ms

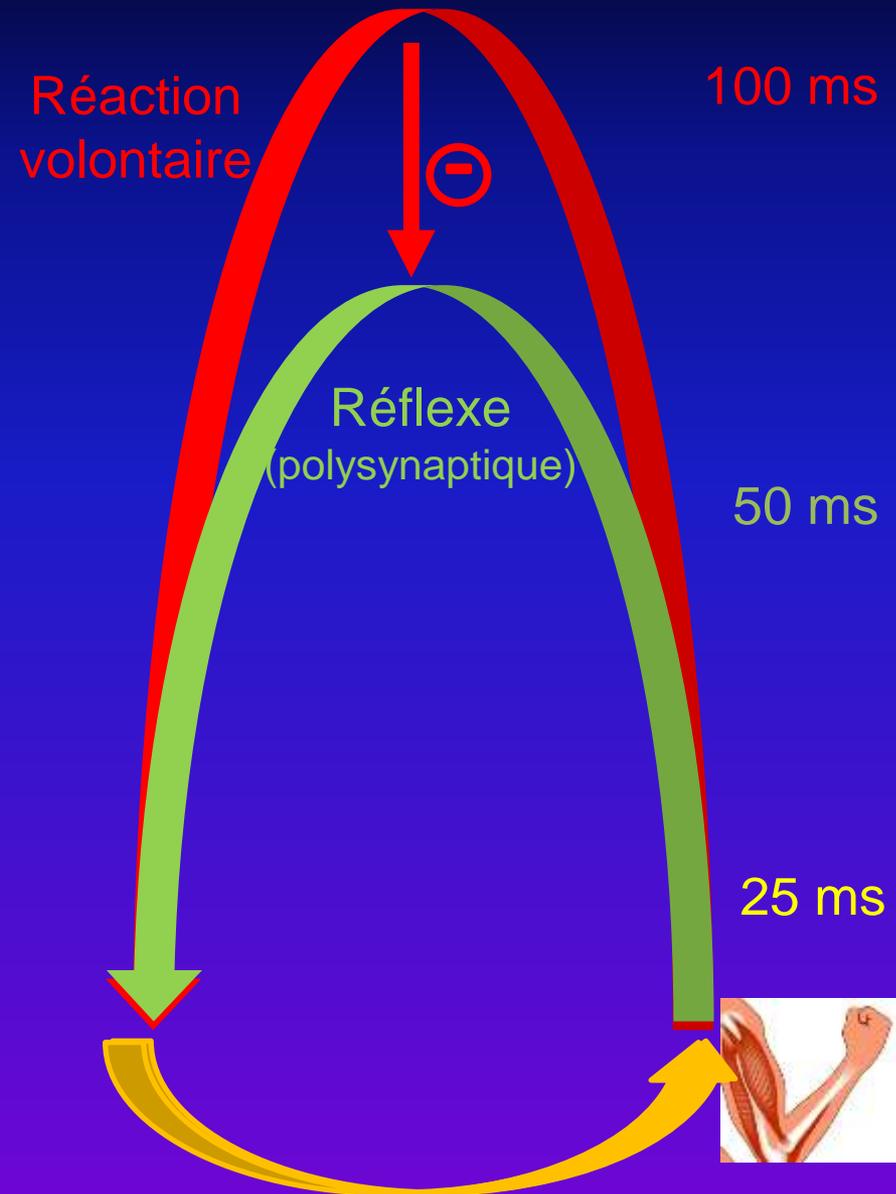


# IV- Interaction réflexe & mouvement volontaire

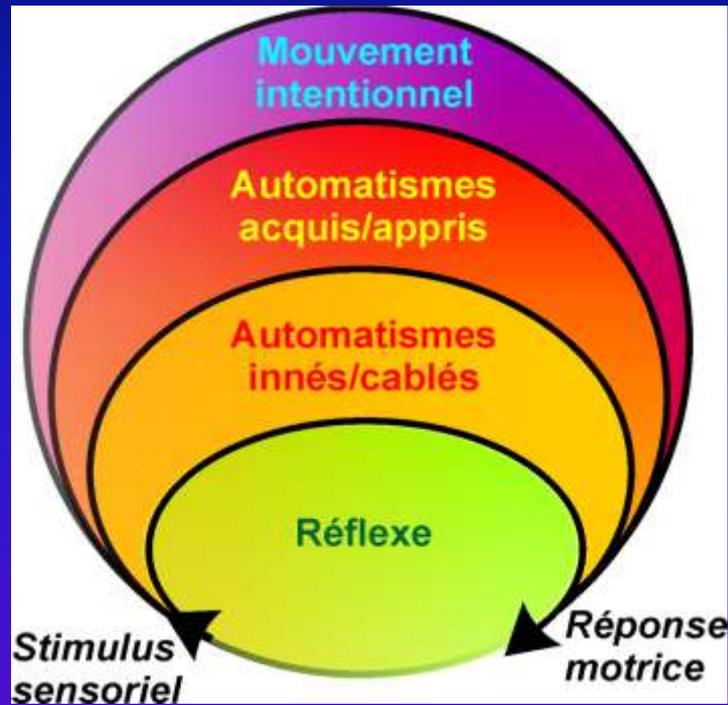
Instruction donnée simultanée



Réflexe (polysynaptique) 50%



# Conclusion sur la Motricité



Aires corticales

Ganglions de la base et  
cervelet

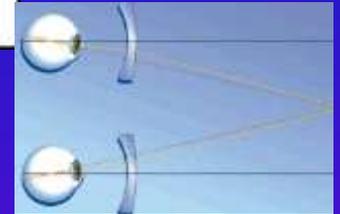
Tronc cérébral

Moelle épinière et tronc cérébral

# Neuroplasticité

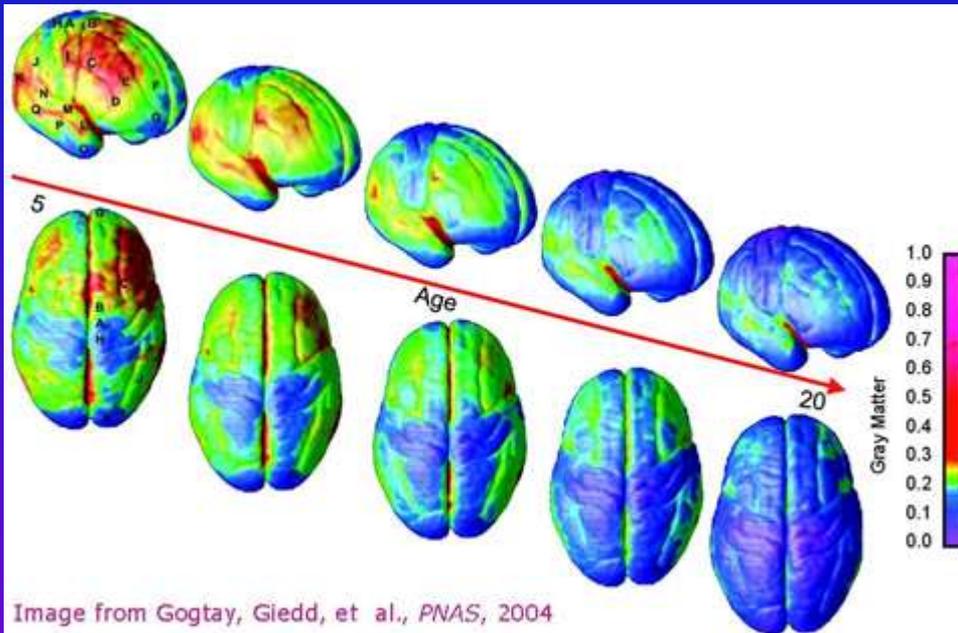
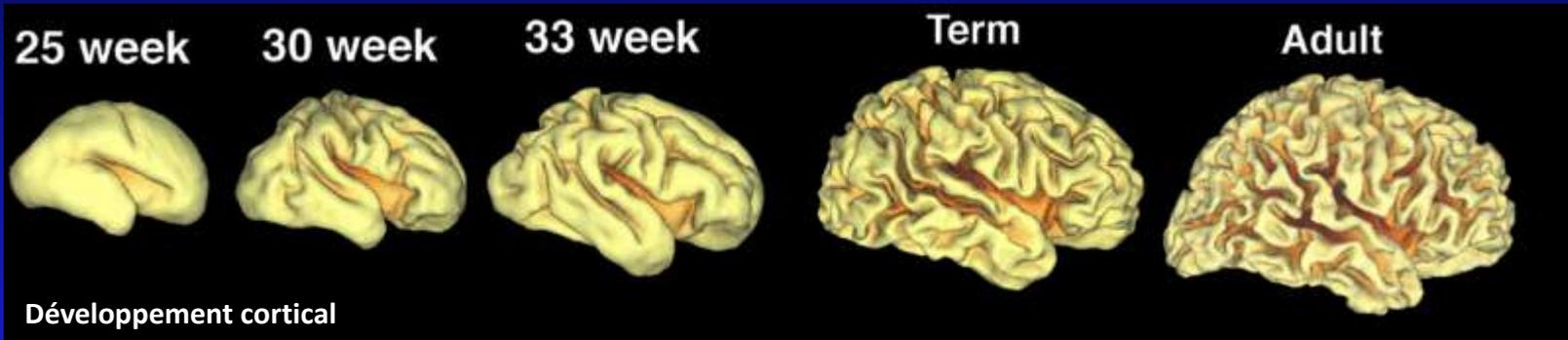
Le système nerveux peut se modifier « lui-même »:

- Développement
- Réorganisation d'aires spécialisées
- Plasticité sensori-motrice
- ...



# Neuroplasticité

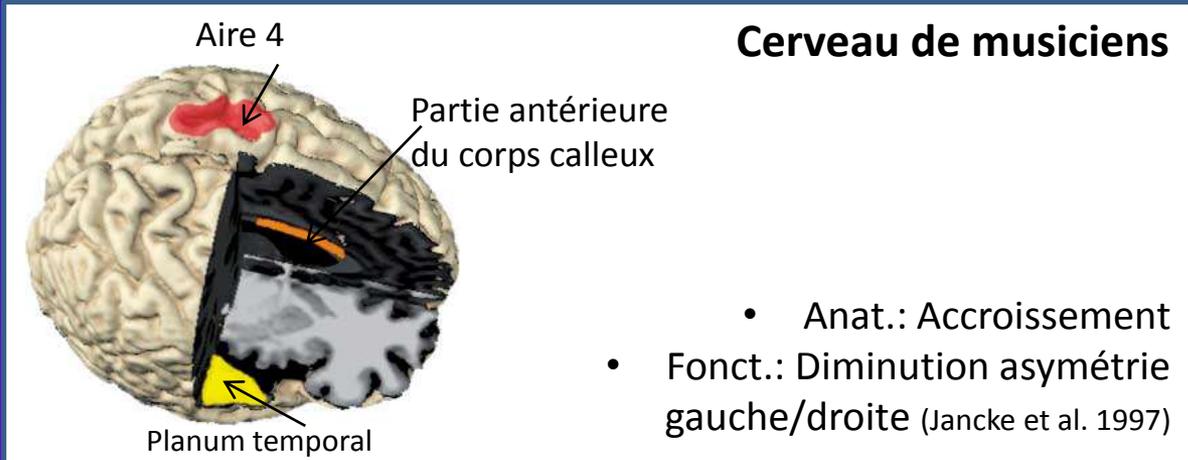
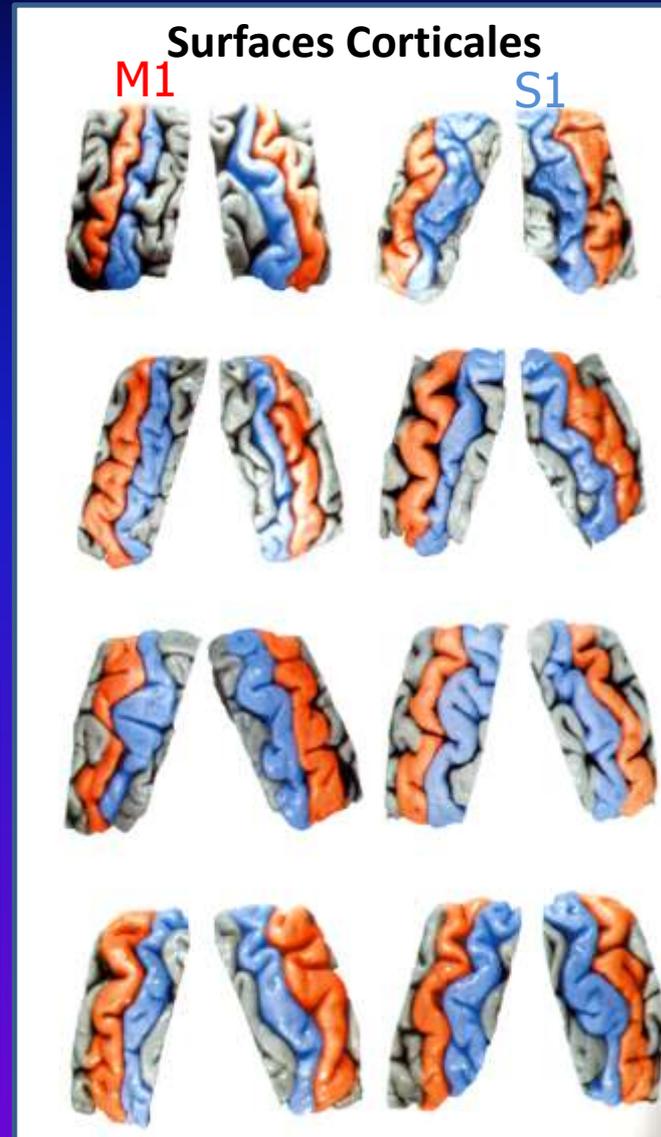
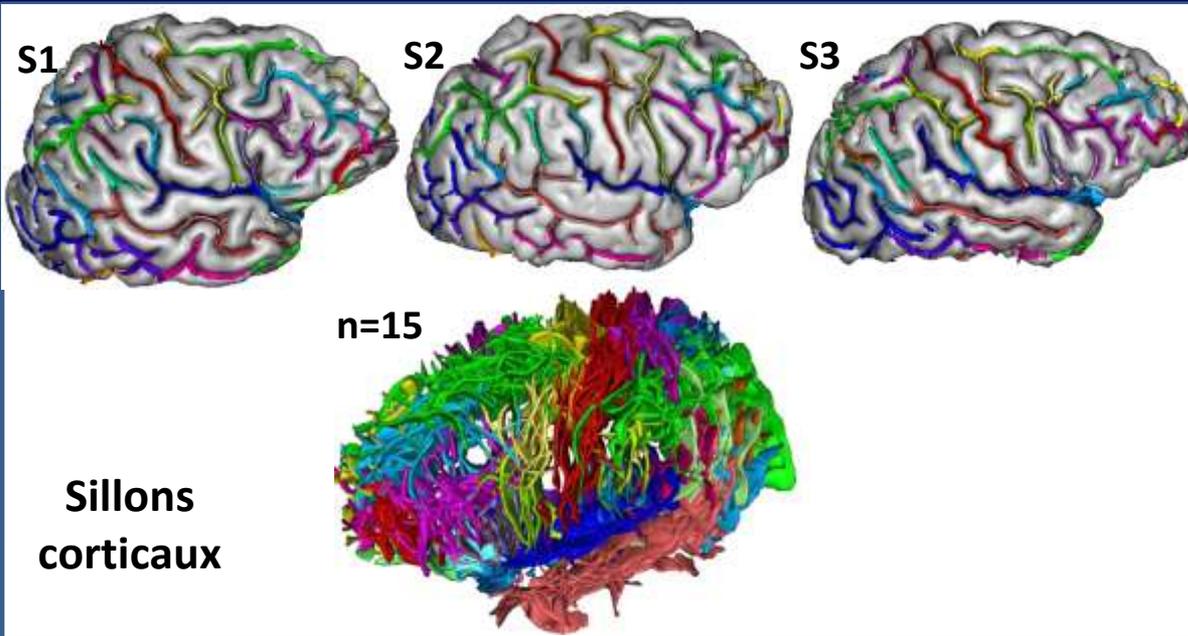
## Développement



- Le volume de matière grise (rouge) diminue avec l'âge
- Le volume de matière blanche augmente avec l'âge (organisation et maturation)

# Neuroplasticité

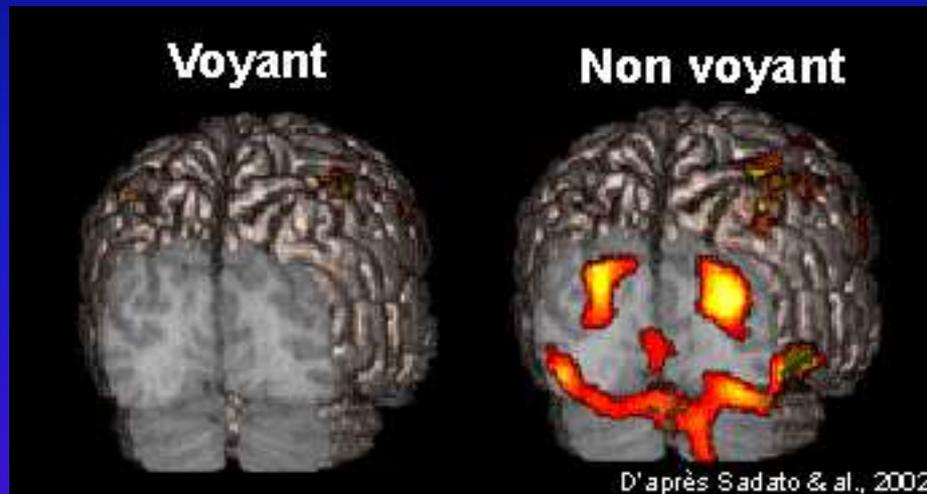
## Développement et variations interindividuelles



# Neuroplasticité

## Réorganisation d'aires spécialisées

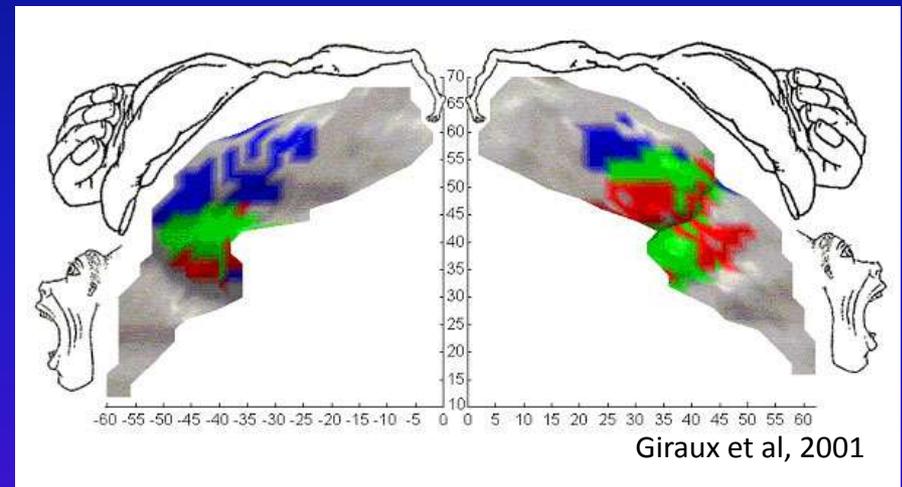
### SENSORIEL



- Lecture de mots -

Le cortex occipital 'visuel' devient polysensoriel et traite des informations tactiles (lecture braille) chez les personnes non-voyantes.

### MOTEUR



- Mouvement du poignet -

La greffe de la main a renversé l'organisation corticale précédemment induite par l'amputation

Avant transplantation

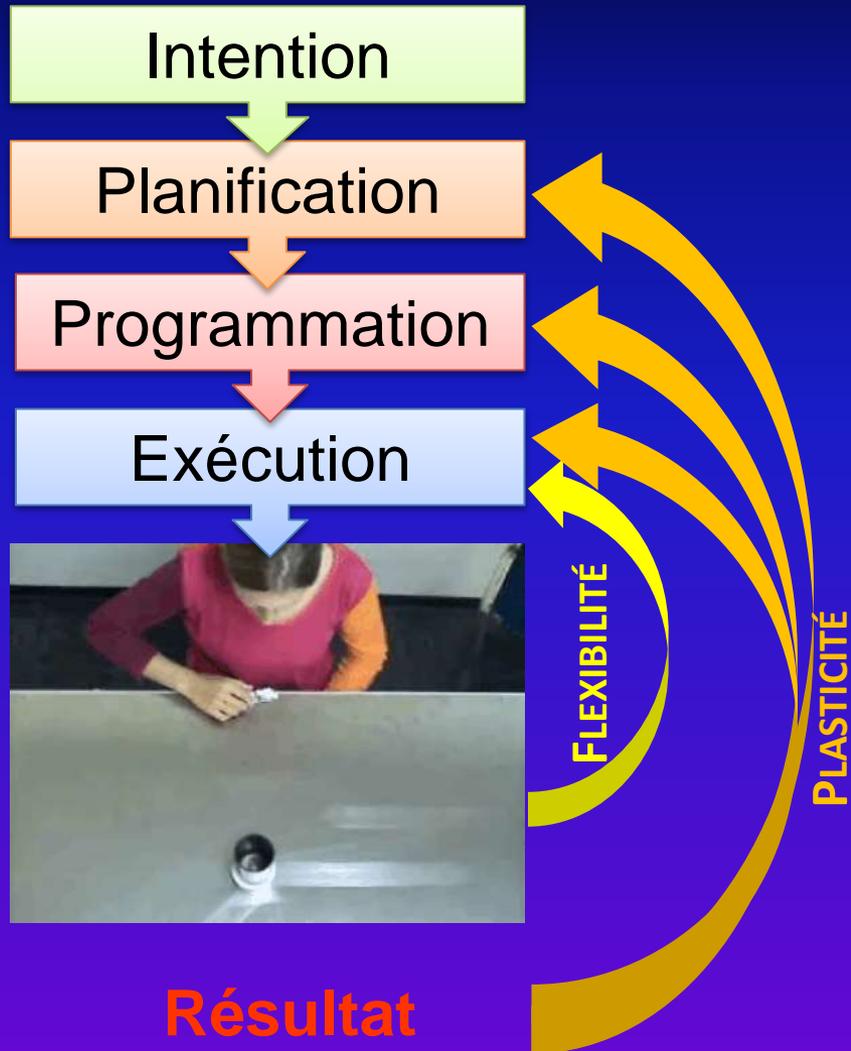


Après transplantation



# Neuroplasticité

## Flexibilité et Plasticité

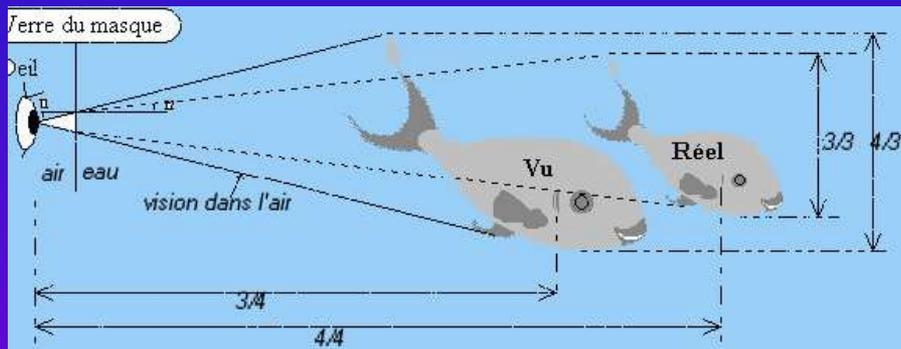


## Boucles de rétroaction

- Proprioceptives  
Réflexes, automatiques ou volontaires  
Rapides: 25-50-100 ms
- Visuelles  
Lentes (200 ms)  
Automatiques ou volontaires
- Vestibulaires  
Réflexes, automatiques (+volontaires)  
Rapides (16 ms !)

# Neuroplasticité

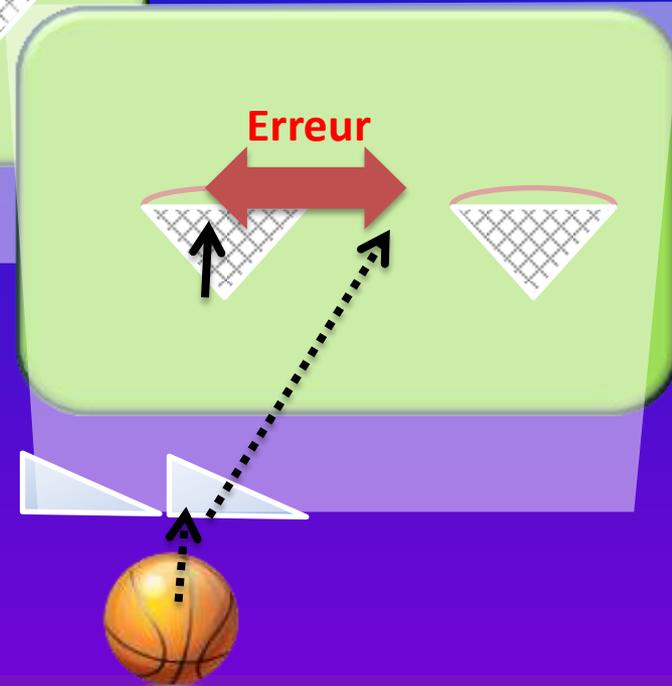
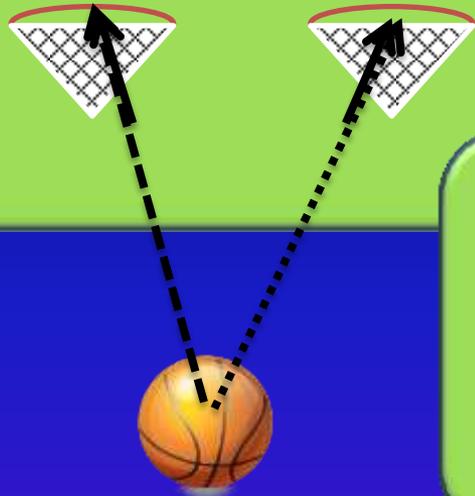
## Exemple de plasticité induite par les prismes



# Neuroplasticité

Exemple de plasticité induite par les prismes

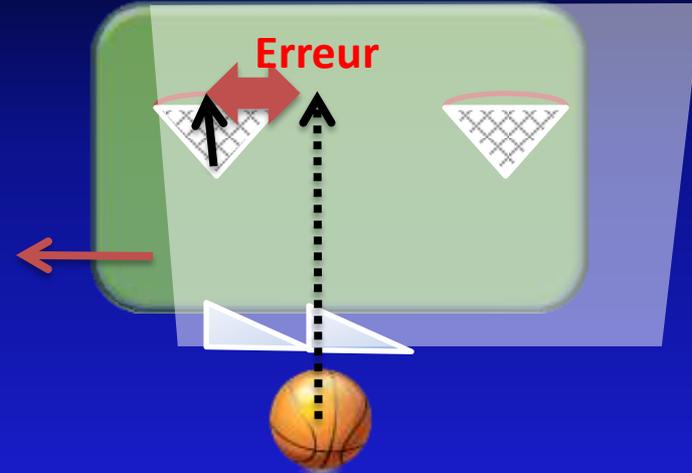
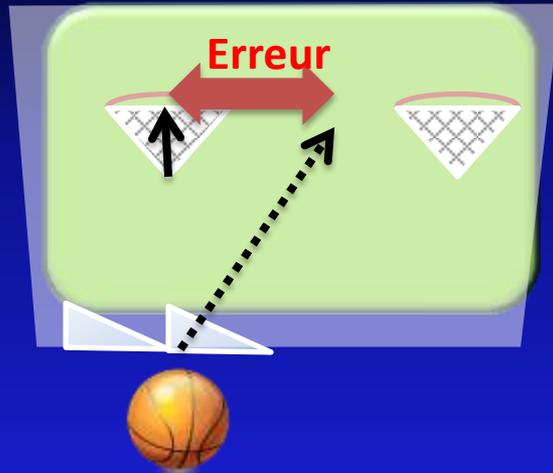
Adéquation entre vision et performances motrices



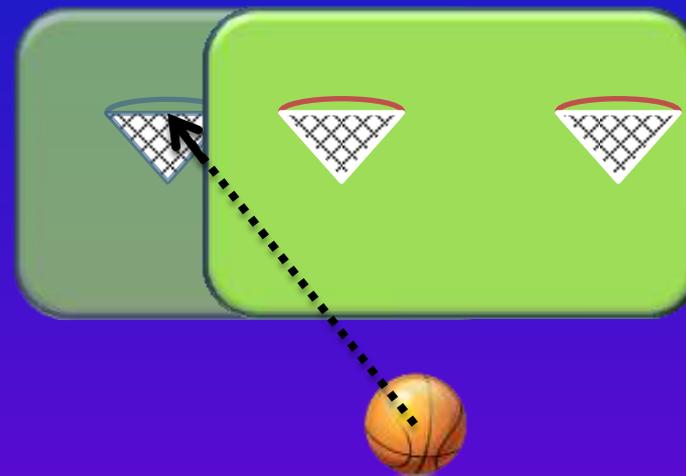
Conflit sensori-moteur → erreur  
→ Le système doit s'adapter

# Neuroplasticité

Exemple de plasticité induite par les prismes



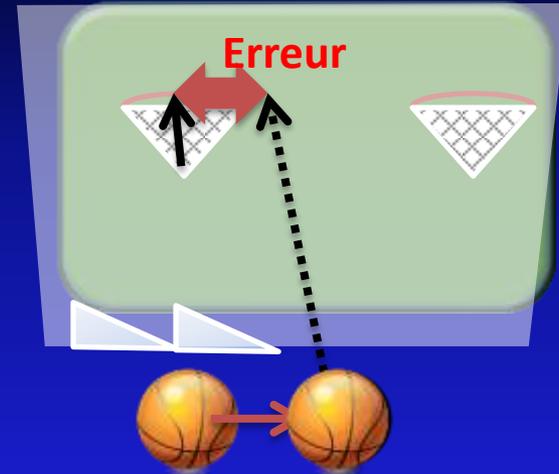
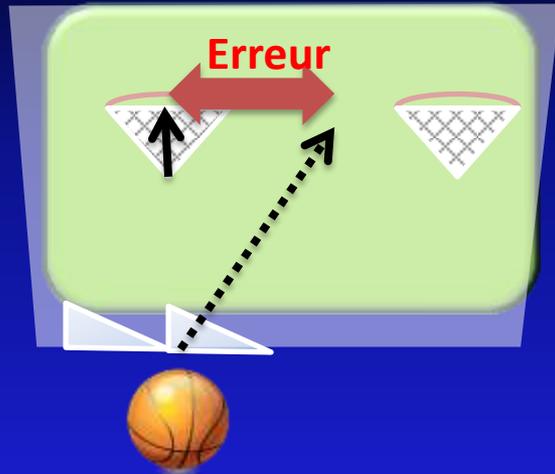
Adaptation: Modification de la représentation visuelle



Résolu le conflit visuo-moteur  
→ Pas erreur, **Adapté !**

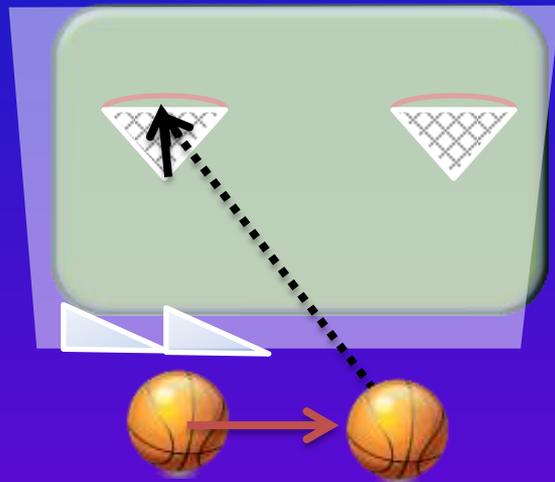
# Neuroplasticité

Exemple de plasticité induite par les prismes

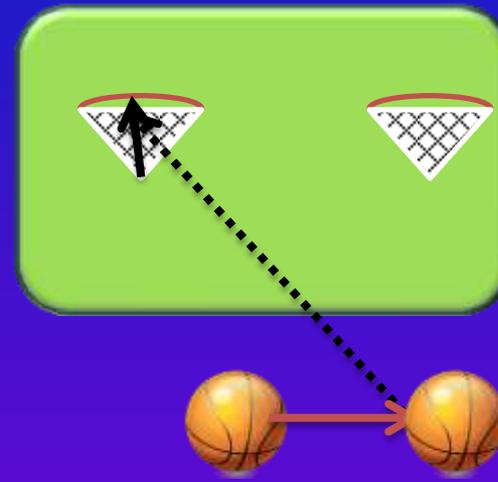


...

Adaptation: Modification de la représentation proprioceptive



...

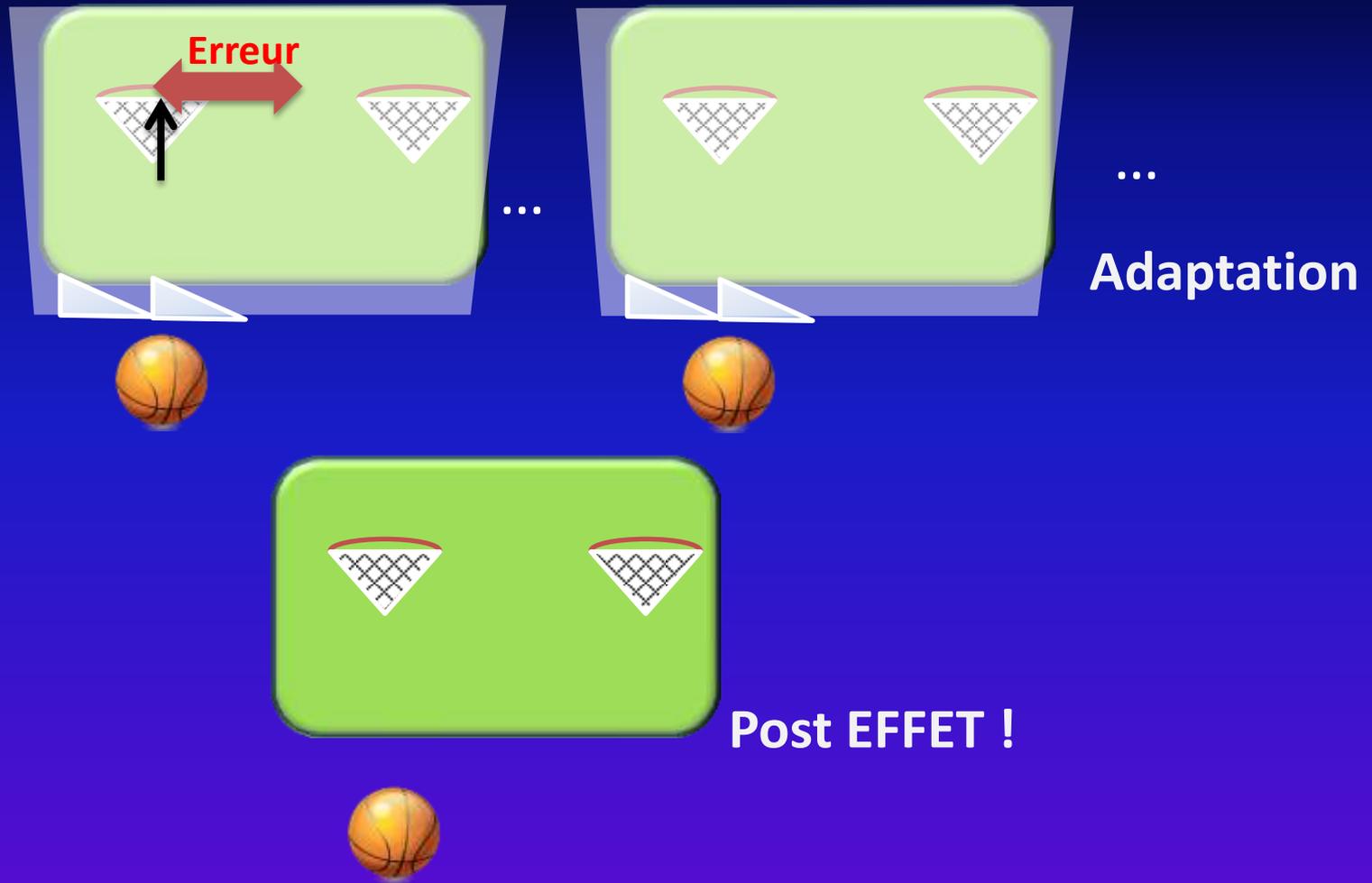


Post EFFET !

Résolu le conflit visuo-moteur  
→ Pas erreur, Adapté !

# Neuroplasticité

Exemple de plasticité induite par les prismes

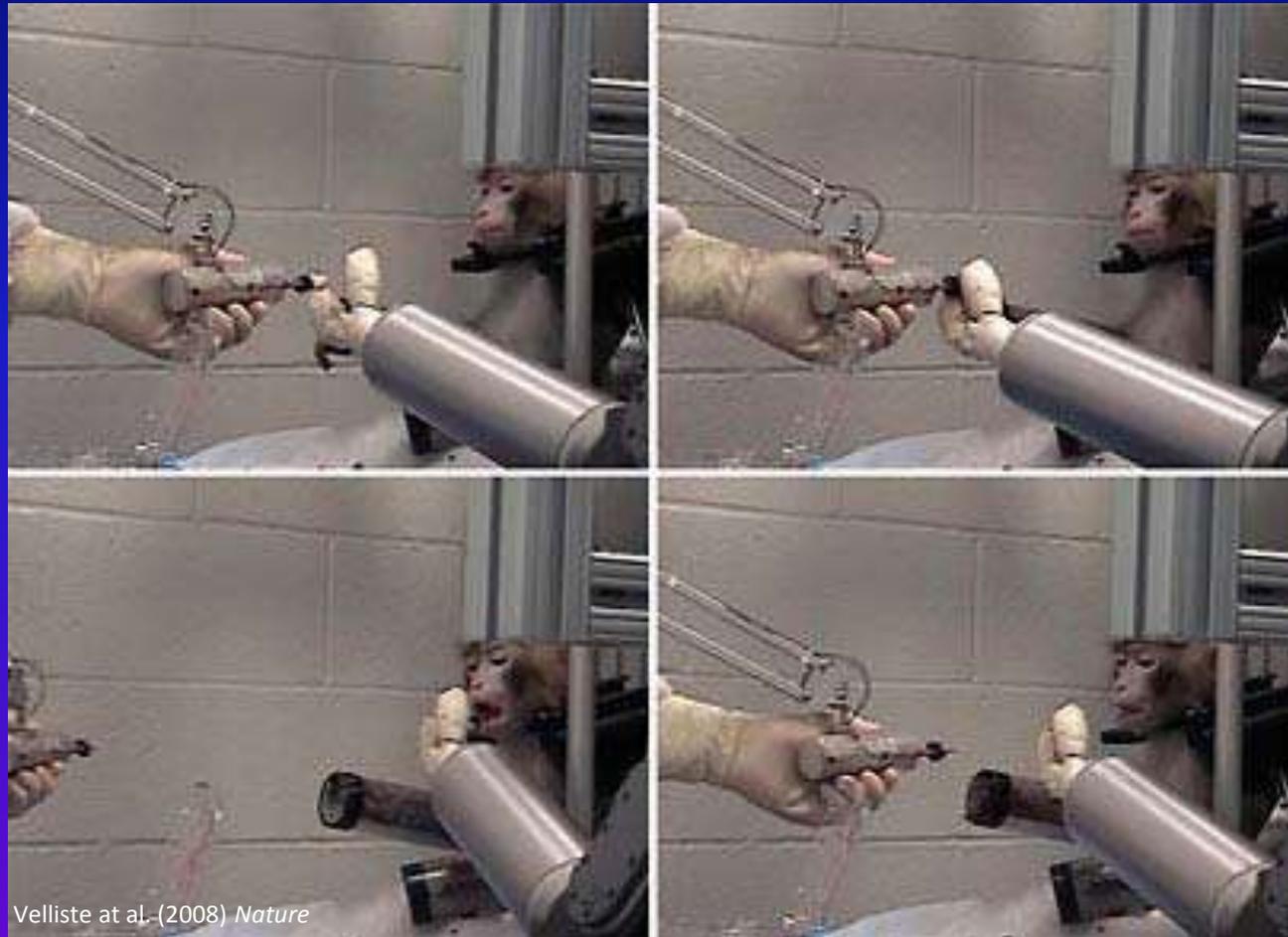


→ Atelier du 'Flipeur'

# Conclusions

- Il existe des organisations du système nerveux central.
- Les niveaux les plus 'hauts' intègrent les niveaux les plus 'bas'.
- Le système nerveux est plastique afin de répondre aux modifications internes et externes, et ainsi resté performants.

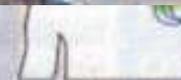
# Interface cerveau-machine



Velliste at al. (2008) *Nature*

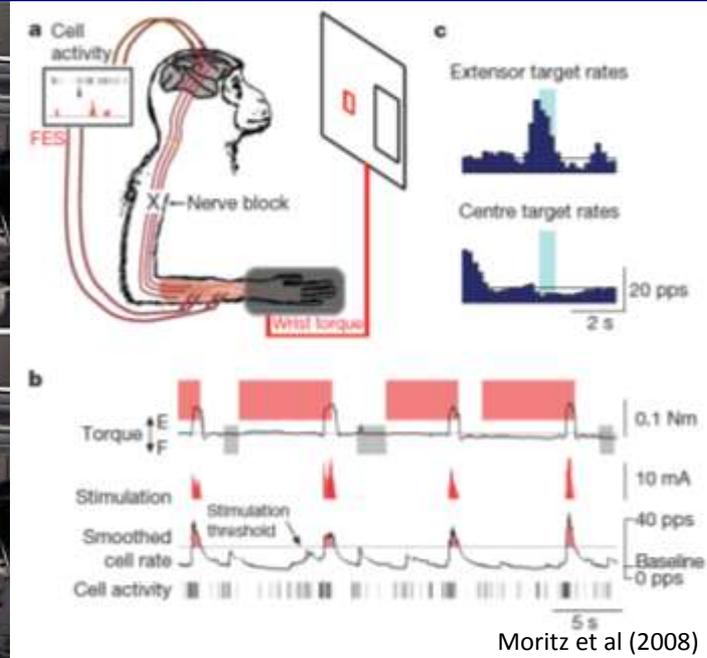
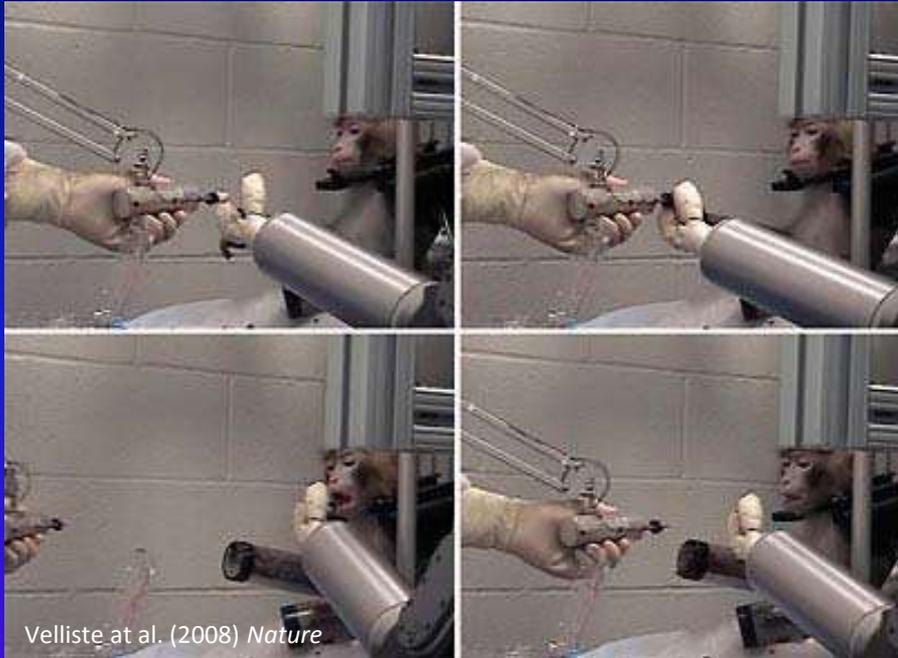
de réhabilitation  
de Chicago

Giadda Mitchem  
est la première  
femme équipée  
de ce bras

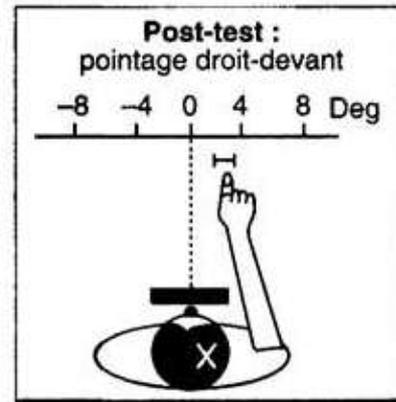
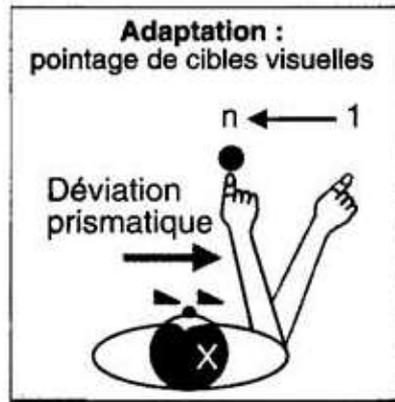
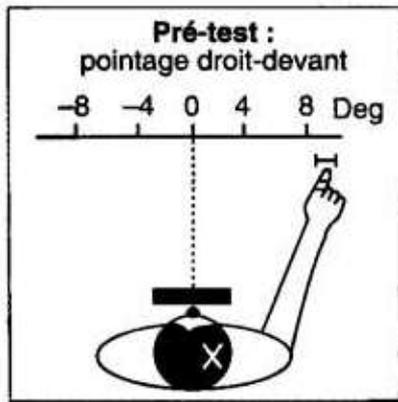


Source: RIC 180906 AFP

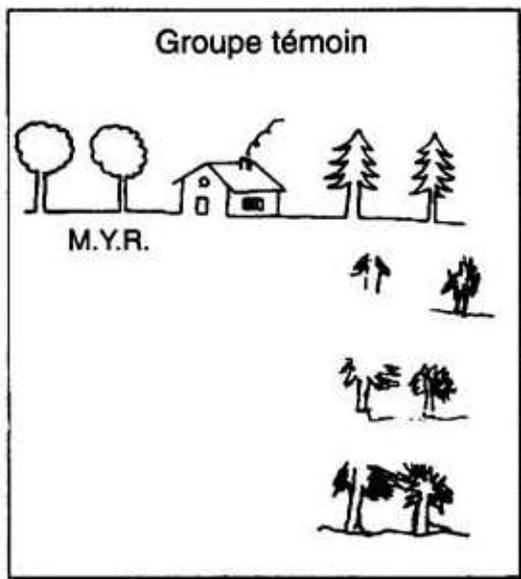
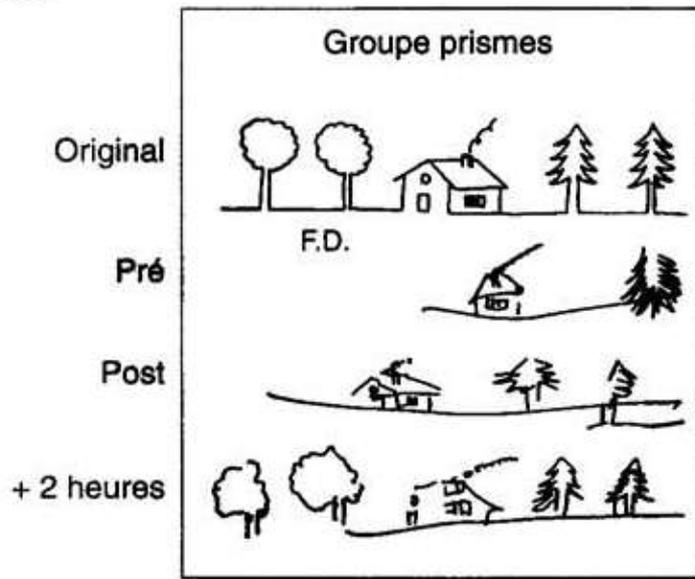
# Interface cerveau-machine



**A** Adaptation prismatique

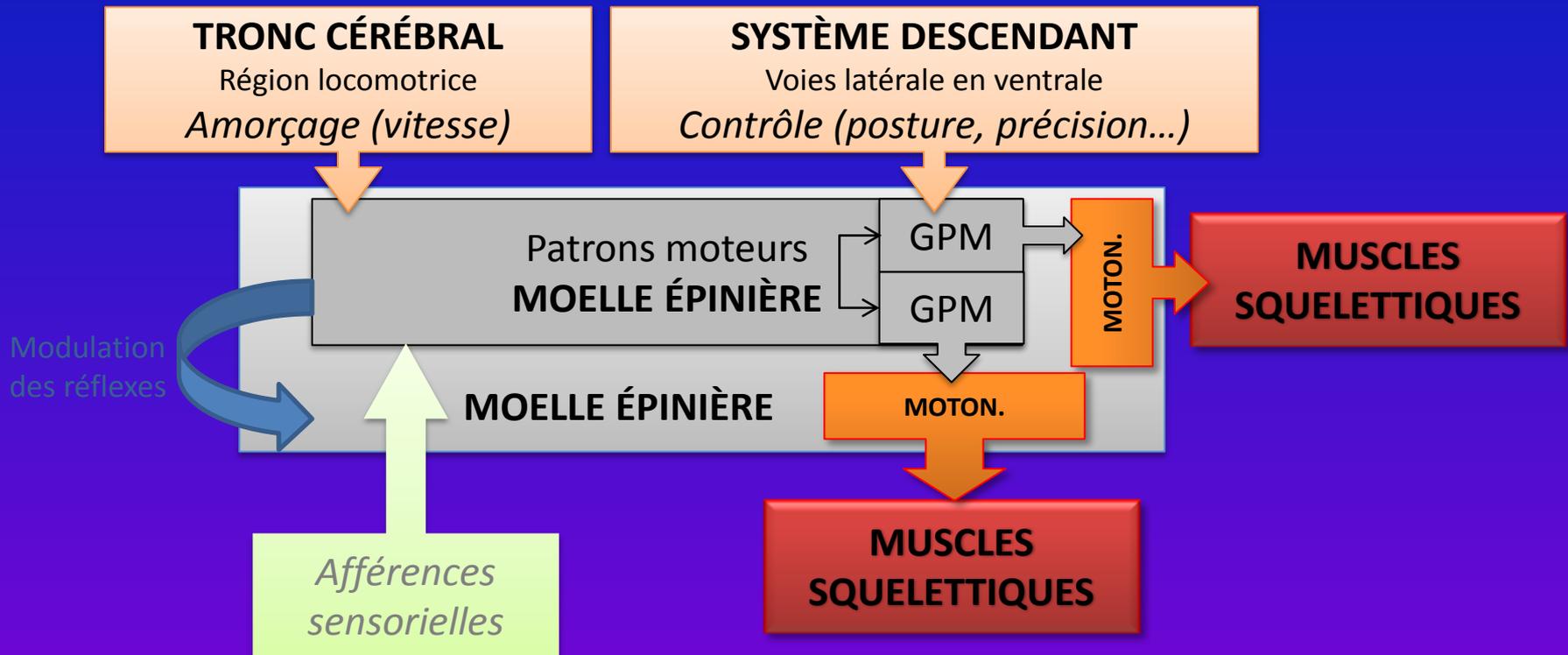
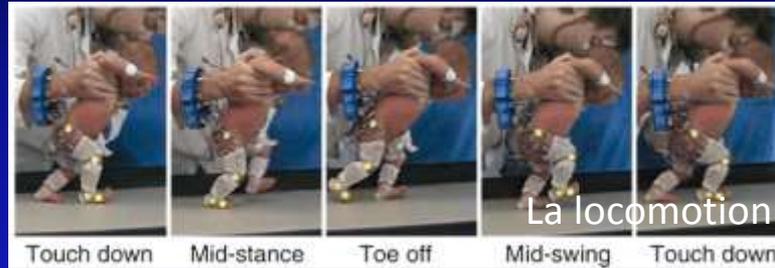


**B** Copie de dessin



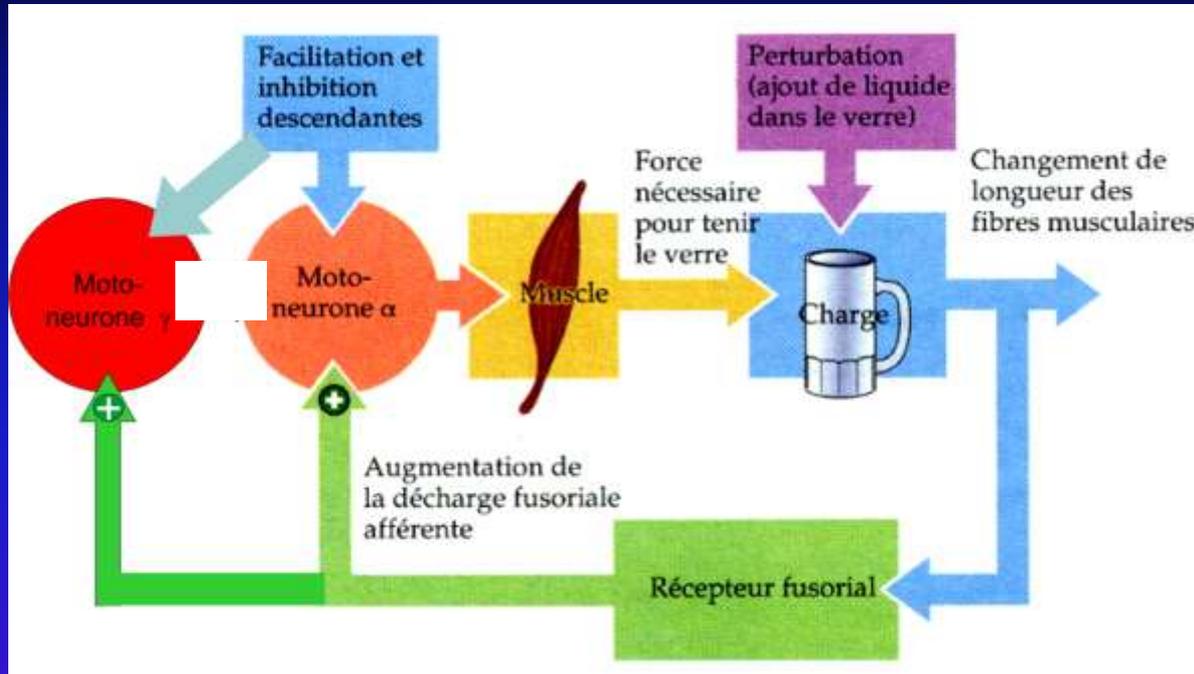
# Organisation parallèle

*Patrons moteurs: Les mouvements automatiques innés*



# III- Organisation parallèle

## 3.4 Contrôle cortical de l'inhibition réciproque



### Système descendant

Module l'action des motoneurones alpha & gamma selon contexte exécution

(mouvement difficile, précis et rapide  $\rightarrow$  modulation et non suppression du reflexe myotatique).

**FONCTION** Contrôle du mouvement et de la posture

# Organisation parallèle

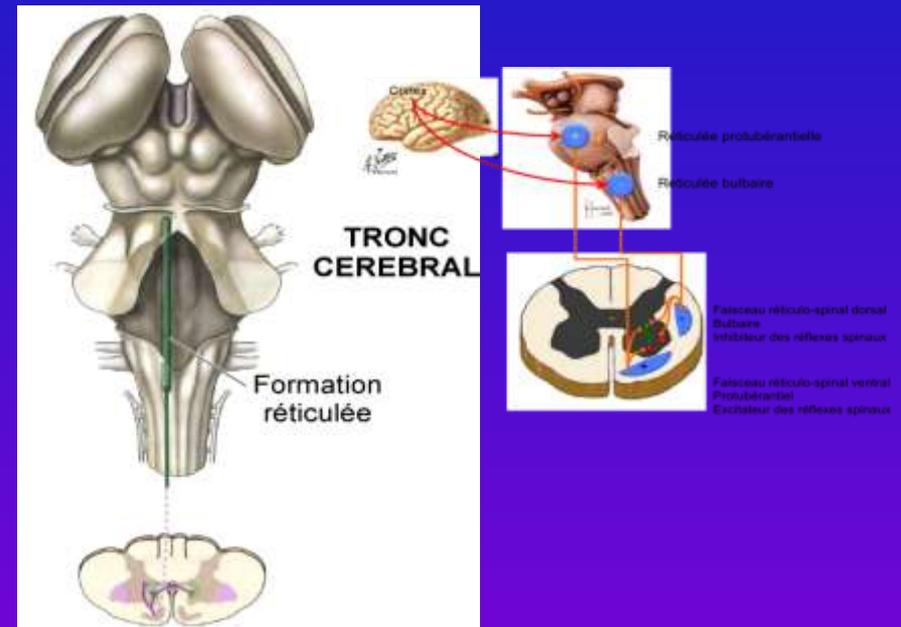
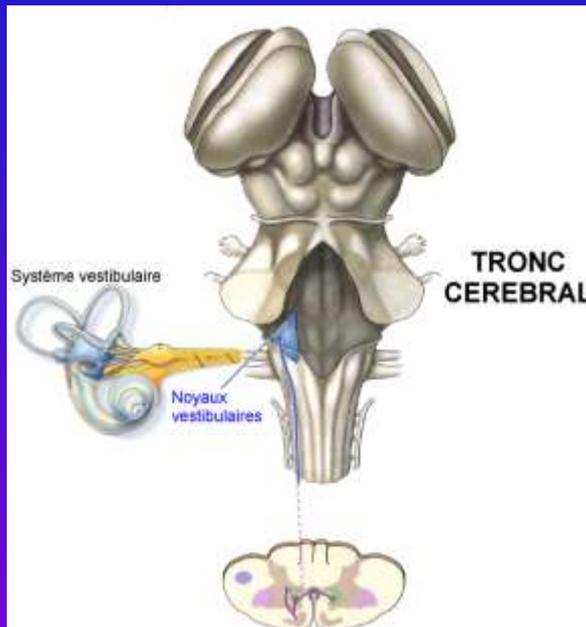
## Tronc cérébral et contrôle de la motricité

4 grandes voies anatomiques qui sont issus du TC → 4 grandes fonctions dans le contrôle postural et l'orientation du corps (tonus musculaires, orientation des yeux tête tronc en fonction info vestibulaires, somatiques, auditives et visuelles)

### Contrôle postural = Maintien de la posture et stabilité du corps

1- faisceau vestibulospinal: bulbe du TC vers la ME → muscles axiaux et proximaux des membres suite à stim vestibulaires

2- faisceau réticulospinal: formation réticulée vers la ME → coordination muscles axiaux et proximaux des membres anticipant un mouvement

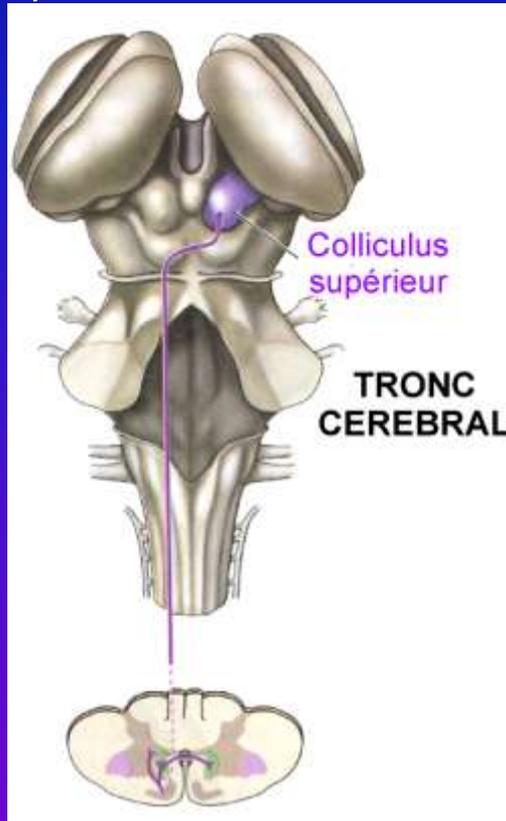


# Organisation parallèle

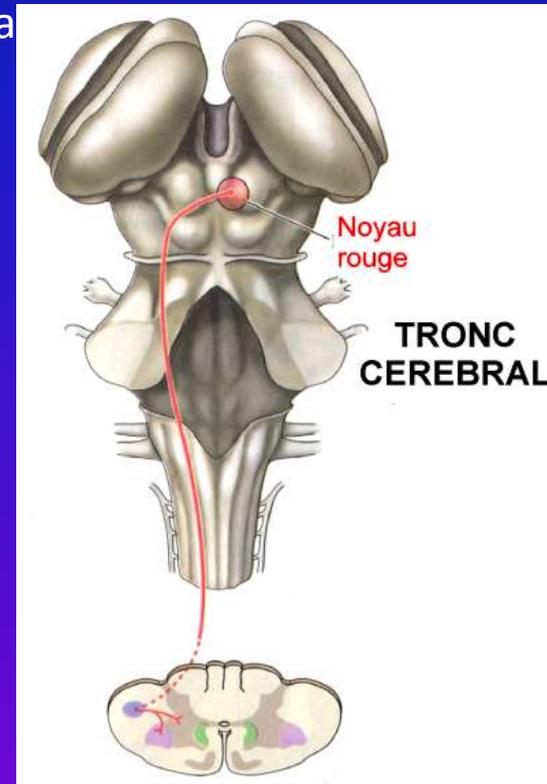
## *Tronc cérébral et contrôle de la motricité*

### Orientation du corps et contrôle de la motricité du bras

3- faisceau tectospinal: colliculus supérieur du TC vers la ME → contrôle motricité axiale (nuque) des mouvement orientation tête et yeux



4- faisceau rubrospinal: noyaux rouge du TC vers la ME → contrôle mouvement du bras (conjonction avec voie corticospinale latérale)



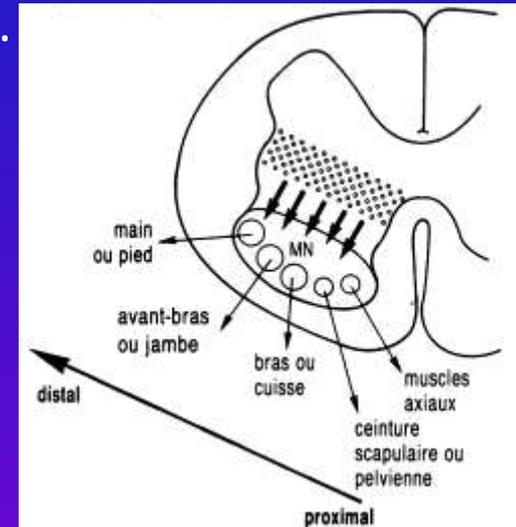
# Organisation parallèle

## Voies descendantes

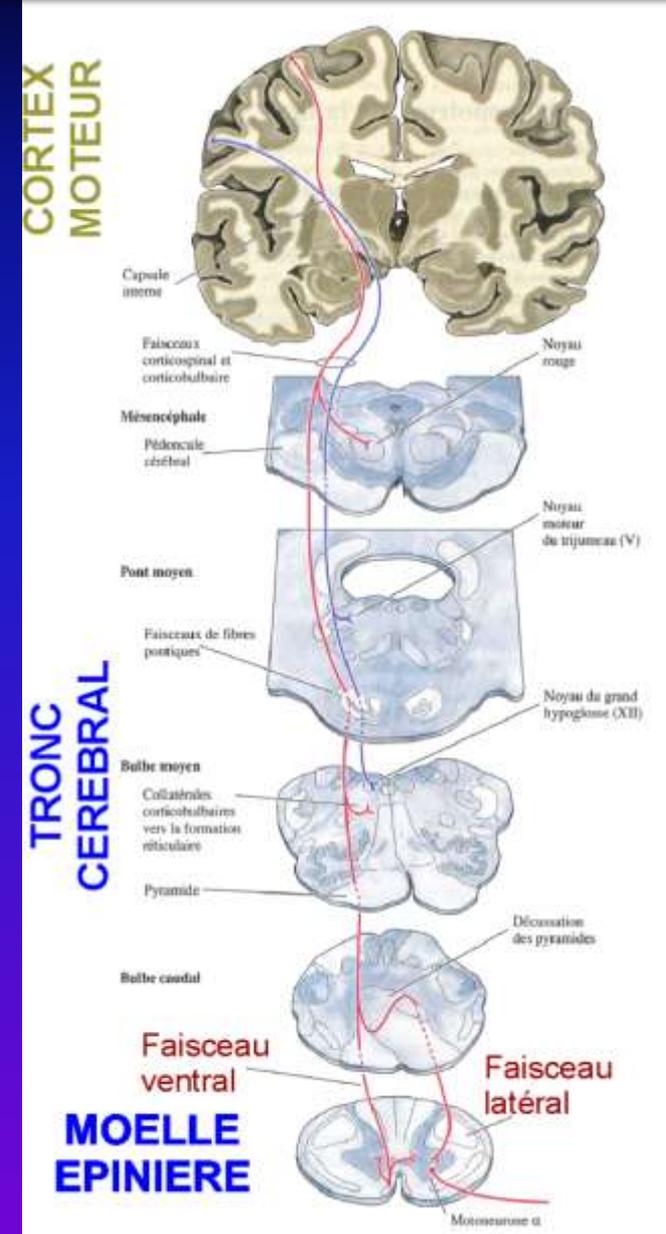
### Voie corticospinale

Elle projette directement sur la moelle épinière (voie directe):

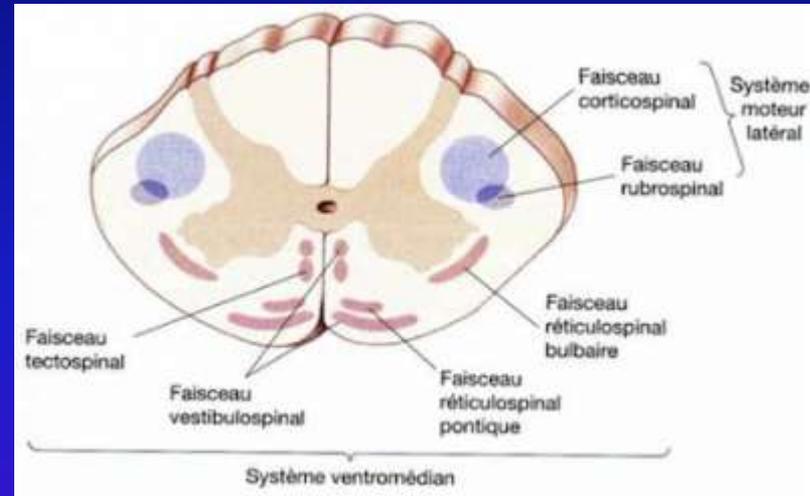
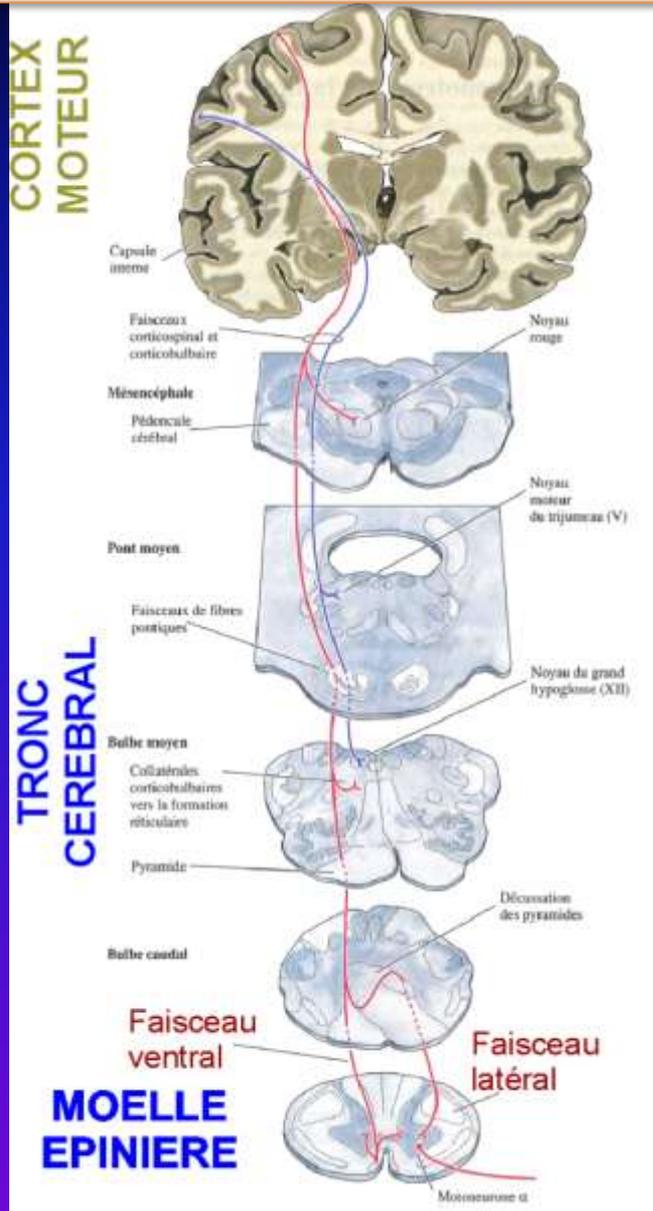
- Faisceau latéral: décusse niveau TC → contrôle muscles distaux.
- Faisceau ventral: décusse niv ME → contrôle muscle axiaux et proximaux.



*Fonction: motricité volontaire*



# Organisation parallèle



## Voie corticobulbaire

Elle projette sur le tronc cérébral puis sur la moelle épinière.

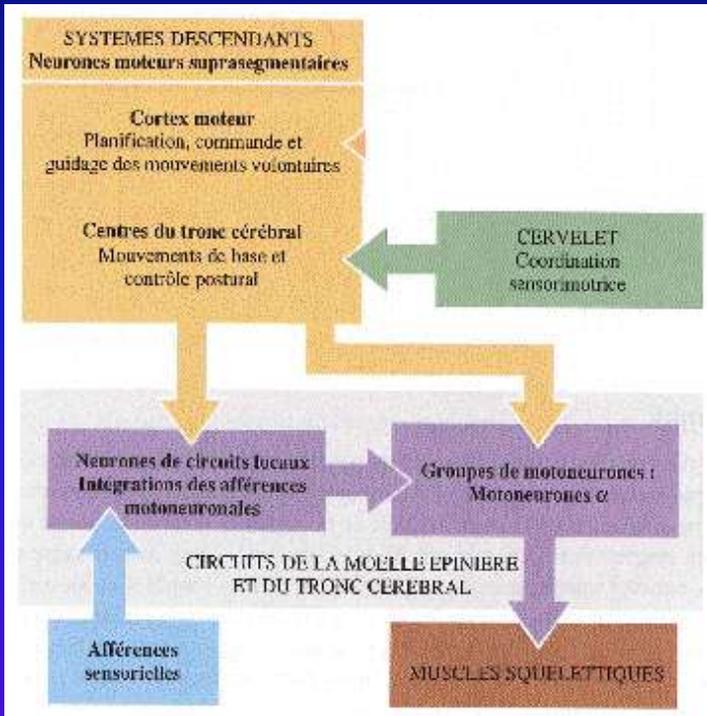
Voie indirecte.

*Fonction:* maintenir la posture lors des mouvements volontaires.

# Organisation parallèle

## Le cervelet

### Régulateur des neurones moteur centraux (cortex et tronc cérébral)

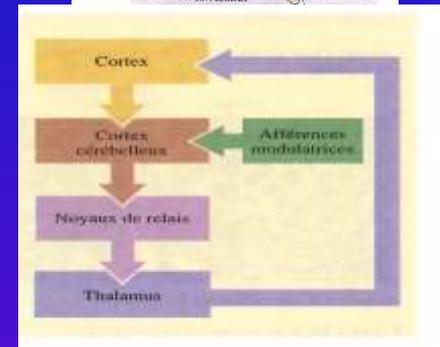
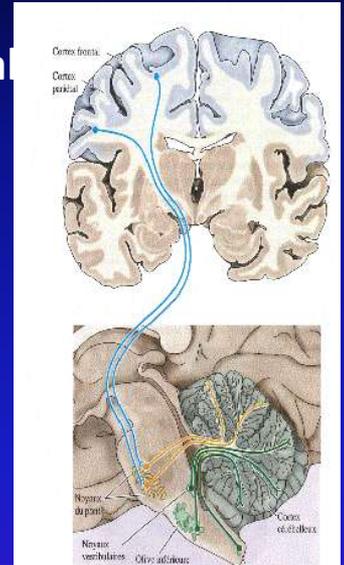


Reçoit des informations de:

- Cortex cérébral (aires motrices, visuelles...)
- Tronc cérébral (noyaux vestibulaires...)
- Moelle épinière

Envoie en retour sur:

- Cortex cérébral (aires motrices...)
- Tronc cérébral (noyaux vestibulaires...)



→ Régule neurones du cortex et du tronc cérébral

assure de détecter « erreur motrice » (différence entre mouvement prévu et réalisé) en réduisant écart: via projection sur neurones moteurs, **corrige cette erreur**

- à court terme → Coordination des mouvements (comparaison pg moteur/retours sensoriels)
- À long terme → apprentissage

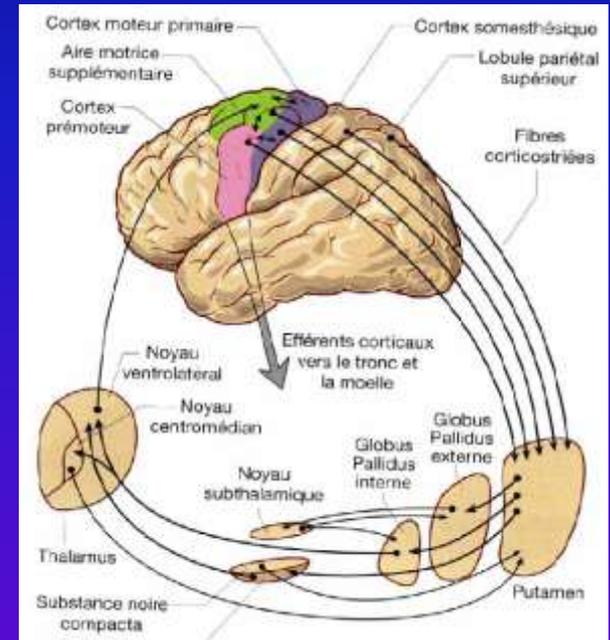
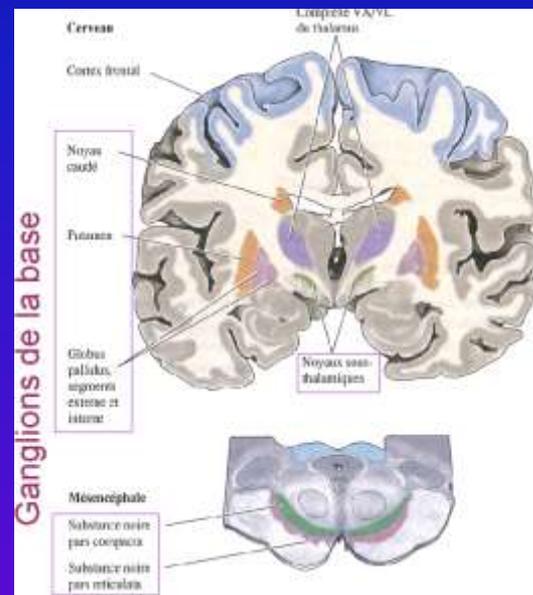
# Organisation parallèle

## Les ganglions de la base

### Régulateur des neurones moteur centraux (cortex et tronc cérébral)

Boucles sous-corticales reliant les aires corticales aux aires motrices (cortex moteur et tronc cérébral).

- Déroulement harmonieux (temporal) et contextuel d'un comportement
- Suppression de comportements indésirables
- Prépare neurones centraux au démarrage mouvement



Hypokinésie : Park (\*akinésie: retard initiation mvmt + \*rigidité, \*trbt...), dégénération noyau  
Hyperkinésie: chorée Huntington (génétique, atrophie) Tic...

# Neuroplasticité

## Développement : les réflexes changent...

Réflexes polysynaptiques variés en fonction du degré de maturation neurologique.

### 1- Automatismes primaires (<1 mois):

#### « Stade pré-pyramidal »

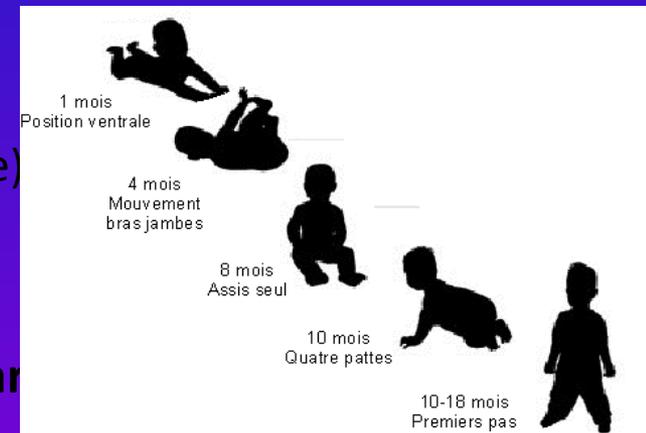
- Réflexe de Moro (extension bras, < 3ème mois)
- Réflexe tonique du cou : flexion des membres du côté de la tête, extension de l'autre
- Réflexe d'allongement croisé du membre inférieur, à la stimulation plantaire opposée
- Réflexe de « grasping » (empoignement)

### 2- Chez le nourrisson (de 2 à 18 mois) :

- Fin de l'hypertonie de flexion.
- Réflexes de redressement (tête tenue à 3 mois).
- Réflexe d'incurvation dorsale du tronc en position ventrale)
- Position assise, déplacement, etc.

### 3- Etc.

Il y a donc une évolution de l'activité réflexe, aidée par l'apprentissage.



# Syndrôme neurogène périphérique = ensemble des symptômes dus à des atteintes des motoneurones alpha $\alpha$

## Poliomyélite



Maladie virale qui détruit les motoneurones  
→ Paralysie et amyotrophie  
Vaccination existante

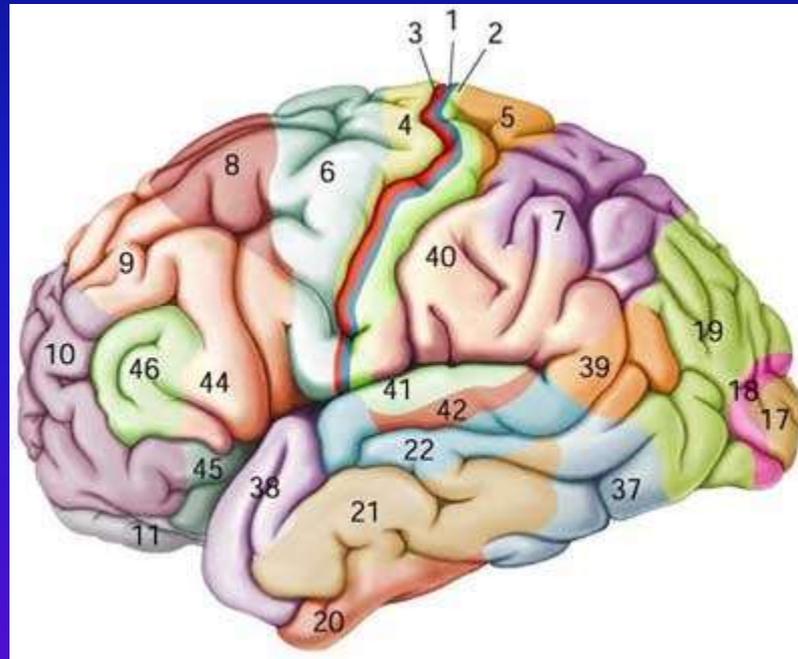
## Maladie de Charcot (sclérose latérale amyotrophique)



Maladie neurodégénérative d'origine inconnue qui détruit motoneurones  
→ Faiblesse progressive  
→ Fonte des muscles squelettiques.  
→ Espérance de vie : 5 ans après début maladie  
→ 0,05% population

# Aires de Brodmann

Le cortex est plus précisément décrit en termes de zones fonctionnelles dénommées **Aires de Brodmann**.



# PPC

- ***Le lobe pariétal postérieur fournit une aide visuelle au mouvement***
- Cette région qui correspond aux aires 39 et 40 présente une importante spécialisation hémisphérique. En effet, chez le sujet droitier, le lobe pariétal postérieur gauche est spécialisé dans l'élaboration du langage. Par contre, le lobe droit est spécialisé dans le traitement de l'information sur la position du corps dans l'espace. C'est donc l'aire sur laquelle se projettent en particulier les informations d'origine visuelle en vue de leur utilisation pour l'organisation des mouvements. Les patients présentant des lésions de ces régions montrent de graves perturbations de l'attention qui sont nommées *négligence sensitive*. Bien que les sensations soient parfaitement normales, les informations visuelles aussi, ces patients ne reconnaissent pas les objets complexes placés à portée de leur vision ou de leur main. Ils ne sont donc pas capables d'utiliser les informations fournies par le côté controlatéral ou par la vision du champ controlatéral. Il en résulte que leurs mouvements ne sont pas correctement coordonnés en fonction de la vue qu'ils ont de l'espace situé devant eux. Pour prendre un exemple, des patients souffrant de telles lésions dessinent un cadran d'horloge correctement, mais ils placent tous les chiffres d'un même côté.