

# Apprentissage Moteur et Physiothérapie

PHT-6612 : Fondements neurobiologiques du mouvement humain

Matthieu Boisgontier, PT, PhD

13 août 2020

## 1- CONTRÔLE MOTEUR & RÉADAPTATION

- 1.1- CONTRÔLE & TROUBLES DU MOUVEMENT
- 1.2- MOUVEMENT
- 1.3- SYSTÈMES SENSORIELS



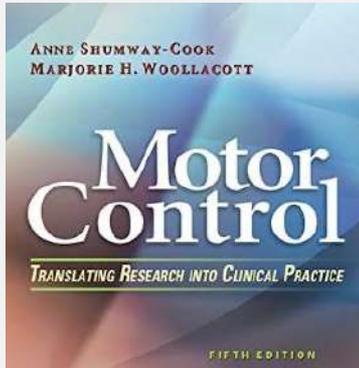
## 2- THÉORIES DU CONTRÔLE MOTEUR

- 2.1- THÉORIE & PHYSIOTHÉRAPIE
- 2.2- THÉORIE DES REFLEXES
- 2.3- THÉORIE HIÉRARCHIQUE
- 2.4- THÉORIE DES PROGRAMMES MOTEURS
- 2.5- THÉORIE DES SYSTÈMES



## 3- MODÈLES DE RÉADAPTATION NEUROLOGIQUE

- 3.1- THÉORIE & MODÈLES CLINIQUES
- 3.2- RÉÉDUCATION MUSCULAIRE
- 3.3- NEUROFACILITATION
- 3.4- APPROCHES ORIENTÉES SUR LA TÂCHE



Fabien Cignetti  
Martin Bilodeau  
François Tremblay

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE
2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR
3. PRATIQUE
4. RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE
2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR
3. PRATIQUE
4. RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION

# 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

1.1. DÉFINITIONS

1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME

1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

1.5. NEURONES MIROIRS

1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

## **2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR**

2.1. THÉORIE DU SCHÉMA MOTEUR

2.2. THÉORIE ÉCOLOGIQUE

2.3. THÉORIES DES STADES D'APPRENTISSAGE

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

### **3. PRATIQUE**

3.1. QUANTITÉ DE PRATIQUE

3.2. TYPES D'INFORMATION (FEEDBACK)

3.3. TYPES DE PRATIQUE

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

3. PRATIQUE

## **4. RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION**

4.1. DÉFINITIONS

4.2. FACTEURS AFFECTANT LA RÉCUPÉRATION

# OBJECTIFS GÉNÉRAUX

- Savoir définir l'**apprentissage moteur** et les **concepts connexes**
- Comprendre et savoir expliquer les **mécanismes neurophysiologiques** de l'apprentissage moteur tels que la potentialisation/dépression à long terme et la plasticité cérébrale
- Comprendre ce qu'est un **neurone miroir** et pourquoi ils sont importants dans l'intervention physiothérapeutique
- Connaître les différents **types d'apprentissage** et savoir les prendre en compte dans votre pratique physiothérapeutique
- Savoir décrire les principales **théories de l'apprentissage moteur**
- Connaître les **modalités de pratique** qui permettent d'ajuster l'intervention physiothérapeutique
- Connaître les facteurs qui peuvent avoir un effet sur la **récupération neurologique**

# 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

3. MODÈLES DE RÉADAPTATION NEUROLOGIQUE

4. RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION

# 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

## 1.1. DÉFINITIONS

1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME

1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

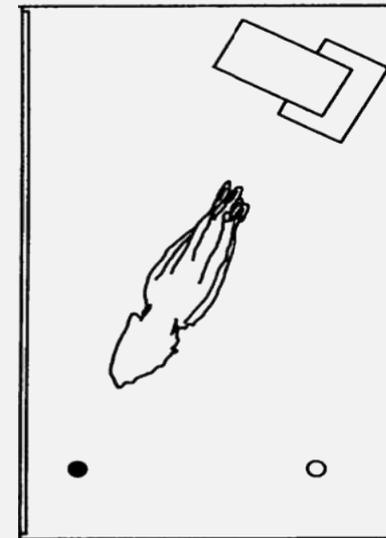
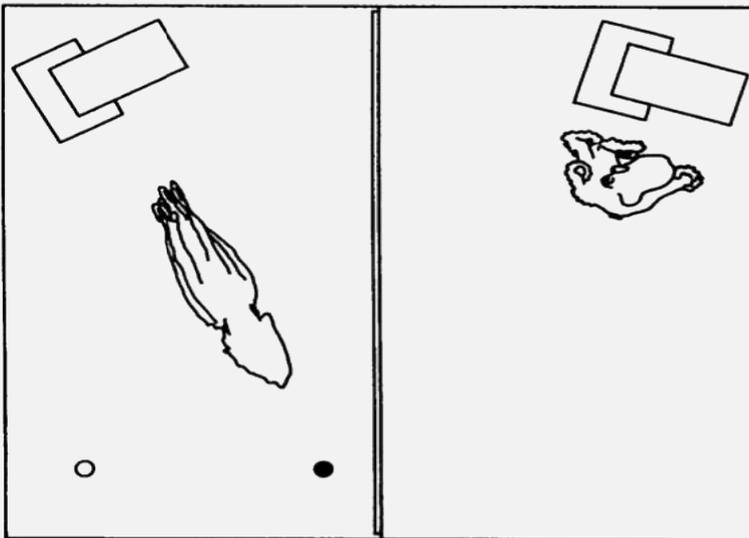
1.5. NEURONES MIROIRS

1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

# 1.1. DÉFINITIONS

## 1.1.1. Apprentissage Moteur

- Ensemble des processus du **systeme nerveux** associés à la **pratique** ou à l'**expérience** qui conduisent à l'amélioration **observable** et **durable** de l'habileté motrice



# 1.1. DÉFINITIONS

## 1.1.1. Apprentissage Moteur

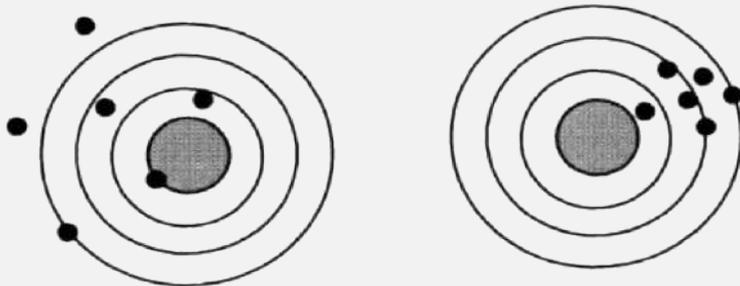
- Ensemble des processus du **systeme nerveux** associés à la **pratique** ou à l'**expérience** qui conduisent à l'amélioration **observable** et **durable** de l'**habileté motrice**
- Ces processus d'apprentissage moteur permettent d'acquérir de la **mémoire motrice**

# 1.1. DÉFINITIONS

## 1.1.1. Apprentissage Moteur

## 1.1.2. Habilité Motrice

- Capacité d'atteindre le but fixé par la tâche de façon **stable**, **précise**, **rapide** et **économique**



# 1.1. DÉFINITIONS

## 1.1.1. Apprentissage Moteur

## 1.1.2. Habilité Motrice

## 1.1.3. Performance Motrice

- Production motrice à un instant  $t$  qui résulte de l'**adaptation** du système cognitif et sensorimoteur aux contraintes de la tâche et de l'environnement

# 1.1. DÉFINITIONS

## 1.1.1. Apprentissage Moteur

## 1.1.2. Habilité Motrice

## 1.1.3. Performance Motrice



Performance 1



**Apprentissage Moteur**



Performance 2



## 1.1. DÉFINITIONS

### 1.1.4. Mémoire déclarative (explicite)

- Mémoire des **détails factuels** et des **événements passés** qui peuvent être facilement décrits avec des **mots**
- « **Savoir que** »

Exemple : Mémoire des capitales de pays



# 1.1. DÉFINITIONS

## 1.1.4. Mémoire déclarative (explicite)

## 1.1.5. Mémoire procédurale (non déclarative, implicite)

- Mémoire des habiletés motrices apprises par l'expérience
- « **Savoir comment** »

Exemple : Savoir comment faire du vélo



# 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

## 1.1. DÉFINITIONS

## 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

## 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME

## 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

## 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

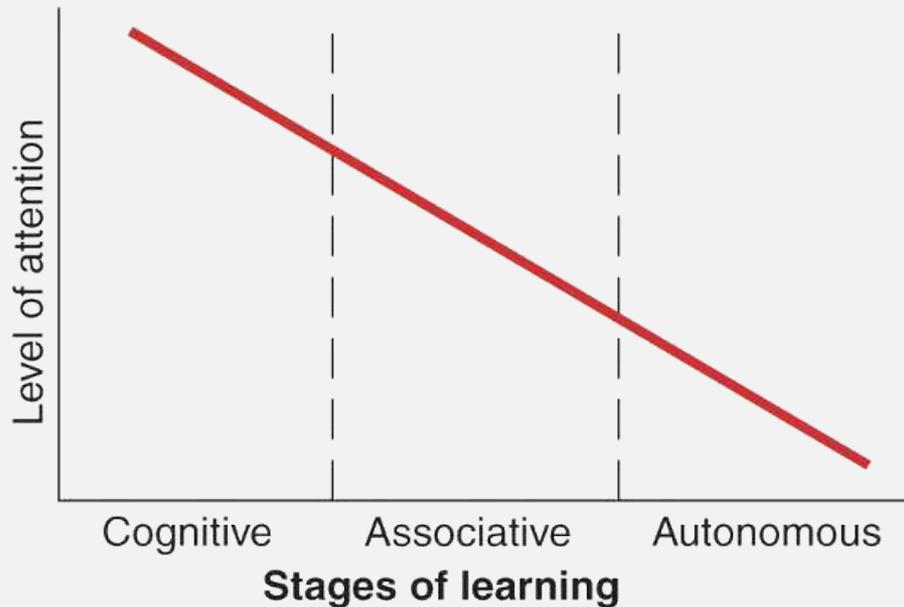
# 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

Selon Fitts & Posner

1.2.1. Phase cognitive

1.2.2. Phase associative

1.2.3. Phase autonome



Copyright © 2017 Wolters Kluwer - All Rights Reserved

The thumbnail shows a presentation slide with a dark background and white text. The content is as follows:

- 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE
- 2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR**
  - 2.1. THÉORIE DU SCHÉMA (SCHMIDT)
  - 2.2. THÉORIE ÉCOLOGIQUE
  - 2.3. THÉORIES DES STADES D'APPRENTISSAGE**

At the bottom of the slide, there is a logo for uOttawa and the text 'uOttawa.ca'.

## 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

Selon Fitts & Posner

### 1.2.1. Phase cognitive

- **Traitement cortical** (conscient) des buts de la tâche, des informations sensorielles à prélever et des mouvements à réaliser
- **Exploration exhaustive** de l'environnement : signal et bruit sont traités de façon indifférenciée
- Le traitement de l'information est **lent**
- Les mouvements sont imprécis, variables, incoordonnés, et inefficaces

## 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

Selon Fitts & Posner

### 1.2.1. Phase cognitive

### 1.2.2. Phase associative

- **Consolidation des liens** entre les conditions initiales (stimuli sensoriels spécifiques à la tâche) et les programmes moteurs efficaces
- **Distinction entre signal et bruit**
- Les mouvements sont plus fluides, coordonnés, et efficaces

## 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

Selon Fitts & Posner

### 1.2.1. Phase cognitive

### 1.2.2. Phase associative

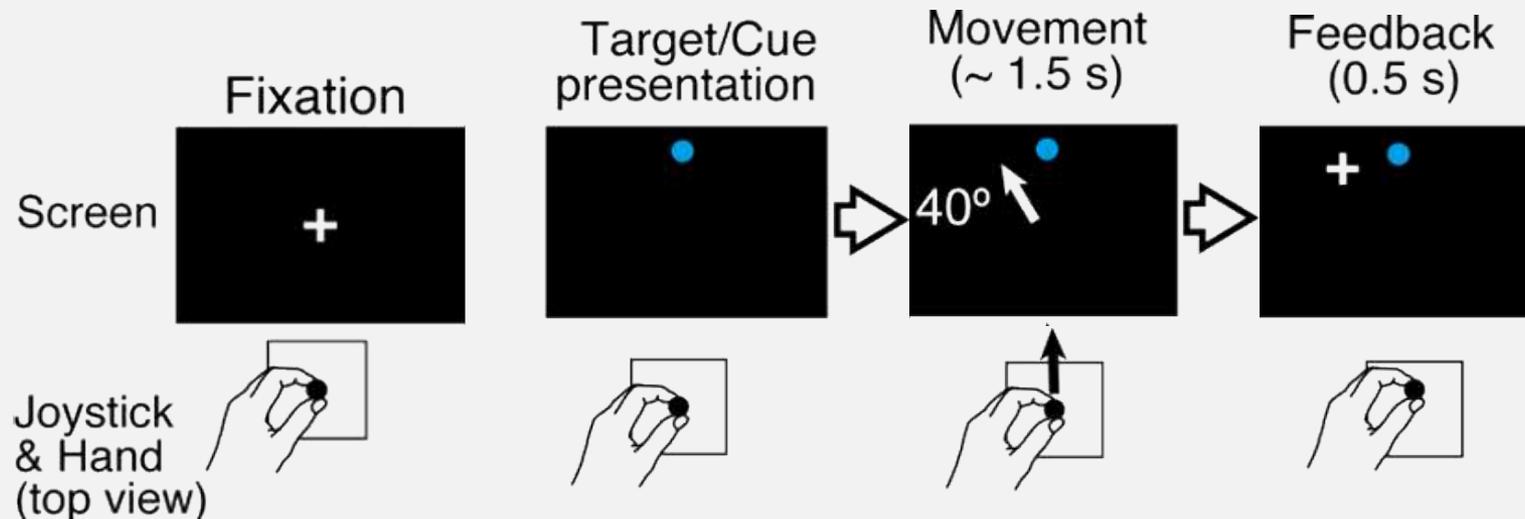
### 1.2.3. Phase autonome

- **Traitement sub-cortical** de l'habileté motrice
- L'habileté motrice est **automatisée**
- L'attention est focalisée sur le **signal**
- Les mouvements sont précis, coordonnés et efficaces

# 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

## 1.2.4. Activité corticale au cours de l'apprentissage

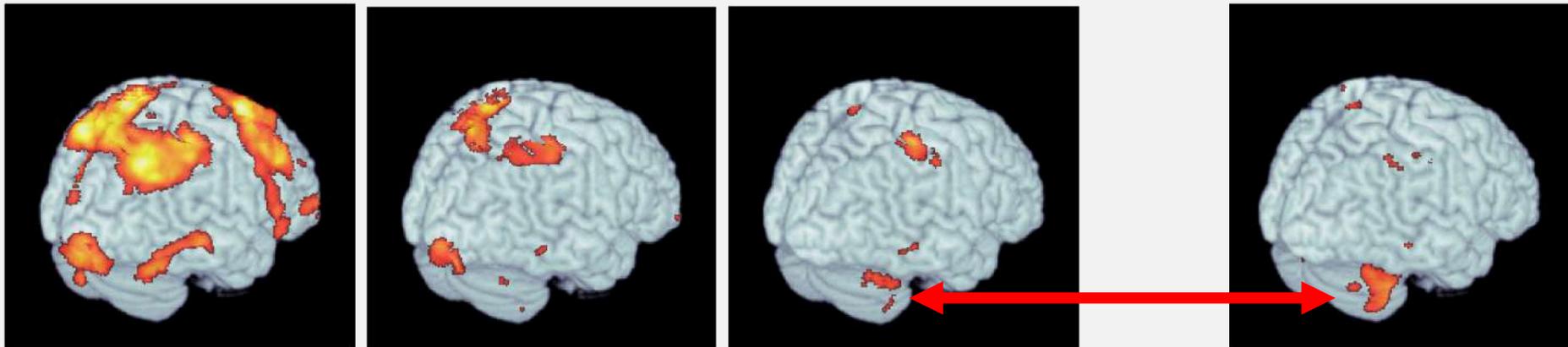
Tâche de rotation visuo-motrice



## 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

### 1.2.4. Activité corticale au cours de l'apprentissage

Tâche de rotation visuo-motrice : cortex cérébral



Début de la tâche

15 secondes

15 minutes

Plusieurs heures

## 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

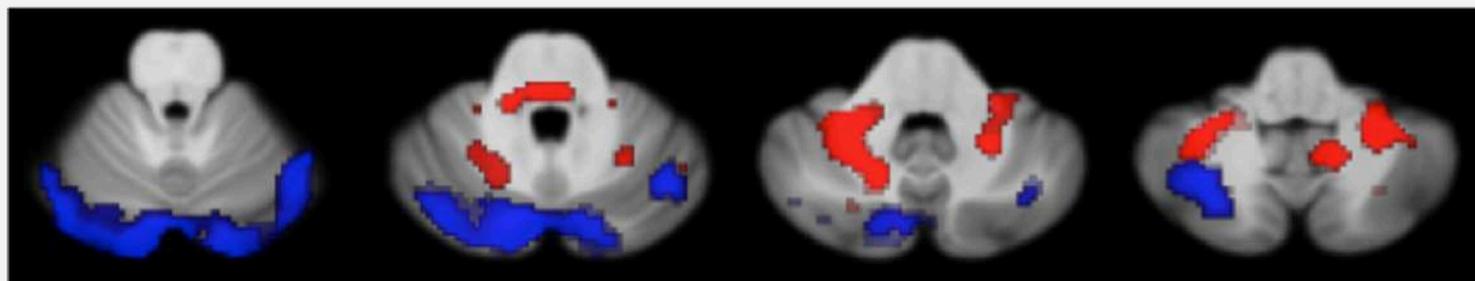
### 1.2.4. Activité corticale au cours de l'apprentissage

Tâche de rotation visuo-motrice : cervelet



Premiers essais

Derniers essais



z = -24

-30.5

-37

-43.5

Niveau de coupe

# 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

1.1. DÉFINITIONS

1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

**1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME**

1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

1.5. NEURONES MIROIRS

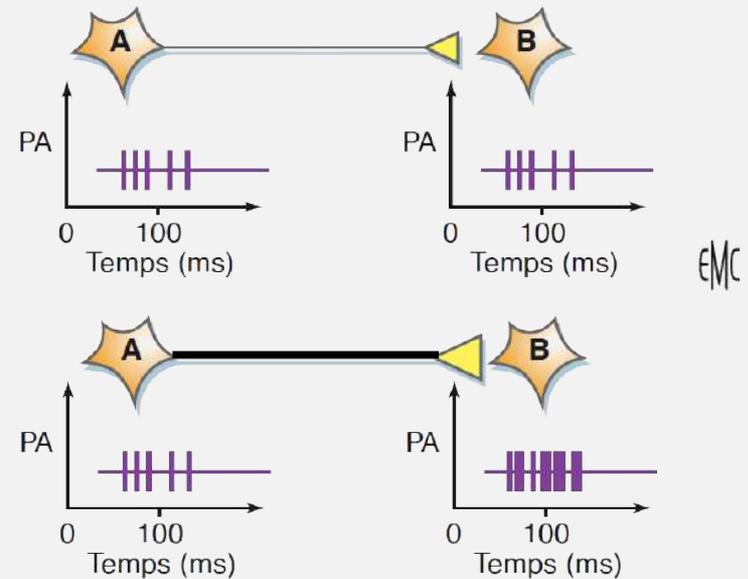
1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE



# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME

## 1.3.1. Théorie de Hebb (1949)

- Un neurone A est en communication avec un neurone B.
- Si A est actif en même temps que B.
- Alors la force du lien synaptique qui les unit se renforce.

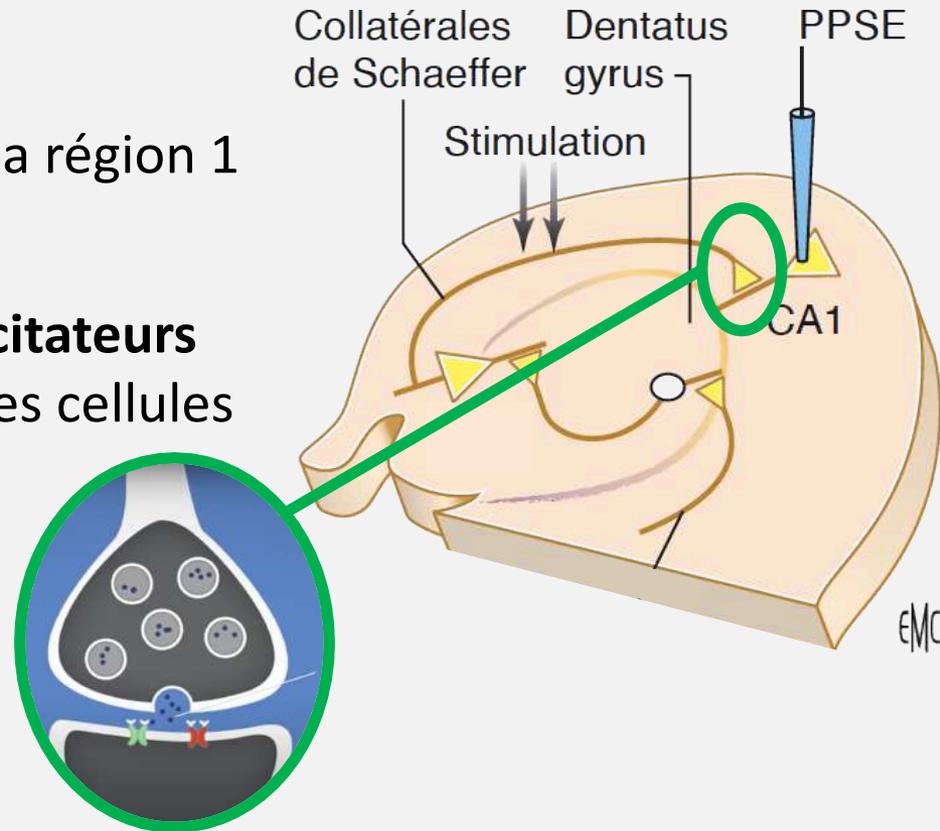


« Cells that fire together, wire together.  
Cells that fire apart, wire apart. »

# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.2. Mise en évidence de la PLT sur l'hippocampe

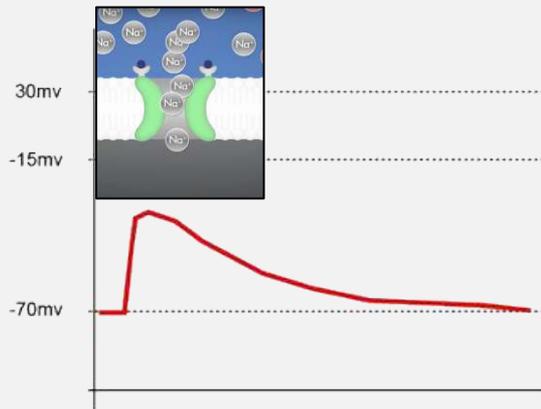
- Tranche d'**hippocampe** de souris
- **Stimulation électrique** ( $\downarrow\downarrow$ ) de la collatérales de Schaeffer qui active la région 1 de la Corne d'Amon (CA1)
- Les **potentiels post-synaptiques excitateurs (PPSE)** sont enregistrés au niveau des cellules pyramidales de CA1



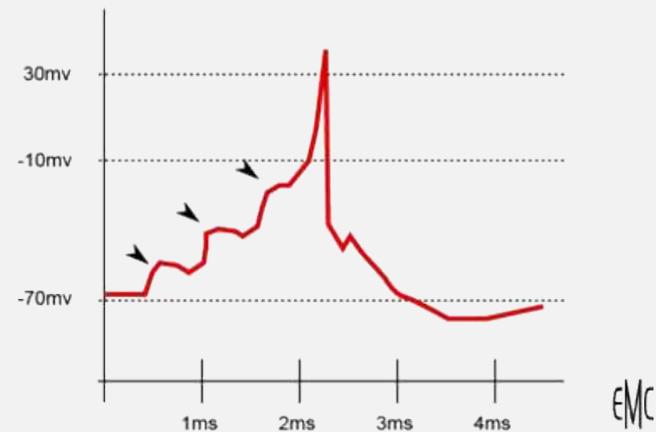
# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME

## RAPPEL : **Potentiel Post-Synaptique Excitateur (PPSE)**

**Dépolarisation** du potentiel de membrane du neurone post-synaptique causée par une entrée de cations (+)



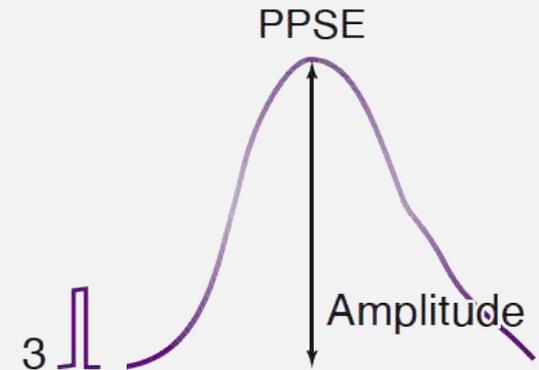
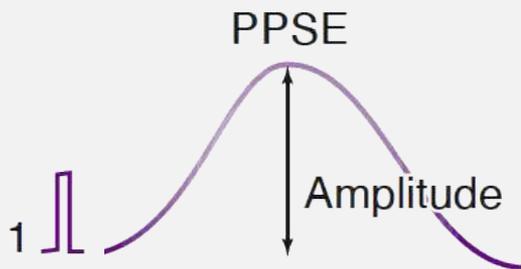
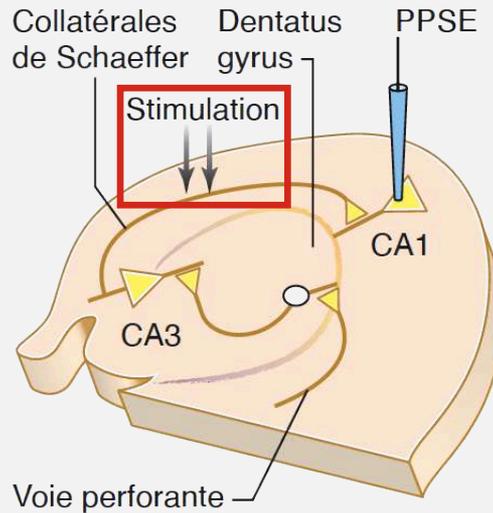
Un PPSE n'est souvent pas suffisant pour générer un potentiel d'action



La sommation de PPSE est souvent nécessaire pour déclencher un potentiel d'action

# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.2. Mise en évidence sur l'hippocampe

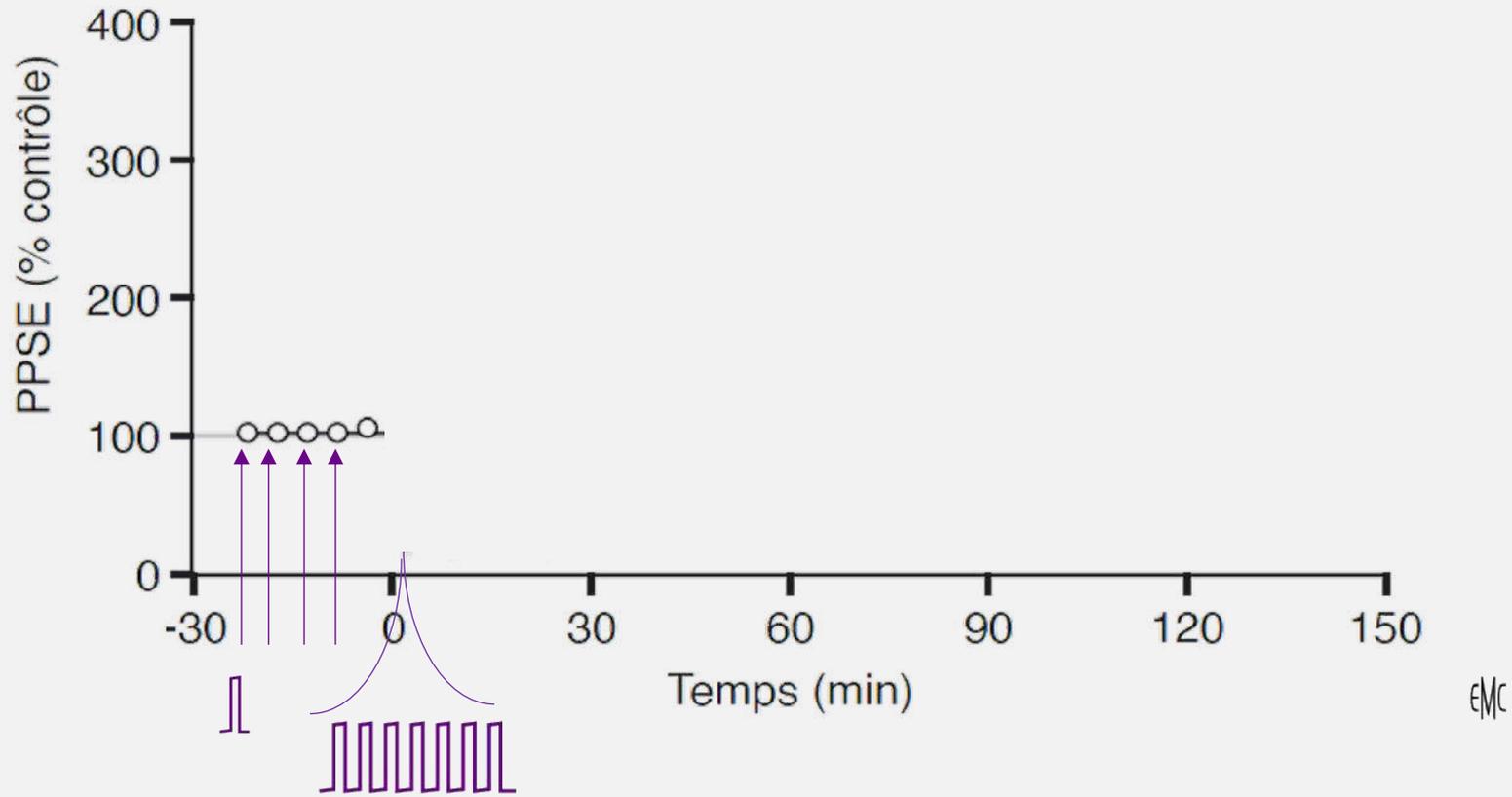


PPSE = potentiel postsynaptique excitateur

EMC

# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.2. Mise en évidence sur l'hippocampe

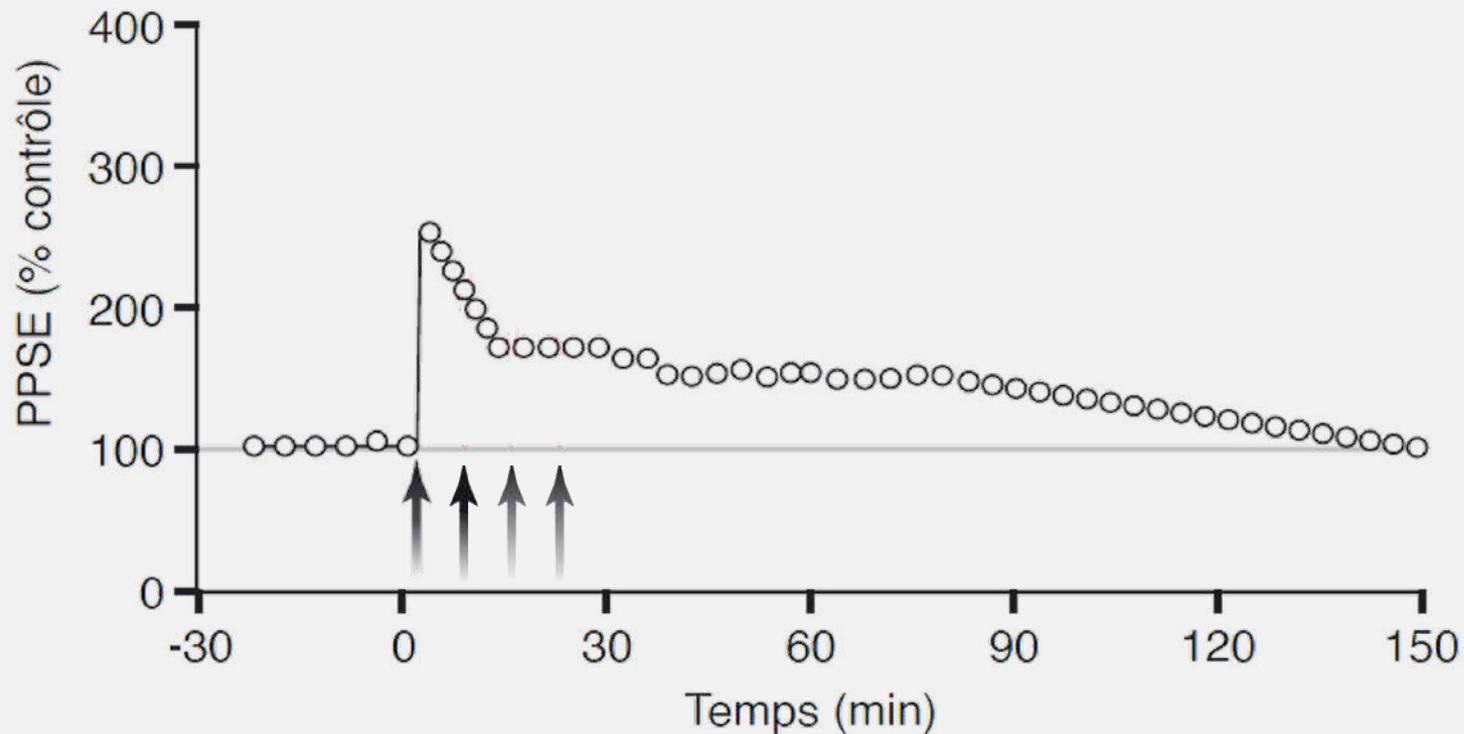


Stimulation tétanique (100 Hz)

PPSE = potentiel postsynaptique exciteur

# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.2. Mise en évidence sur l'hippocampe

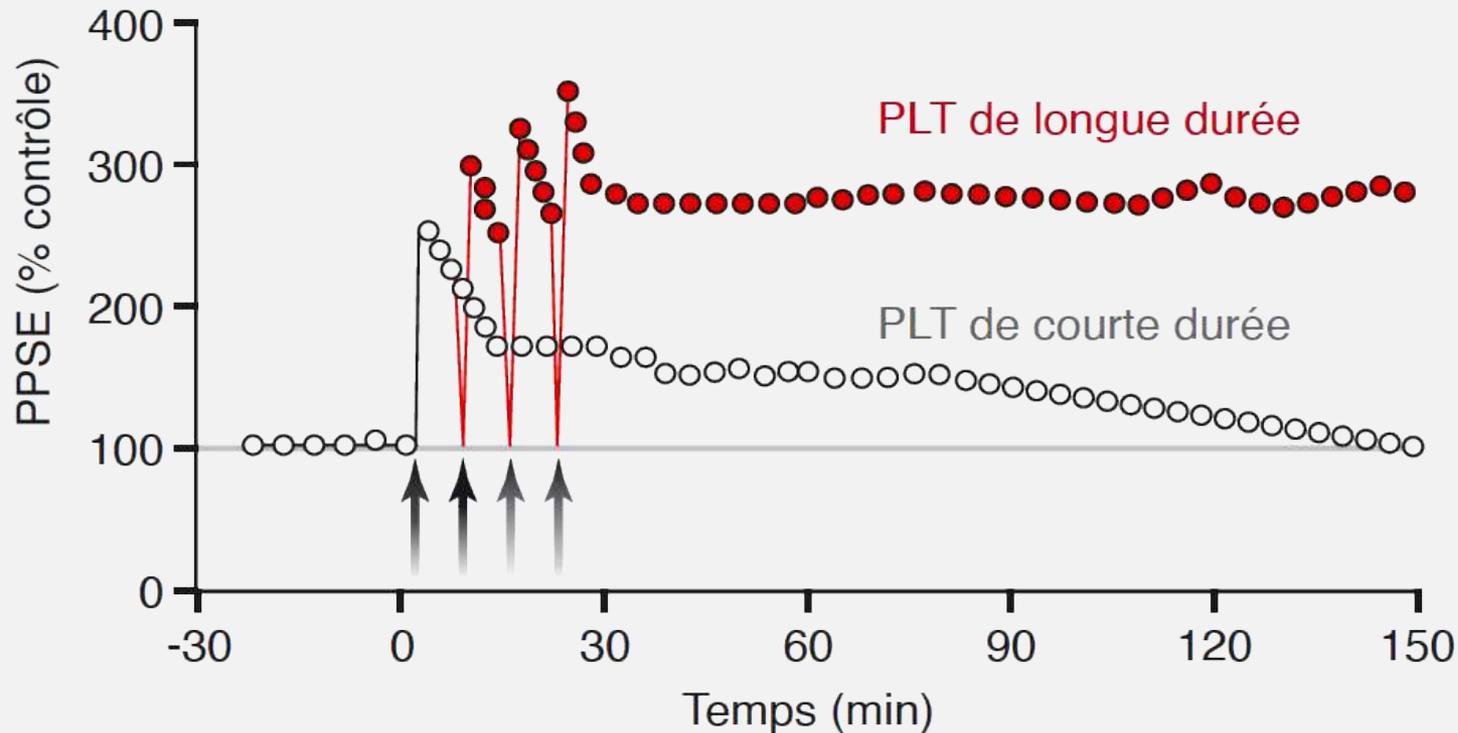


EMC

PPSE = potentiel postsynaptique exciteur

# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.2. Mise en évidence sur l'hippocampe



EMC

PPSE = potentiel postsynaptique exciteur  
 PLT = potentialisation à long terme

# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.3. Récepteurs AMPA & NMDA (post-synaptiques)

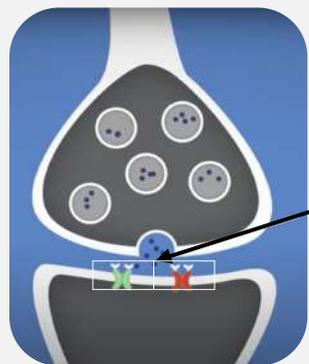


# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

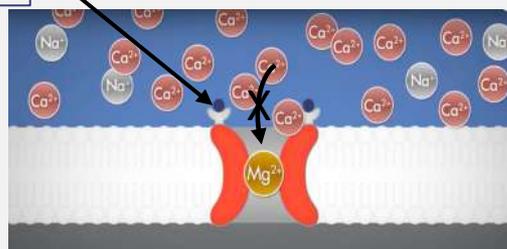
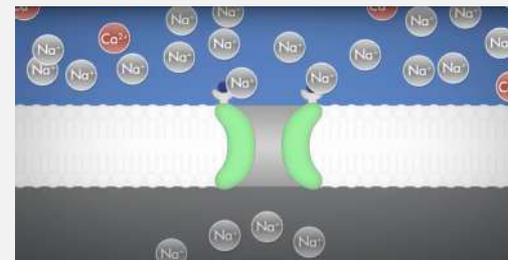
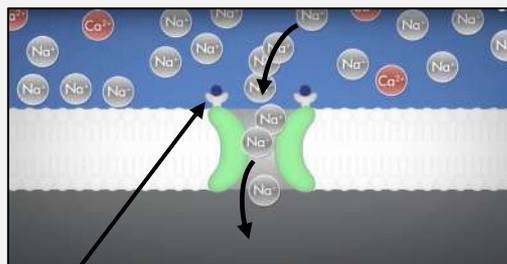
## 1.3.3. Récepteurs AMPA & NMDA (hippocampe)

### Récepteur AMPA

(acide alpha-amino-3-hydroxy-5-méthylisoxazole-4-propionique)



Glutamate

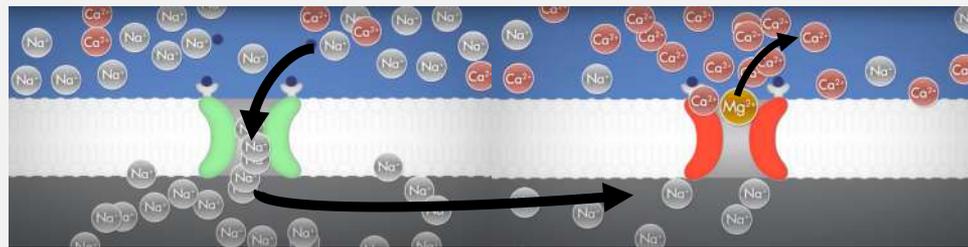


### Récepteur NMDA

(N-méthyl-Daspartate)

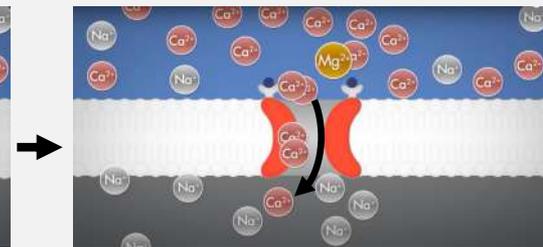
# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.3. Récepteurs AMPA & NMDA (hippocampe)



Récepteur AMPA

(acide alpha-amino-3-hydroxy-5-méthylisazole-4-propionique)



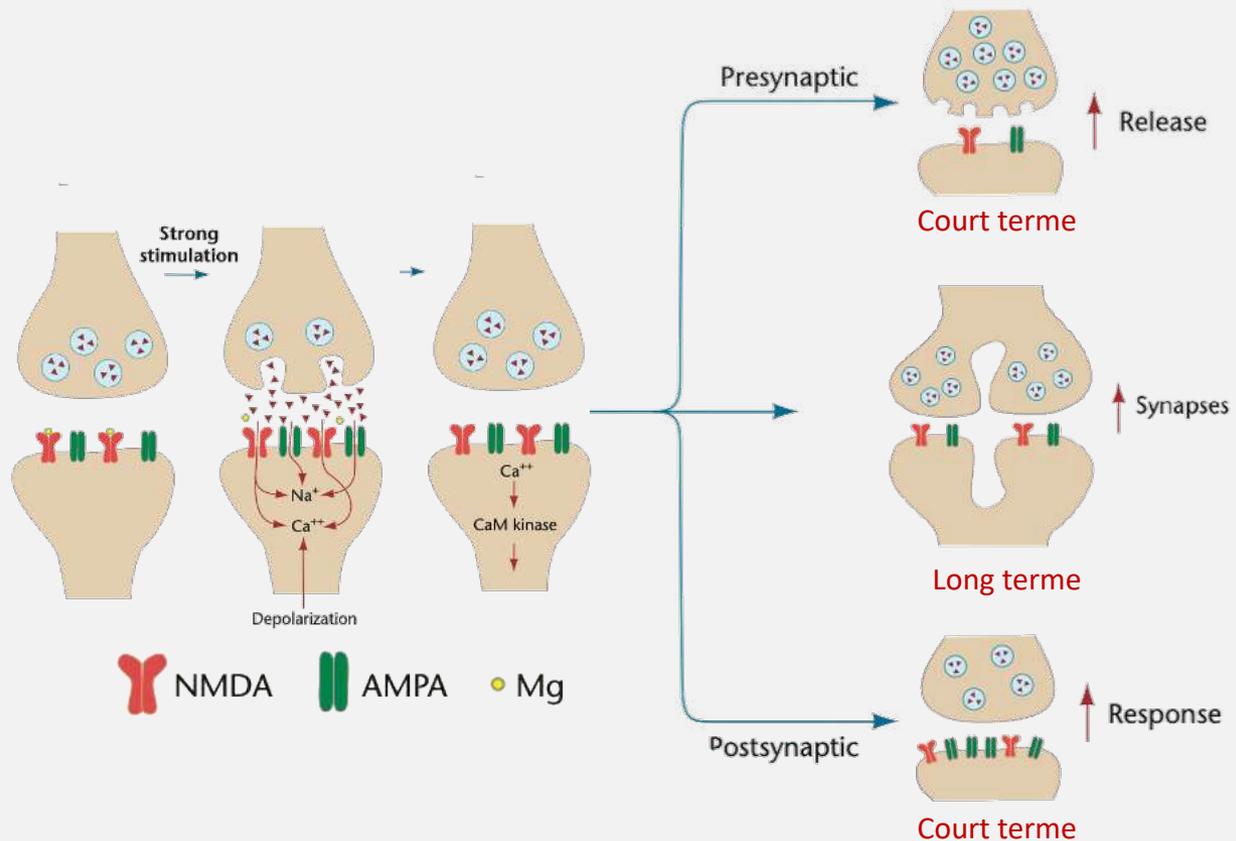
Récepteur NMDA

(N-méthyl-D-aspartate)

Récepteur NMDA = « **Détecteur de coïncidence** » parce qu'il à besoin **à la fois** d'un évènement présynaptique (fixation du glutamate) **et** d'un évènement post-synaptique (dépolariation significative) pour que le canal s'ouvre

# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

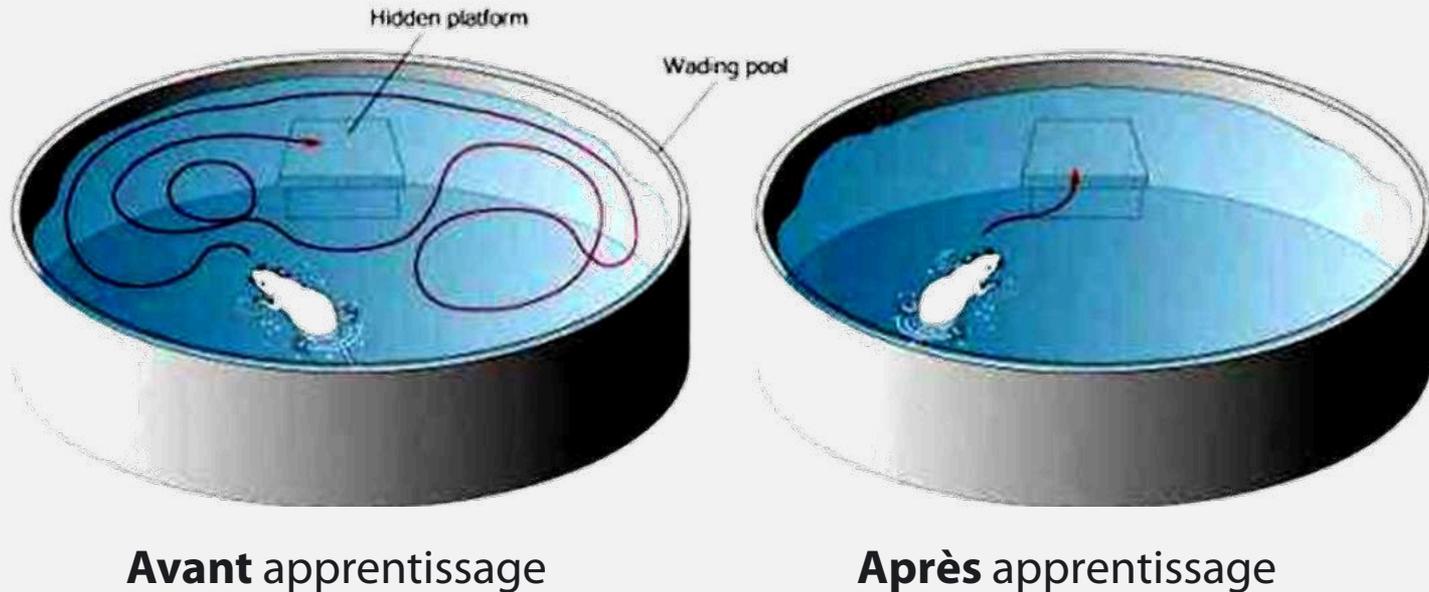
## 1.3.3. Récepteurs AMPA & NMDA (hippocampe)



# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.3. Récepteurs AMPA & NMDA

Labyrinthe aquatique de Morris : Mémoire spatiale & récepteurs NMDA



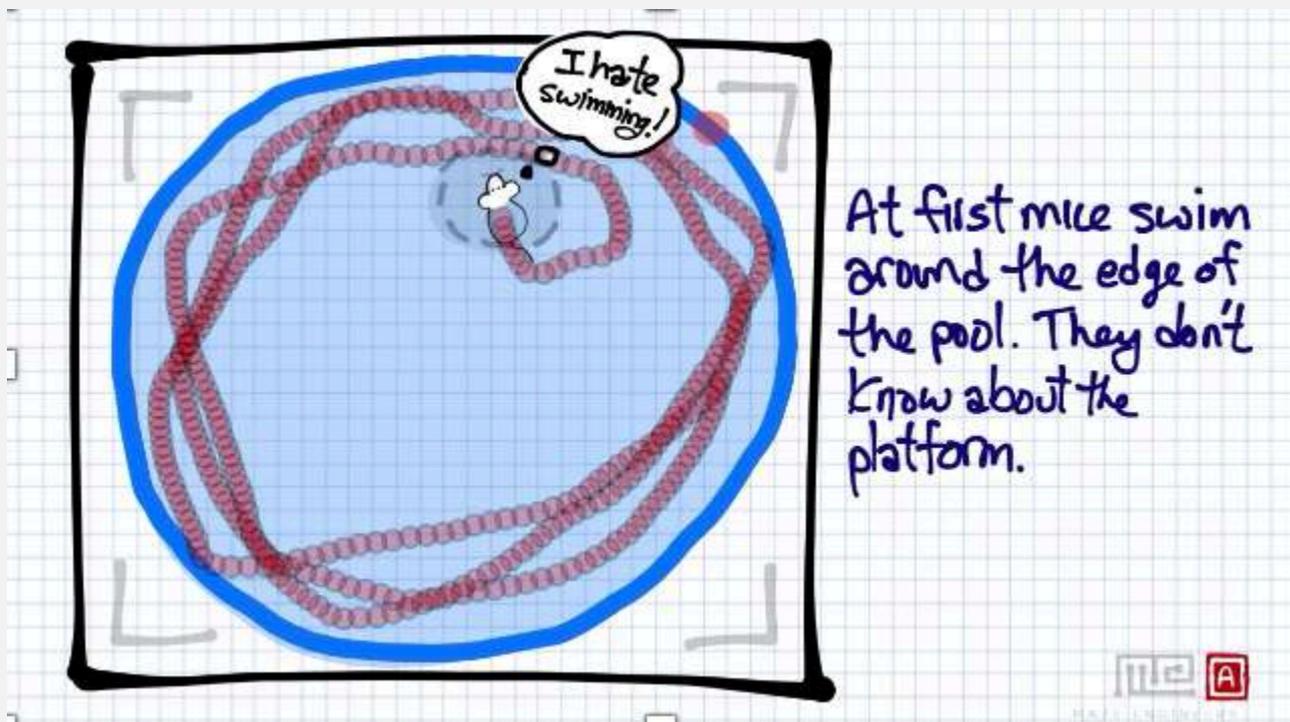
# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.3. Récepteurs AMPA & NMDA

Labyrinthe aquatique de Morris : Mémoire spatiale & récepteurs NMDA



Test de transfert en fin de vidéo (« probe trials »)

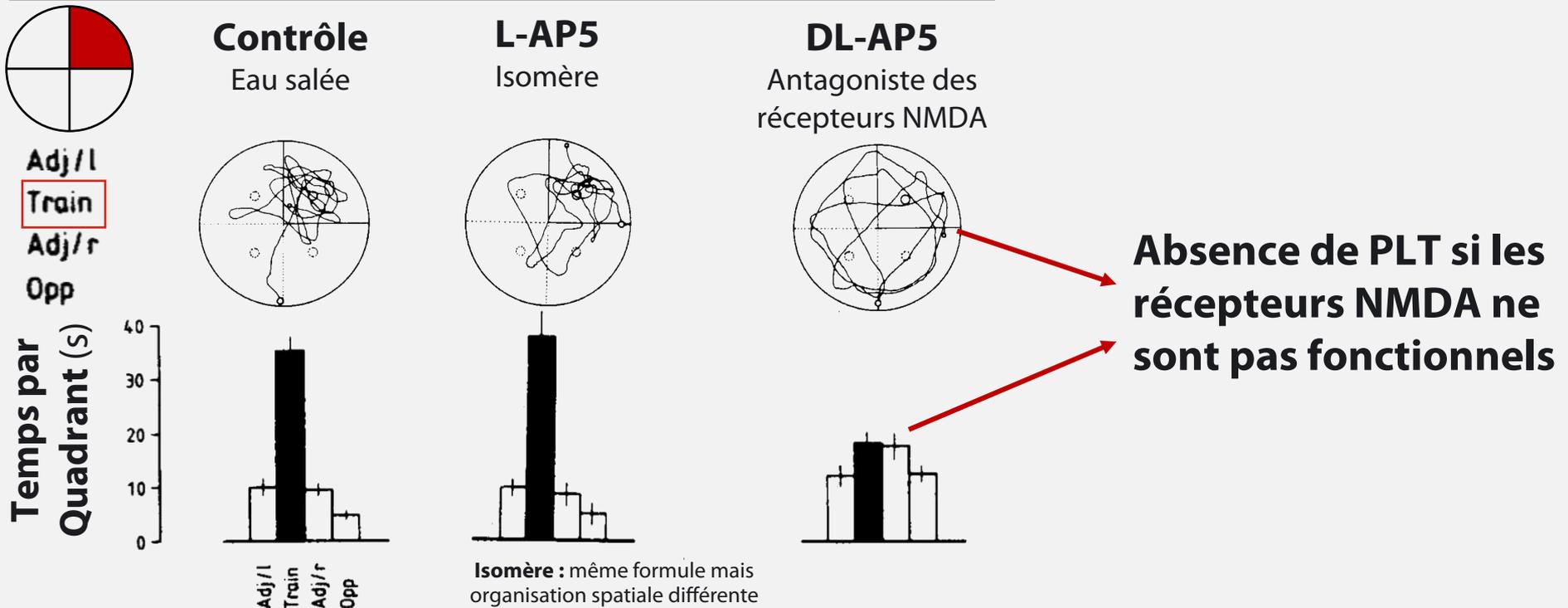


# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.3. Récepteurs AMPA & NMDA

Labyrinthe aquatique de Morris : Mémoire spatiale & récepteurs NMDA

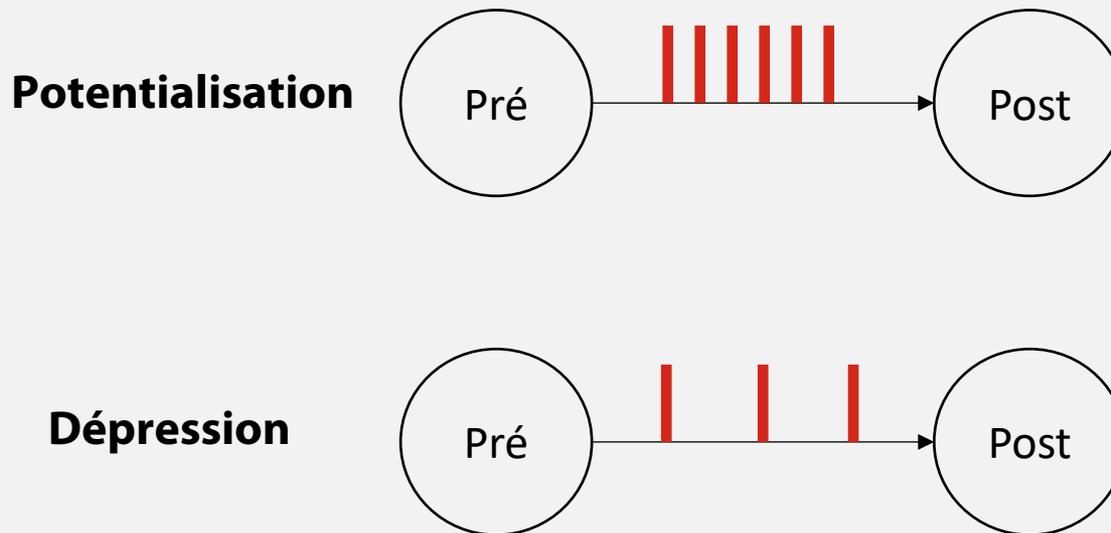
### Test de Transfert (60 sec)



# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.4. Dépression à long terme (DLT)

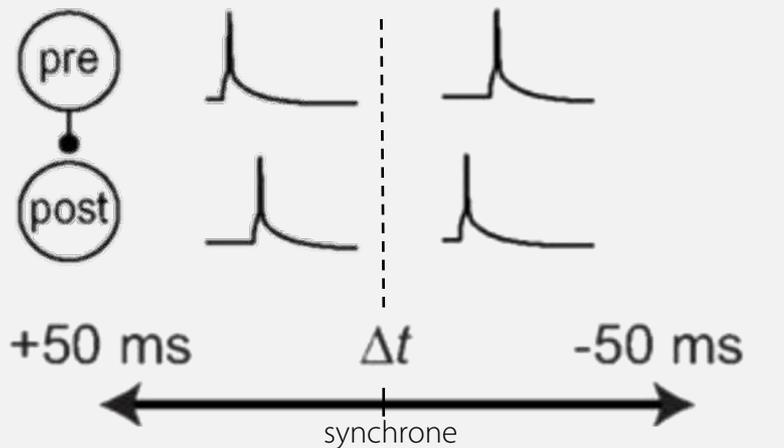
**Mécanisme inverse** de la potentialisation à long terme qui est dû à une diminution de la fréquence de stimulation par le neurone présynaptique



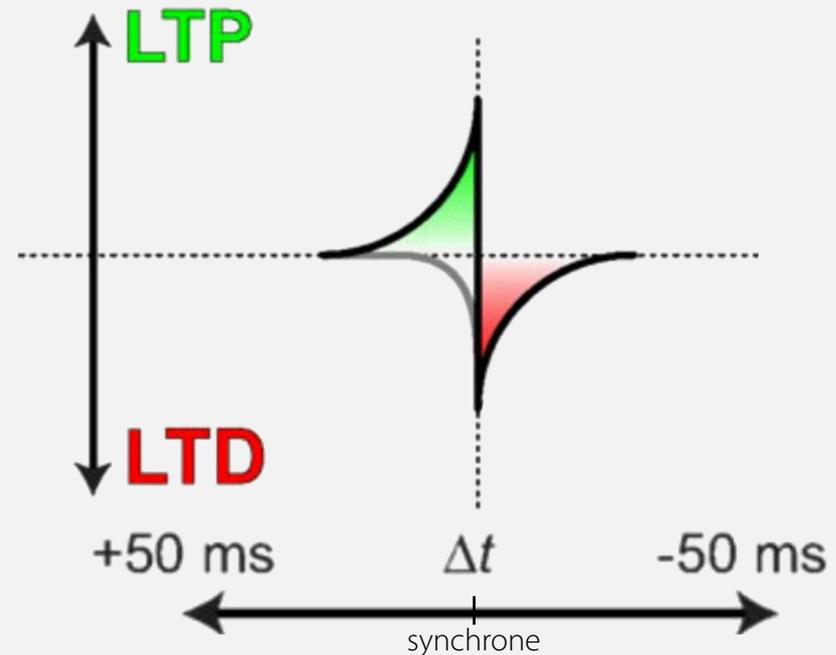
# 1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME (PLT)

## 1.3.5. Plasticité par modulation temporelle

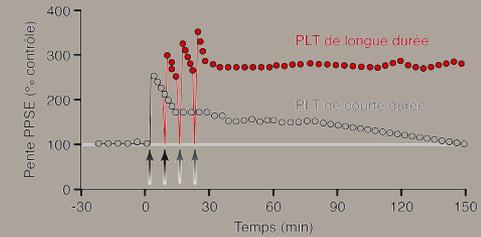
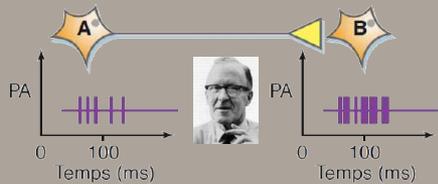
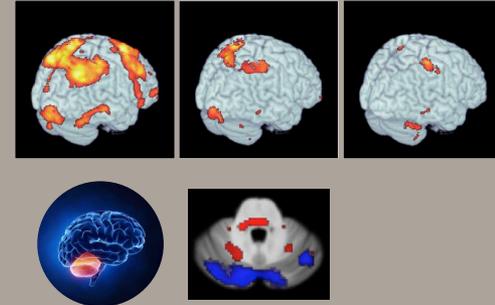
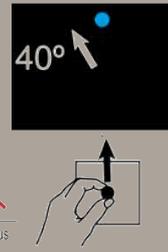
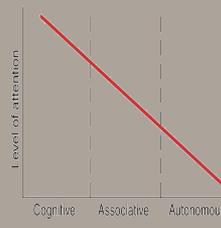
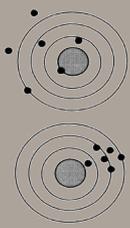
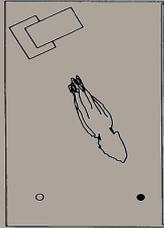
- Si le neurone **postsynaptique** émet un potentiel d'action **après** le neurone **présynaptique**, la synapse se **renforce** (PLT)
- S'il émet **avant**, la synapse **s'affaiblit** (DLT)



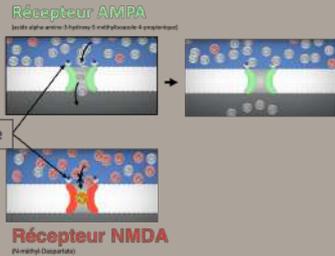
PA présynaptique « en avance »      PA présynaptique « en retard »



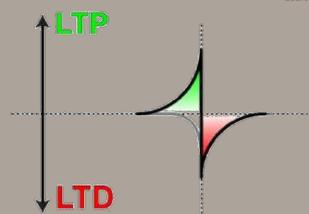
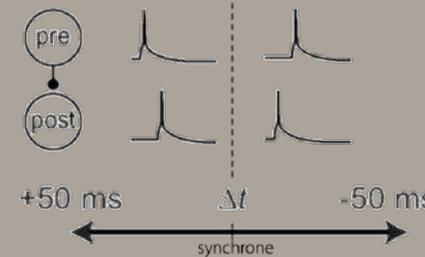
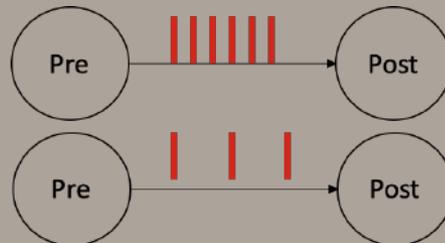
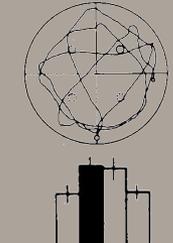
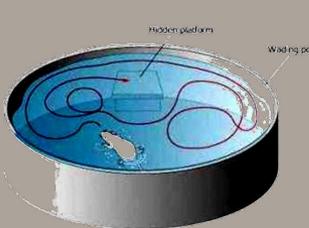
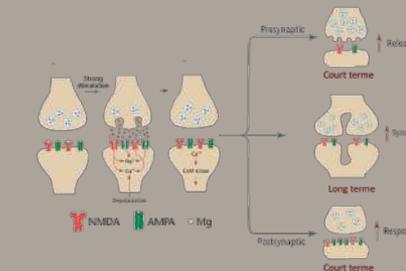
# Récapitulatif des parties 1.1 à 1.3



Glutamate



Ca<sup>2+</sup>



## Questions pour s'entraîner

1. Définir l'**apprentissage** moteur, l'**habileté** motrice, la **performance** motrice, la **mémoire** déclarative, et la mémoire procédurale.
2. Décrire les 3 stades de l'**apprentissage selon Fitts et Posner**
3. Énoncer la **théorie (ou loi) de Hebb**.
4. Définir un **PPSE**.
5. Expliquer la **PLT** ainsi que le fonctionnement des récepteurs **AMPA** et **NMDA**.
6. Qu'est-ce qu'un **détecteur de coïncidence** ?
7. Qu'est-ce qui différencie la PLT de la **DLT** ?
8. Expliquer comment mettre en évidence l'importance des récepteurs NMDA pour la **mémoire spatiale**.
9. Décrire la **plasticité par modulation temporelle**.

# 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

1.1. DÉFINITIONS

1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME

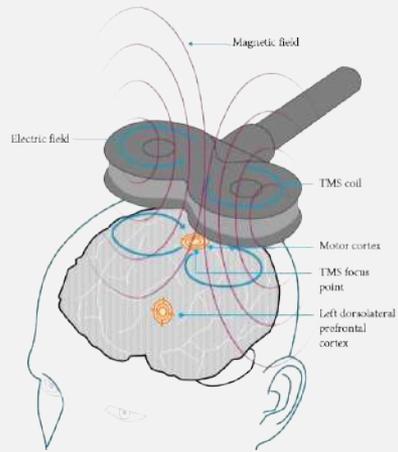
**1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE**

1.5. NEURONES MIROIRS

1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

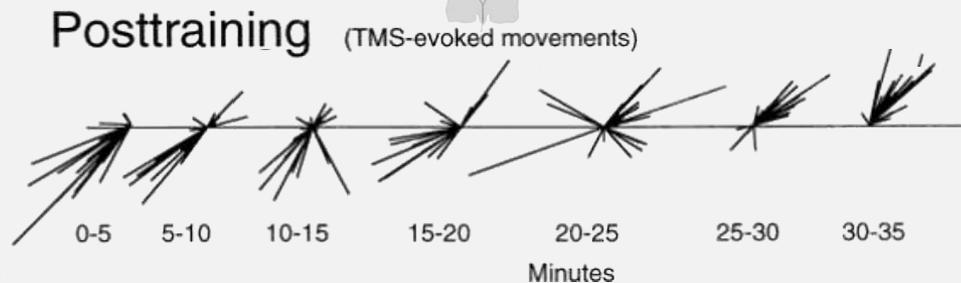
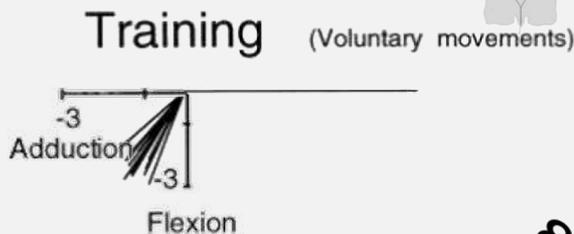
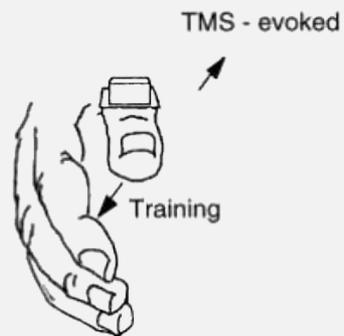
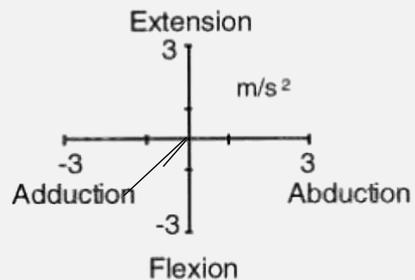
# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

## 1.4.1. Plasticité fonctionnelle



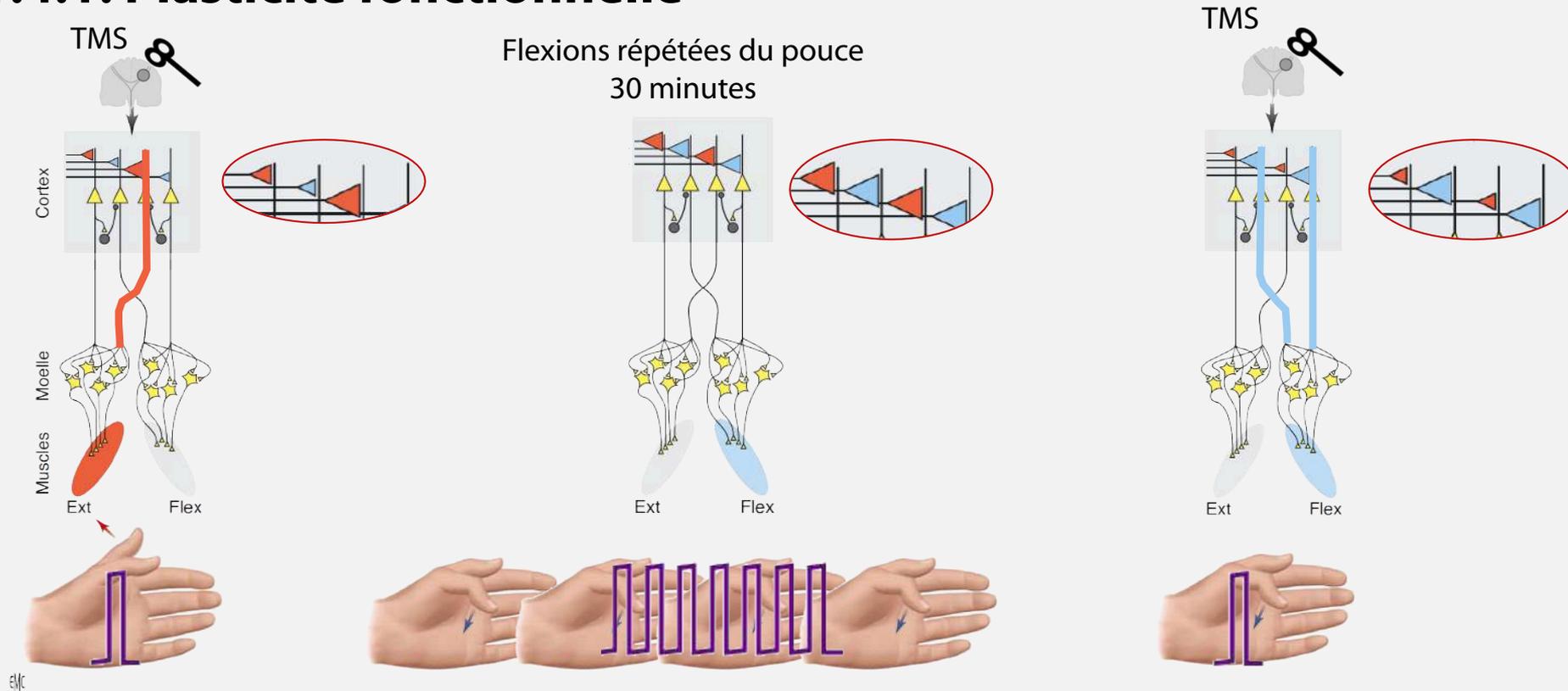
TMS = Stimulation Magnétique Transcranienne (cortex moteur)

x-y first-peak acceleration



# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

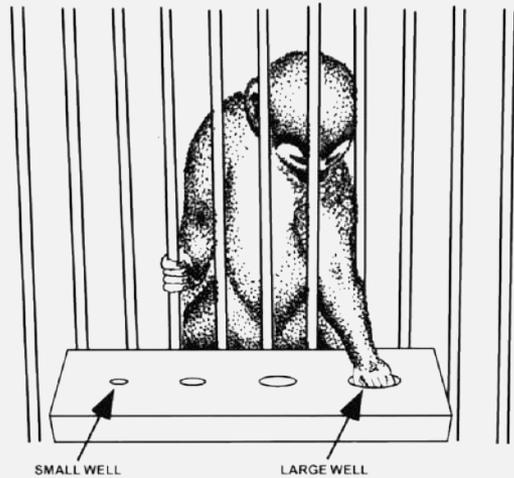
## 1.4.1. Plasticité fonctionnelle



La répétition d'une même action motrice a un effet similaire à la stimulation tétaïque utilisée dans le protocole de potentialisation à long terme (PLT) de l'hippocampe

# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

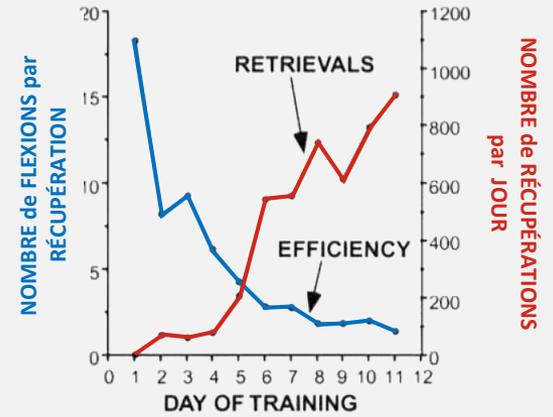
## 1.4.1. Plasticité fonctionnelle



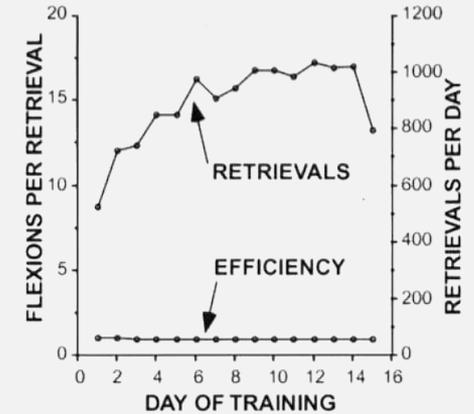
SMALL WELL



SMALL WELL TRAINING



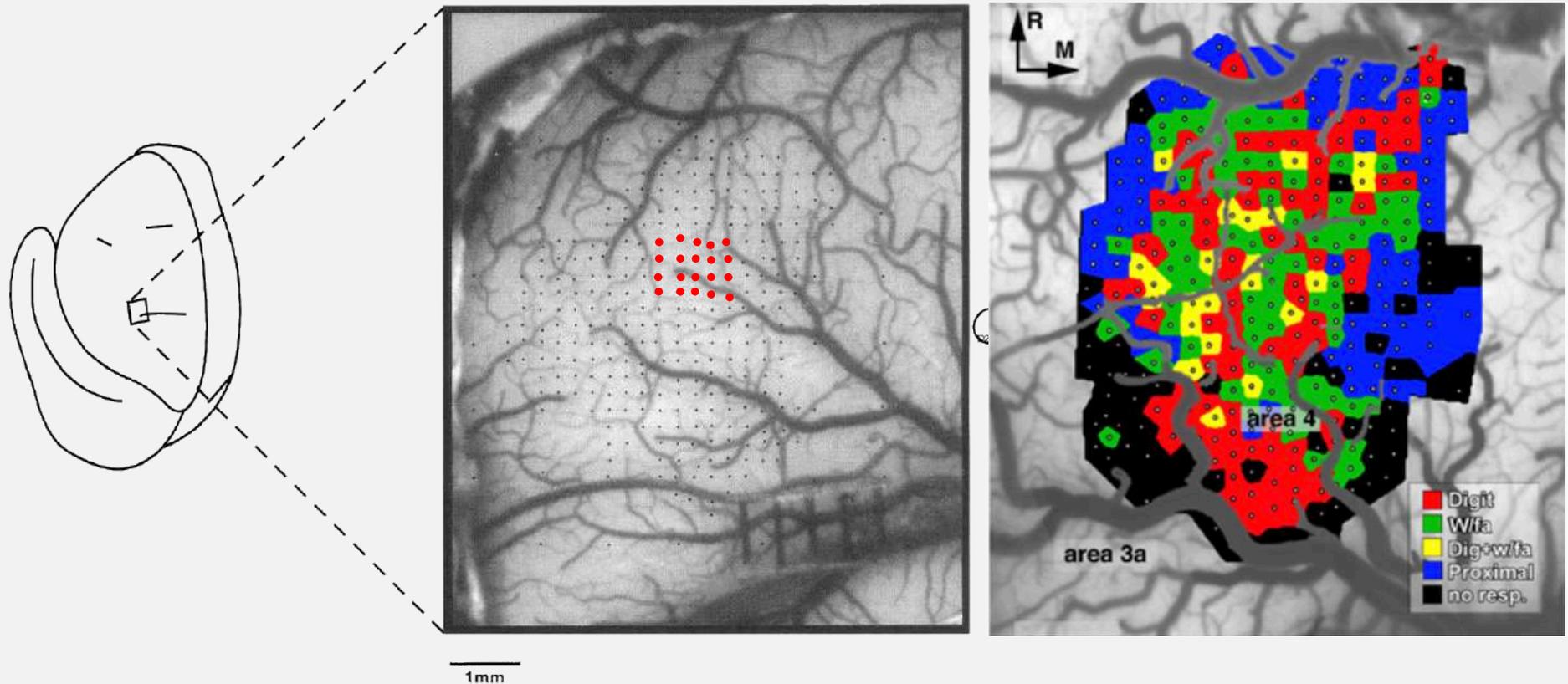
LARGE WELL TRAINING



# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

## 1.4.1. Plasticité fonctionnelle

Cartographie électro-physiologique du cortex moteur (pré- & post-entraînement)

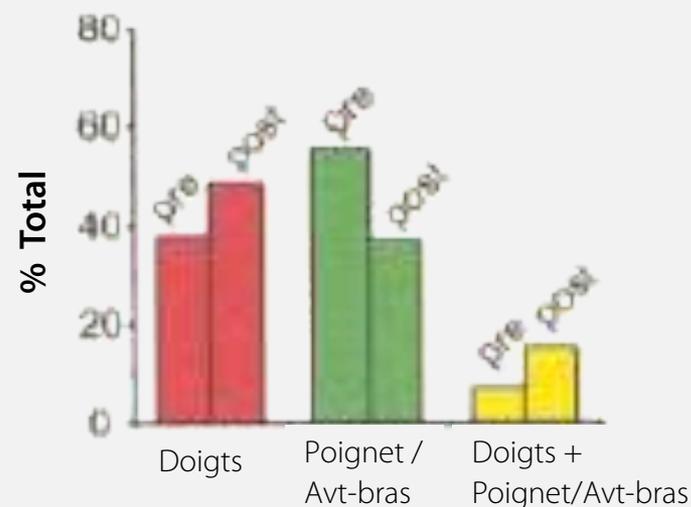


# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

## 1.4.1. Plasticité fonctionnelle

### Représentations corticales (Doigts, Poignet/Avant-bras)

Pre-training      Post-training

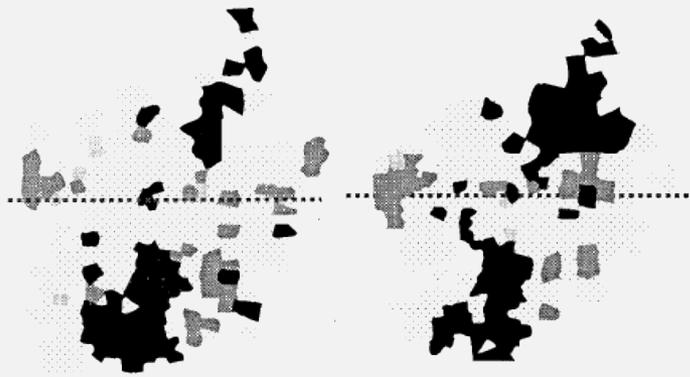


# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

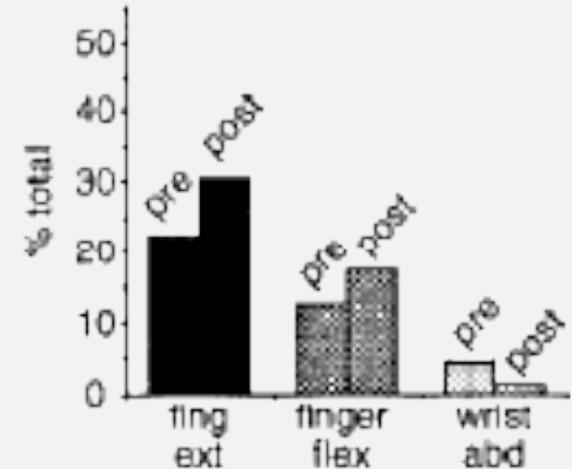
## 1.4.1. Plasticité fonctionnelle

Représentations corticales (flexion et extensions des doigts, abduction du poignet)

Pre-training      Post-training



- finger extension
- ▒ finger flexion
- ▓ wrist abduction
- ▨ finger fl+wrist abd
- other distal fl

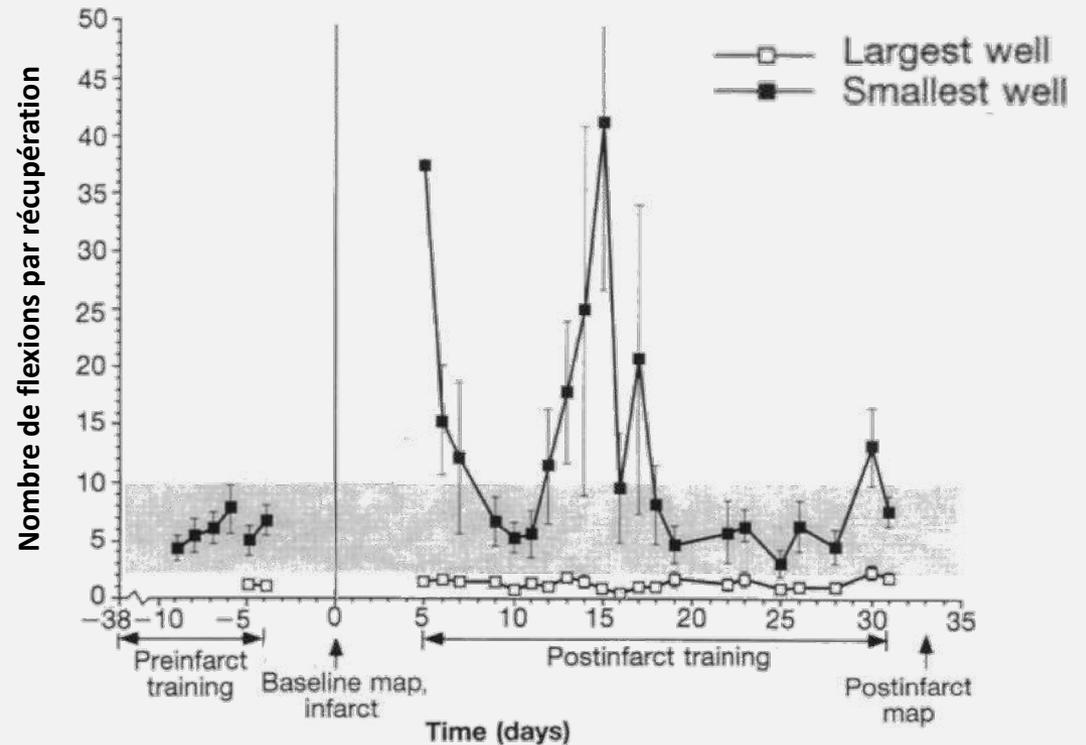
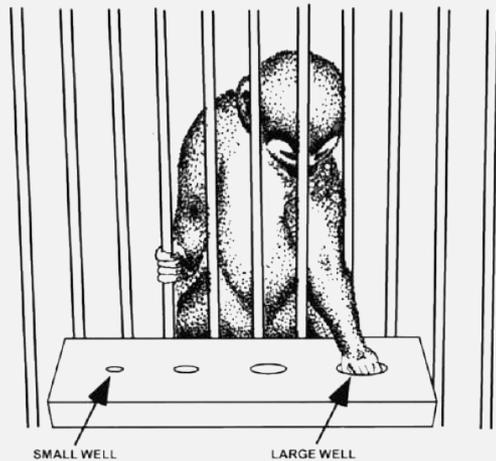


# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

## 1.4.1. Plasticité fonctionnelle

### Infarctus cérébral

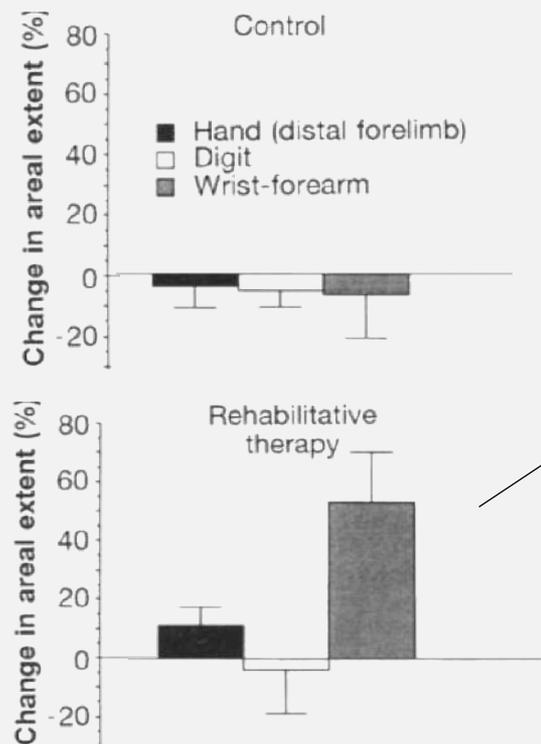
Altération du tissu cérébral par obstruction de l'artère qui assure son irrigation



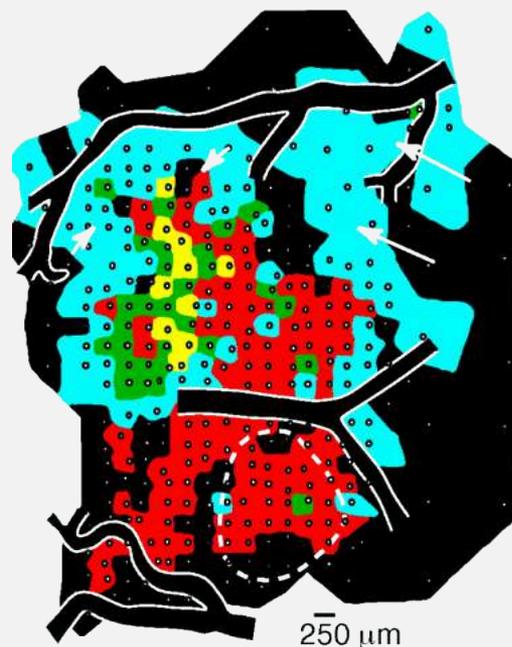
# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

## 1.4.1. Plasticité fonctionnelle

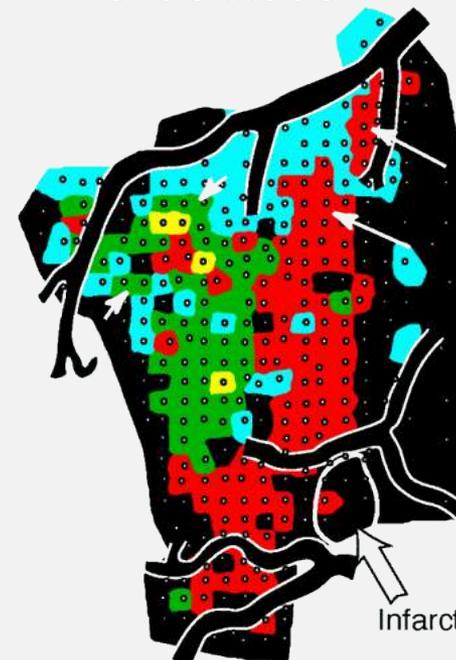
### Infarctus cérébral



Avant infarctus



Après infarctus et réhabilitation

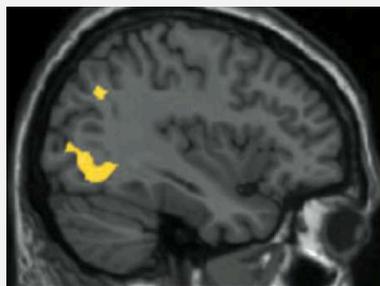


# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

## 1.4.4. Plasticité structurelle

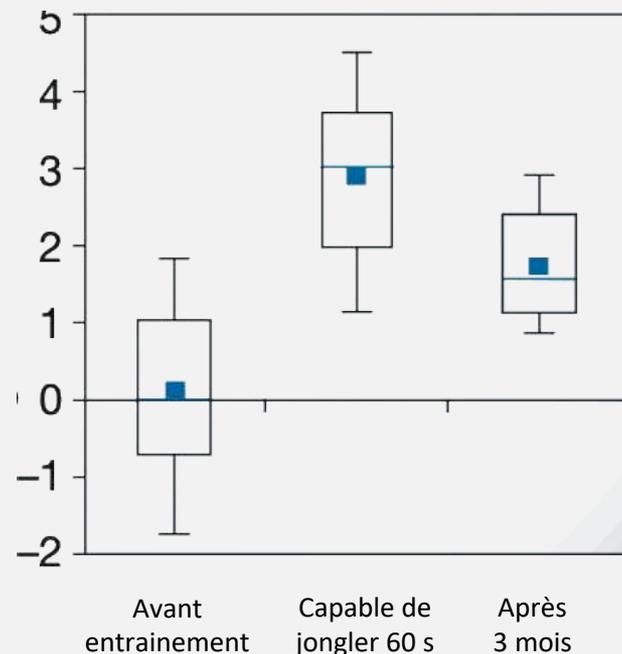


n = 12/groupe



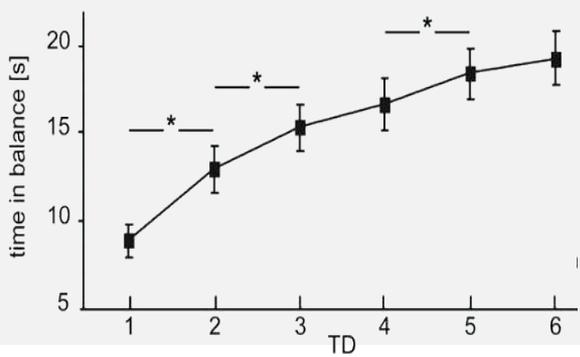
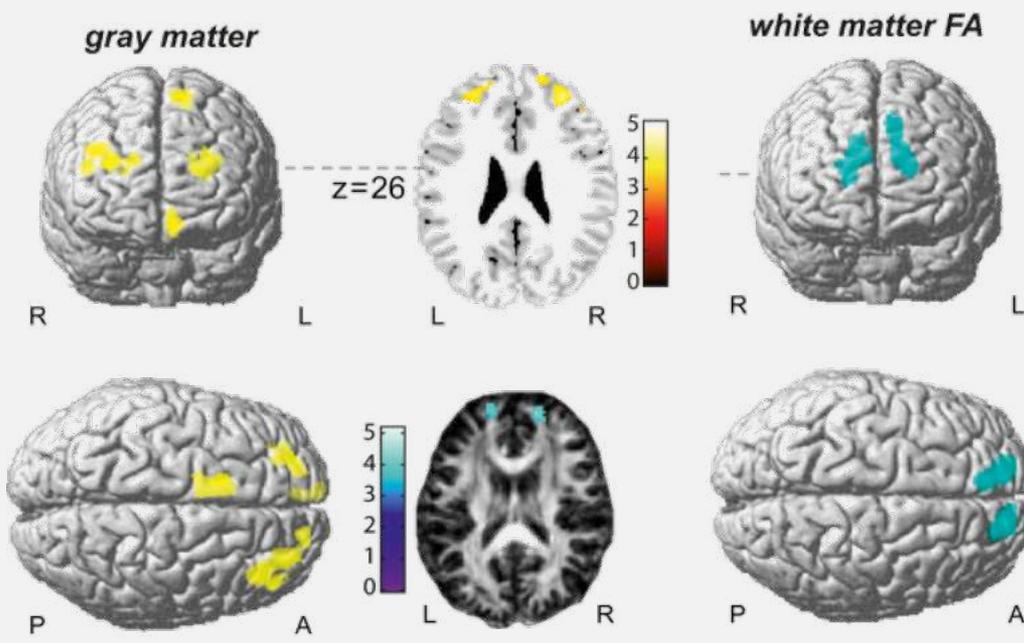
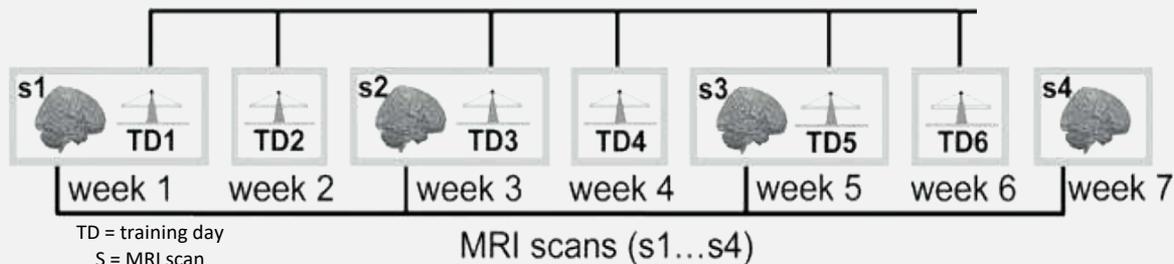
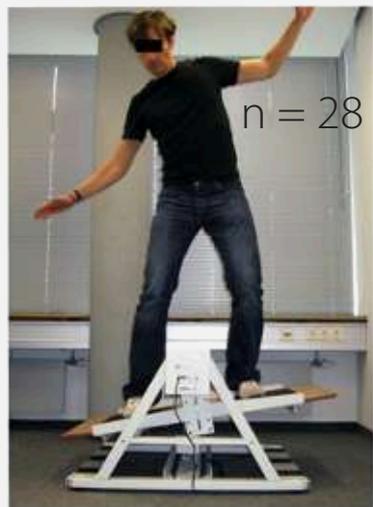
Mid-temporal area  
Left posterior intraparietal sulcus

% de changement de volume de la matière grise



# 1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

## 1.4.4. Plasticité structurelle



# 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

1.1. DÉFINITIONS

1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME

1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

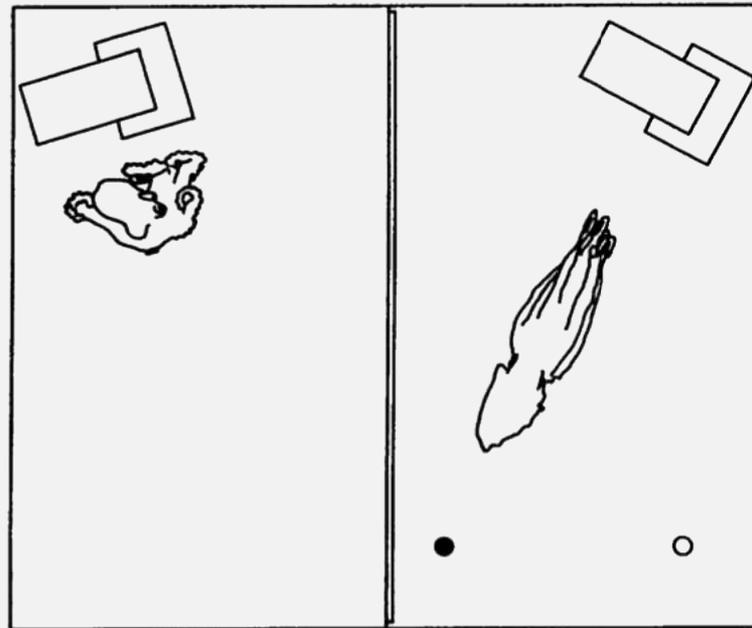
**1.5. NEURONES MIROIRS**

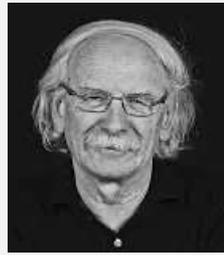
1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

# 1.5. NEURONES MIROIRS

L'**apprentissage par l'observation** est une capacité inhérente au système nerveux

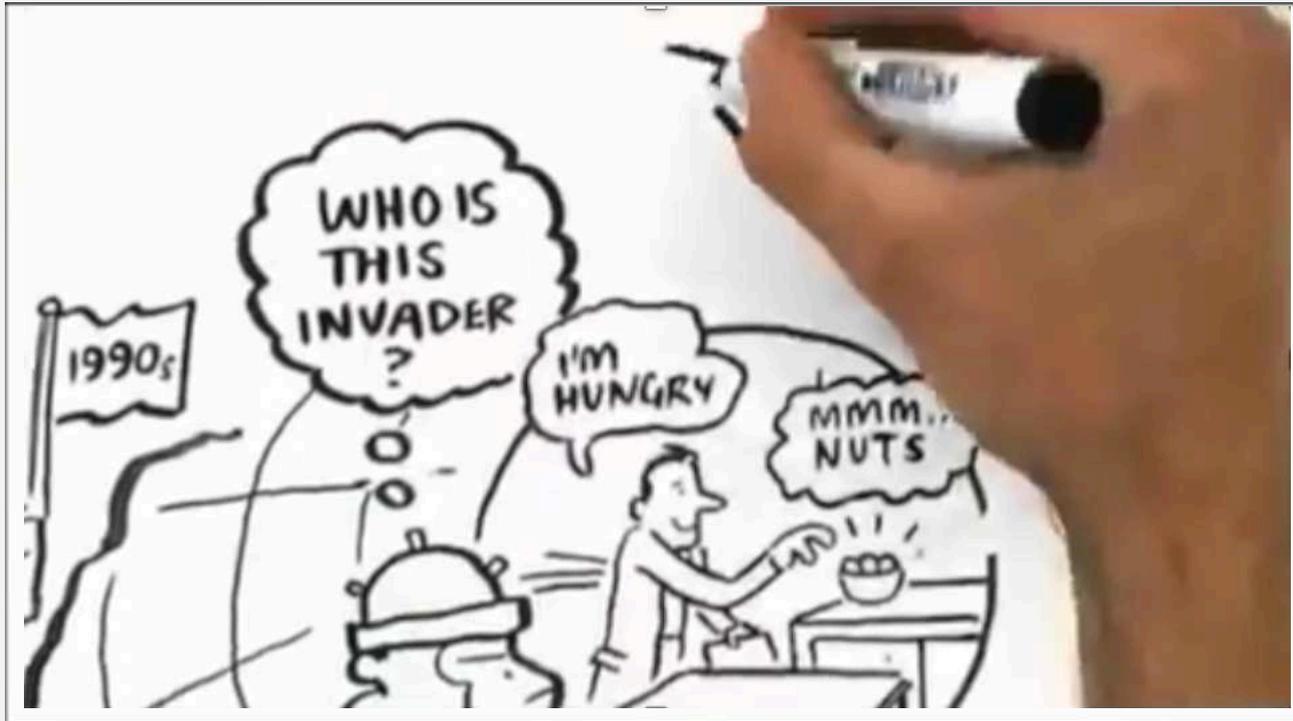
L'exemple de la pieuvre observatrice en est une illustration.





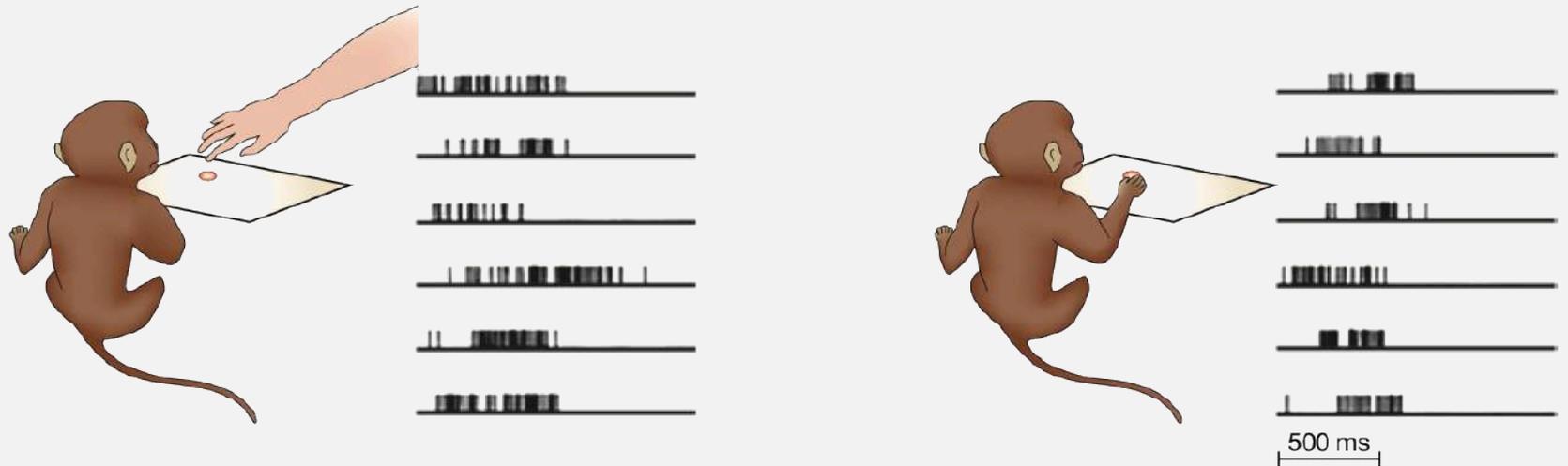
# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.1. Découverte des neurones miroirs (Rizzolatti)



# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.1. Découverte des neurones miroirs

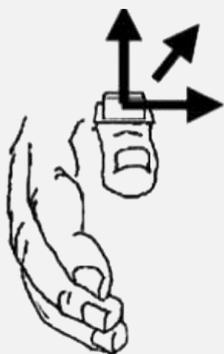


# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.2. Mémoire motrice par observation



Contraction évoquée  
par TMS



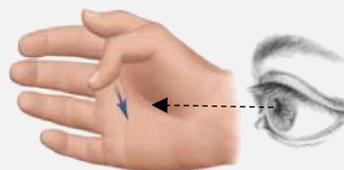
TMS = Stimulation Magnétique Transcrânienne  
(Cortex Moteur)

### Différents types d'entraînement

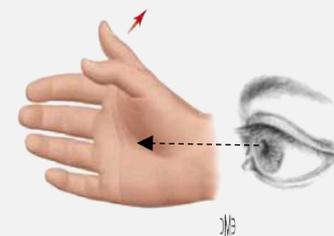
**Pratique**  
Direction opposée



**Observation**  
Direction opposée



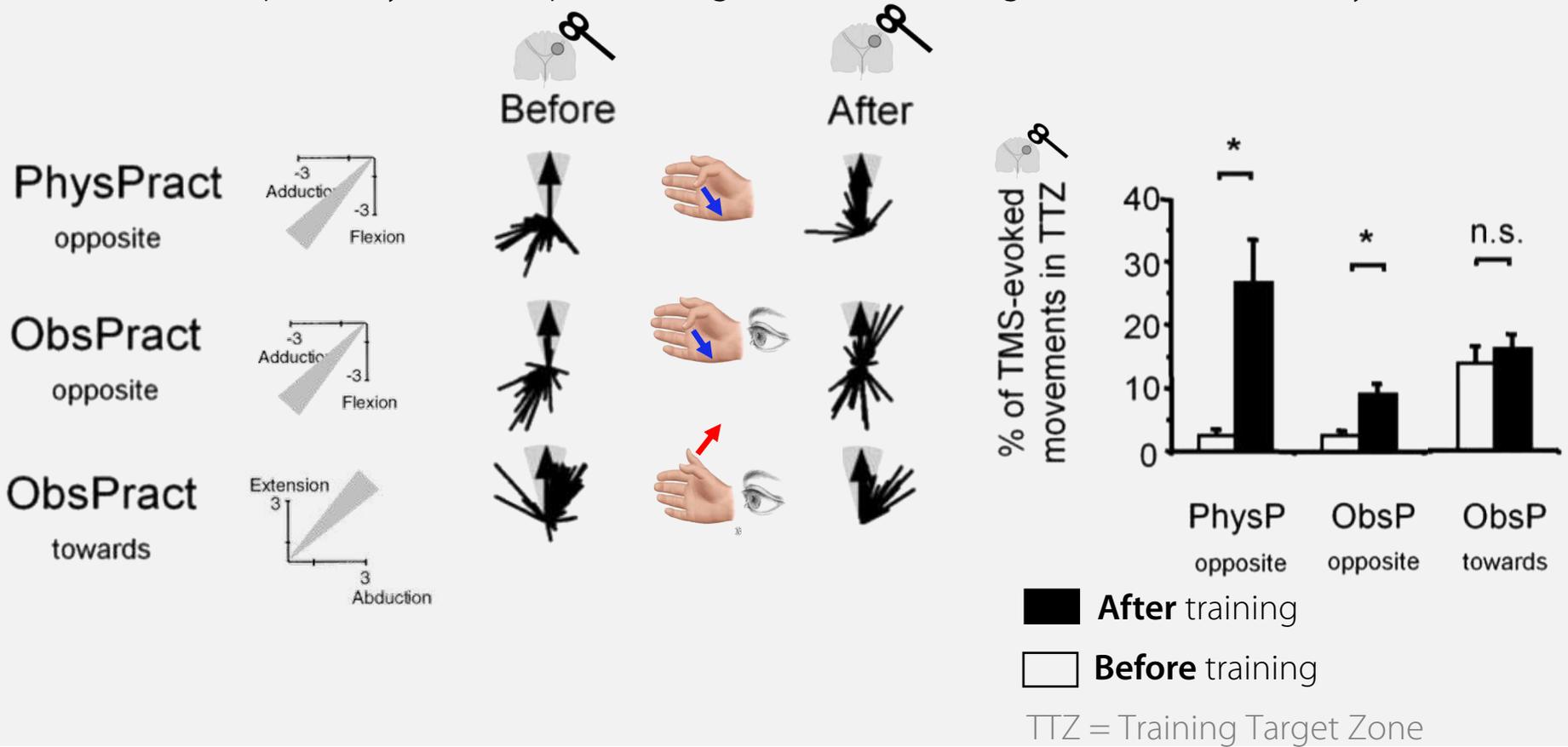
**Observation**  
Même direction



# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.2. Mémoire motrice par observation

“For better comparability, all examples are aligned to the training direction indicated by the arrow”



# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.3. Combiner pratique et observation

### Types d'entraînement

**Pratique**

Direction opposée



**Observation**

Direction opposée



**Observation**

Même direction



### Différents types d'entraînement (2)

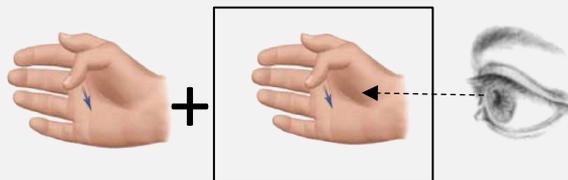
**Pratique**

direction opposée



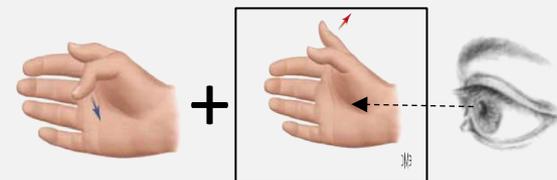
**Pratique** direction opposée

+ **Observation** direction opposée



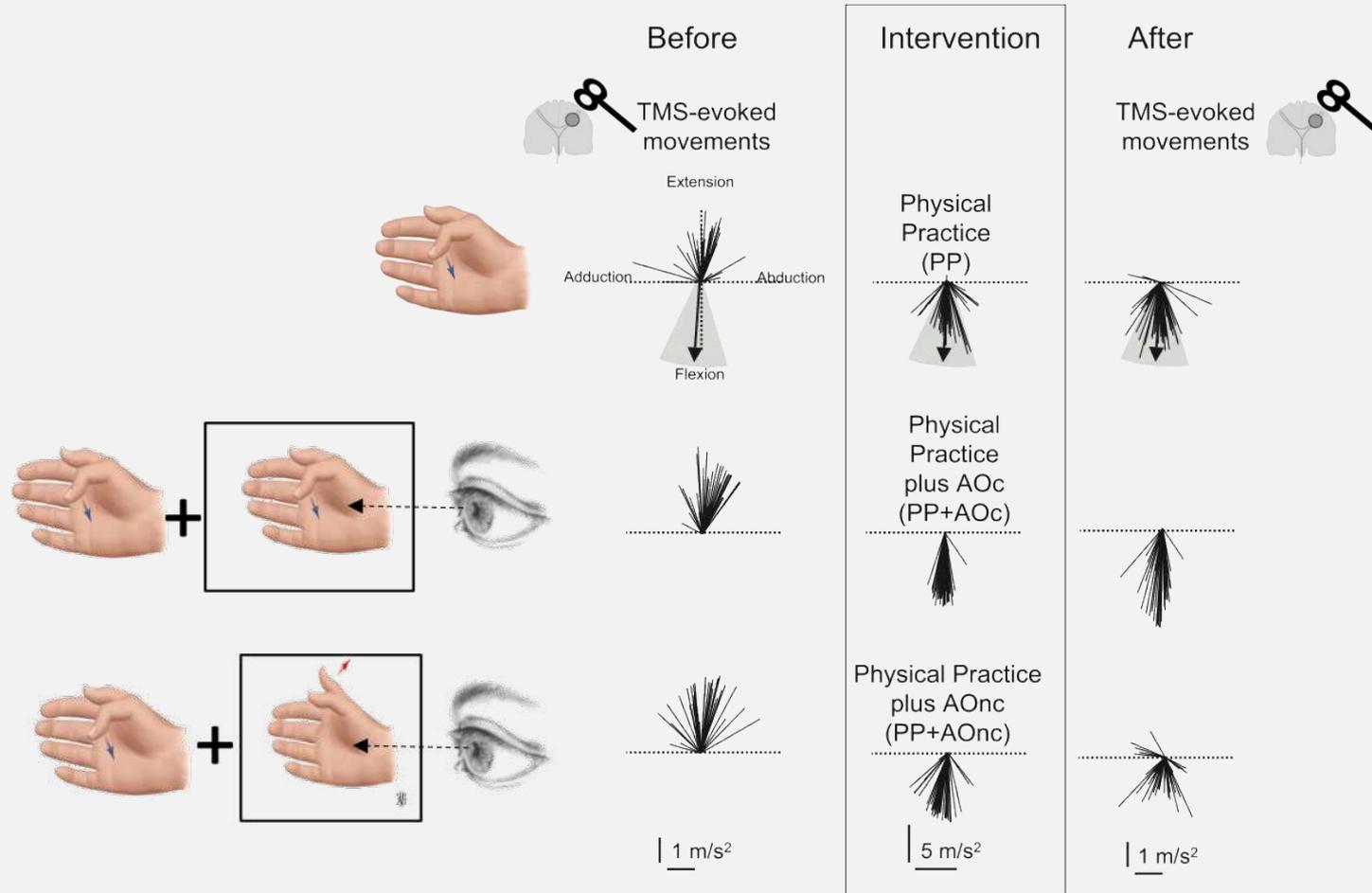
**Pratique** direction opposée +

**Observation** même direction



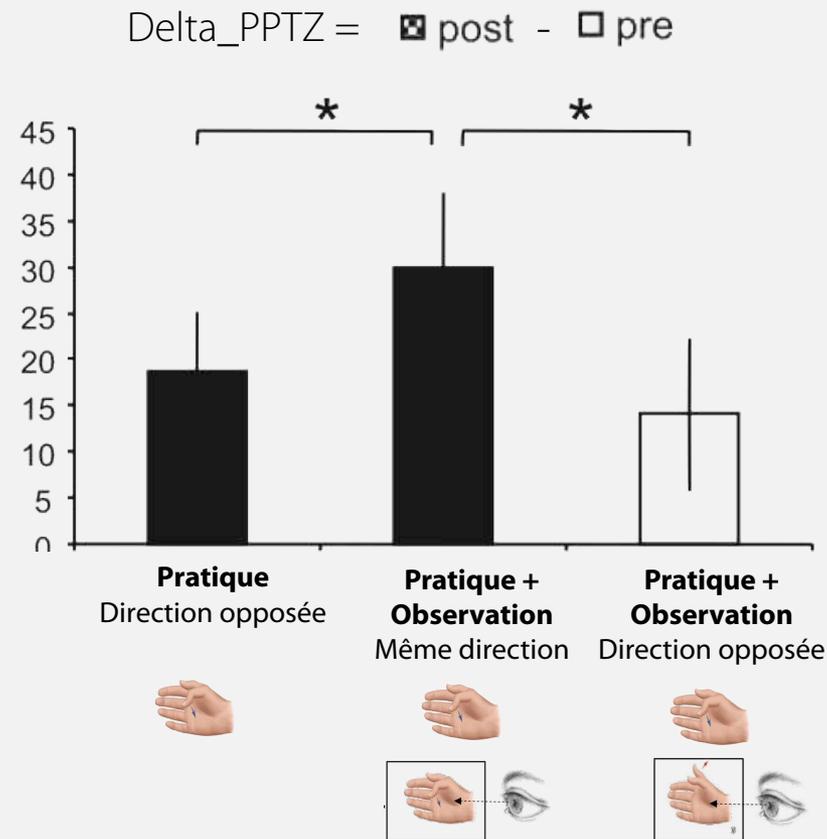
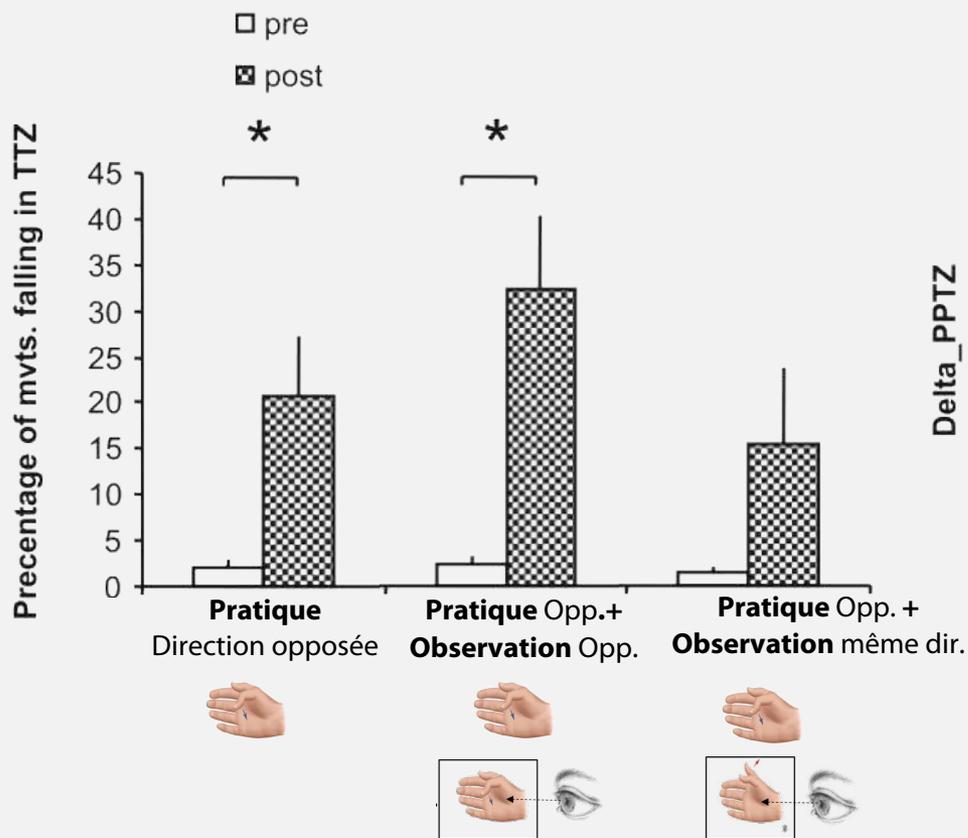
# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.3. Combiner pratique et observation



# 1.5. NEURONES MIROIRS

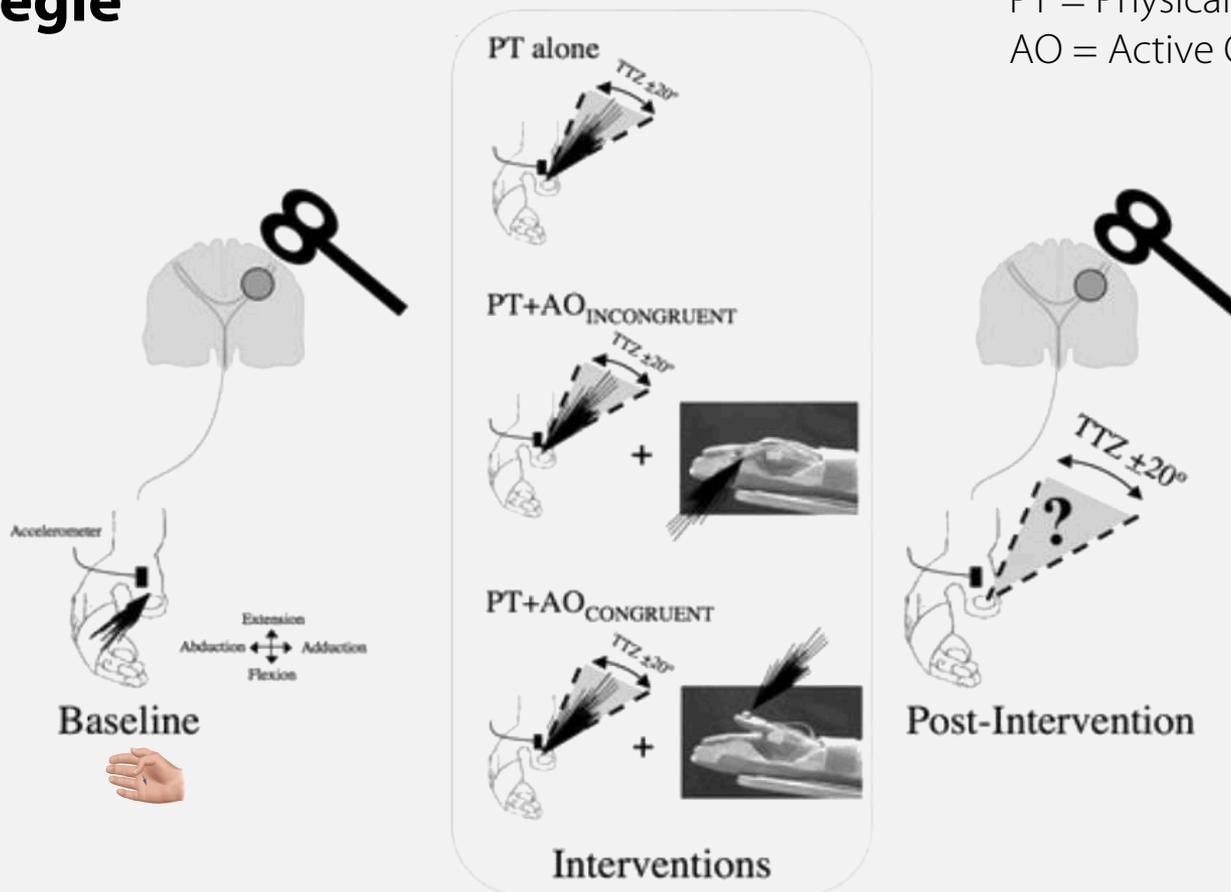
## 1.5.3. Combiner pratique et observation



# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.3. Combiner pratique et observation

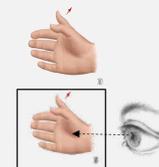
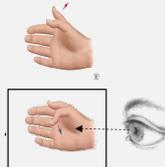
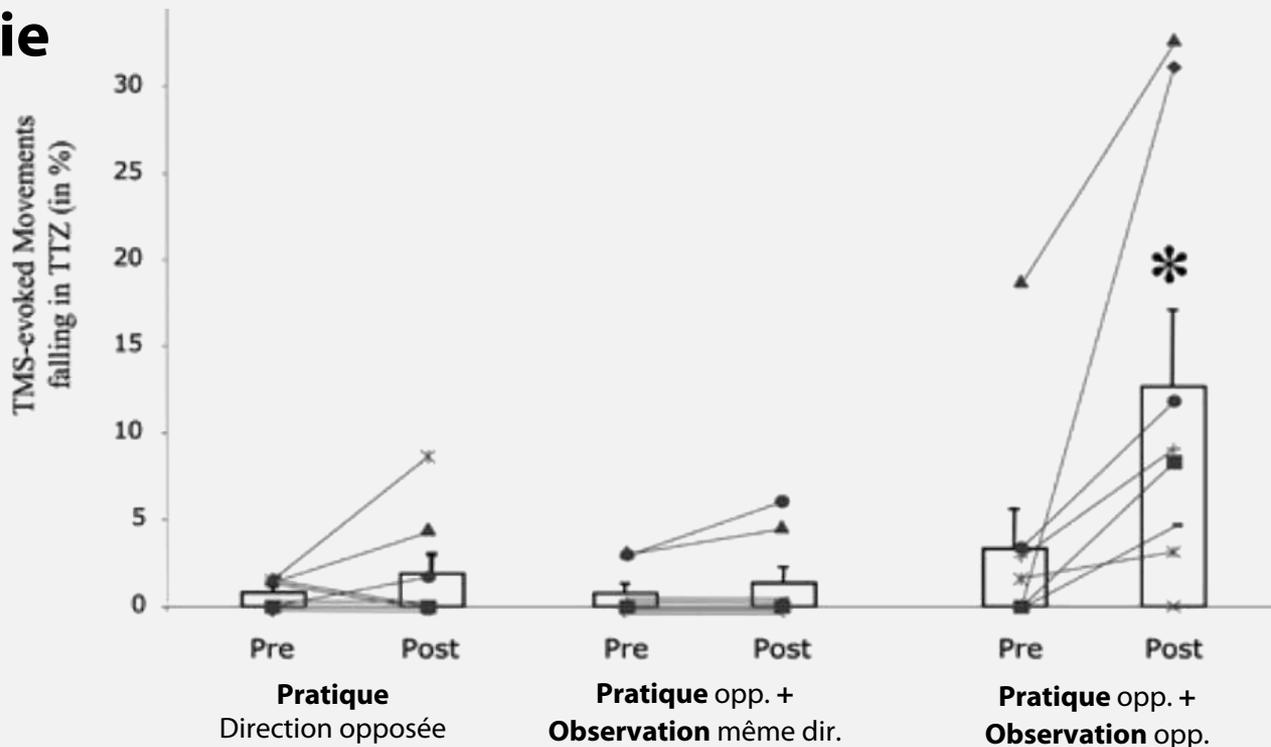
### Hémiplégie



# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.3. Combiner pratique et observation

### Hémiplégie

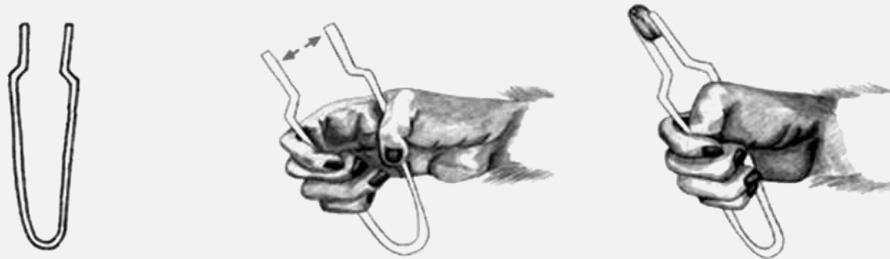


Opp. = direction opposée  
Même dir. = même direction

# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.4. Activité neuronale et utilisation d'outils

Pince Normale



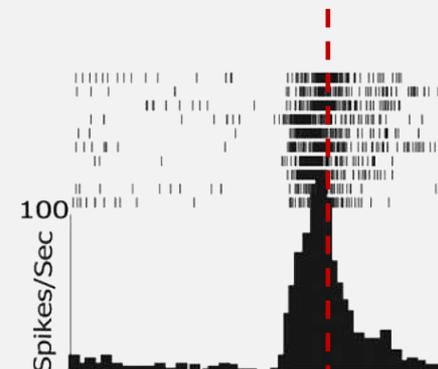
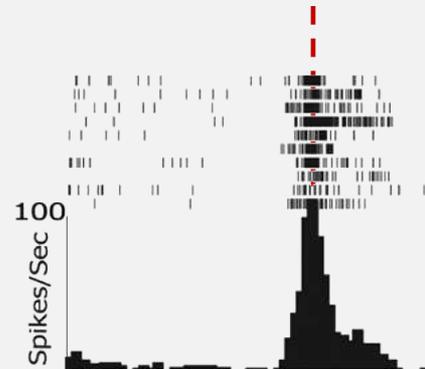
Pince Inversée



# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.4. Activité neuronale et utilisation d'outils

Activité neuronale corticale motrice



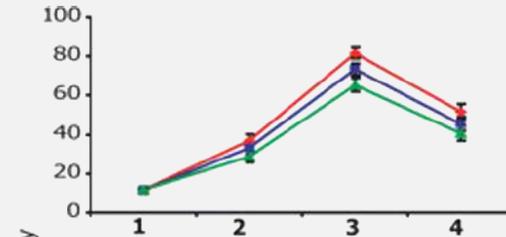
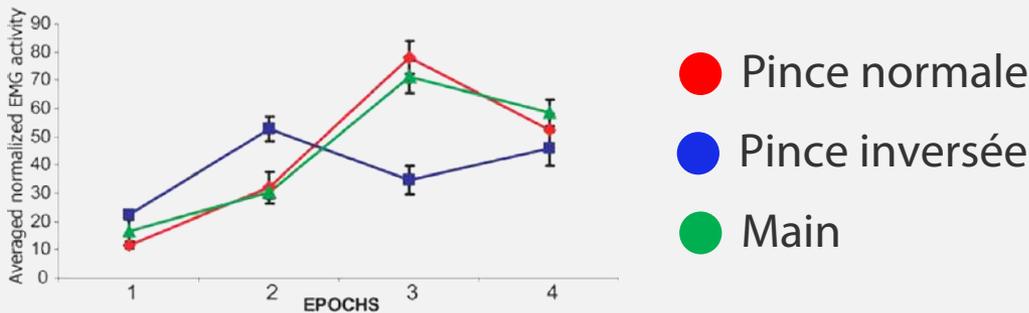
Position de la main (distance entre les 2 manches de la pince)



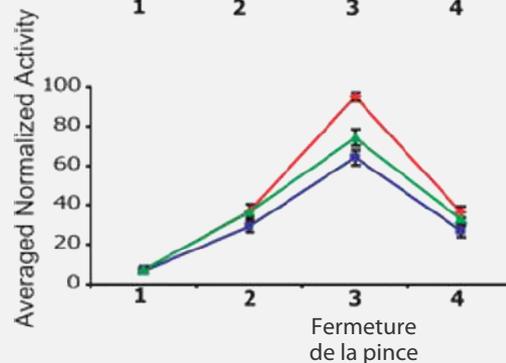
# 1.5. NEURONES MIROIRS

## 1.5.4. Activité neuronale et utilisation d'outils

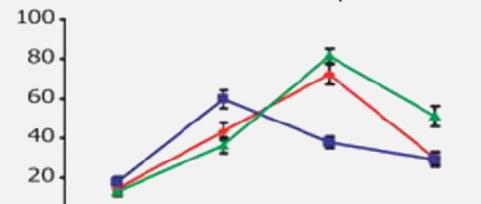
Fléchisseur superficiel des doigts (EMG)



Neurones F5



Neurones F1g



Neurones F1m

Certains neurones moteurs contrôlent les mouvements de l'outil (F5, F1g),  
comme d'autres neurones contrôlent les mouvements de la main (F1m)

# 1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

1.1. DÉFINITIONS

1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

1.3. POTENTIALISATION À LONG TERME

1.4. PLASTICITÉ CÉRÉBRALE

1.5. NEURONES MIROIRS

**1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE**

## 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

### 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique
- Conditionnement opérant
- Apprentissage par essai / erreur

### 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

- Habituation
- Sensibilisation

### 1.6.3. APPRENTISSAGE SOCIAL

## 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

### 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique
- Conditionnement opérant
- Apprentissage par essai / erreur

### 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

- Habituation
- Sensibilisation

### 1.6.3. APPRENTISSAGE SOCIAL



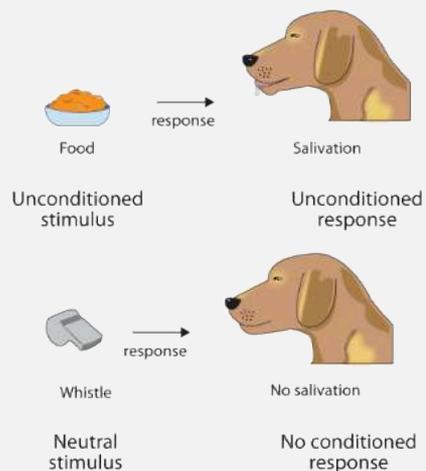
# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- **Conditionnement classique** (Pavlovien, répondant, type 1)

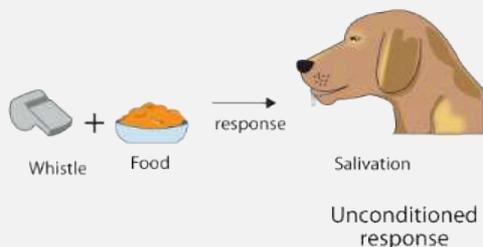
### Avant

le conditionnement



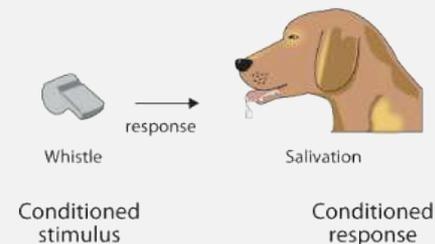
### Pendant

le conditionnement



### Après

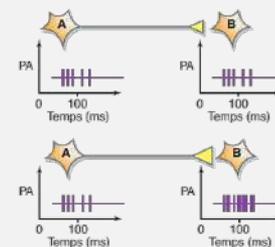
le conditionnement



→ Réaction involontaire

« Cells that fire together, wire together »

Théorie de Hebb  
Potentialisation à long terme



# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- **Conditionnement classique**

### **Avant**

le conditionnement

**Stimulus non conditionné** → Réponse non conditionnée

**Stimulus neutre** → Pas de réponse

### **Pendant**

le conditionnement

**Stimulus neutre + Stimulus non conditionné**

→ Réponse non conditionnée

### **Après**

le conditionnement

**Stimulus conditionné** → Réponse conditionnée

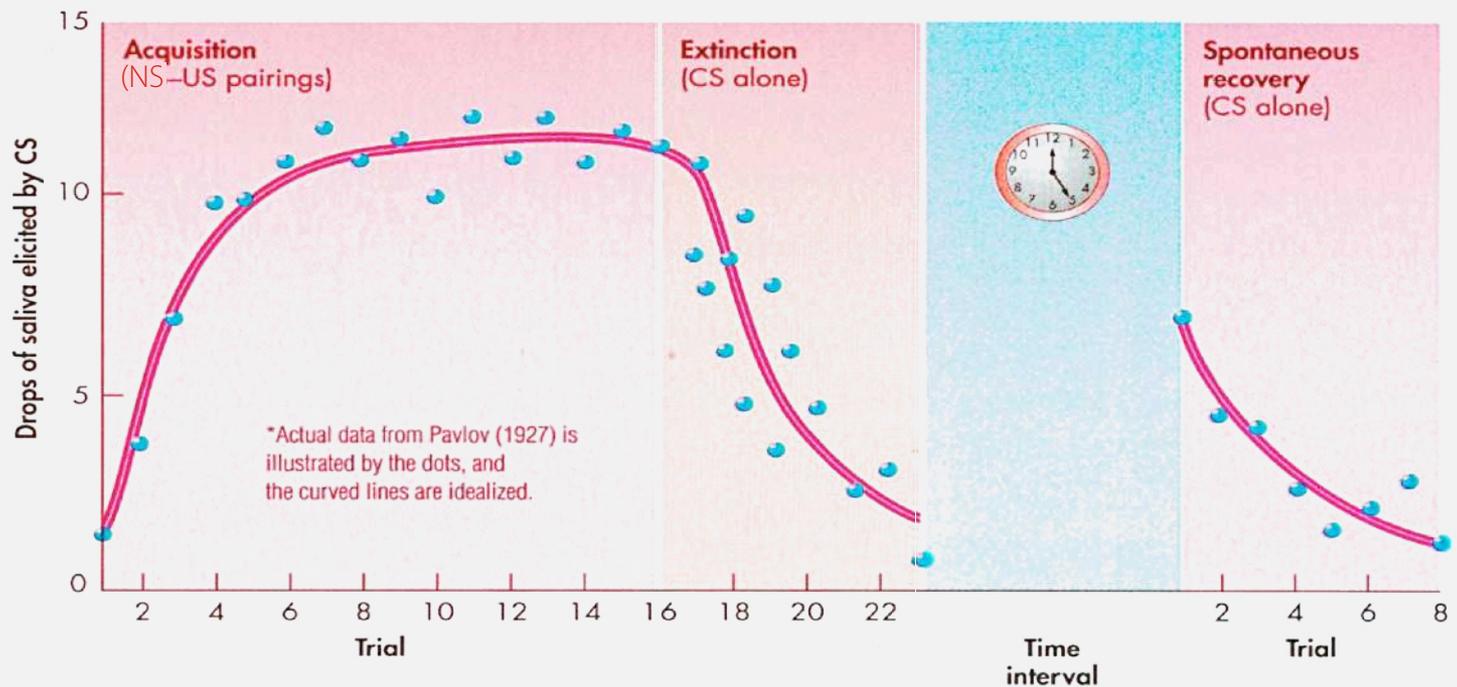
# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique

**3 phases** : Acquisition (Apprentissage), Extinction, Récupération spontanée

« Cells that fire together, wire together »      « Cells that fire apart, wire apart »

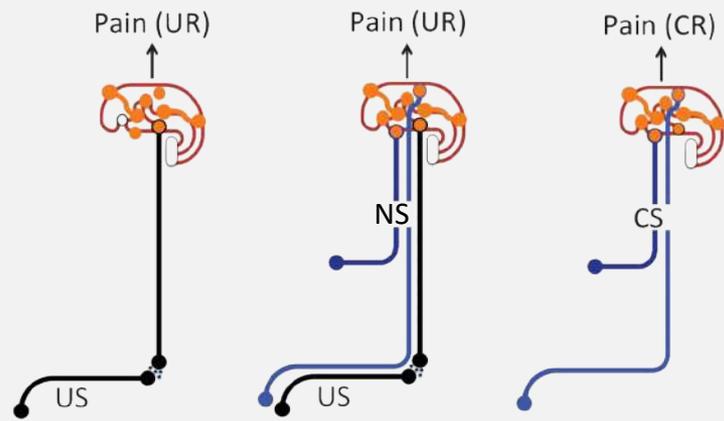
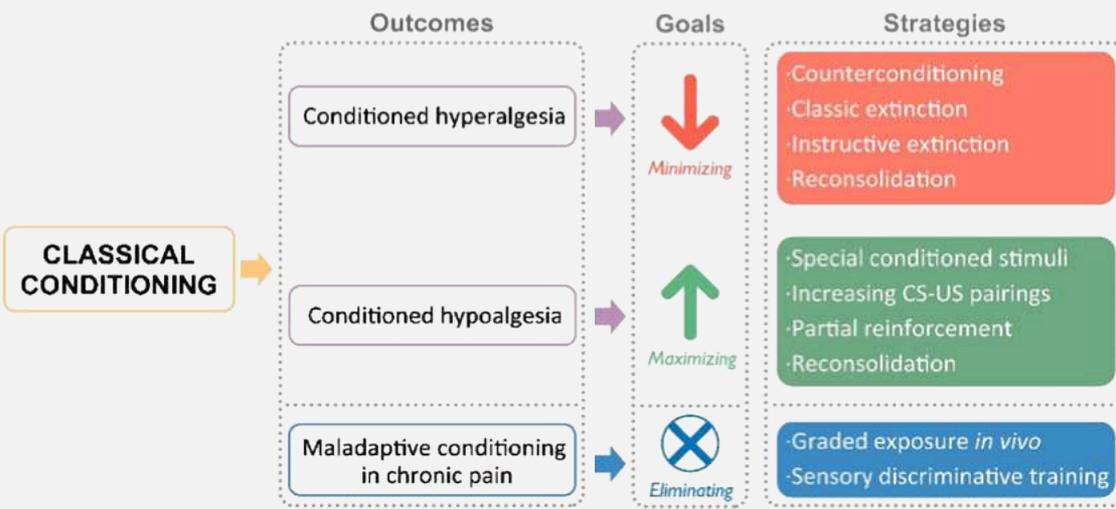


# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique

### Conditionnement classique et **douleur**



US = stimulus non conditionné  
 UR = réponse non conditionnée  
 NS = stimulus neutre  
 CS = stimulus conditionné  
 CR = réponse conditionnée

Hyperalgie = Sensibilité excessive à un stimulus douloureux  
 Hypoalgie = atténuation de la douleur

# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

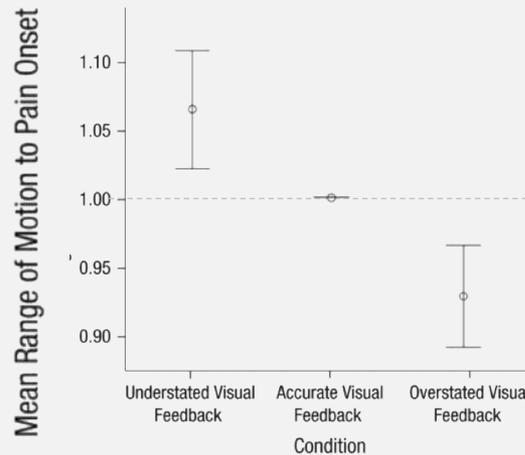
## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique

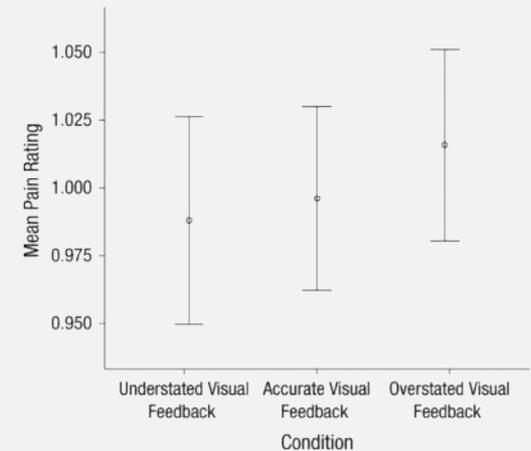
Amplitude de mouvement perçue et douleur cervicale



Réalité Virtuelle



Amplitude d'apparition de la douleur



Intensité de la douleur

Les informations visuelles déclenchent la douleur



## 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

### 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique
  - Conditionnement opérant (Skinnerien, instrumental, type 2)
- Basé sur le **renforcement** ou **punition** consécutif à un comportement
  - Le **renforcement augmente la probabilité de reproduction du comportement**
    - soit par l'**ajout** d'un stimulus appétitif tel qu'une récompense ou de félicitations (renforcement **positif**)
    - soit par le **retrait** d'un stimulus aversif tel que la douleur (renforcement **négatif**)
  - La **punition réduit la probabilité de reproduction du comportement**
    - soit par l'**ajout** d'un stimulus aversif (punition **positive**)
    - soit par le **retrait** d'un stimulus appétitif (punition **négative**)
  - Réaction **volontaire**

# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique
- Conditionnement opérant

**Skinner box** (ex. de renforcement positif)



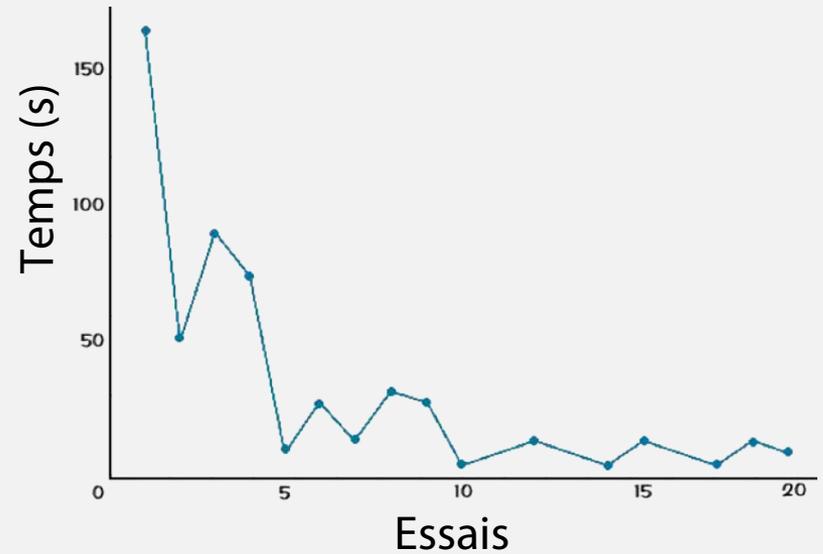


# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique
- Conditionnement opérant
- Apprentissage par essai / erreur (Thorndike)

Thorndike Puzzle box



# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

- Conditionnement classique
- Conditionnement opérant
- Apprentissage par essai / erreur

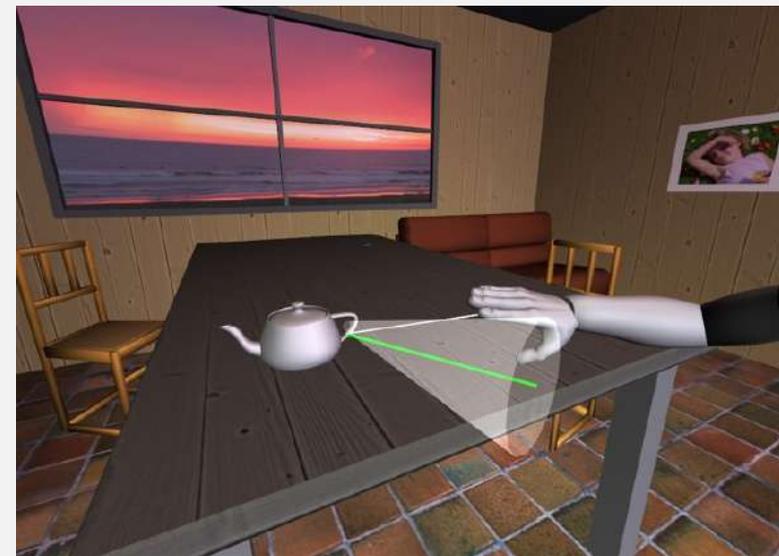
→ Importance des **informations** (feedback) sur la **réussite** ou l'**échec** du mouvement

→ Feedback augmenté

— Trajectoire idéale



Erreur autorisée

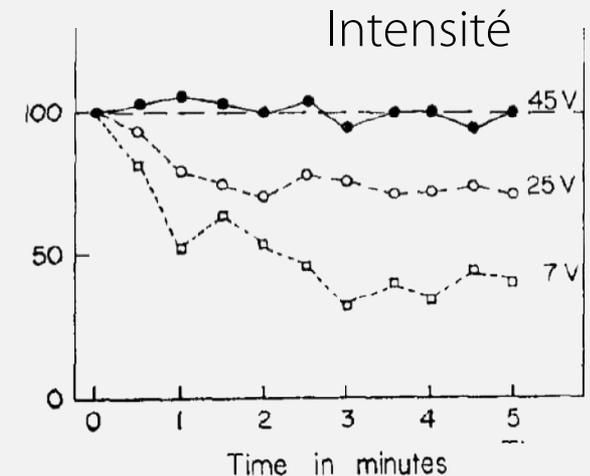
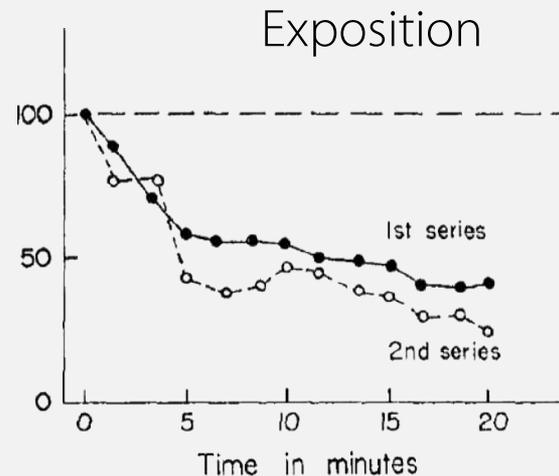
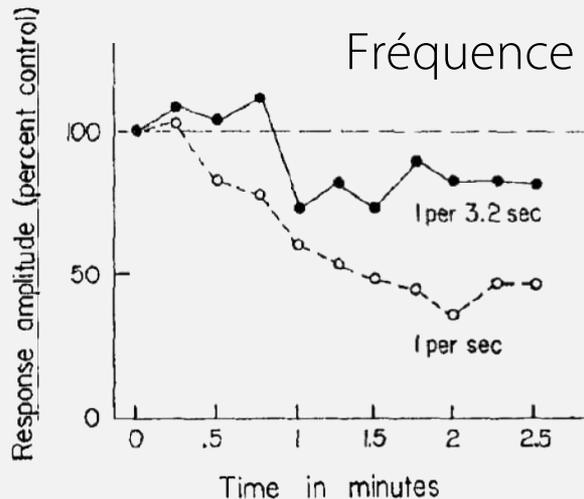


# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

## 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

- Habituation
  - La réponse à un stimulus **diminue** après des présentations répétées ou prolongées de ce stimulus
  - Exemple : flexion de patte arrière du chat spinal



## 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

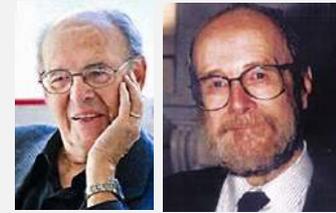
### 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

### 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

- Habituation

Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS)





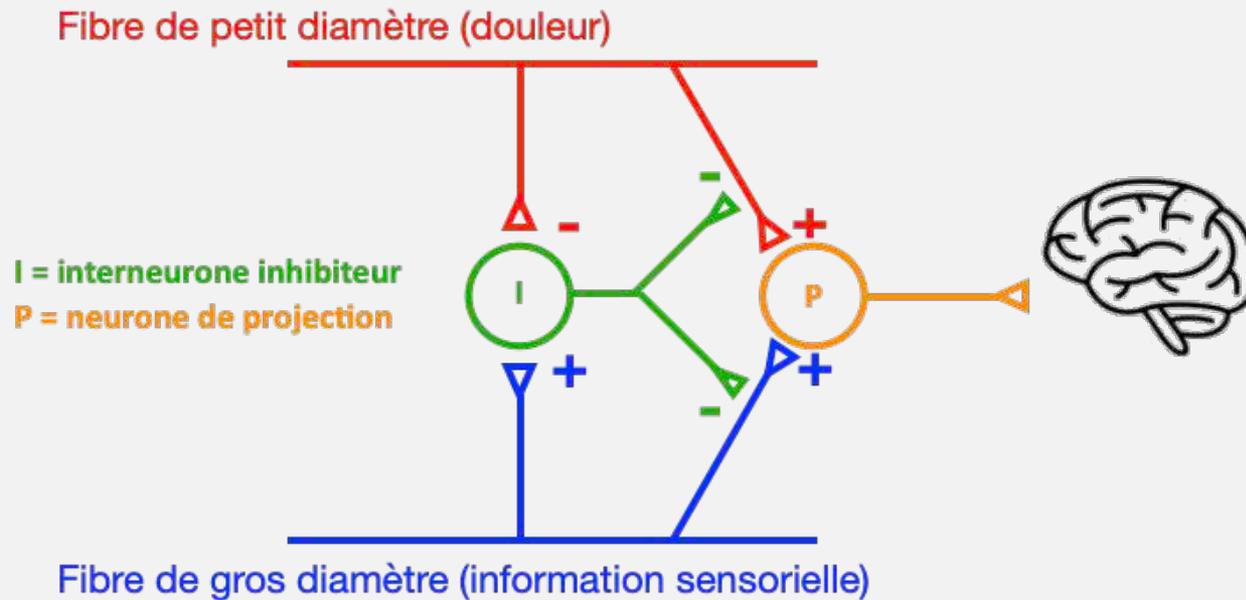
# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

## 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

- Habituation

Théorie du contrôle de la porte (gate control theory) (Melzack & Wall)



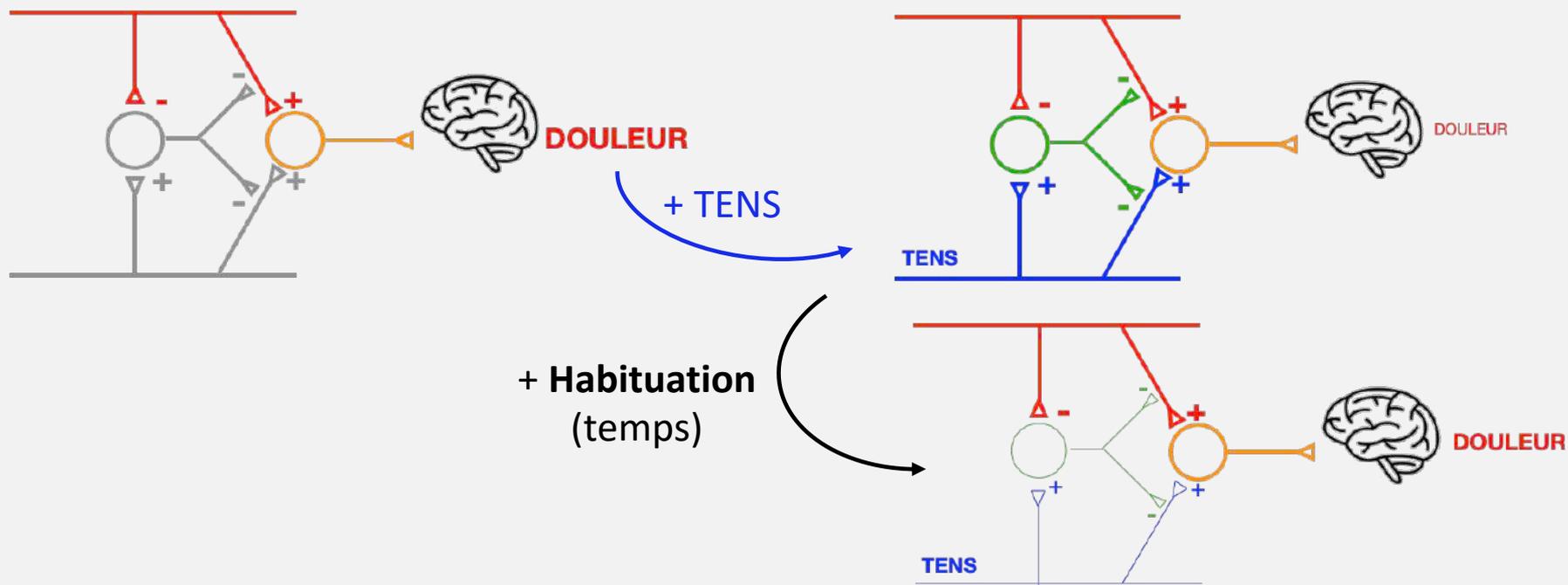
# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

## 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

- Habituation

TENS - Théorie du contrôle de la porte - Habituation



## 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

### 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

### 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

- Habituation
- **Sensibilisation** (sensitization)
  - La réponse à un stimulus **augmente** après des présentations répétées ou prolongées de ce stimulus
  - Lié à un état émotionnel négatif (e.g., douleur)

## 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

### 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

### 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

- Habitude
- Sensibilisation



- **Syndrome de sensibilisation centrale** : Affection neurologique causée par une lésion ou un dysfonctionnement du système nerveux central (SNC) qui entraîne une sensibilisation du système douloureux.

- Ce syndrome peut s'exprimer par :

**Hyperalgie** : Sensibilité excessive à un stimulus nociceptive.

**Allodynie** : Douleur déclenchée par un stimulus qui est normalement indolore.

# 1.6. TYPES D'APPRENTISSAGE

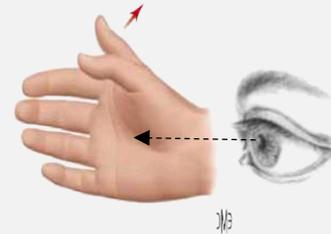
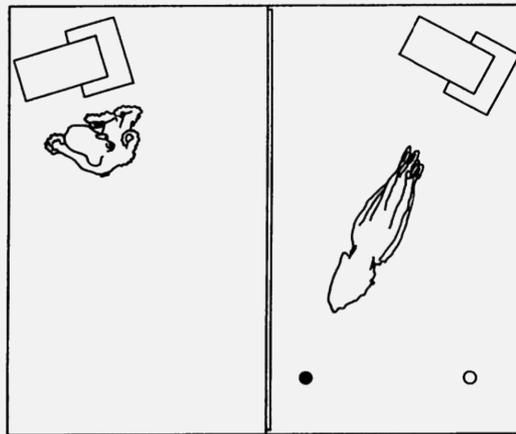
## 1.6.1. APPRENTISSAGE ASSOCIATIF

## 1.6.2. APPRENTISSAGE NON-ASSOCIATIF

## 1.6.3. APPRENTISSAGE SOCIAL

- Apprentissage par l'observation d'autrui

Ex : vicariant, latent, observationnel, par imitation, facilitation sociale



# Récapitulatif des parties 1.4 à 1.6

**Neuroimaging and Motor Training:** Shows brain regions like SMA, PMd, PMv, and PMl. Illustrates a hand training protocol and a person performing a task on a balance beam.

**Behavioral Experiments:** Includes a mouse in a cage, a dog salivating in response to a whistle and food, and a person using a VR headset.

**Graphs and Data:**

- Line graphs showing 'Direction Opposite' and 'Observation Opp.' results.
- Bar charts showing 'Acquisition' and 'Extinction' phases.
- Line graphs showing 'Pain (UR)' and 'Pain (CR)' responses over time.
- Line graphs showing 'Fréquence', 'Exposition', and 'Intensité' of pain response.
- A graph showing 'Response (µV/cm²)' over time.

**Classical Conditioning Diagrams:**

- US (Unconditioned Stimulus):** Pain (UR).
- CS (Conditioned Stimulus):** Whistle, Food.
- US + CS (Conditioned Stimulus):** Salivation (Unconditioned response).

**Chronic Pain Statistics:** A globe icon with the text: "1.5 Billion people around the world live with chronic pain."

## Questions pour s'entraîner

1. Sur la base de figures, décrire le protocole, les résultats ainsi que les conclusions des études présentées dans ce cours
2. Nommer les différents types et sous-types d'apprentissage
3. Décrire les 3 étapes permettant de conditionner un stimulus
4. Pourquoi dans l'utilisation du TENS pour soulager la douleur, il faut augmenter l'intensité du courant au bout d'un moment?

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

**2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR**

3. DE LA RECHERCHE À LA PRATIQUE

4. RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

## 2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

### 2.1. THÉORIE DU SCHÉMA MOTEUR

2.2. THÉORIE ÉCOLOGIQUE

2.3. THÉORIES DES STADES D'APPRENTISSAGE



# 2.1. THÉORIE DU SCHÉMA MOTEUR (SCHMIDT)

## 2.1.1. Définitions (1)

- **Programme moteur** : Représentation abstraite d'un mouvement qui, une fois activée, favorise l'exécution de mouvements appartenant à la même classe, c'est à dire, qui ont des paramètres similaires

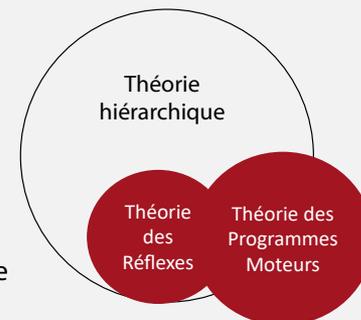
Université d'Ottawa | University of Ottawa

**Le Contrôle du Mouvement en Physiothérapie**  
 PHT-6612 : Fondements neurobiologiques du mouvement humain  
 Matthieu Boisgontier, PT, PhD | 12 août 2020

<http://matthieuboisgontier.com>

## THÉORIE DES PROGRAMMES MOTEURS PROGRAMME MOTEUR

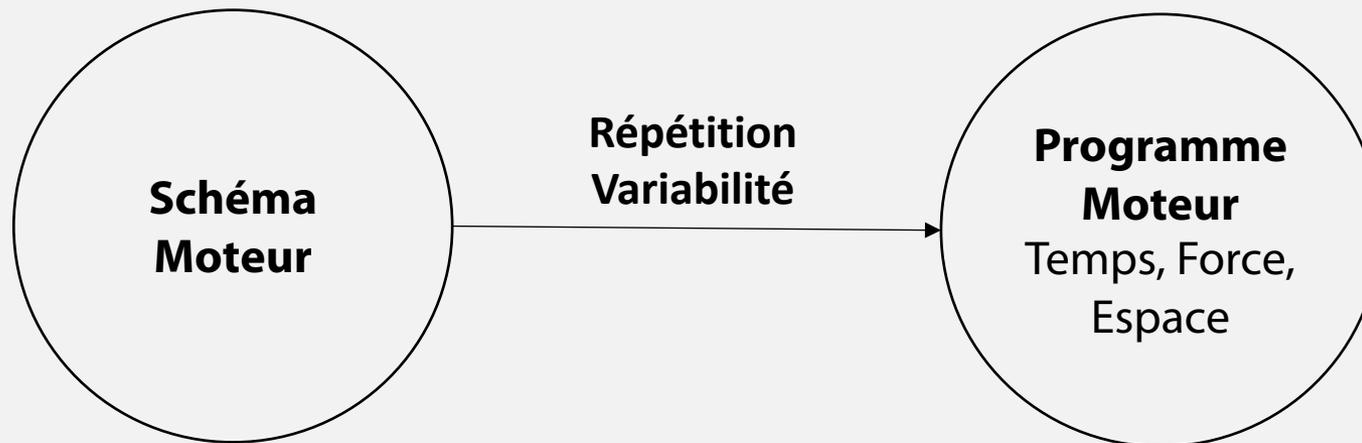
- **Représentation abstraite** d'un mouvement basée sur un ensemble de **règles** construites grâce à la **mémoire de mouvements antérieurs**
- Permet de **planifier** le mouvement
- Alors que les théories précédentes se focalisaient sur la **réaction** à des stimuli sensoriels, les programmes moteurs modélisent l'**action**



## 2.1. THÉORIE DU SCHÉMA MOTEUR (SCHMIDT)

### 2.1.1. Définitions (2)

- Le **schéma moteur** est responsable de la **sélection des principaux paramètres** (*temps, force et espace*) qui vont définir un programme moteur.
- Cette sélection se fait grâce à la **répétition** et à la **variabilité** de la pratique



## 2.1. THÉORIE DU SCHÉMA MOTEUR (SCHMIDT)

### 2.1.1. Définition (3)

- Cette sélection se base sur **4 types d'information** :
  - 1) Etat initial du corps (conditions initiales)
  - 2) Paramètres du programme moteur
  - 3) Conséquences sensorielles attendues
  - 4) Résultat

Université d'Ottawa | University of Ottawa



**Le Contrôle du Mouvement en Physiothérapie**  
PHT-6612 : Fondements neurobiologiques du mouvement humain  
Matthieu Boisgontier, PT, PhD | 12 août 2020

<http://matthieuboisgontier.com>

 uOttawa

Université d'Ottawa | University of Ottawa

**PROGRAMME MOTEUR**  
**ÉLÉMENTS DU MOUVEMENT EN MÉMOIRE**

- **État initial du corps**
- **Paramètres du programme moteur** (e.g., vitesse, amplitude, direction)
- **Conséquences sensorielles** du programme moteur
- **Résultat** du mouvement

Schmidt, 1975

<https://doi.org/doiLanding?doi=10.1037%2Fh0076770>

 uOttawa

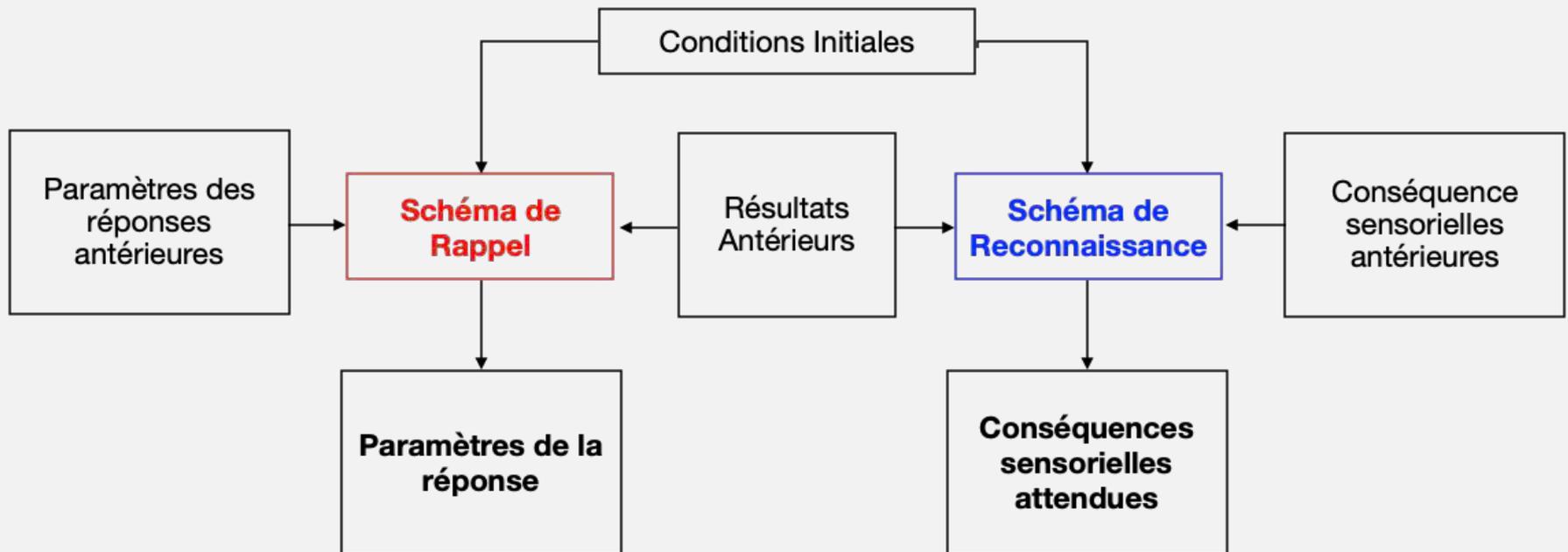
119

# 2.1. THÉORIE DU SCHÉMA MOTEUR (SCHMIDT)

## 2.1.1. Définitions

## 2.1.2. Illustration du schéma moteur

Chaque mouvement contribue à l'amélioration d'un **schéma de rappel** (moteur) et d'un **schéma de reconnaissance** (sensoriel)



1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

## **2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR**

2.1. THÉORIE DU SCHÉMA

### **2.2. THÉORIE ÉCOLOGIQUE**

2.3. THÉORIES DES STADES D'APPRENTISSAGE

## 2.1. THÉORIE ÉCOLOGIQUE

### 2.1.1. Affordance

- L'environnement offre des **possibilités** d'action qui sont **spécifiques à un individu**.
- Ces possibilités d'action sont nommées **affordances** (i.e., incitations ou invitations à agir).

Exemple : Un escalier n'incite pas la même action à un enfant, un adulte, ou une personne séniore.

Une échelle invite l'humain, mais pas le chien, à grimper



## 2.2. THÉORIE ÉCOLOGIQUE

### 2.2.1. Théorie écologique du contrôle moteur (rappel cours 1)

### 2.2.2. Théorie écologique de l'apprentissage moteur

- Apprendre c'est **éduquer la perception des affordances**, c'est à dire la détection des possibilités d'actions dans un environnement donné pour une personne donnée.

## 2.2. THÉORIE ÉCOLOGIQUE

2.2.1. Théorie écologique du contrôle moteur (rappel cours 1)

2.2.2. Théorie écologique de l'apprentissage moteur

### 2.1.3. Implications cliniques

- La rééducation vise à augmenter la capacité de **détecter les informations** utiles pour agir.
- La rééducation vise à **répondre à ces informations de façon optimum** au regard des capacités du patient.
- L'intervention doit promouvoir l'activité dans un **contexte pertinent** pour le patient.

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

## **2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR**

2.1. THÉORIE DU SCHÉMA (SCHMIDT)

2.2. THÉORIE ÉCOLOGIQUE

### **2.3. THÉORIES DES STADES D'APPRENTISSAGE**

## 2.3. THÉORIE DES STADES D'APPRENTISSAGE

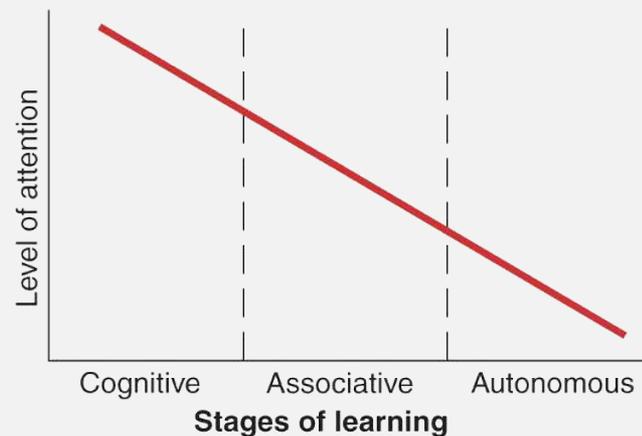
### 2.3.1. Théorie de Fitts & Posner

#### 1.2. PHASES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

1.2.1. Phase cognitive

1.2.2. Phase associative

1.2.3. Phase autonome



## 2.3. THÉORIE DES STADES D'APPRENTISSAGE

### 2.3.1. Théorie de Fitts & Posner

#### **Implication clinique**

- Limiter la quantité d'information donnée au patient au début de l'intervention car les ressources cognitives et attentionnelles disponibles sont faibles lors de cette première phase de l'apprentissage.

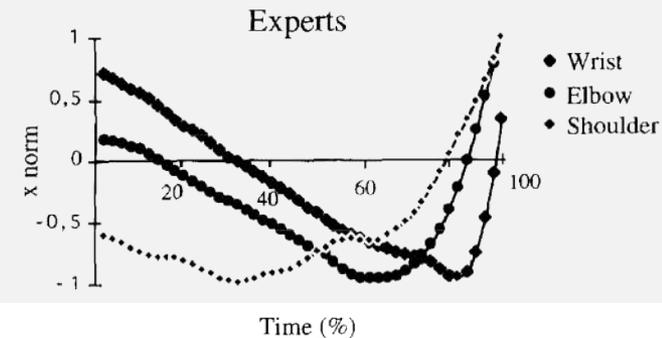
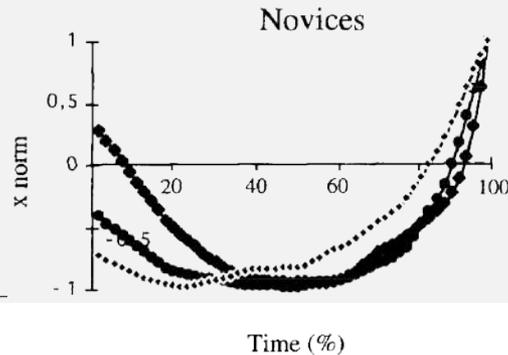
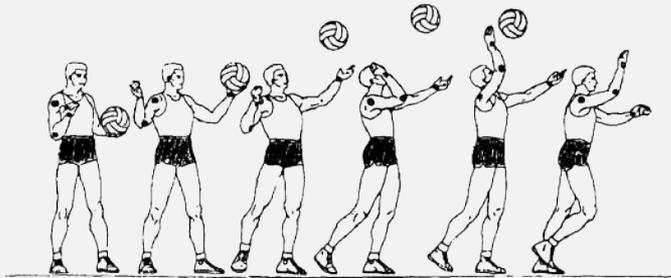
## 2.3. THÉORIE DES STADES D'APPRENTISSAGE

### 2.3.1. Théorie de Fitts & Posner

### 2.3.2. Théorie de Bernstein

Approche en 3 étapes pour maîtriser les degrés de liberté :

- 1) **Novice** : Réduction maximale des **degrés de liberté (ddl)** (co-contractions)
- 2) **Avancé** : Libération de **ddl additionnels** (mouvement permis à d'autres articulations), ce qui permettra au mouvement d'être plus adaptable aux variations dans la tâche et l'environnement
- 3) **Expert** : **Tous les ddl** nécessaires sont libérés pour effectuer la tâche de la façon la plus efficace possible. Entre autres, utilisation accrue des forces passives ou autres propriétés mécaniques d'un système.



## 2.3. THÉORIE DES STADES D'APPRENTISSAGE

### 2.3.1. Théorie de Fitts & Posner

### 2.3.2. Théorie de Bernstein

## Implications cliniques

- Prendre en compte le niveau de **co-contractions musculaires** lors de la phase initiale de l'intervention.
- Privilégier une évolution de l'intervention des mouvements **mono-articulaires** vers les mouvement **poly-articulaires**.
- Le support passif d'une segment de membre permet de retirer un degré de liberté à contrôler et donc de faciliter l'apprentissage.



## 2.3. THÉORIE DES STADES D'APPRENTISSAGE

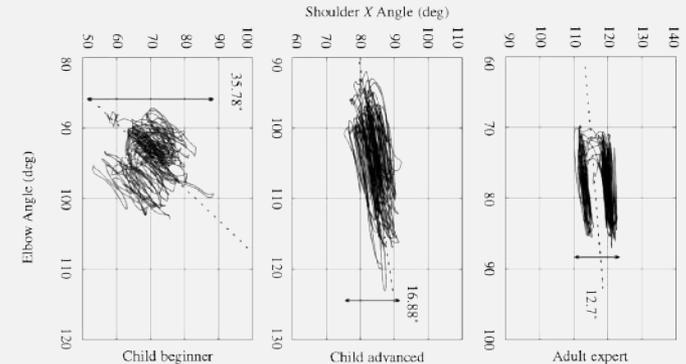
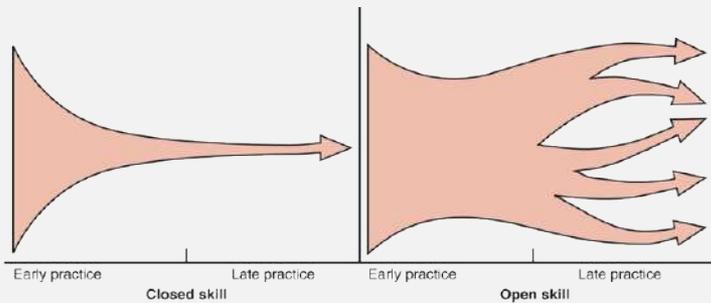
### 2.3.1. Théorie de Fitts & Posner

### 2.3.2. Théorie de Bernstein

### 2.3.3. Théorie de Gentile

Approche en 2 étapes :

- 1) Développement de l'habileté motrice et compréhension des éléments pertinents de la tâche.
- 2) Fixation et diversification : Dans une tâche fermée, l'apprenant va se perfectionner en améliorant la **régularité** et l'**efficacité** de son mouvement. Dans une tâche ouverte, il va également devoir **diversifier** ses mouvements



## 2.3. THÉORIE DES STADES D'APPRENTISSAGE

### 2.3.1. Théorie de Fitts & Posner

### 2.3.2. Théorie de Bernstein

### 2.3.3. Théorie de Gentile

## Implication clinique

- Au stade initial de l'intervention, le patient doit résoudre la question « **quoi faire ?** ». L'objectif est d'apprendre le mouvement global permettant d'atteindre le but et d'identifier les informations pertinentes de l'environnement. Ce processus se fait en explorant l'environnement par essais-erreurs.
- Au stade avancé de l'intervention, le patient cherche "**comment faire ?**" pour être plus régulier et efficace.

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

**3. PRATIQUE**

4. RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

## **3. PRATIQUE**

### **3.1. QUANTITÉ DE PRATIQUE**

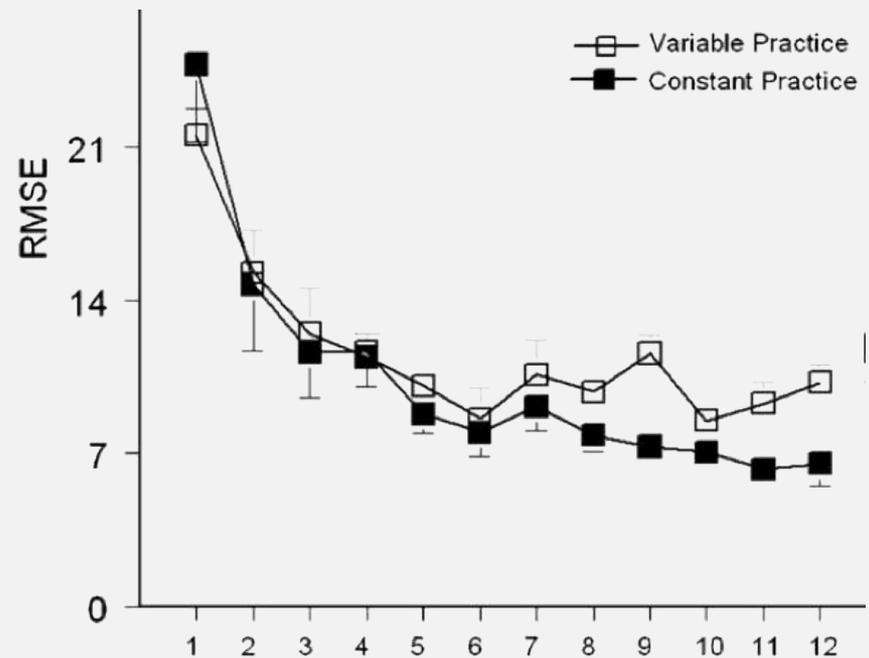
3.2. TYPES D'INFORMATION

3.3. TYPES DE PRATIQUE

# 3.1. QUANTITÉ DE PRATIQUE

## 2.3.1. Courbe de performance

- Généralement :
  - Évolution curvilinéaire de la performance au fil des répétitions
  - Progrès rapides au début de l'apprentissage
  - Progrès de plus en plus lents.

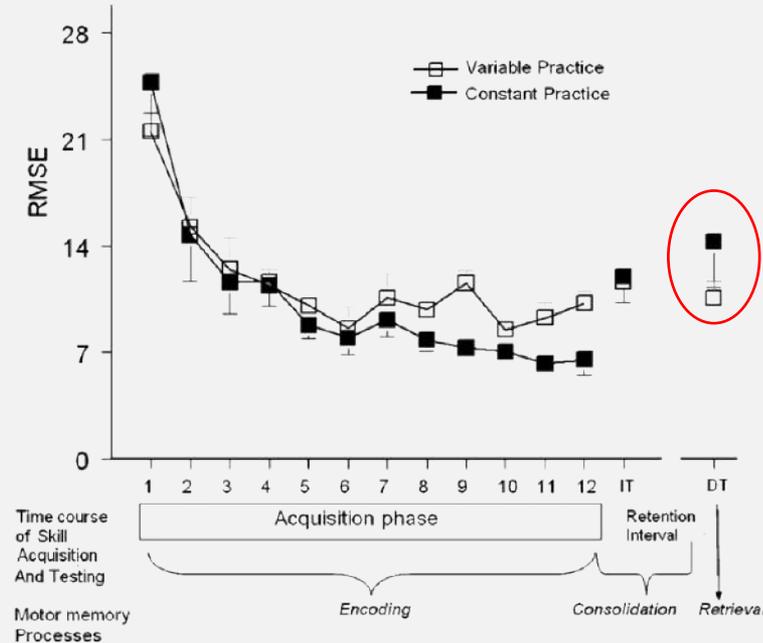


# 3.1. QUANTITÉ DE PRATIQUE

## 3.1.1. Courbe de performance

## 3.1.2. Test de rétention

- Les courbes de performance ne mesurent pas réellement l'apprentissage. Ce dernier se mesure au travers des effets à long terme de la pratique, par des tests de **rétention** et de **transfert**.



## 3.1. QUANTITÉ DE PRATIQUE

### 3.1.1. Courbe de performance

### 3.1.2. Test de rétention et test de transfert

**Test de rétention** : Tâche identique à celle utilisée pendant l'intervention. Le délai de présentation du test de rétention permet de mesurer la **permanence des effets** de l'intervention.

**Test de transfert** : Tâche différente de celle utilisée pendant l'intervention qui permet d'évaluer la **généralisation des effets** de l'intervention.

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

### **3. PRATIQUE**

3.1. QUANTITÉ DE PRATIQUE

**3.2. TYPES D'INFORMATION** (Feedback)

3.3. TYPES DE PRATIQUE

## 3.2. TYPES D'INFORMATION (FEEDBACK)

- **Information intrinsèque** : Information sensorielle (proprioceptive, tactile, etc.) issue de la réalisation de la tâche

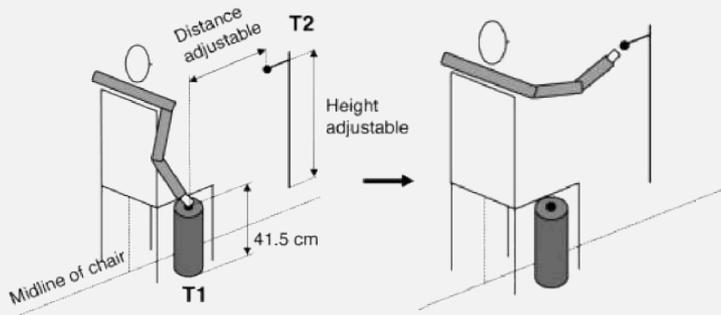
## 3.2. TYPES D'INFORMATION (FEEDBACK)

- **Information intrinsèque** : Information sensorielle (proprioceptive, tactile, etc.) issue de la réalisation de la tâche
- **Information extrinsèque ou augmentée** : Information issue de l'environnement (forme verbale, vidéo, etc.) qui peut améliorer ou se substituer à l'information intrinsèque.
  - **Connaissance du résultat (CR)** : Information extrinsèque sur l'écart au but visé
  - **Connaissance de la performance (CP)** : Information extrinsèque sur les moyens (vitesse, amplitude, etc.) mis en œuvre pour atteindre le but.
  - **CR et CP** peuvent être données de façon **continue** (à chaque essai), **séquentielle** (après un numéro d'essai fixe), ou **dégressive**.

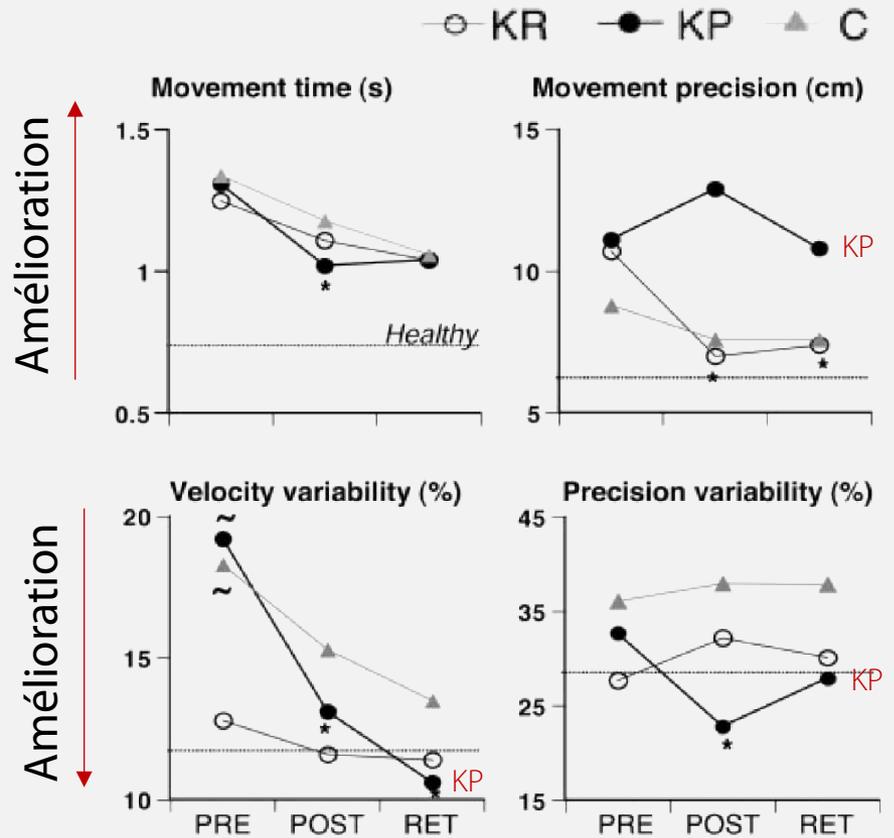
Exemple : Pour attraper un objet, une indication sur le succès ou l'échec de la tâche est **CR** ("Ce mouvement correct") alors qu'une indication sur la qualité du mouvement est une **CP** ("Déplacez moins votre tronc" ou "pliez plus votre coude")

## 3.2. TYPES D'INFORMATION (FEEDBACK)

- L'apprentissage moteur peut se produire sans **CR** et **CP** mais ces dernières permettent une **meilleure rétention** des habiletés acquises.



KR = connaissance du résultat  
 KP = connaissance de la performance  
 PRE = pre-intervention  
 POST = post-intervention  
 RET = rétention après 1 mois  
 Intervention : répétition de mouvements de pointage 1h/j sur 10 sessions



1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

### **3. PRATIQUE**

3.1. QUANTITÉ DE PRATIQUE

3.2. TYPES D'INFORMATION

### **3.3. TYPES DE PRATIQUE**

## 3.3. TYPES DE PRATIQUE

### 3.3.1. Pratique en masse vs. distribuée

- Pratique en masse : Temps d'un essai  $>$  temps inter-essais
- Pratique distribuée : Temps d'un essai  $<$  temps inter-essais

En l'absence de fatigue, la pratique en masse est privilégiée pour augmenter le nombre de répétitions, donc l'apprentissage.

## 3.3. TYPES DE PRATIQUE

### 3.3.1. Pratique en masse vs. distribuée

### 3.3.2. Pratique constante vs. variable

- Pratique constante : Une condition unique
- Pratique variable : Différentes conditions

La pratique variable permet une meilleure rétention et un meilleur transfert mais le choix d'une intervention dépend aussi des aspects fonctionnels.

## 3.3. TYPES DE PRATIQUE

3.3.1. Pratique en masse vs. distribuée

3.3.2. Pratique constante vs. variable

**3.3.3. Pratique aléatoire vs. en bloc**

- Pratique aléatoire : Toutes les conditions sont mélangées
- Pratique variable : Chaque condition est pratiquée par bloc

La pratique aléatoire permet une meilleure rétention.

## 3.3. TYPES DE PRATIQUE

3.3.1. Pratique en masse vs. distribuée

3.3.2. Pratique constante vs. variable

3.3.3. Pratique aléatoire vs. en bloc

**3.3.4. Tâche complète vs. segmentée vs. à variable priorisée**

- Complète : La tâche est pratiquée comme un tout
- Segmentée : La tâche est segmentée en sous-tâche
- Variable priorisée : Tâche complète avec des parties qui sont soulignées

Par rapport à la tâche complète, la pratique segmentée réduit le transfert dans les tâches simples et ne la change pas dans les tâches complexes. Par contre, la tâche à variables priorisée l'améliore.

## 3.3. TYPES DE PRATIQUE

3.3.1. Pratique en masse vs. distribuée

3.3.2. Pratique constante vs. variable

3.3.3. Pratique aléatoire vs. en bloc

3.3.4. Tâche complète vs. segmentée vs. à variable priorisée

**3.3.5. Pratique guidée/dirigée vs. exploratoire vs. exploratoire guidée**

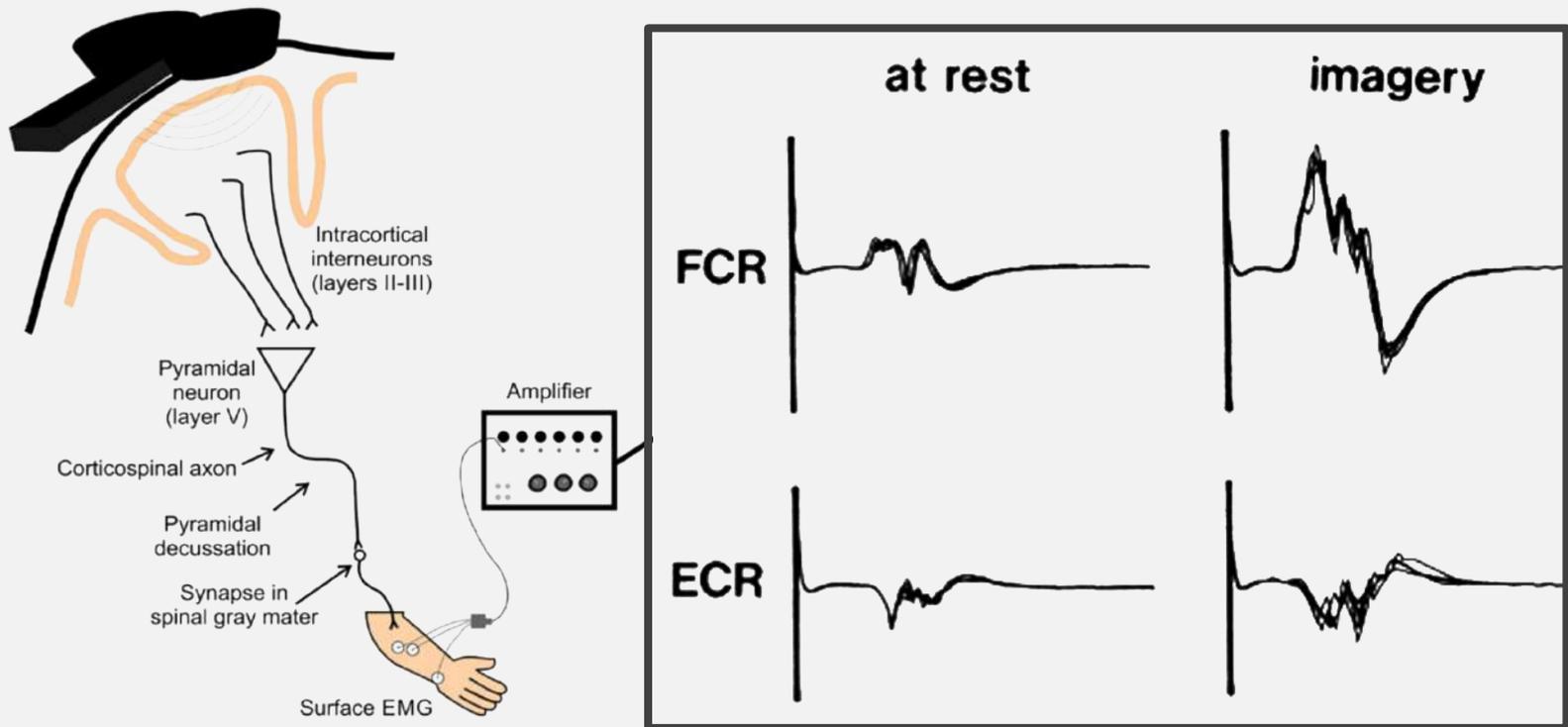
- Guidée : Guidée par le physiothérapeute.
- Exploratoire : Guidée uniquement par le but de la tâche.
- Exploratoire guidée : Oriente l'attention du patient vers les informations pertinentes via des instructions ou des indices visuels.

La pratique exploratoire guidée permet une meilleure rétention et un meilleur transfert.

## 3.3. TYPES DE PRATIQUE

### 3.3.6. Imagerie motrice

Représentation mentale d'une action sans exécution physique concomitante de mouvement



# 3.3. TYPES DE PRATIQUE

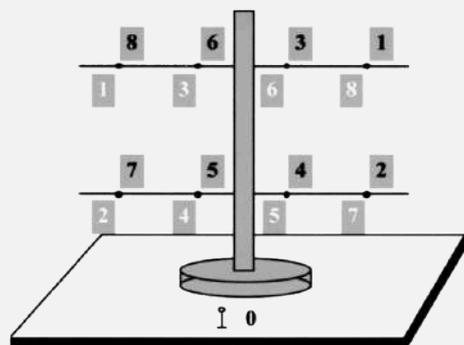
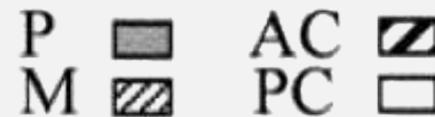
## 3.3.6. Imagerie motrice

P : Performance de pointage

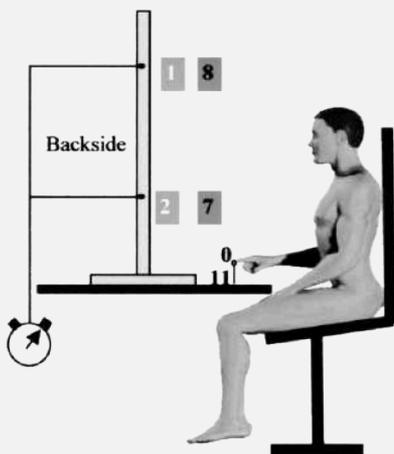
M : imagerie motrice

AC : mouvement des yeux

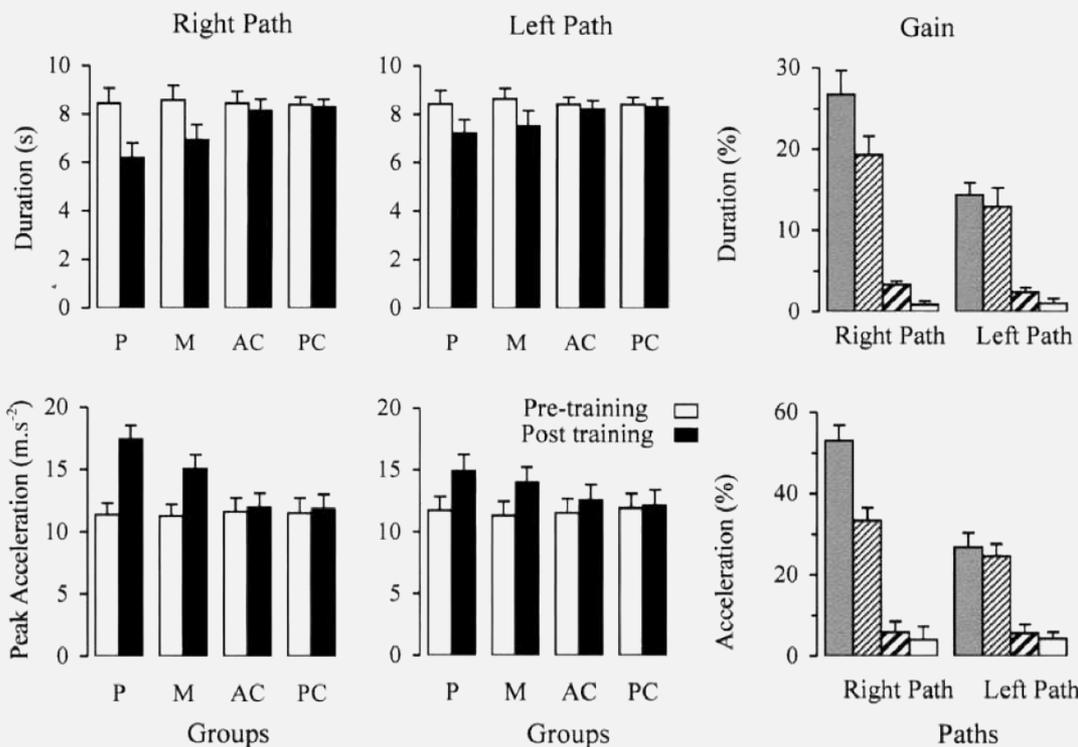
PC : pas d'intervention



Frontside view



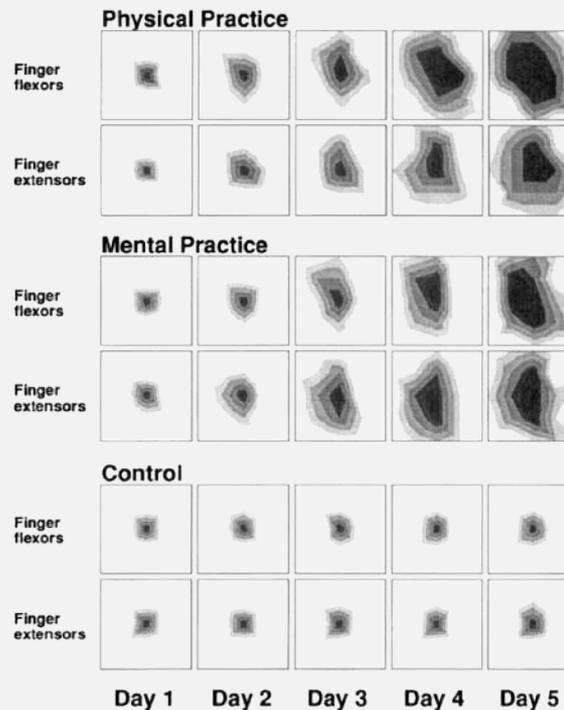
Leftside view



## 3.3. TYPES DE PRATIQUE

### 3.3.6. Imagerie motrice

Modulation des réponses musculaires évoquées au niveau du **cortex moteur** par la stimulation magnétique transcrânienne (TMS) lors de l'acquisition de nouvelles habiletés motrices fines.



1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

3. PRATIQUE

**4. RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION**

**4.1. DÉFINITIONS**

4.2. FACTEURS AFFECTANT LA RÉCUPÉRATION

## 4.1. DÉFINITIONS

### 4.1.1. Fonction sensorimotrice

Activité de l'organisme permettant de réaliser une tâche motrice avec habileté.

### 1.1.2. Habileté Motrice

- Capacité d'atteindre le but fixé par la tâche de façon **stable, précise, rapide** et **économique**

## 4.1. DÉFINITIONS

### 4.1.1. Fonction

### 4.1.2. Récupération

Capacité à atteindre un niveau d'habileté motrice similaire au niveau antérieur à l'atteinte du système nerveux central (SNC)

# 4.1. DÉFINITIONS

## 4.1.1. Fonction

## 4.1.2. Récupération

## 4.1.3. Compensation

- Utilisation de patrons moteurs différents de ceux utilisés avant l'atteinte du SNC.
- Les compensations résultent :
  - soit de l'adaptation des éléments sensorimoteurs non atteints
  - Soit de la substitution des éléments sensorimoteurs atteints

# 4.1. DÉFINITIONS

## 4.1.1. Fonction

## 4.1.2. Récupération

## 4.1.3. Compensation

**Table 1**  
**Definitions of Motor Recovery and Motor Compensation at 3 Different Levels**

Level	Recovery	Compensation
ICF: Health Condition (neuronal)	<i>Restoring function in neural tissue that was initially lost after injury. May be seen as reactivation in brain areas previously inactivated by the circulatory event. Although this is not expected to occur in the area of the primary brain lesion, it may occur in areas surrounding the lesion (penumbra) and in the diaschisis.</i>	<i>Neural tissue acquires a function that it did not have prior to injury. May be seen as activation in alternative brain areas not normally observed in nondisabled individuals.</i>
ICF: Body Functions/ Structure (performance)	<i>Restoring the ability to perform a movement in the same manner as it was performed before injury. This may occur through the reappearance of premorbid movement patterns during task accomplishment (voluntary joint range of motion, temporal and spatial interjoint coordination, etc).</i>	<i>Performing an old movement in a new manner. May be seen as the appearance of alternative movement patterns (ie, recruitment of additional or different degrees of freedom, changes in muscle activation patterns such as increased agonist/antagonist coactivation, delays in timing between movements of adjacent joints, etc) during the accomplishment of a task.</i>
ICF: Activity (functional)	<i>Successful task accomplishment using limbs or end effectors typically used by nondisabled individuals.<sup>a</sup></i>	<i>Successful task accomplishment using alternate limbs or end effectors. For example, opening a package of chips using 1 hand and the mouth instead of 2 hands.</i>

Abbreviation: ICF, World Health Organization International Classification of Functioning.

<sup>a</sup>Note that task performance may be successful using compensatory motor strategies and movement patterns.

## 4.1. DÉFINITIONS

4.1.1. Fonction

4.1.2. Récupération

4.1.3. Compensation

**4.1.4. Fonction épargnée**

Fonction qui n'a pas été perdue par l'atteinte du SNC

# 4.1. DÉFINITIONS

## 4.1.1. Fonction

## 4.1.2. Récupération

## 4.1.3. Compensation

## 4.1.4. Fonction épargnée

## 4.1.5. Stades de récupération

- Spontanée
- Forcée : Obtenue grâce à une intervention spécifique conçue pour améliorer l'habileté motrice.

1. NEUROPHYSIOLOGIE DE L'APPRENTISSAGE

2. THÉORIES DE L'APPRENTISSAGE MOTEUR

3. PRATIQUE

**4. RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION**

4.1. DÉFINITIONS

**4.2. FACTEURS AFFECTANT LA RÉCUPÉRATION**

# 4.2. FACTEURS AFFECTANT LA RÉCUPÉRATION

## 4.2.1. Age

### Hémiplégie

THE  
BARTHEL  
INDEX

Patient Name: \_\_\_\_\_  
Rater Name: \_\_\_\_\_  
Date: \_\_\_\_\_

Activity \_\_\_\_\_ Score \_\_\_\_\_

**FEEDING**

- 0 = unable
- 5 = needs help cutting, spreading butter, etc., or requires modified diet
- 10 = independent

**BATHING**

- 0 = dependent
- 5 = independent (or in shower)

**GROOMING**

- 0 = needs to help with personal care
- 5 = independent face/hair/teeth/shaving (implements provided)

**DRESSING**

- 0 = dependent
- 5 = needs help but can do about half unaided
- 10 = independent (including buttons, zips, laces, etc.)

**BOWELS**

- 0 = incontinent (or needs to be given enemas)
- 5 = occasional accident
- 10 = continent

**BLADDER**

- 0 = incontinent, or catheterized and unable to manage alone
- 5 = occasional accident
- 10 = continent

**TOILET USE**

- 0 = dependent
- 5 = needs some help, but can do something alone
- 10 = independent (on and off, dressing, wiping)

**TRANSFERS (BED TO CHAIR AND BACK)**

- 0 = unable, no sitting balance
- 5 = major help (one or two people, physical), can sit
- 10 = minor help (verbal or physical)
- 15 = independent

**MOBILITY (ON LEVEL SURFACES)**

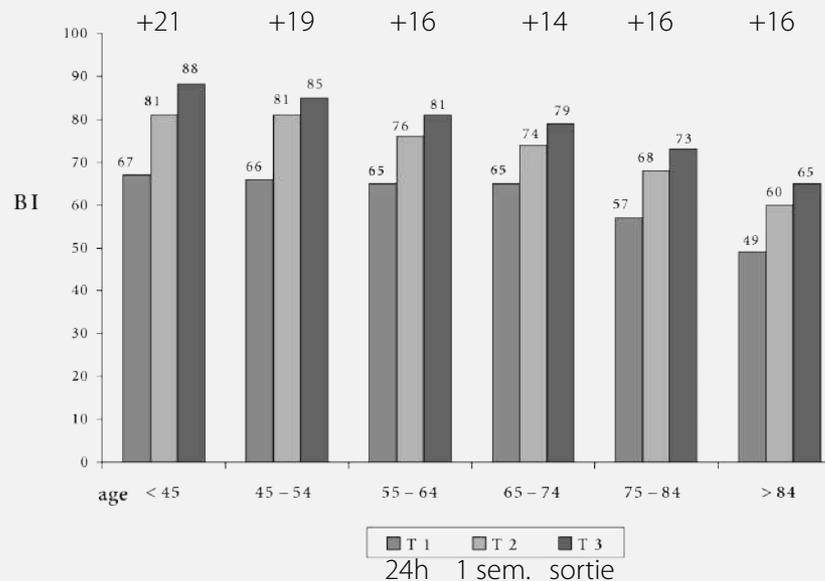
- 0 = immobile or < 50 yards
- 5 = wheelchair independent, including corners, > 50 yards
- 10 = walks with help of one person (verbal or physical) > 50 yards
- 15 = independent (but may use any aid, for example, stick) > 50 yards

**STAIRS**

- 0 = unable
- 5 = needs help (verbal, physical, carrying aid)
- 10 = independent

TOTAL (0-100): \_\_\_\_\_

Age at admission years	Total n	Died n/%
< = 44	163	1/0.6
45-54	269	3/1.1
55-64	689	21/3.0
65-74	928	26/2.8
75-84	827	41/5.0
> 85	226	14/6.2
<b>Total</b>	<b>3102</b>	<b>106/3.4</b>

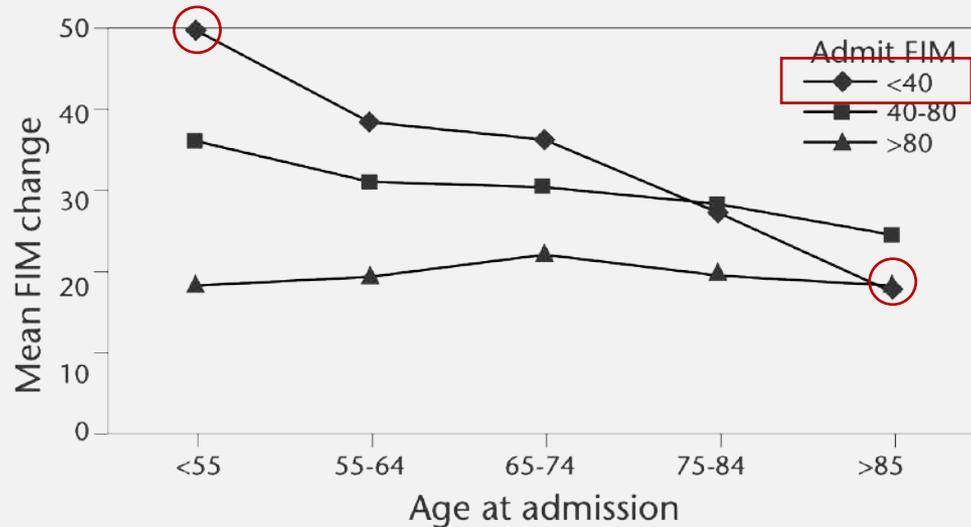


# 4.2. FACTEURS AFFECTANT LA RÉCUPÉRATION

## 4.2.1. Age

<b>Self-Care</b>
A. Eating
B. Grooming
C. Bathing
D. Dressing - Upper Body
E. Dressing - Lower Body
F. Toileting
<b>Sphincter Control</b>
G. Bladder Management
H. Bowel Management
<b>Transfers</b>
I. Bed, Chair, Wheelchair
J. Toilet
K. Tub, Shower
<b>Locomotion</b>
L. Walk/Wheelchair
M. Stairs
<i>Motor Subtotal Score</i>
<b>Communication</b>
N. Comprehension
O. Expression
<b>Social Cognition</b>
P. Social Interaction
Q. Problem Solving
R. Memory

<b>Independent</b>
7 Complete Independence (Timely, Safely)
6 Modified Independence (Device)
<b>Modified Dependence</b>
5 Supervision (Subject = 100%+)
4 Minimal Assist (Subject = 75%+)
3 Moderate Assist (Subject = 50%+)
<b>Complete Dependence</b>
2 Maximal Assist (Subject = 25%+)
1 Total Assist (Subject = less than 25%)



Functional Independence Measurement (FIM)

## 4.2. FACTEURS AFFECTANT LA RÉCUPÉRATION

### 4.2.1. Age

### 4.2.2. Activité physique

### Hémiplégie

Summary of Exercise/Physical Activity Recommendations for Stroke Survivors

Setting/Mode of Exercise	Goals/Objectives	Prescriptive Guidelines: Frequency/Intensity/Time
Hospitalization and early convalescence (acute phase) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Low-level walking, self-care activities</li> <li>• Intermittent sitting or standing</li> <li>• Seated activities</li> <li>• Range of motion activities, motor challenges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevent deconditioning, hypostatic pneumonia, orthostatic intolerance, and depression</li> <li>• Evaluate cognitive and motor deficits</li> <li>• Stimulate balance and coordination</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ~10- to 20-bpm increases in resting HR; RPE <math>\leq</math>11 (6–20 scale); frequency and duration as tolerated, using an interval or work-rest approach</li> </ul>
Inpatient and outpatient exercise therapy or "rehabilitation"		
Aerobic <ul style="list-style-type: none"> <li>• Large-muscle activities (eg, walking, graded walking, stationary cycle ergometry, arm ergometry, arm-leg ergometry, functional activities seated exercises, if appropriate)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increase walking speed and efficiency</li> <li>• Improve exercise tolerance (functional capacity)</li> <li>• Increase independence in ADLs</li> <li>• Reduce motor impairment and improve cognition</li> <li>• Improve vascular health and induce other cardioprotective benefits (eg, vasomotor reactivity, decrease risk factor)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40%–70% <math>\dot{V}_{O_2}</math> reserve or HR reserve; 55%–80% HR max; RPE 11–14 (6–20 scale)</li> <li>• 3–5 d/wk</li> <li>• 20–60 min/session (or multiple 10-min sessions)</li> <li>• 5–10 min of warm-up and cool-down activities</li> <li>• Complement with pedometers to increase lifestyle physical activity</li> </ul>
Muscular strength/endurance <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistance training of U/L extremities, trunk using free weights, weight-bearing or partial weight-bearing activities, elastic bands, spring coils, pulleys</li> <li>• Circuit training</li> <li>• Functional mobility</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increase muscle strength and endurance</li> <li>• Increase ability to perform leisure-time and occupational activities and ADLs</li> <li>• Reduce cardiac demands (ie, RPP) during lifting or carrying objects by increasing muscular strength, thereby decreasing the % MVC that a given load now represents</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1–3 sets of 10–15 repetitions of 8–10 exercises involving the major muscle groups at 50%–80% of 1RM</li> <li>• 2–3 d/wk</li> <li>• Resistance gradually increased over time as tolerance permits</li> </ul>
Flexibility <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stretching (trunk, upper and lower extremities)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increase ROM of involved segments</li> <li>• Prevent contractures</li> <li>• Decrease risk of injury</li> <li>• Increase ADLs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Static stretches: hold for 10–30 s</li> <li>• 2–3 d/wk (before or after aerobic or strength training)</li> </ul>
Neuromuscular <ul style="list-style-type: none"> <li>• Balance and coordination activities</li> <li>• Tai chi</li> <li>• Yoga</li> <li>• Recreational activities using paddles/sport balls to challenge hand-eye coordination</li> <li>• Active-play video gaming and interactive computer games</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Improve balance, skill reacquisition, quality of life, and mobility</li> <li>• Decrease fear of falling</li> <li>• Improve level of safety during ADLs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Use as a complement to aerobic, muscular strength/endurance training, and stretching activities</li> <li>• 2–3 d/wk</li> </ul>

1RM indicates 1 repetition maximum; ADLs, activities of daily living; HR, heart rate; MVC, maximal voluntary contraction; ROM, range of motion; RPE, rating of perceived exertion (6–20 category scale); RPP, rate-pressure product; U/L, upper/lower; and  $\dot{V}_{O_2}$ , oxygen uptake.

Modified with permission from Gordon et al.<sup>124</sup> Copyright © 2004, American Heart Association, Inc.

# 4.2. FACTEURS AFFECTANT LA RÉCUPÉRATION

## 4.2.1. Age

## 4.2.2. Activité physique

### Maladie de Parkinson

Table 3 | Long-term effects of cued exercise, gait training and balance training

Studies	Training period (follow-up duration),	Outcomes (% change from baseline value with between-group difference)			
		Disease severity	Aerobic capacity	Balance performance and falls	Gait performance and mobility
<b>Gait training</b>					
Carda <i>et al.</i> (2012) <sup>106</sup>	4 (26)	NS	6MWT: robotic 13%; treadmill 18%	NA	• Speed: robotic 10%; treadmill 12% • TUG: robotic -14%; treadmill -13%
Miyai <i>et al.</i> (2002) <sup>104</sup>	4 (22)	NS	NS	NA	Step length 10%
Picelli <i>et al.</i> (2013) <sup>105</sup>	4 (13)	UPDRS-III: robotic -17% <sup>†</sup>	6MWT: robotic 23%; treadmill 24%	BBS: robotic 9%; treadmill 8%	• Speed: robotic 25%*; treadmill 16%* • Stride length: robotic 15%; treadmill 10% • Double-leg stance: robotic 21%; treadmill 23%
<b>Balance training</b>					
Allen <i>et al.</i> (2010) <sup>18</sup>	26 (0)	NA	NA	NS	FOGQ -19%; FTSTS time -20%*
Ashburn <i>et al.</i> (2007) <sup>109</sup>	6 (18)	NA	NA	Functional reach distance 2.6%	NS
Canning <i>et al.</i> (2015) <sup>110</sup>	26 (0)	NA	NA	Fall rate -69%	SPPB 1.7%; FTSTS (stand/s) 9%
Morris <i>et al.</i> (2015) <sup>88</sup>	8 (52)	• UPDRS-II: movement strategy training -21%; PRT -21% • UPDRS-III: movement strategy training -16%	NS	Fall rate: movement strategy training -61.5%; PRT -85%	NS
Palamara <i>et al.</i> (2017) <sup>111</sup>	4 (26)	NS	NA	NS	NS
Schlenstedt <i>et al.</i> (2015) <sup>99</sup>	7 (13)	NS	NA	NS	NS
Shen & Mak (2014) <sup>94</sup> , (2015) <sup>99</sup>	12 (52)	NA	NA	Latency of postural response -6.4%; SLS test 27%; fall rate -81%	Stride length 11.6%
Sparrow <i>et al.</i> (2016) <sup>111</sup>	12 (0)	NA	NA	MiniBEST 10%; fall rate -37%	NA
Wong-Yu & Mak (2015) <sup>111</sup>	8 (52)	NA	NA	BEST 11%*	Speed 6%; dual-task TUG -10%

6MWT, 6-min walk test; BBS, Berg Balance Scale; BEST, Balance Evaluation Systems' Test; FOGQ, Freezing of Gait Questionnaire; FTSTS, Five times sit-to-stand; miniBEST, mini Balance Evaluation Systems' Test; NA, data not available; NS, nonsignificant effect; PRT, progressive resistance training; SAFEx, Sensory Attention Focused Exercise; SLS, Single-leg stance; SPPB, Short Physical Performance Battery; TUG, timed up-and-go; UPDRS, Unified Parkinson Disease Rating Scale. \*Changes exceeding respective minimal detectable changes (MDC<sub>95</sub>); BEST total score 6.5%; FTSTS time 1.7 s; speed 0.09 m/s †Changes exceeding respective moderate clinical important difference: UPDRS-III 5.2 points.

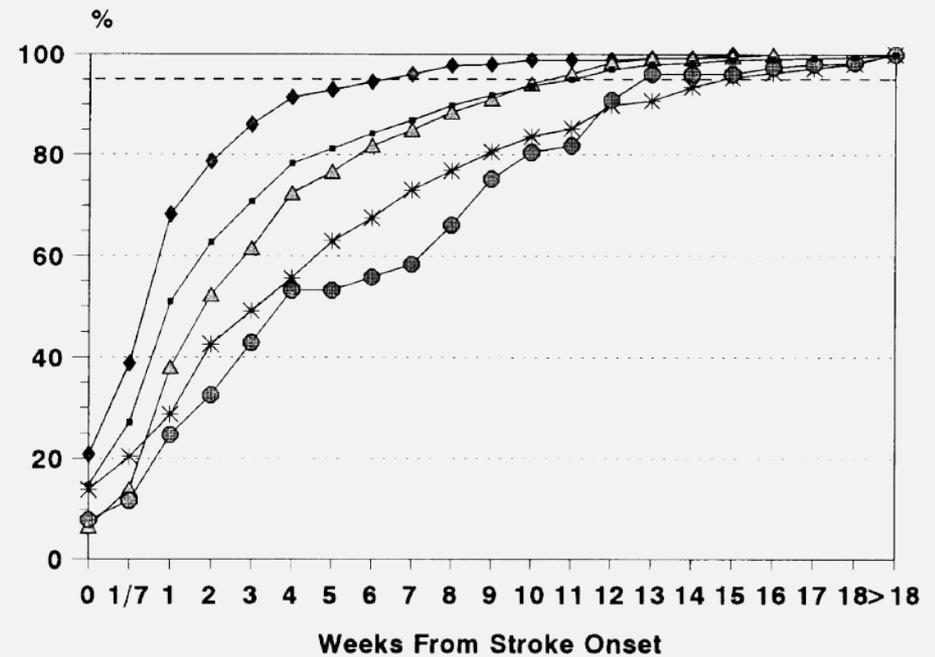
## 4.2. FACTEURS AFFECTANT LA RÉCUPÉRATION

### 4.2.1. Age

### 4.2.2. Activité physique

### 4.2.3. Temps post-atteinte

Hémiplégie (4 mois) : La récupération peut encore se produire après 4 mois mais les changements seront médiés par des stratégies compensatoires, plutôt que par la récupération neurologique.



# Apprentissage Moteur et Physiothérapie

PHT-6612 : Fondements neurobiologiques du mouvement humain

Matthieu Boisgontier, PT, PhD

13 août 2020

<http://matthieuboisgontier.com>