

# Plasticité cérébrale: support de la rééducation neuro- motrice

Pr Isabelle Bonan

Faculté de médecine de Rennes

Service de Médecine Physique et de Réadaptation (MPR)

Laboratoire EMPENN INSERM-INRIA



# introduction

- Ces 20 dernières années, progrès considérables pour comprendre la plasticité cérébrales (IRM, techniques neurophysiologie...)
- En parallèle progrès dans nos techniques de rééducation
- Rééducation motrice → cerveau
- Dans ce cours: plasticité neuro-motrice
- Obj: Bien comprendre mécanismes d'action de nos rééducations innovantes pour améliorer la récupération motrice après pathologie neurologique

## préalable

-la plasticité cérébrale explique nos capacités d'apprentissage

La plasticité cérébrale concerne aussi bien le sujet sain que le sujet cérébrolésé

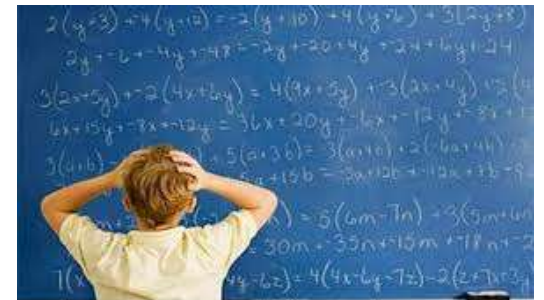
Les Règles de l'apprentissage vont s'appliquer pour optimiser le processus de plasticité cérébrale quelque soit le contexte : sujet sportif /patient cérébrolésé ou non

-Les zones cérébrales motrices peuvent être actives en l'absence de réalisation de gestes

-Après AVC les meilleures récupérations après AVC sont observées en cas de retour à une activation ipsilatérale

# Plan: comprendre la plasticité cérébrale pour optimiser la rééducation neuromotrice

- Notions indispensables et techniques de rééducation
  - Principes apprentissage
  - Spécificité en matière activation zones motrices
  - Relation étroite entre motricité et sensibilité
- Notions complémentaires pour la Plasticité post AVC
  - Organisation de la motricité
  - Compétition interhémisphérique et Plasticité maladaptative
- Méthodes de rééducation pour stimuler plasticité post AVC



# Plan: comprendre la plasticité cérébrale pour optimiser la rééducation neuromotrice

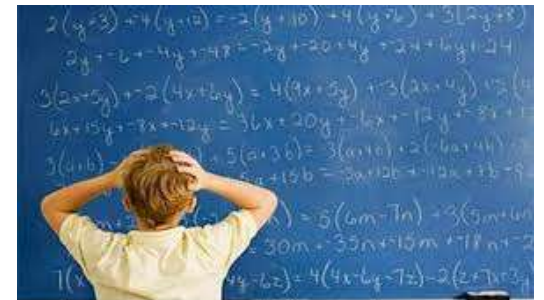
- Notions indispensables et techniques de rééducation

- Principes apprentissage
- Spécificité en matière activation zones motrices
- Relation étroite entre motricité et sensibilité

- Notions complémentaires pour la Plasticité post AVC

- Organisation de la motricité
- Compétition interhémisphérique et Plasticité maladaptative

- Méthodes de rééducation pour stimuler plasticité post AVC



# Principes de l'apprentissage = stimuler la plasticité

6 règles de l'apprentissage +++

- Entraînement intensif
- Répétition des exercices
- Orientée vers la tâche: tâche signifiante
- Engagement
- motivation
- Feedback



*(Kwakkel 1999, Butefisch 1995, Richards 1993)*

# Les principes d'apprentissage appliqués en rééducation

- Entraînement intensif
- Répétition des exercices
- Orientée vers la tâche



Robots



Exercices orientés

*(Kwakkel 1999, Butefisch 1995, Richards 1993)*

# Les principes d'apprentissage

- Motivation
- engagement
- Feedback
  - Essai erreur
  - Feedback augmenté



Réalité virtuelle



Feedback  
visuel/haptique/auditif

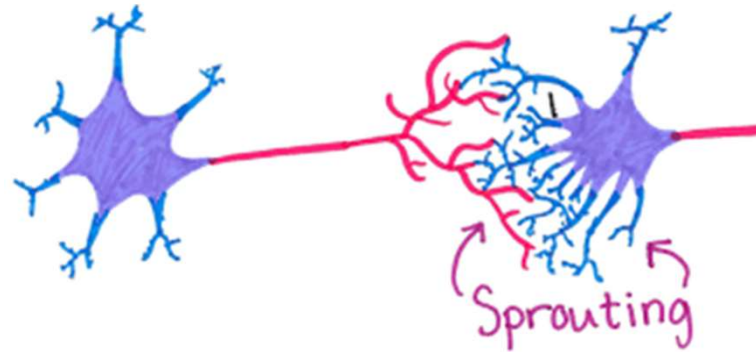


Appareil dessintey

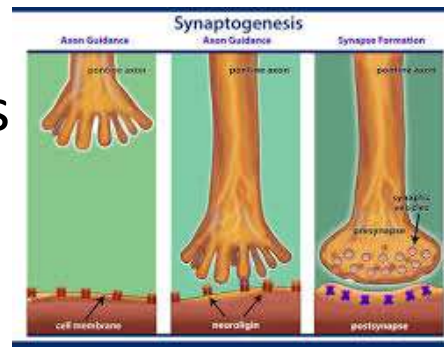


# Mécanismes de la plasticité à l'échelle des neurones

- Le sprouting

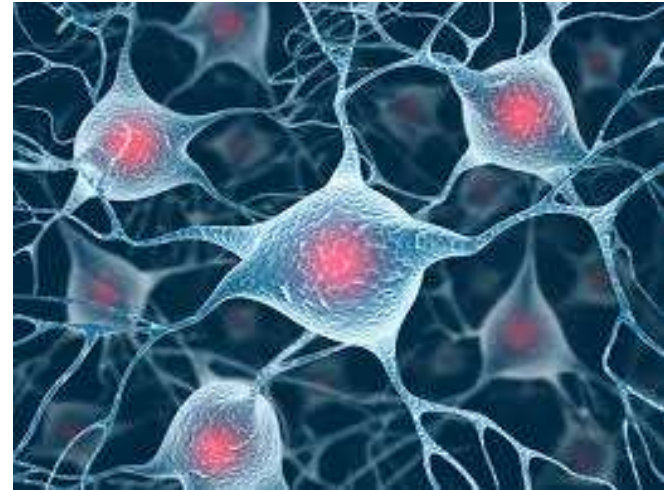


- L'augmentation des récepteurs



# Mécanismes à l'échelle des reseaux de neurones

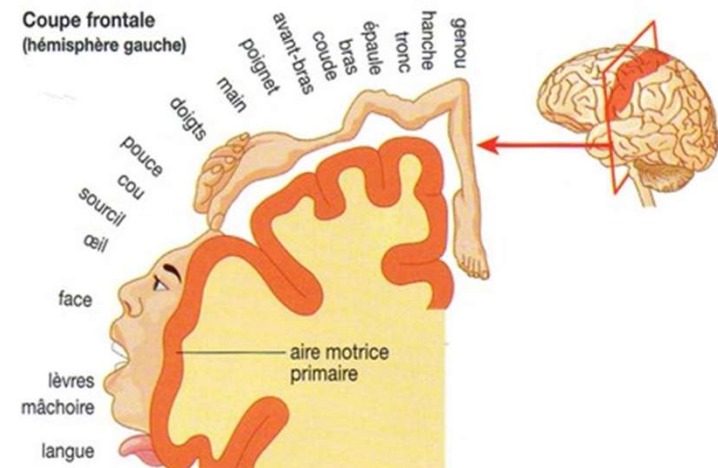
- Mise en circulation reseaux inutilisés
- Création de nouveaux reseaux



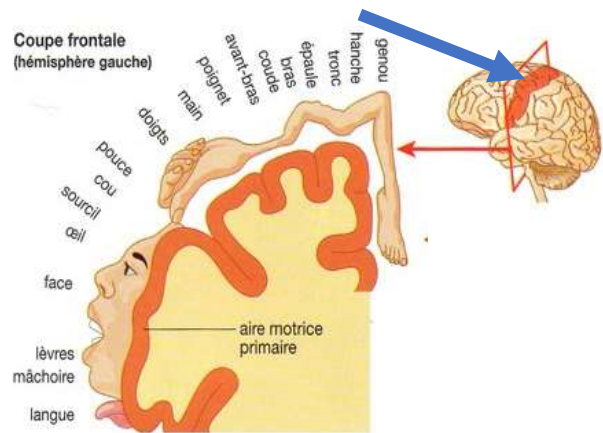
# Mécanisme à l'échelle des zones cérébrales fonctionnelles

- Modification de la fonction d'une zone de cerveau par l'entraînement
- Exemple le plus connu: modification de la carte motrice
- 1eres exp chez le singe

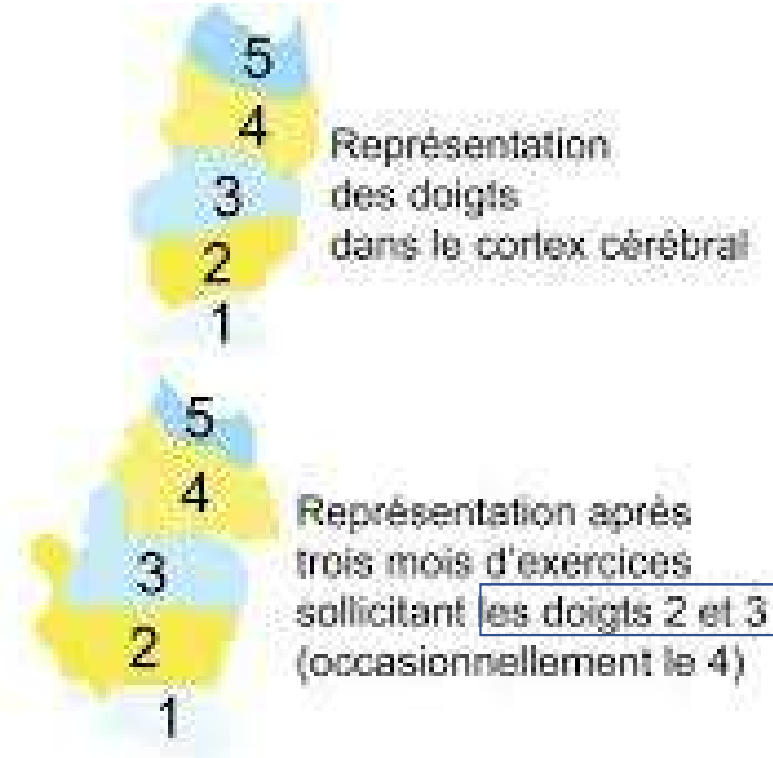
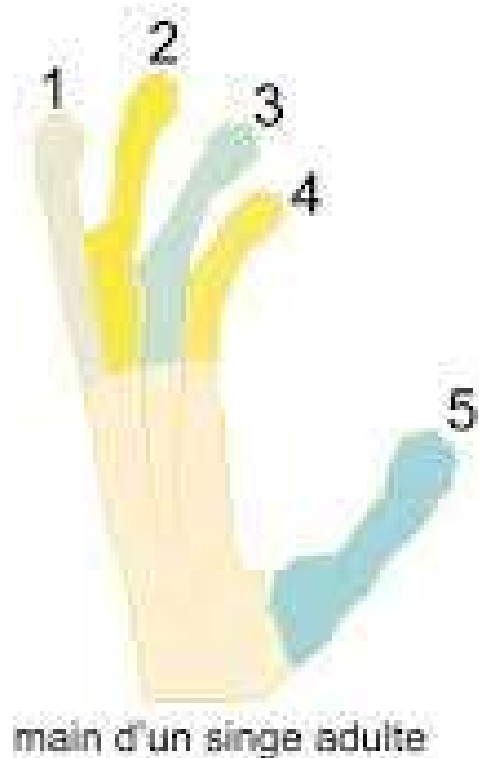
## Homunculus de Penfield



# Exemple chez le singe de modification de la carte corticale motrice par execution d'une tâche motrice



Entraînement différencié  
des doigts  
Modification de la carte  
corticale différenciée

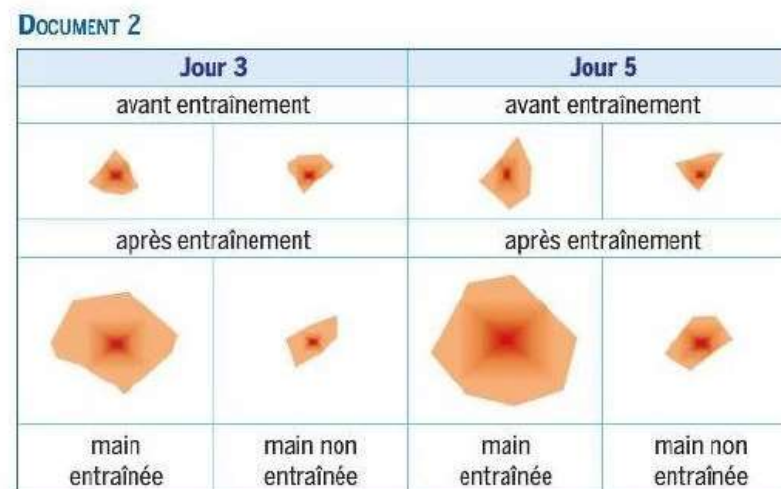
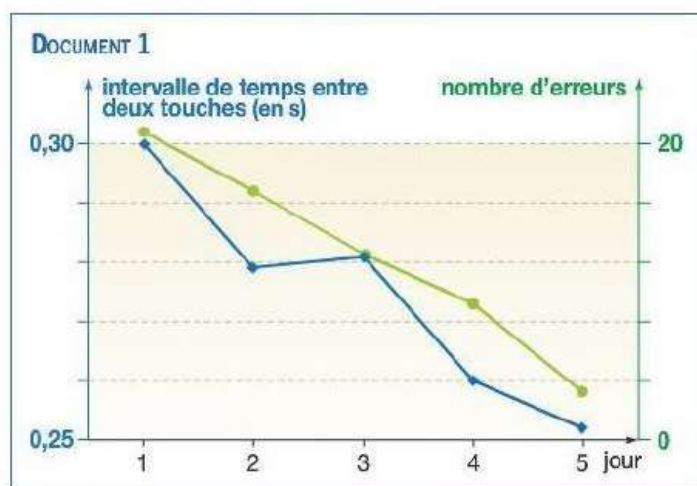


Apprentissage du du piano  
 5 jours entrainement avec 1 main d'une  
 séquence

Puis test répétition 20 fois

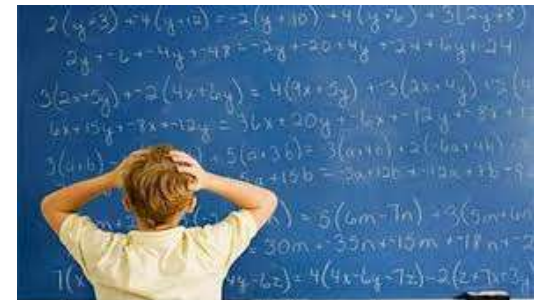
Progrès à G

**Carte motrice** main à D



# Plan: comprendre la plasticité cérébrale pour optimiser la rééducation neuromotrice

- Notions indispensables et techniques de rééducation
  - Principes apprentissage
  - **Spécificité en matières activation zones motrices**
  - Organisation de la commande motrice
  - Relation étroite entre motricité et sensibilité
- Notions complémentaires pour la Plasticité post AVC
  - Organisation de la motricité
  - Compétition interhémisphérique et Plasticité maladaptative
- Méthodes de rééducation pour stimuler plasticité post AVC



# Spécificité de l'activation des zones motrices

Les zones motrices peuvent être activés en l'absence de mouvement

- Mobilisation passive
- Observation
- Imagerie mentale
- Reflet dans le miroir



# Mobilisation passive: Elle active les zones motrices

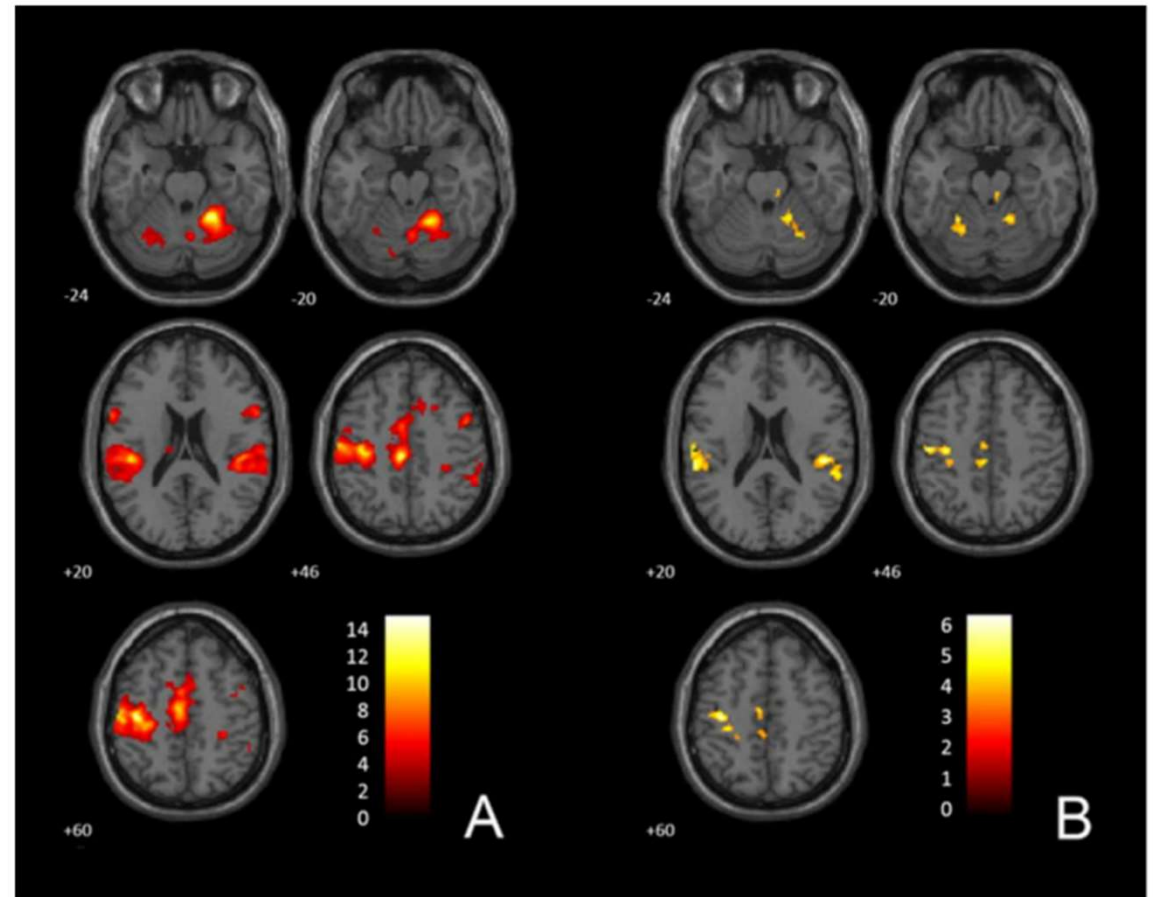


Fig. 1.17 Passive task-fMRI brain activity in healthy controls (A) and in stroke patients (B). (Hannanu et al., 2017)



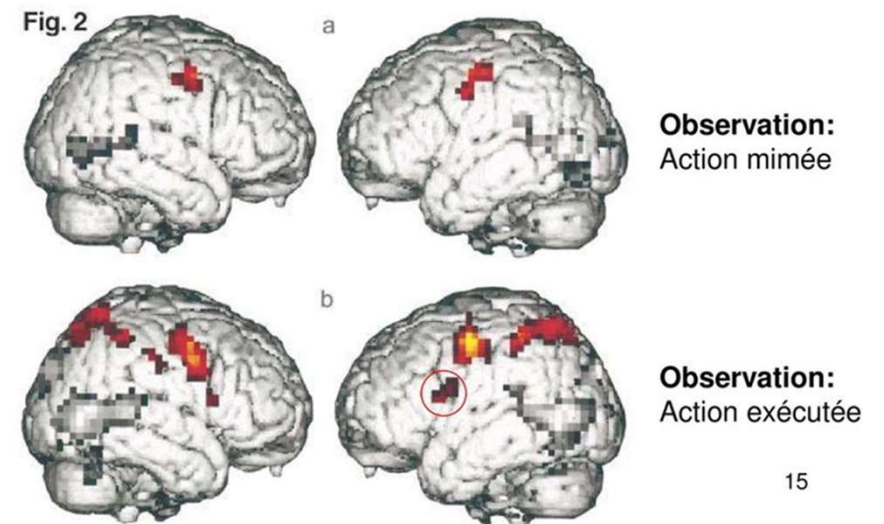
# L'observation d'action



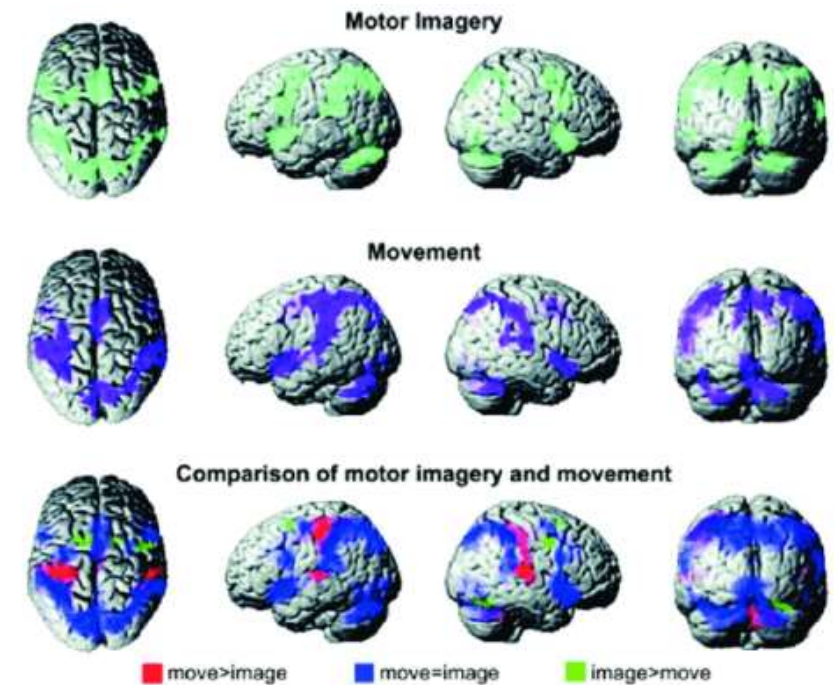
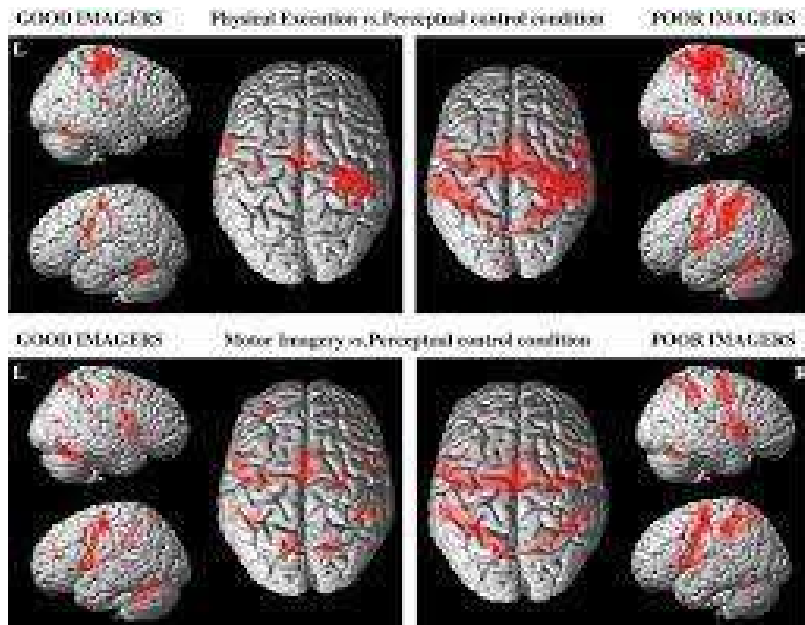
- Réalité virtuelle

## Neurones Miroirs

- Observation lorsque l'action est mimée ou exécutée (humain):



# Imagerie mentale elle active zones motrices



# Thérapie par le miroir active zones mortice hemisphere lésé en utilisant reflet mouvement main saine

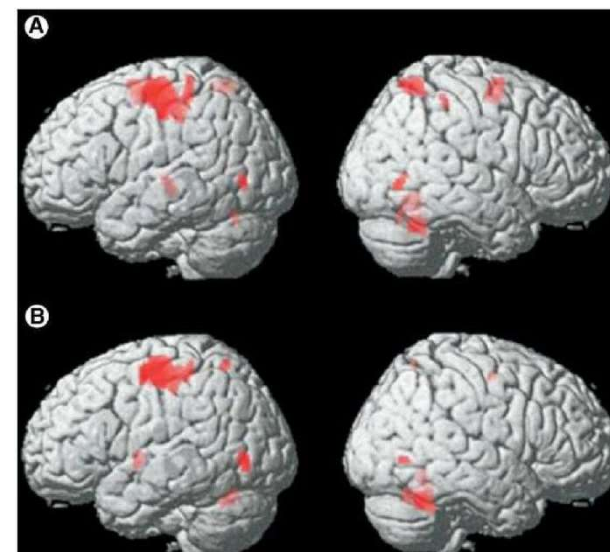
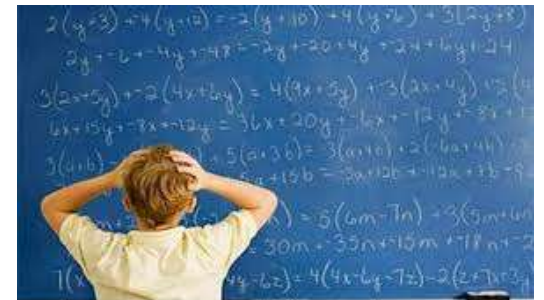


Figure 8 – Illustration de l'activité du cerveau en absence de miroir (A) et en condition miroir (B) (d'après Matthys et al., *Arch Phys Med Rehabil*, 2009 ; 90:675-681)

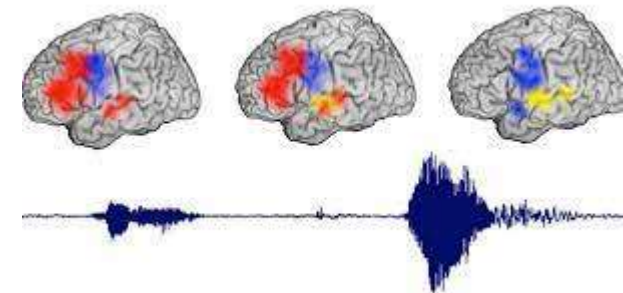
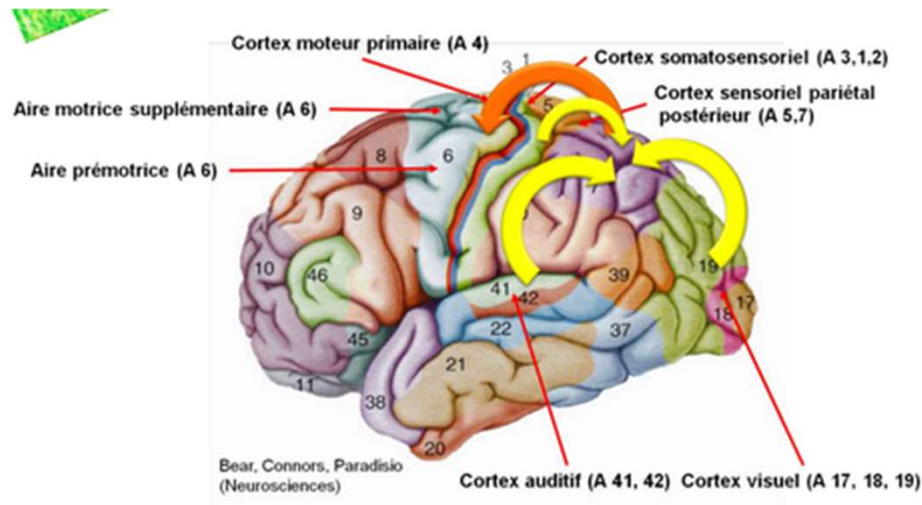
# Plan: comprendre la plasticité cérébrale pour optimiser la rééducation neuromotrice

- Notions indispensables et techniques de rééducation
  - Principes apprentissage
  - Spécificité en matière activation zones motrices
  - **Relation étroite entre motricité et sensibilité**
- Notions complémentaires pour la Plasticité post AVC
  - Organisation de la motricité
  - Compétition interhémisphérique et Plasticité maladaptative
- Méthodes de rééducation pour stimuler plasticité post AVC



# Il y a une interaction très importantes entre les aires motrices et les aires sensibles

- **Entraîner les zones sensibles améliore la motricité**
  - techniques sensorimotrices
  - vibrations



*Schutz 2015, Botzer 2021*



# Effet vibration focale

- Regarding the mechanism of FV, it has also attracted the interest of researchers. It is widely recognized that FV can activate afferent somatosensory input fibers (Abbruzzese et al., 2001, Roll et al., 1989, Brown et al., 1967). Moreover, Fourment et al. found that Ia afferent somatosensory input stimulation induced by FV could affect the excitability of primary motor cortex (M1) (Fourment et al., 1996), suggesting that the activity of motor cortex neurons can be modulated through FV. In line with these, studies using functional magnetic resonance imaging (fMRI) or electroencephalogram (EEG) techniques also reported that vibration stimulation can activate primary sensory cortex (S1) and M1 (Kim et al., 2016, Li et al., 2019).
- Although studies have demonstrated that FV is effective in improving motor function in chronic stroke (Le Franc et al., 2021, Tavernese et al., 2013),
- P. Caliandro *et al.* [Focal muscle vibration in the treatment of upper limb spasticity: a pilot randomized controlled trial in patients with chronic stroke](#) Arch. Phys. Med. Rehabil. (2012)
- C. Costantino *et al.* Short-term effect of local muscle vibration treatment versus sham therapy on upper limb in chronic post-stroke patients: a randomized controlled trial Eur. J. Phys. Rehabil. Med.(2017)  
**Effectiveness and electrophysiological mechanisms of focal vibration on upper limb motor dysfunction in patients with subacute stroke: A randomized controlled trial**  
[Lian Wang<sup>1</sup>](#), [Saihua Wang<sup>2</sup>](#), [Song Zhang<sup>1</sup>](#), [Zulin Dou<sup>3</sup>](#), [Tiecheng Guo<sup>4</sup>](#)
- doi: 10.1016/j.brainres.2023.148353. Epub 2023 Mar 27.

# Points clés d'étape

- Plusieurs pistes de techniques de rééducation pour utiliser la plasticité neuromotrice et les spécificités de l'organisation motrice
  - Les règles de l'apprentissage
  - Modulation de l'activation des zones motrices
    - Observation d'une action (1)
    - Le mouvement passif (2)
    - L'imagerie mentale (3)
    - Il est possible de tromper le cerveau par le reflet dans un miroir (5)
  - Utilisation la relation sensorimotrice (6)

→ principes utilisables pour tout amélioration motrice quelque soit le contexte : sujet sportif /patient cérébrolésé ou non

*1)Borgas 2018, 2)Lindberg 2004, 3)Decety 1996, 5)Broderich 2018, 6) Schutz 2015*

# Chez le cérébrolésé

- En plus des principes vus précédemment
- D'autres notions sont à connaître



# Plan: comprendre la plasticité cérébrale pour optimiser la rééducation neuromotrice

- Notions indispensables et techniques de rééducation

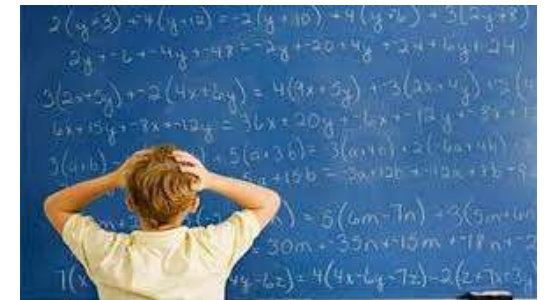
- Principes apprentissage
- Spécificité en matière activation zones motrices
- Relation étroite entre motricité et sensibilité

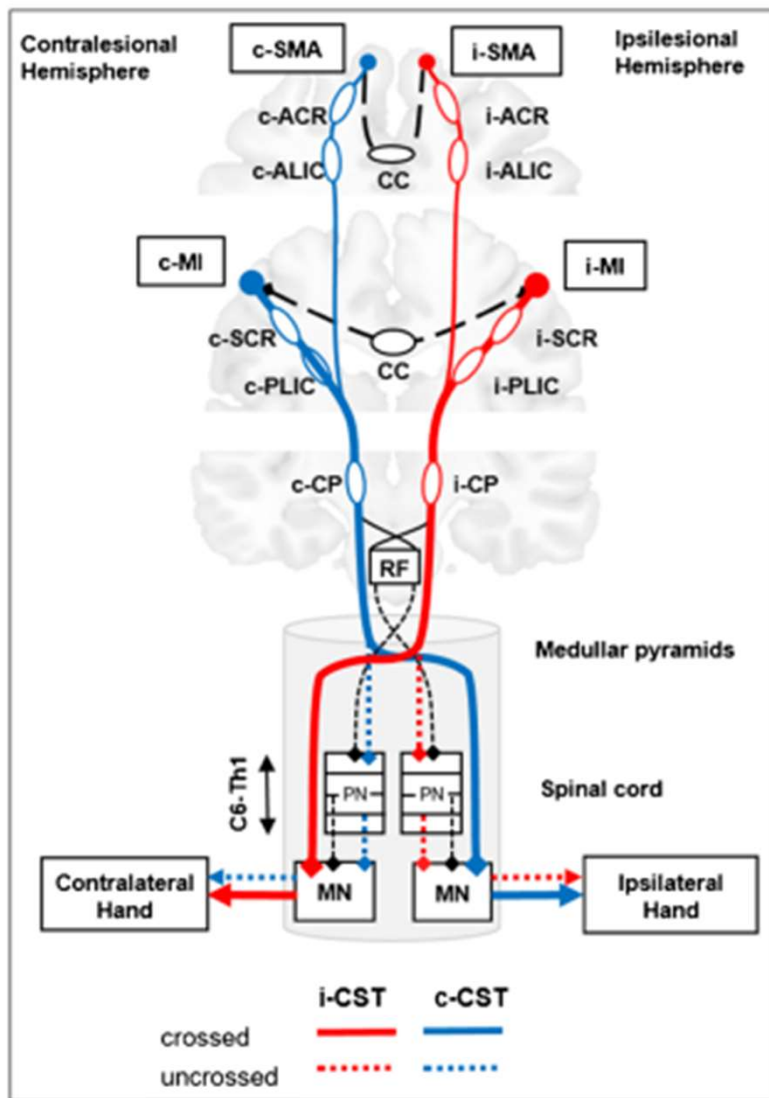
- Notions complémentaires pour la Plasticité post AVC

- **Organisation de la motricité**

- Compétition interhémisphérique et Plasticité maladaptative

- Méthodes de rééducation pour stimuler plasticité post AVC





## Organisation de la motricité: rappel

la voie cortico-spinale principale part de M1  
puis croise mais  
Il existe

-voies motrices venant de (SMA) et des aires  
prémotrices (PM)

-et aussi le faisceau corticospinal direct  
controlésionnel

→ si M1 atteinte, on peut passer par ces  
structures pour activer la motricité

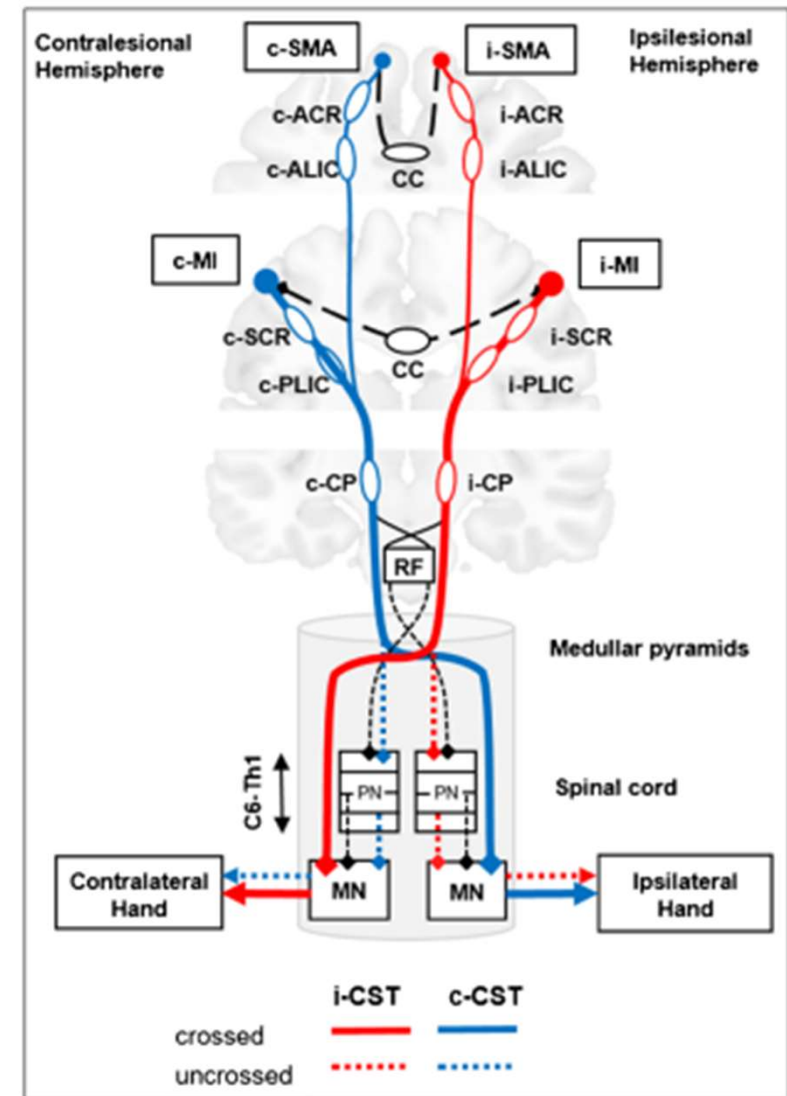
# Organisation de la motricité:

Voies principales et voies accessoires

Observation: Meilleure recuperation si voie principale ipsilésionnelle

D'où Cible ipsilésionnelle preferable si voie respectée

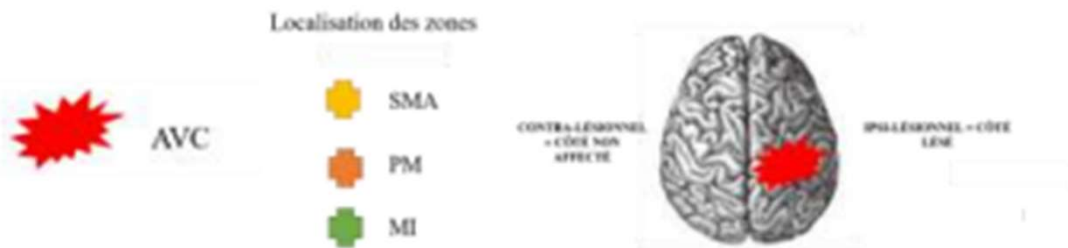
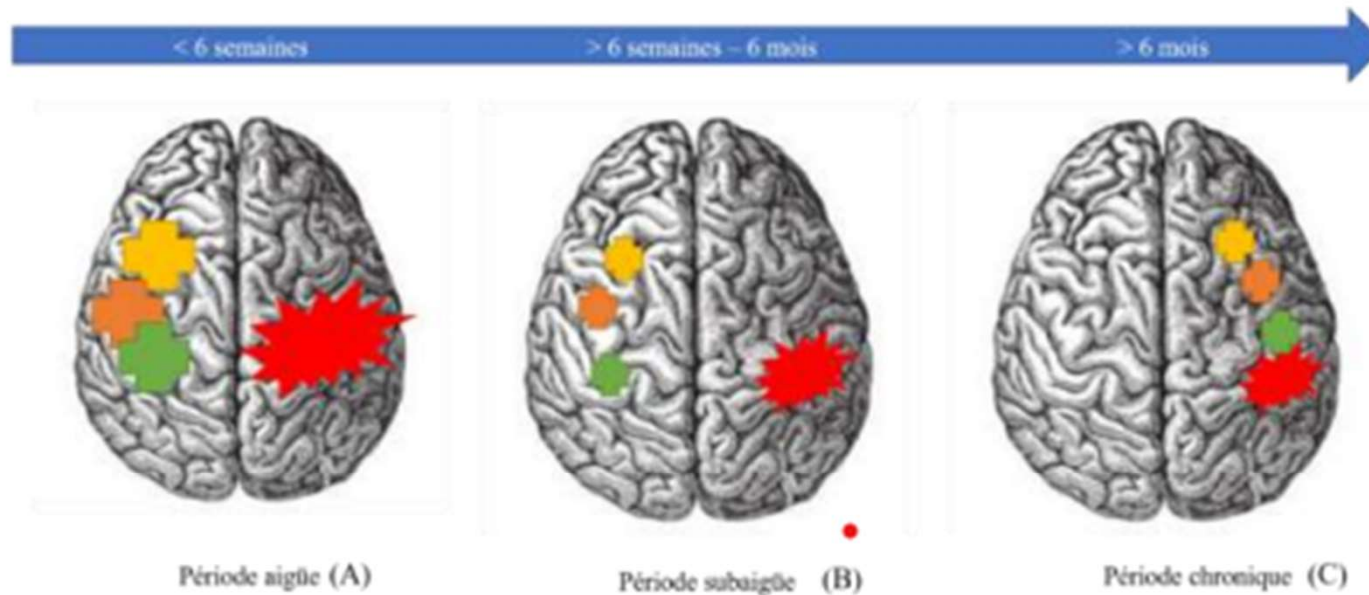
Mais Plusieurs cibles d'activation potentielle



# Déroulement de la plasticité après AVC



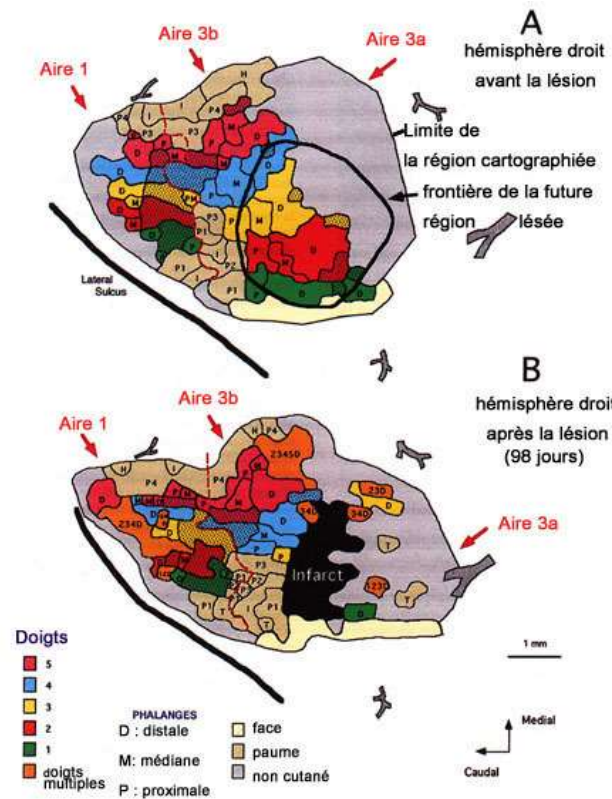
# Ce que l'on observe au cours du temps relatéralisation ipsilésionnelle si favorable



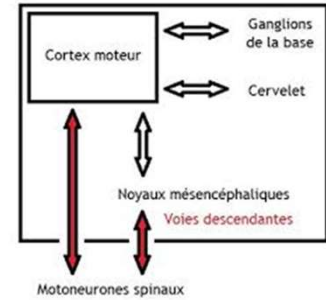
=Evolution favorable  
relatéralisation si faisceau corticospinal  
intègre

# Plasticité cérébrale après AVC

les zones adjacentes ou périlésionnelles les plus favorables pour une récupération optimale

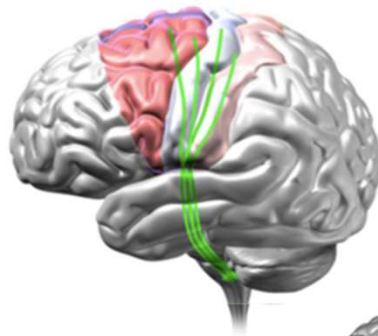


# Plasticités plus à distance récupération moins favorable



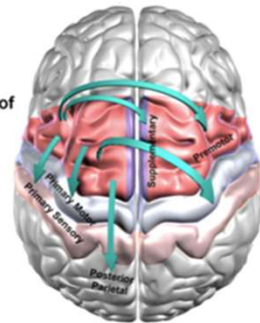
Ipsilésionnelle

Ipsilesional Corticospinal Plasticity

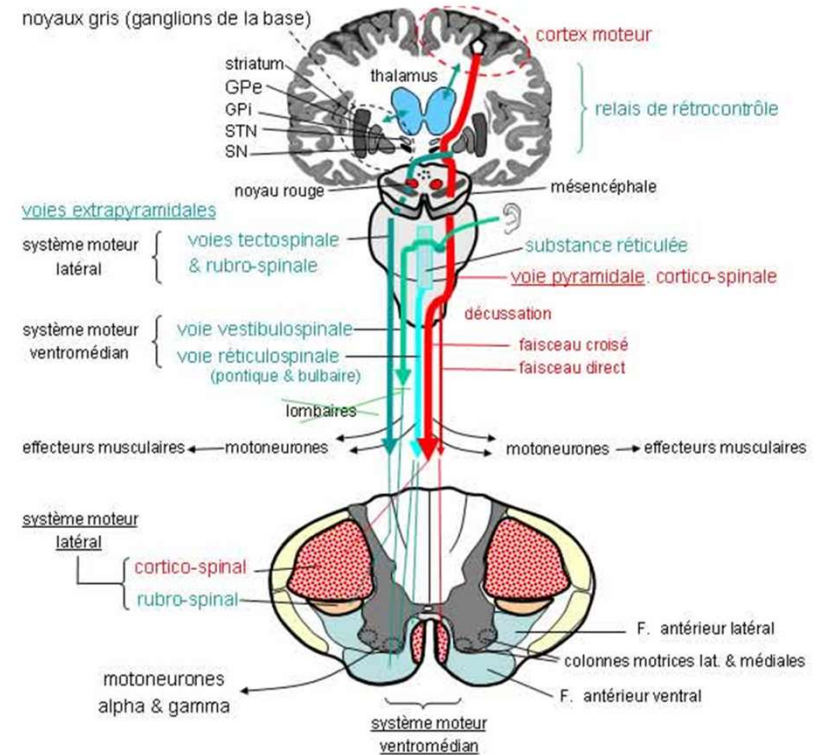


contralesionnelle

Vicarious Recruitment of Synergists




## Réseau moteur accessoire





# A l'échelle du cerveau: Plusieurs processus de compensation

récupération

- 
- Utilisation zones adjacentes à la lésion
  - Utilisation zones périlésionnelles
  - Utilisation zones prémotrice et aire motrice supplémentaire ipsilésionnelle
  - Utilisation aire sensitive ipsilésionnelle
  - Cortex controlatéral M1
  - Cortex controlatérale zones prémotrice et aire motrice supplémentaire, sensitive controlatérales
  - Réseaux moteurs descendant accessoires rubro ou réticulospinal





# Plan: comprendre la plasticité cérébrale pour optimiser la rééducation neuromotrice

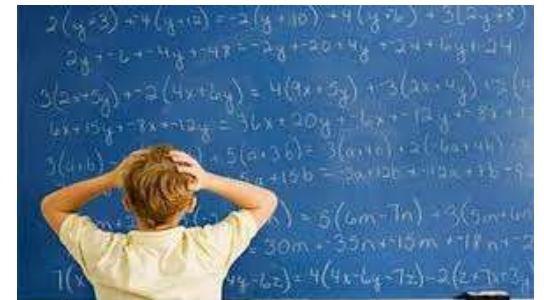
- Notions indispensables et techniques de rééducation

- Principes apprentissage
- Spécificité en matière activation zones motrices
- Relation étroite entre motricité et sensibilité

- Notions complémentaires pour la Plasticité post AVC

- Organisation de la motricité
- **Compétition interhémisphérique et Plasticité maladaptative**

- Méthodes de rééducation pour stimuler plasticité post AVC

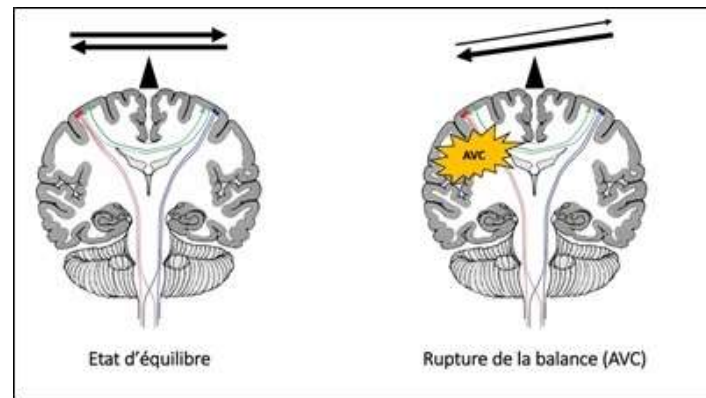
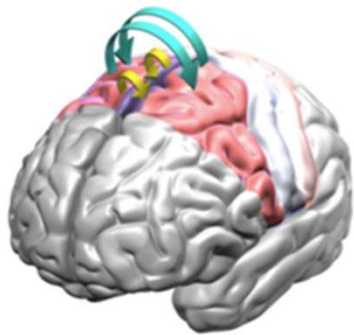


# Autre notion indispensable pour comprendre la plasticité motrice

## Il existe une coopération/compétition interhémisphérique

- Encore beaucoup d'inconnus
- Probablement différente
  - en fonction du délai post lésionnel
  - De la nature et de l'étendue de la lésion

Inter-hemispheric Balance



Notion indispensable pour comprendre la plasticité motrice

Notion de plasticité maladaptative post AVC

- En l'absence de stimulation ipsilésionnelle  
= **Syndrome de sous utilisation acquise**  
= Réduction carte motrice  
= récupération non optimale

*Meige 1905, Taub 1980*

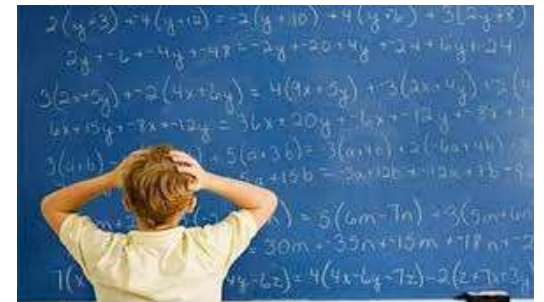
# Plasticité après AVC

- Points clés
- La réactivation de l'hémisphère ipsilésionnel (relatéralisation) est reliée à une meilleure récupération
- Il existe une compétition interhémisphérique
- Il peut se développer une plasticité maladaptative

→ comment orienter la plasticité cérébrale

# Plan: comprendre la plasticité cérébrale pour optimiser la rééducation neuromotrice

- Notions indispensables et techniques de rééducation
  - Principes apprentissage
  - Spécificité en matière activation zones motrices
  - Relation étroite entre motricité et sensibilité
- Notions complémentaires pour la Plasticité post AVC
  - Organisation de la motricité
  - Compétition interhémisphérique et Plasticité maladaptative
- **Méthodes de rééducation pour stimuler plasticité post AVC et lutter contre plasticité maladaptative**

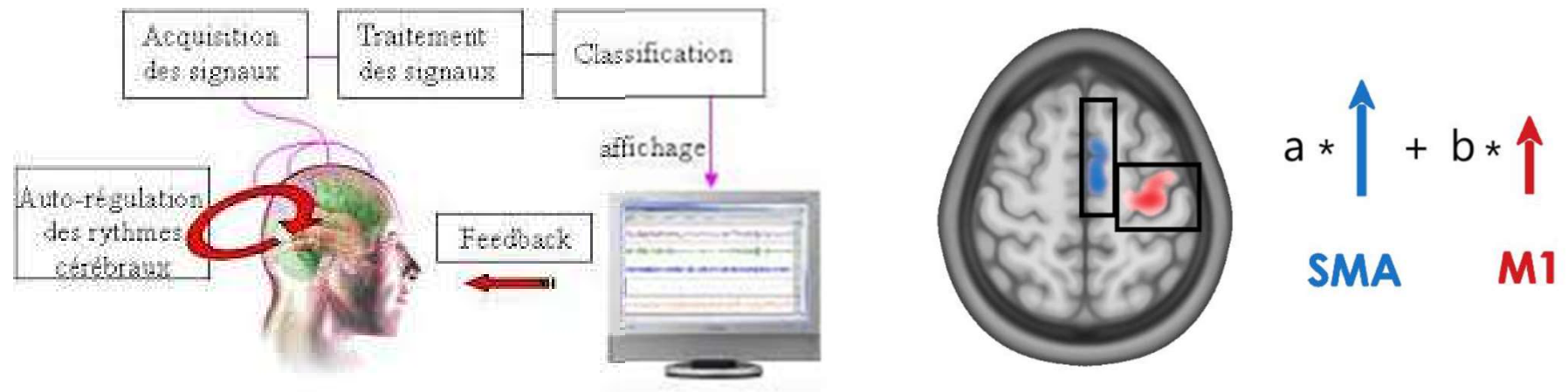


# Les techniques pour orienter la plasticité cérébrale post AVC



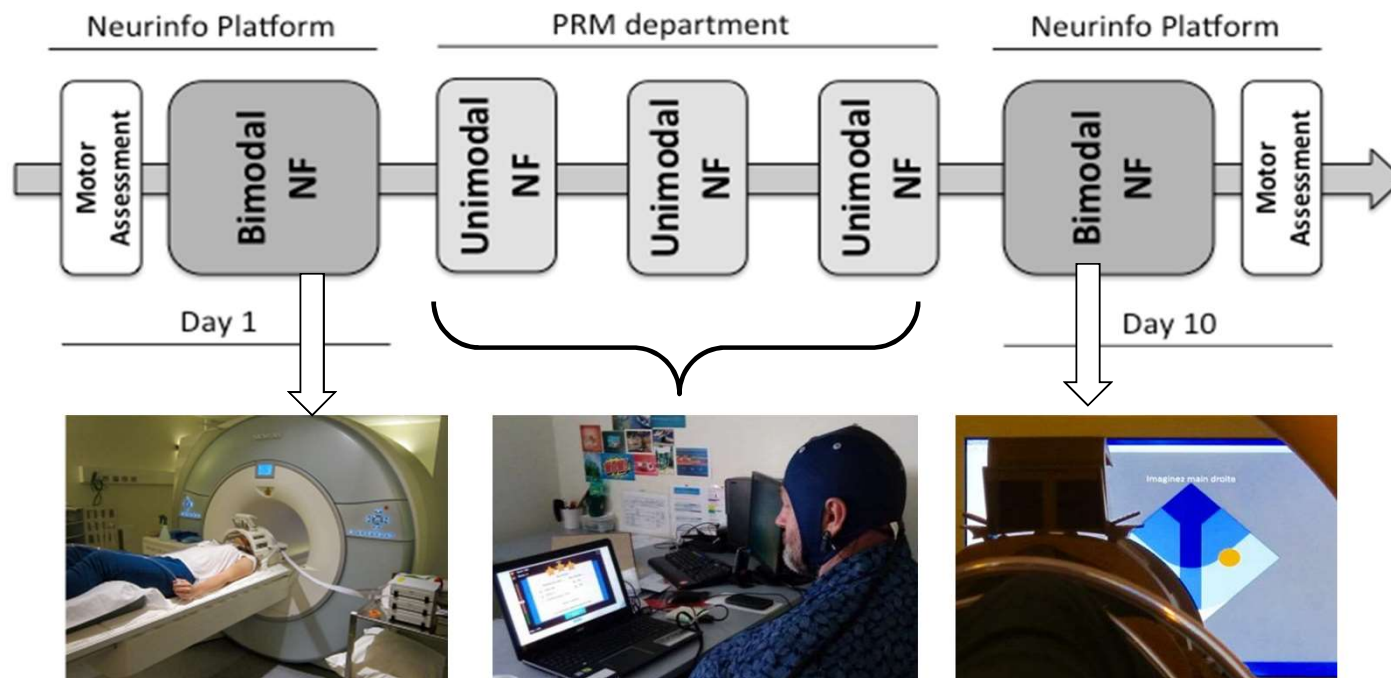
# Le neurofeedback

Capacité du patient à stimuler zones cibles les plus appropriées pour optimiser la récupération



Par exemple la zone périlésionnelle, le SMA, prémoteur

# Pilot study on stroke patients



## Participants

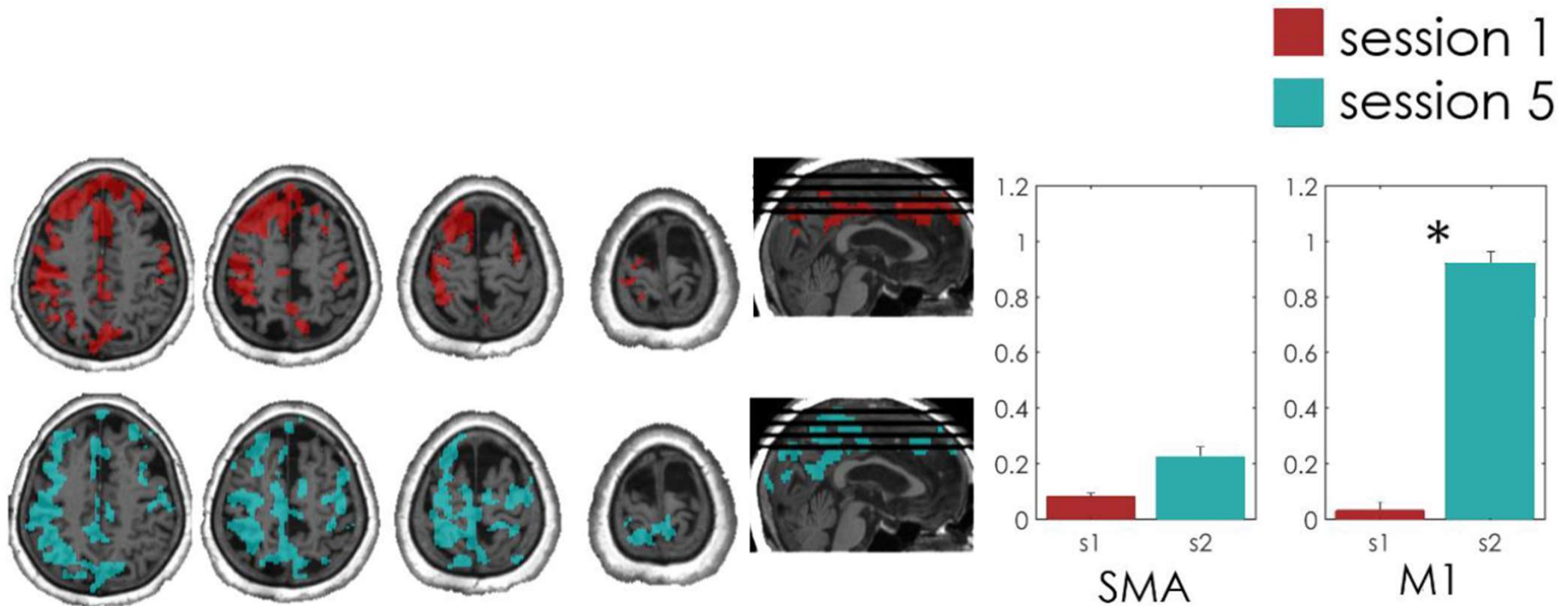
4 chronic stroke patients with upper limb hemiparesis

## Objectives

1. Test efficacy on target activation by bimodal NF on stroke patients
2. Test efficacy on upper limb motricity



# résultats

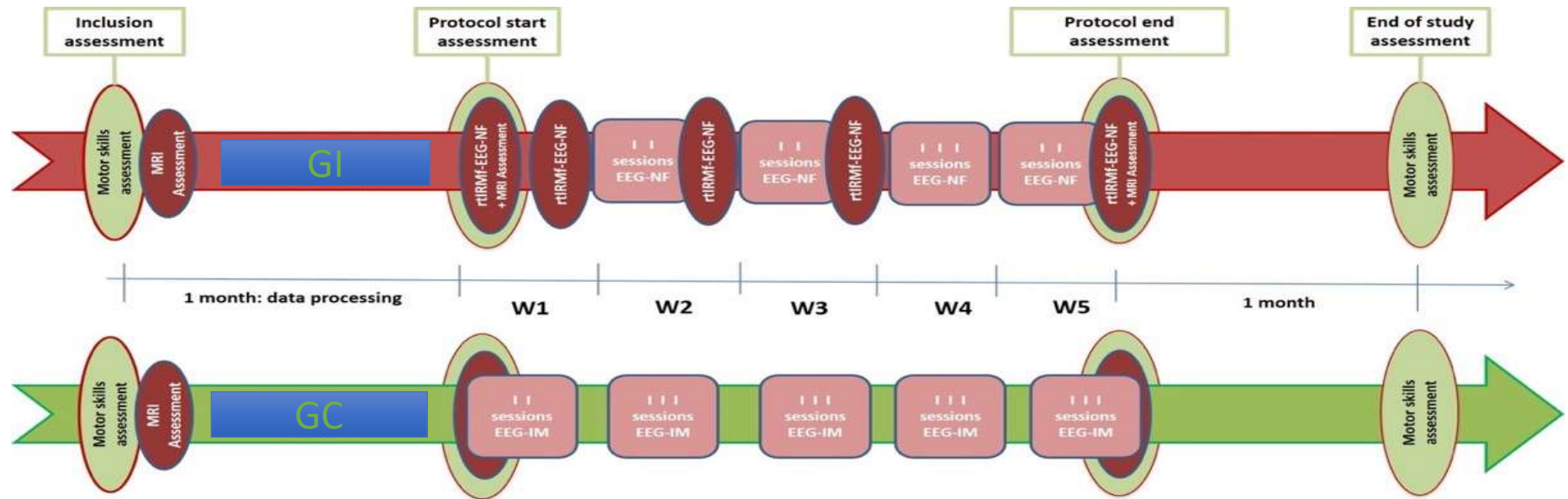


Étude randomisée contrôlée en cours  
Choix SMA et M1 avec faisceau corticospinal intègre

# Etude randomisée contrôlée

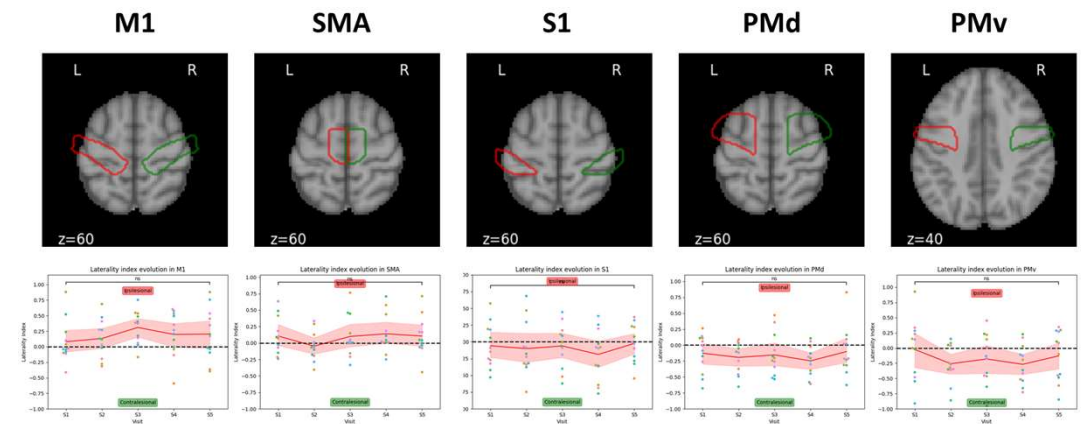
32 Patients randomisé, stratifiés sur FMA (> ou < 32/66)

- Groupe interventionnel : 14 séances de **Neurofeedback** dont 5 bimodales
- Groupe contrôle: 14 séances **d'imagerie mentale**



# Résultats en cours

- Meilleure motricité dans groupe interventionnel
- Fugl meyer



## Perspectives:

- Patient ayant un faisceau corticospinal++
- Autres cibles si patient plus sévère?

# lutter contre sous utilisation acquise la thérapie par la contrainte = Garder carte motrice ipsilésionnelle

- Mobilisation activopassive
- Mobilisation active
- thérapie par la contrainte

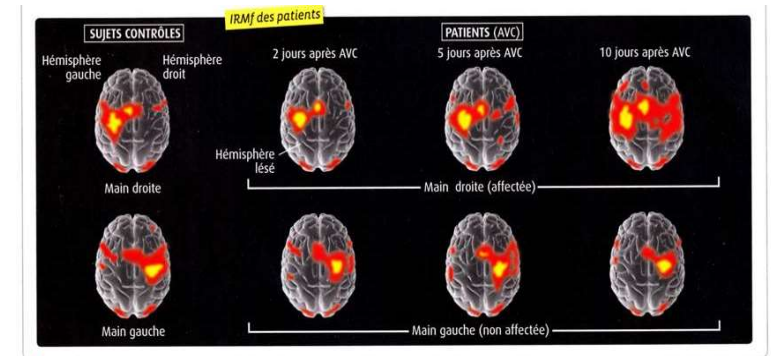


Ne pas laisser le patient se relatéraliser côté « sain » ++++

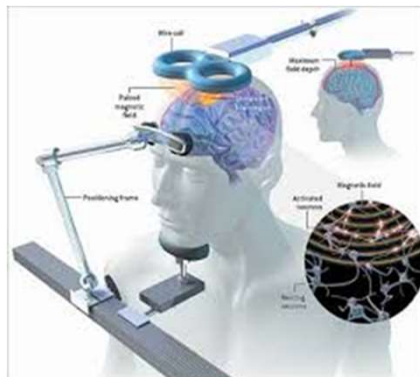
# Agir sur Balance interhémisphérique: Stimuler l'hémisphère lésé par rTMS ou TDCS

Les principes:

- Stimuler zones cibles de l'hémisphère lésé
- Freiner l'hémisphère controlatéral



▲ Une étude de la récupération motrice après un accident vasculaire cérébral (AVC).



# Les techniques actuelles et leurs bases neurophysiologiques

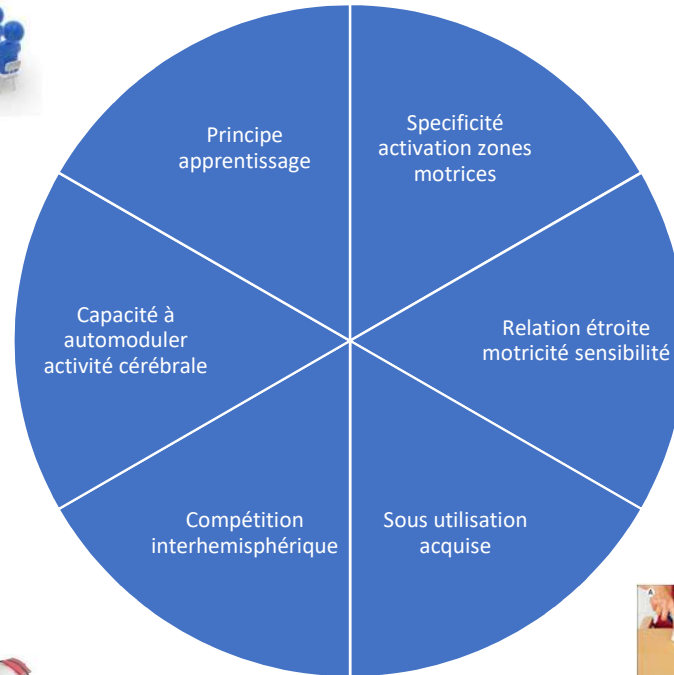
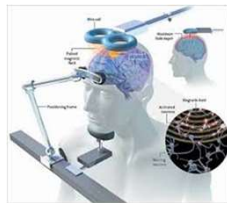
synthèse





### 7 règles de l'apprentissage +++

- Entraînement intensif
- Répétition des exercices
- Orientée vers la tâche: tâche signifiante
- Engagement
- motivation
- Feedback
- progressivité



Mobilisation passive  
 Imagerie mentale  
 Observation d'action  
 Thérapie par le miroir



# Au total

- Plasticité cérébrale est naturelle y compris sujet 'sain'
- La plasticité est très articulée avec la fonction puisque la fonction crée la plasticité et la plasticité augmente la fonction
- Les bases neurophysio et les principes des techniques actuelles sont assez bien identifiées
- Principes apprentissage à utiliser+++
- Efficacité à démontrer pour plusieurs d'entre elles
- Intérêt activation des zones motrices en passif/IM/observation/miroir +++
- lutter contre sous utilisation acquise=stimuler motricité ipsilésionnelle par CI
- Stimulations cérébrales/capacité à s'automoduler NFB
- Connaissances encore insuffisantes pour les récupérations modestes quand voie corticospinale très lésées=Cibles?
- Tempo?



Merci pour votre attention