

CM 4

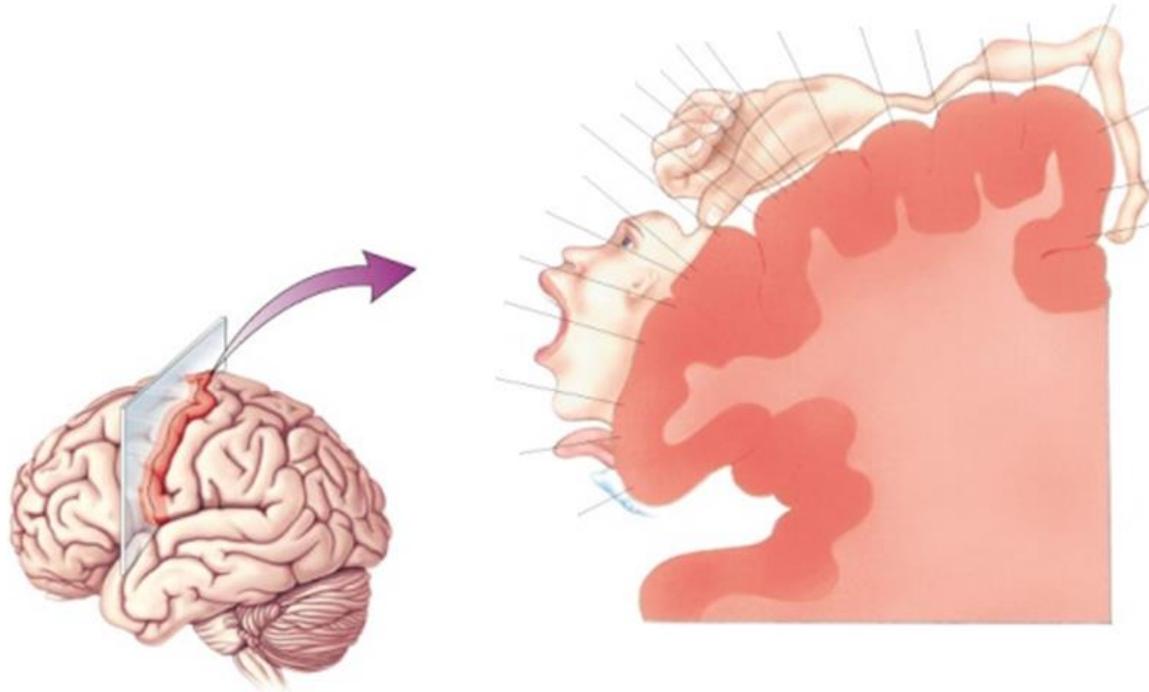
Neurosciences et apprentissage moteur

Arnaud Boutin

arnaud.boutin@universite-paris-saclay.fr

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

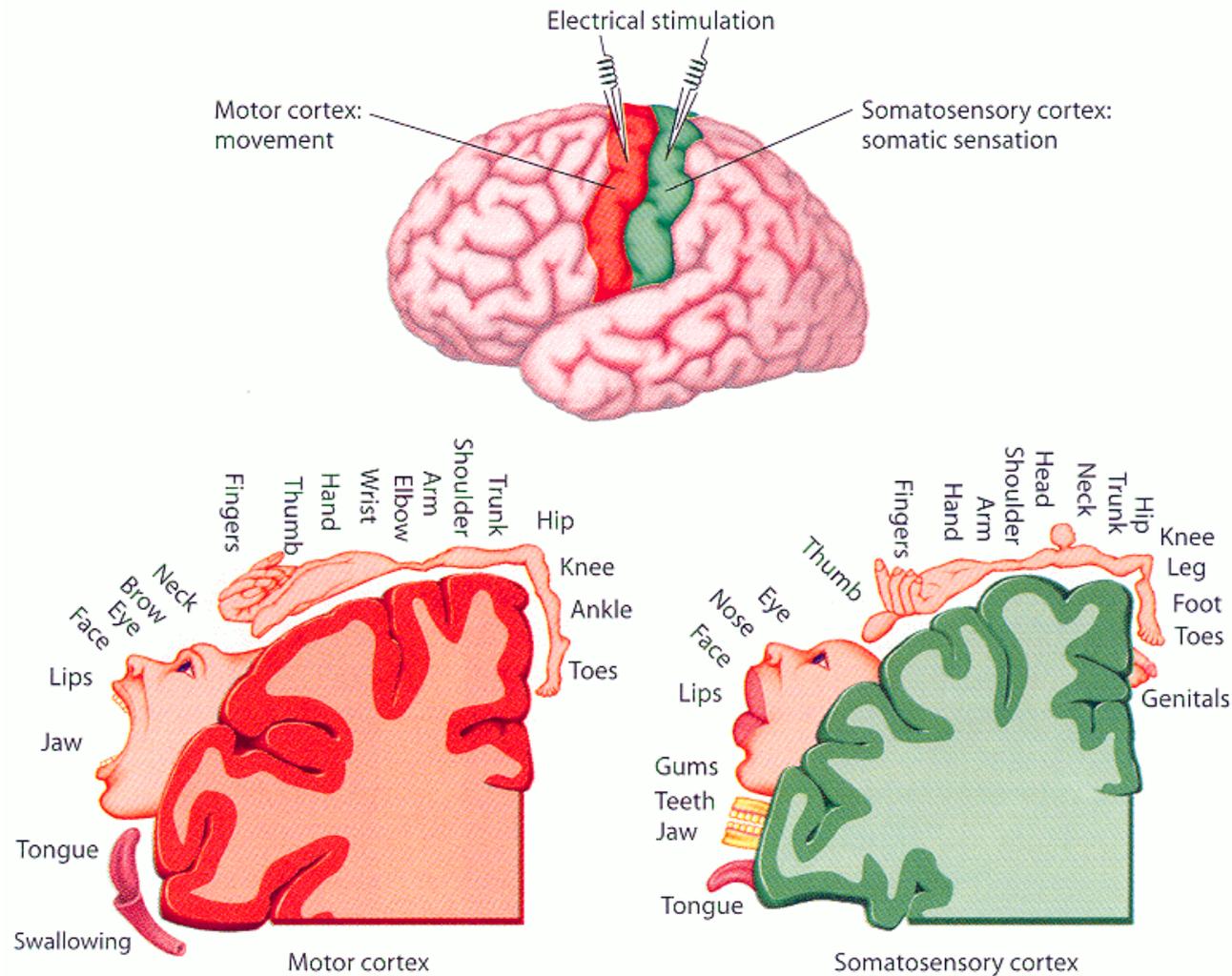
Organisation somatotopique du cortex moteur chez l'homme



La contribution du neurochirurgien canadien Wilder Penfield : stimuler le cortex moteur et découvrir des représentations du corps => cartes motrices à l'origine des mouvements volontaires

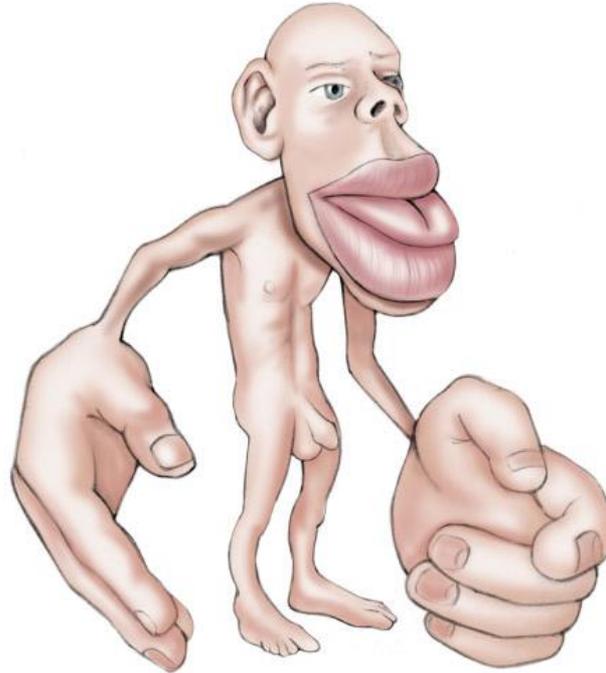
Similarités avec les cartes du cortex sensoriel somatique

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

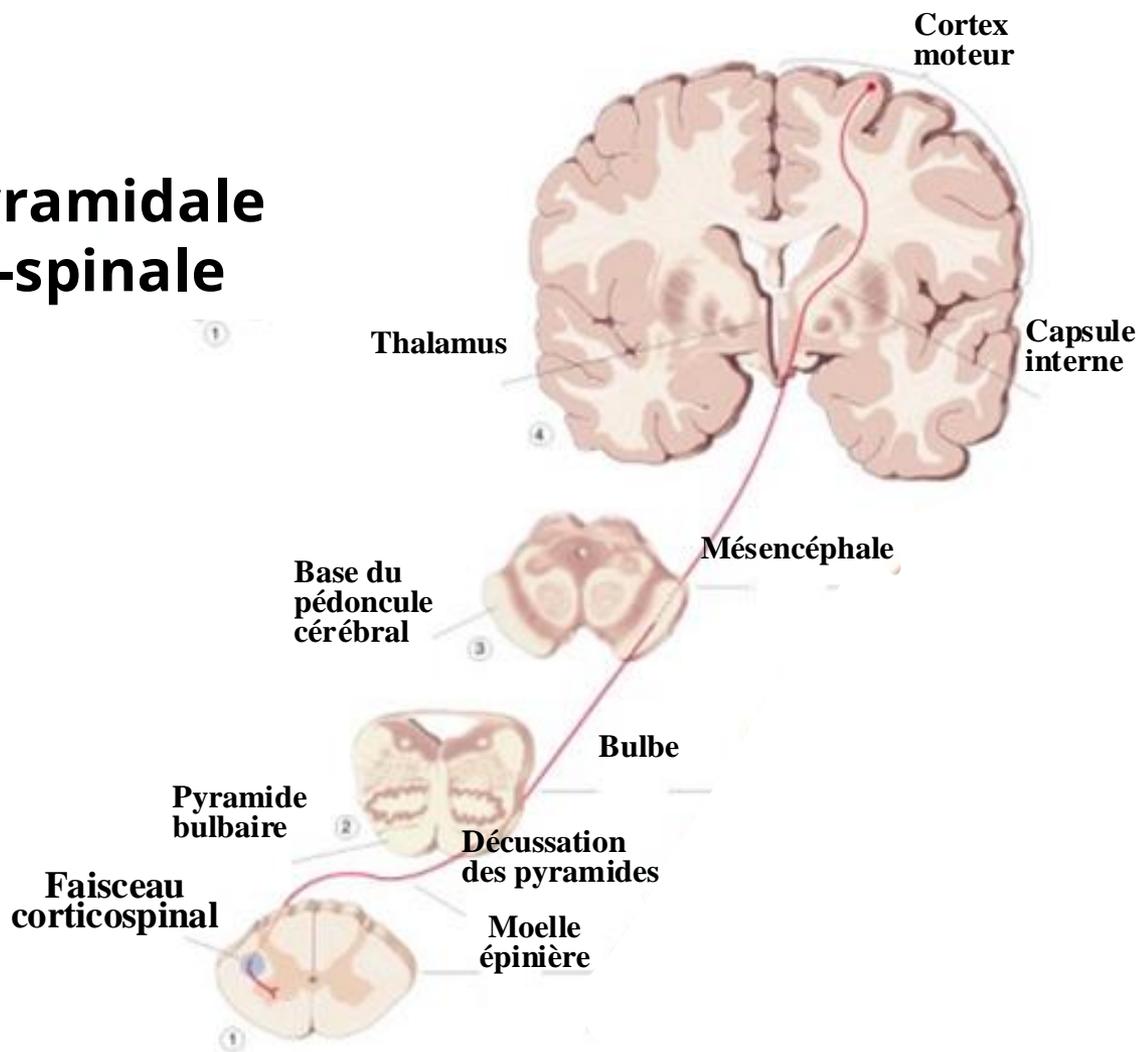
Homonculus : petit homme en latin



Si la taille des différentes parties de notre corps était proportionnelle à sa représentation corticale

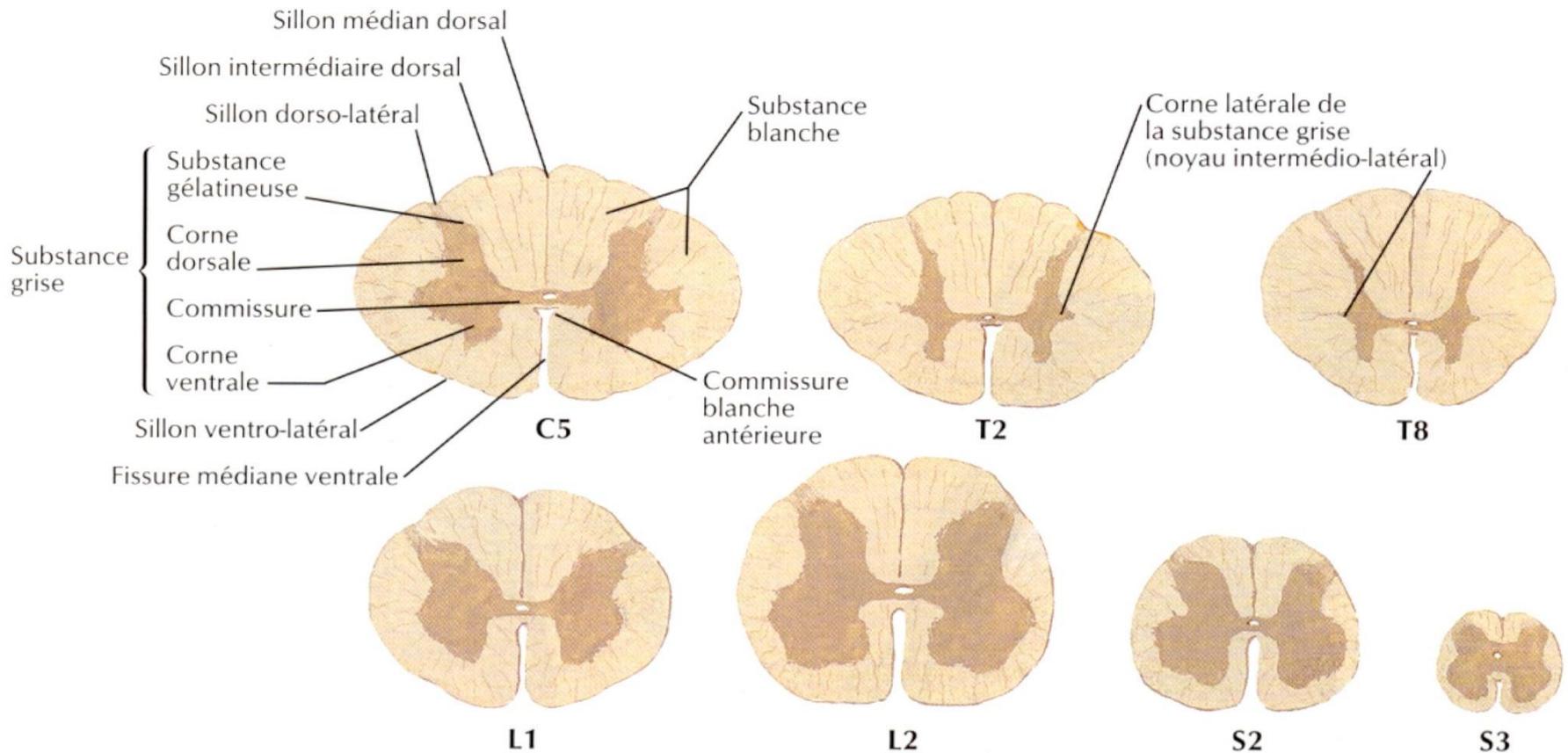
Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Voie pyramidale cortico-spinale



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Coupes de la moelle spinale à des niveaux différents



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

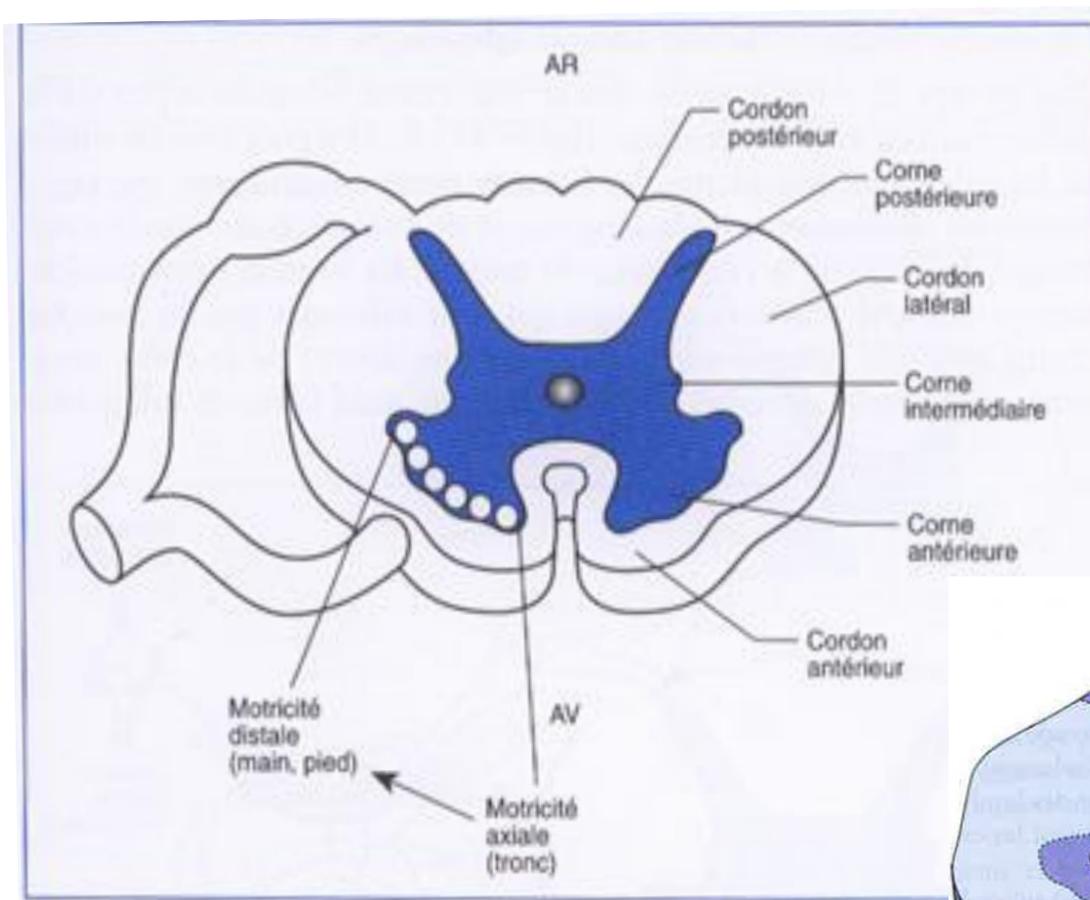
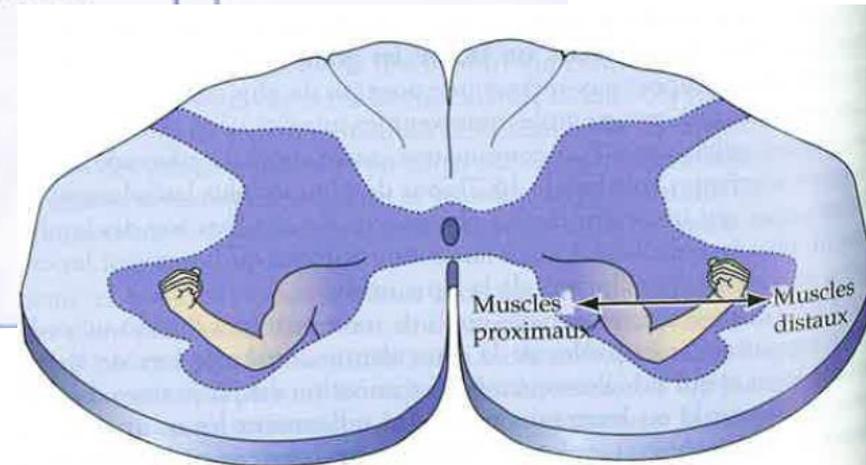
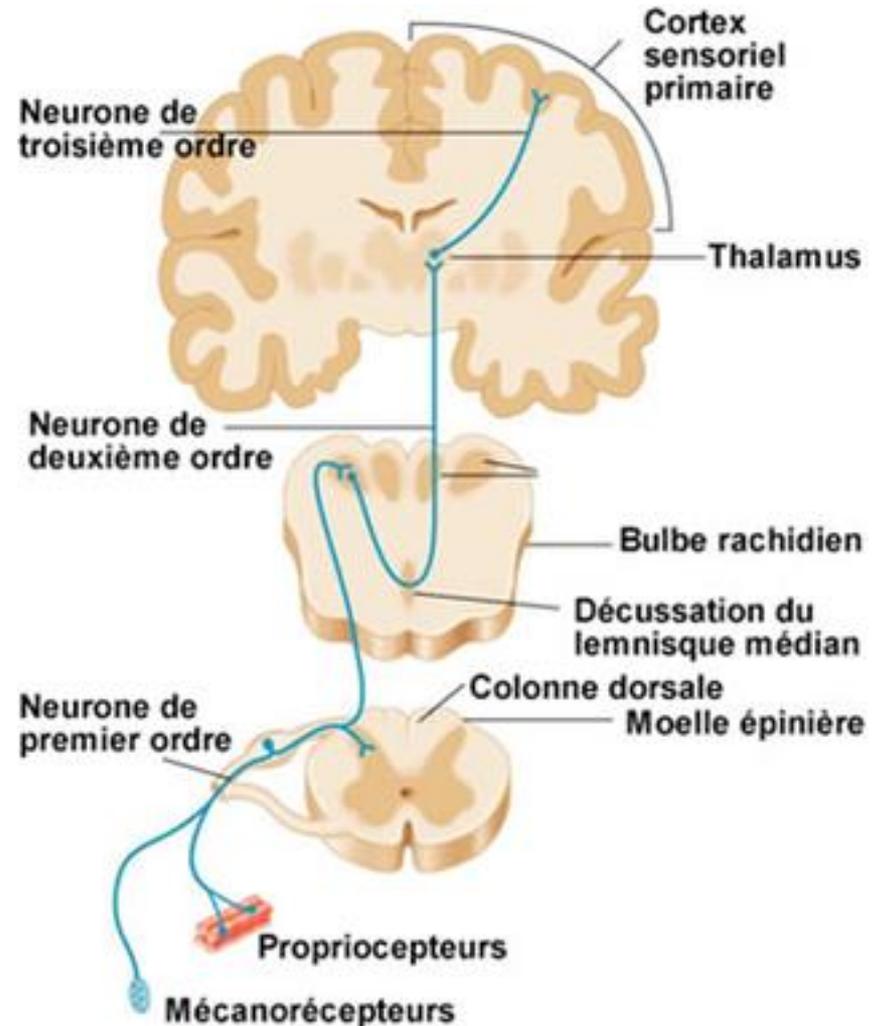


Figure 39.
Coupe transversale
de la moelle épinière. Répartition
somatotopique des
neurones moteurs
de la corne antérieure de la substance grise.

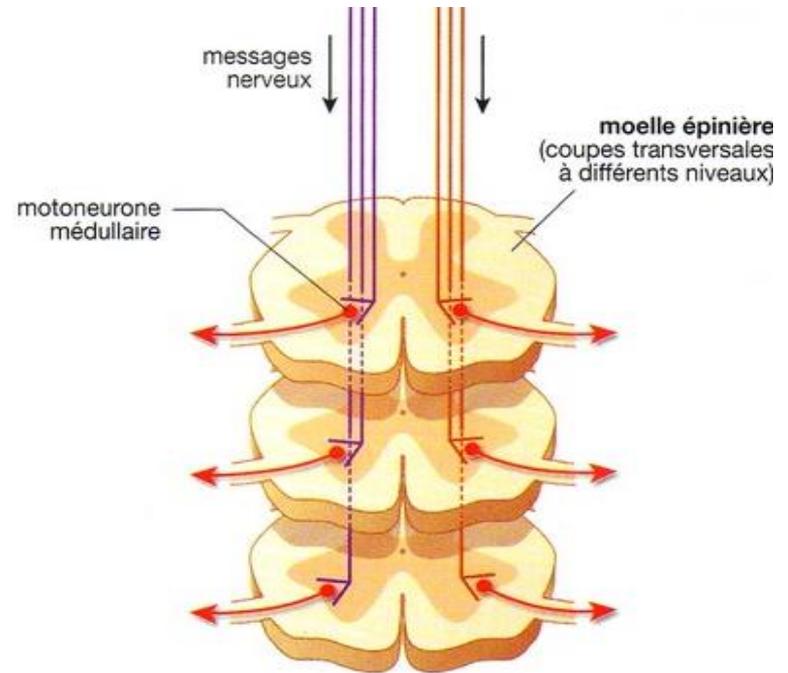
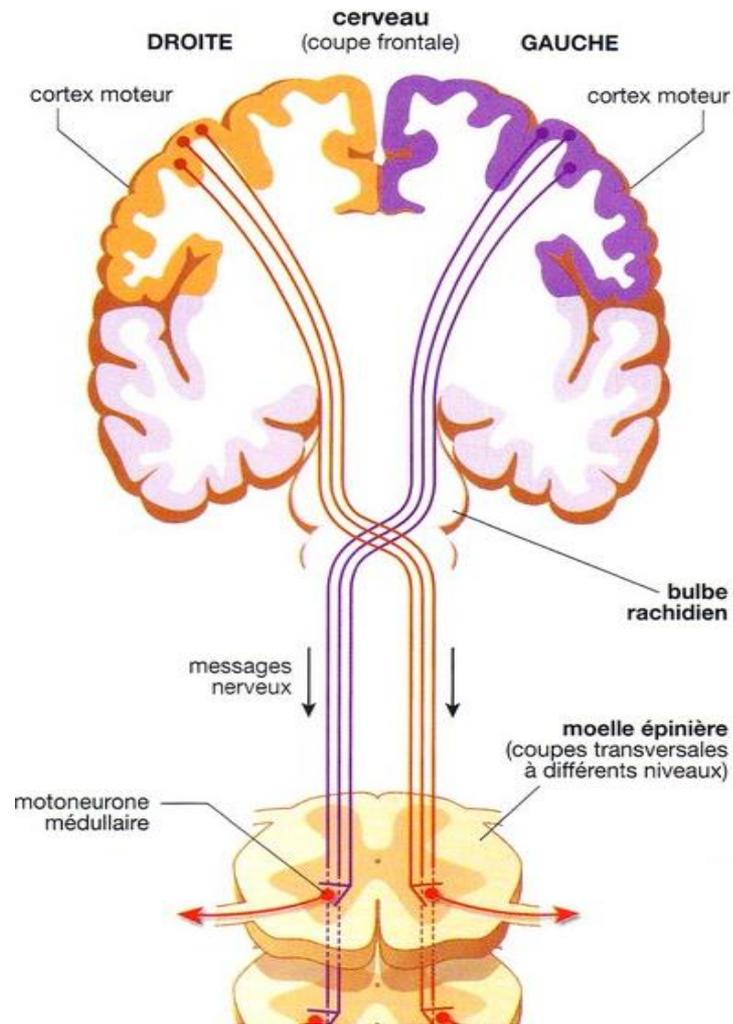


Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

- Voie somatosensorielle ou voie ascendante
 - Voie motrice ou voie descendante
- ⇒ **Voie pyramidale cortico-spinale**



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur



Les neurones du cortex moteur se terminent en établissant un contact synaptique directement sur les neurones moteurs de la moelle épinière.

Bases neurobiologiques de l'apprentissage

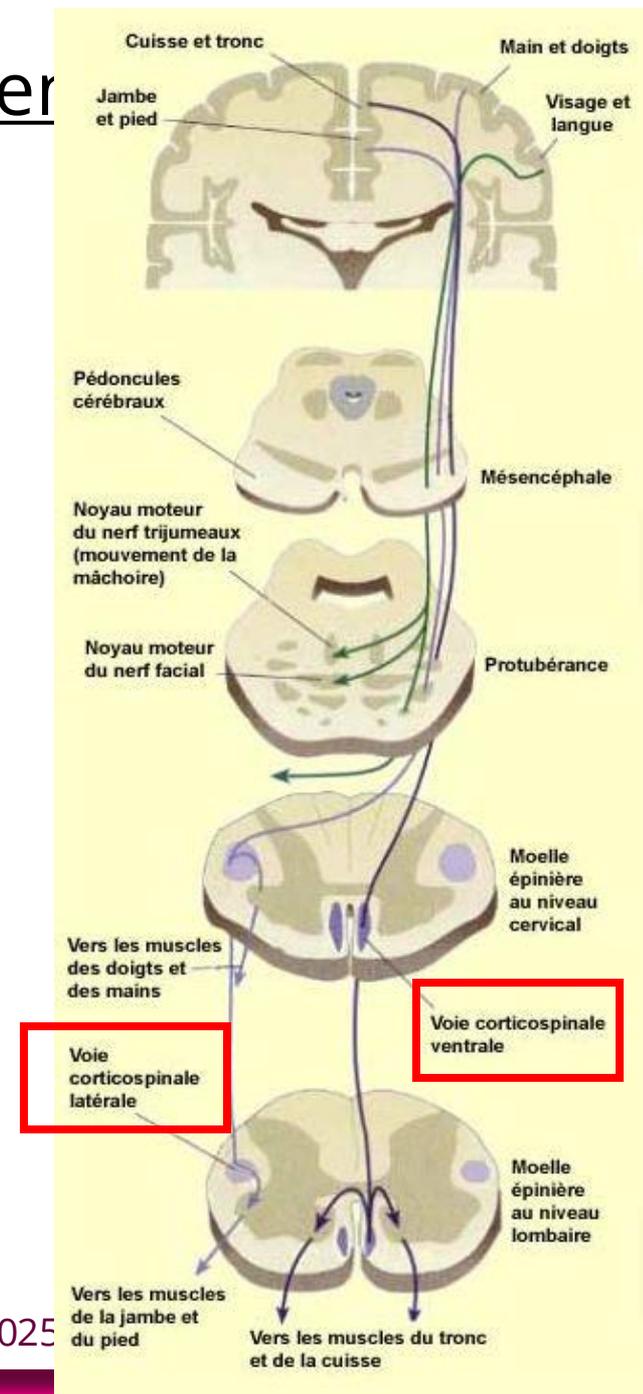
Voies pyramidales cortico-spinales

Décussations

Lésion d'un hémisphère cérébral

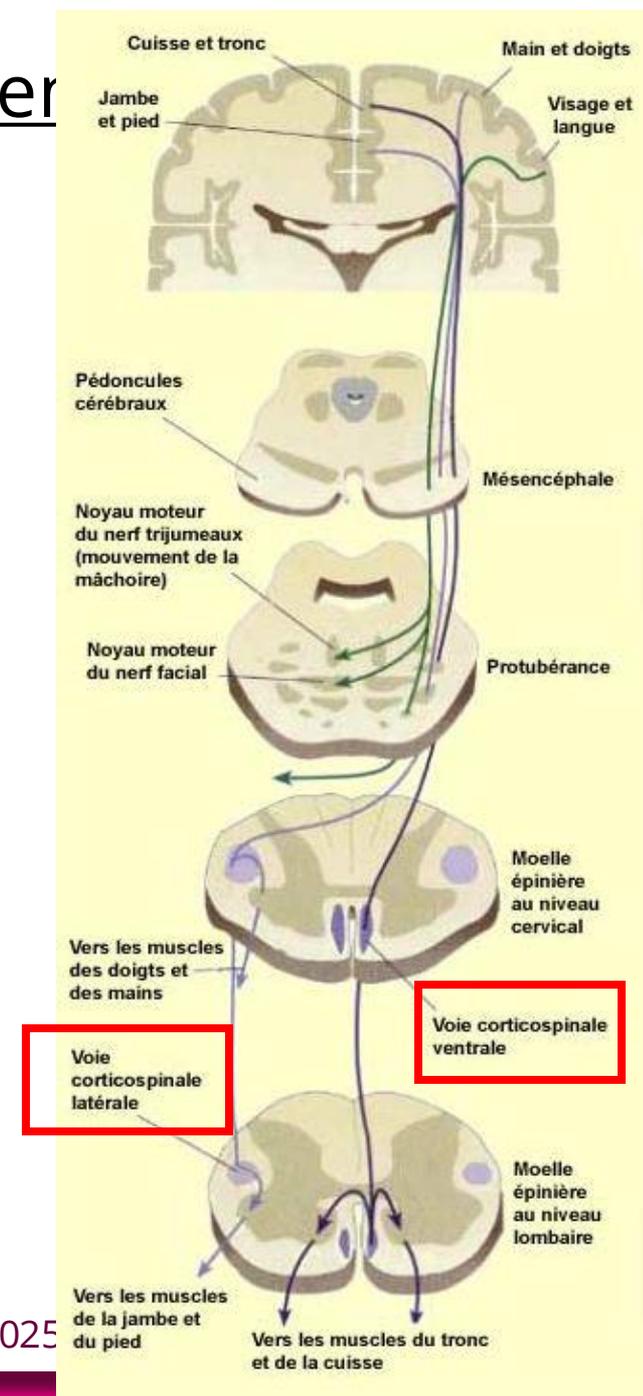


Déficits de l'hémi-corps contro-latéral
pour les mouvements distaux

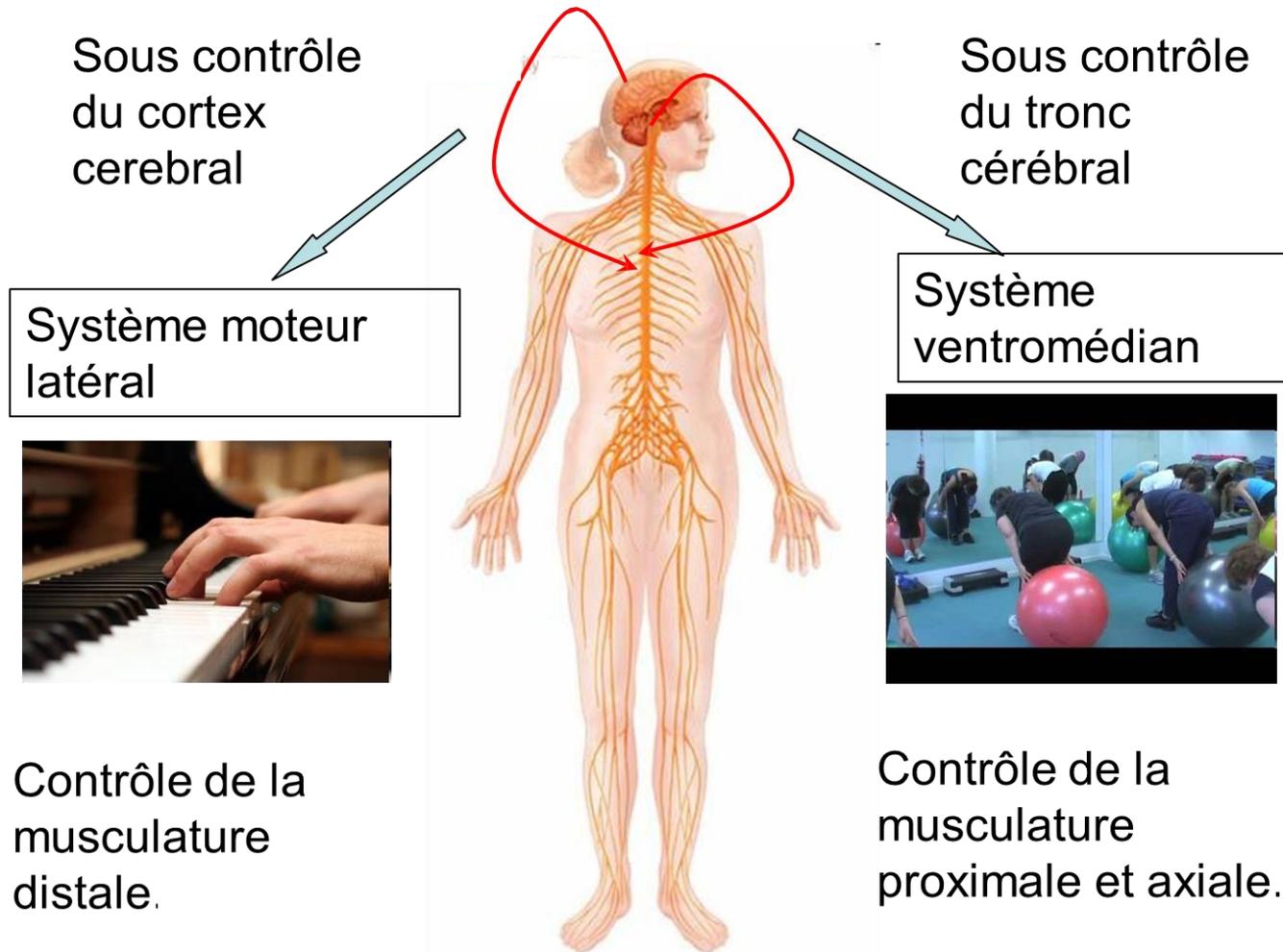


Bases neurobiologiques de l'apprentissage

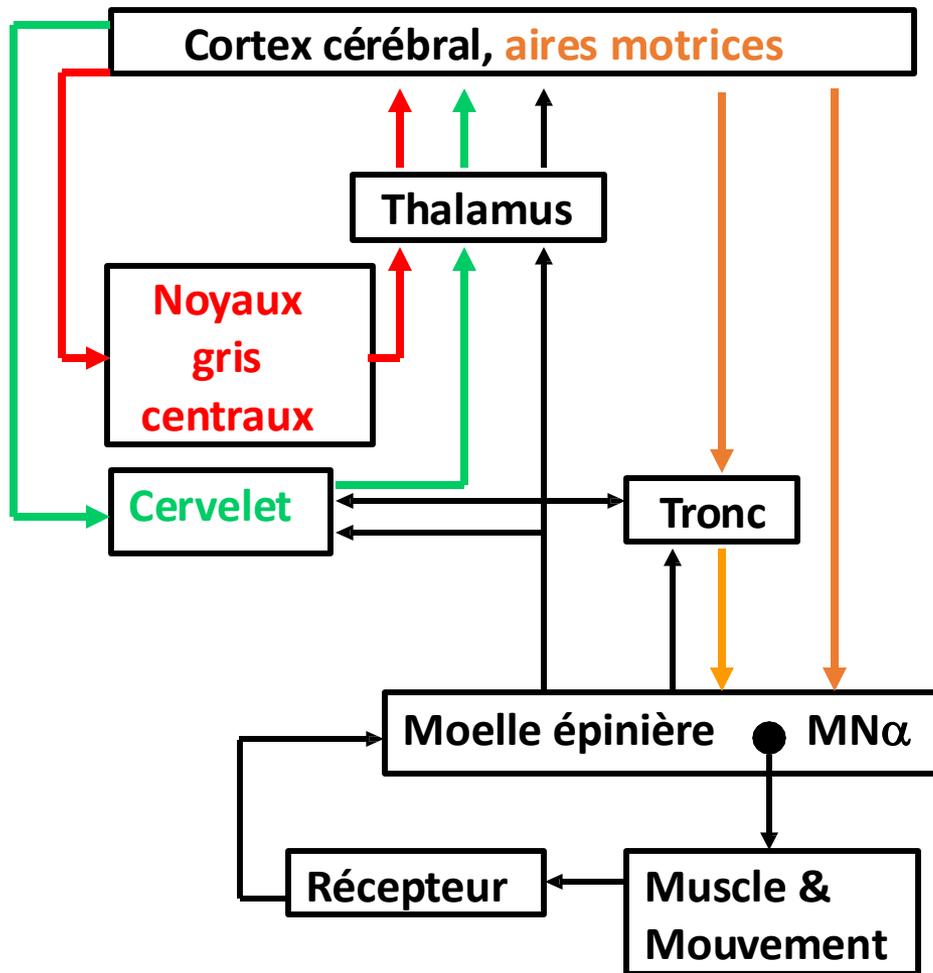
- Le système latéral est impliqué dans la réalisation des mouvements volontaires de la musculature distale; il est sous le contrôle direct du cortex cérébral
- Le système ventromédian est impliqué dans le contrôle de la posture et de la locomotion, et il se trouve sous la dépendance du tronc cérébral



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur



Hiérarchie:

- Cortex
- Tronc
- Moelle épinière
- Voie finale commune (MN α)

Division fonctionnelle simpliste:

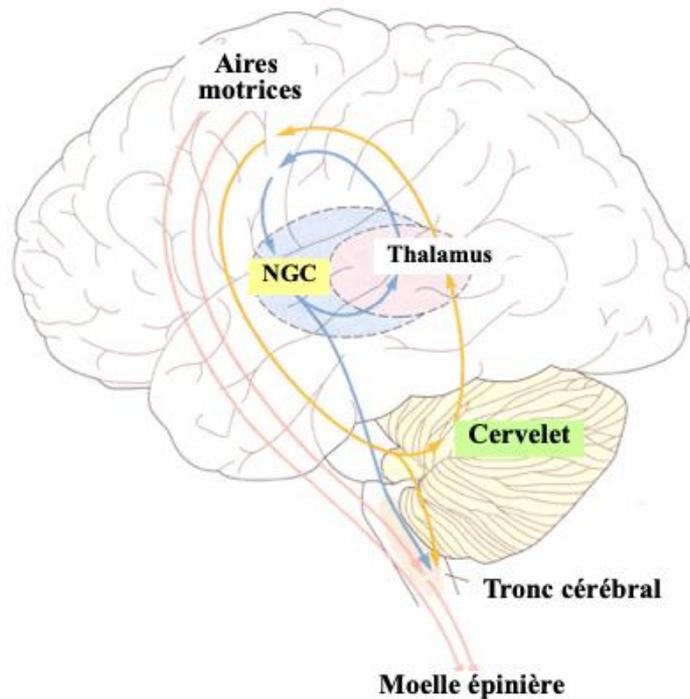
- Planification : cortex prémoteur et noyaux gris centraux
- Exécution: système corticospinal
- Adaptation en cours : cervelet

Pathologie:

- Système corticospinal : paralysie
- Noyaux gris centraux : Parkinson
- Cervelet : pb coordination
- Moelle épinière : paraplégie

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Les noyaux gris centraux et le cervelet

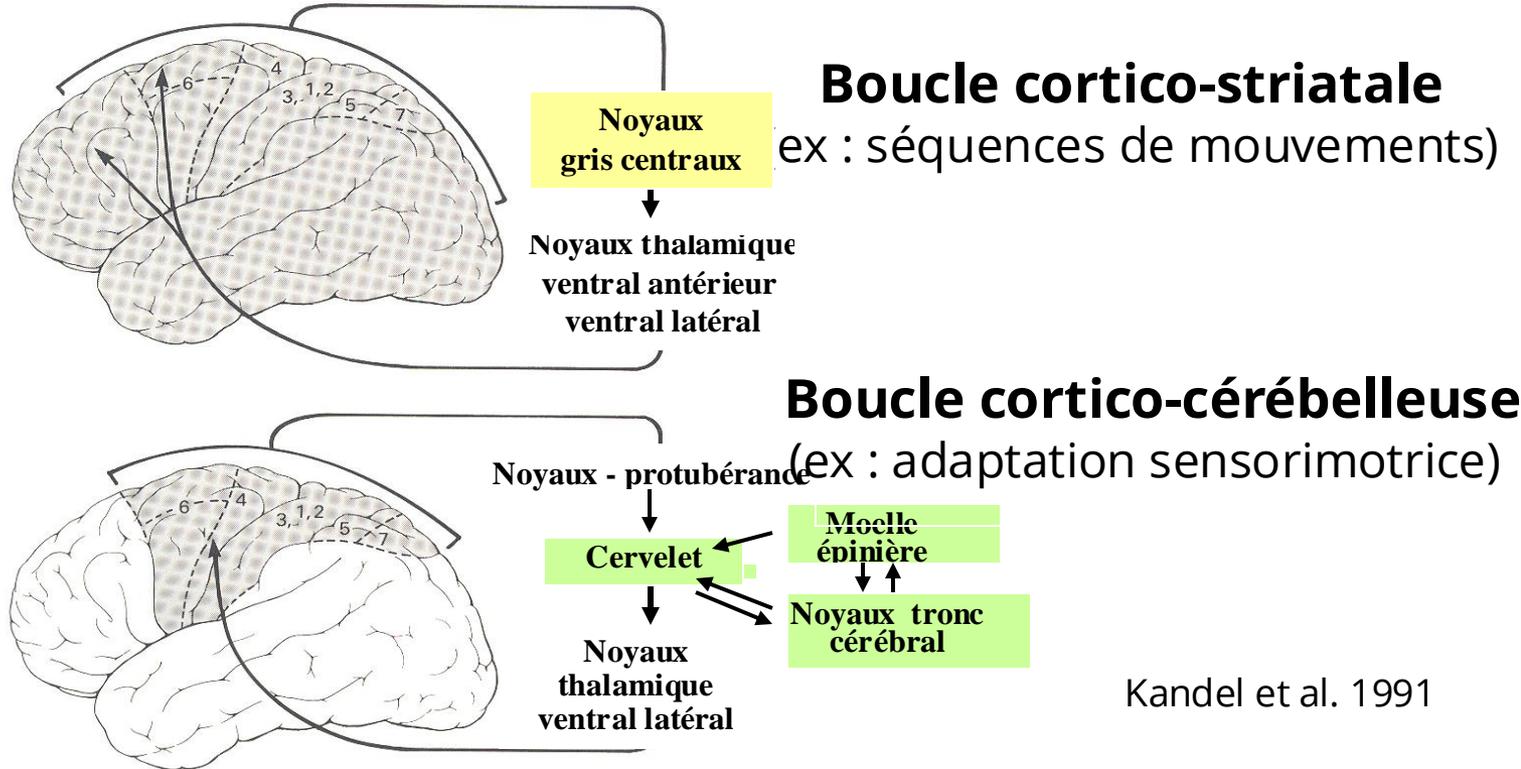


1. Planification motrice
2. Exécution motrice
3. Apprentissage moteur
4. Cognition

Les noyaux gris centraux et le cervelet ont d'importantes connexions avec les régions du cortex cérébral impliquées dans le contrôle et l'apprentissage des mouvements

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

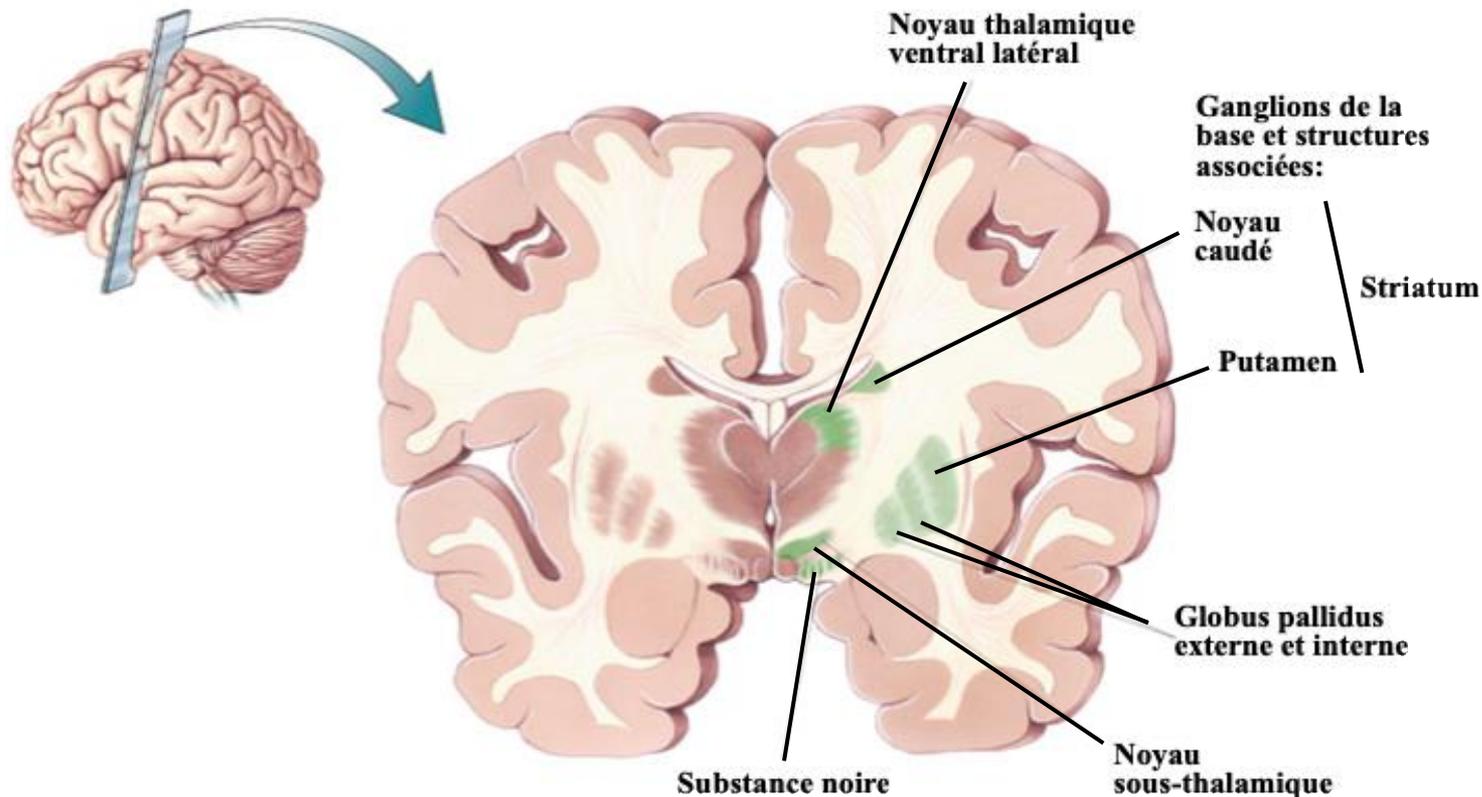
Deux boucles sous-corticales majeures pour le contrôle et l'apprentissage moteur



Ces deux structures sous corticales (NGC et Cervelet) reçoivent des projections majeures du cortex et en retour projettent au cortex via le thalamus.

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Les noyaux gris centraux

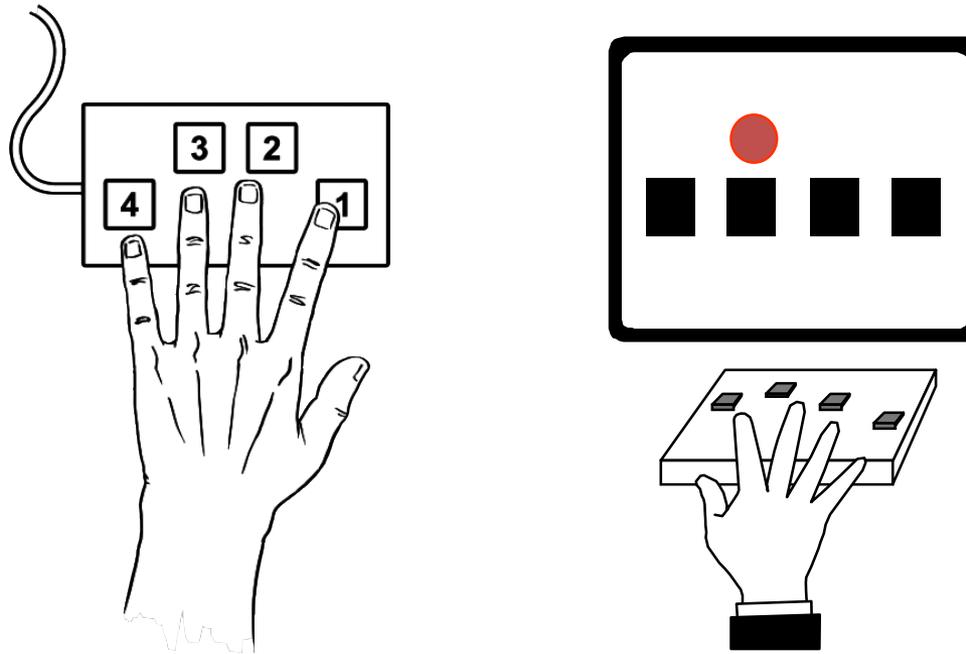


Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Paradigmes expérimentaux

Apprentissage de séquence motrices

Temps de Réaction Sériel (Implicite vs Explicite)

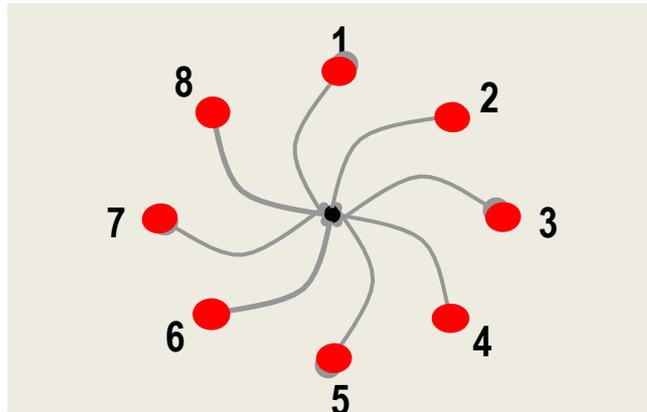


Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Paradigmes expérimentaux

Adaptation sensorimotrice

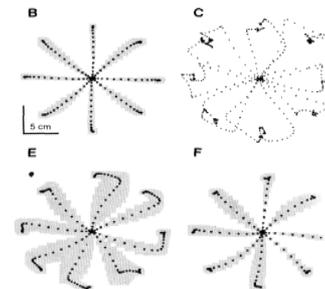
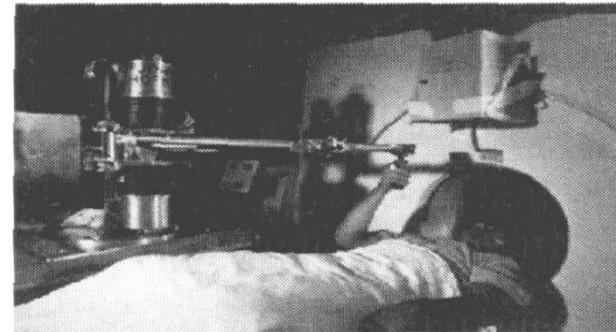
Adaptation visuo-motrice



Cibles apparaissent dans un ordre aléatoire



Adaptation champ de force



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Paradigmes expérimentaux

Adaptation visuo-motrice

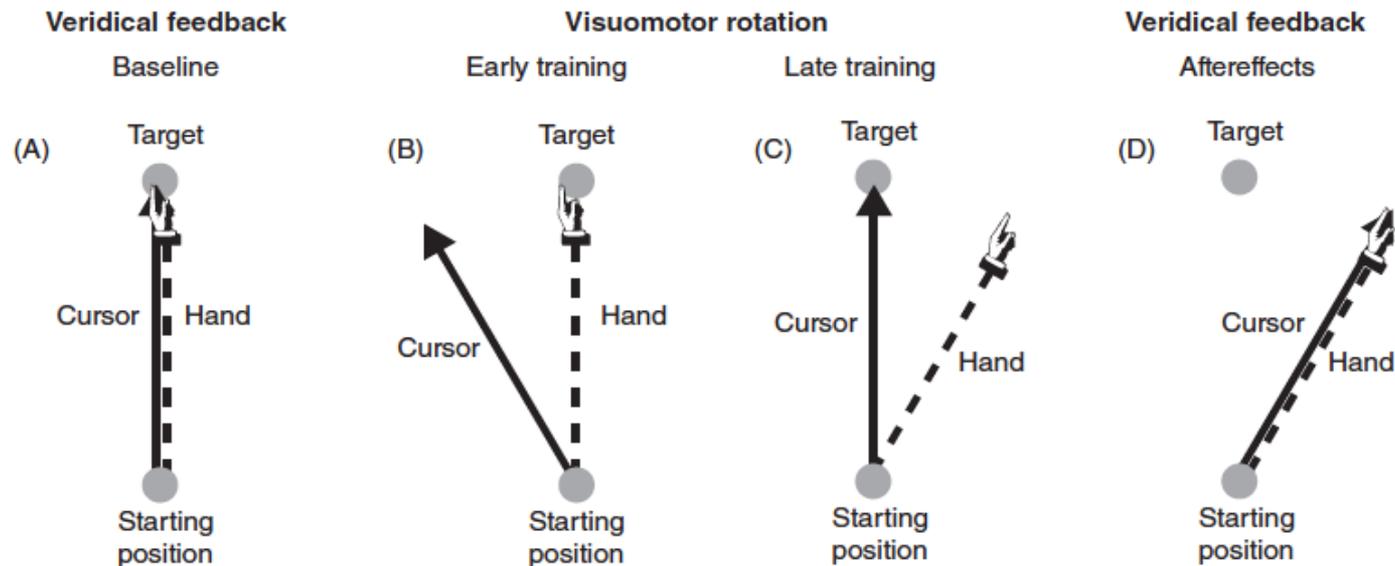


Figure 4 Visuomotor rotation adaptation. In visuomotor adaptation studies, participants typically make reaching movements without direct vision of their hand but instead observe the movement of a cursor which represents the location of their hand. During baseline, unperturbed movement, the cursor follows the hand position (veridical visual feedback, A). In B, a visuomotor rotation makes the cursor move in a direction 30° counterclockwise relative to hand motion, resulting in error. After learning, the hand moves at a 30° angle relative to the target direction bringing the cursor directly to the target (C). Removal of the rotation leads to aftereffects (D); moving along the adapted hand direction now leads to a 30° clockwise error.

Krakauer et al. (2019)

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Objectifs des études

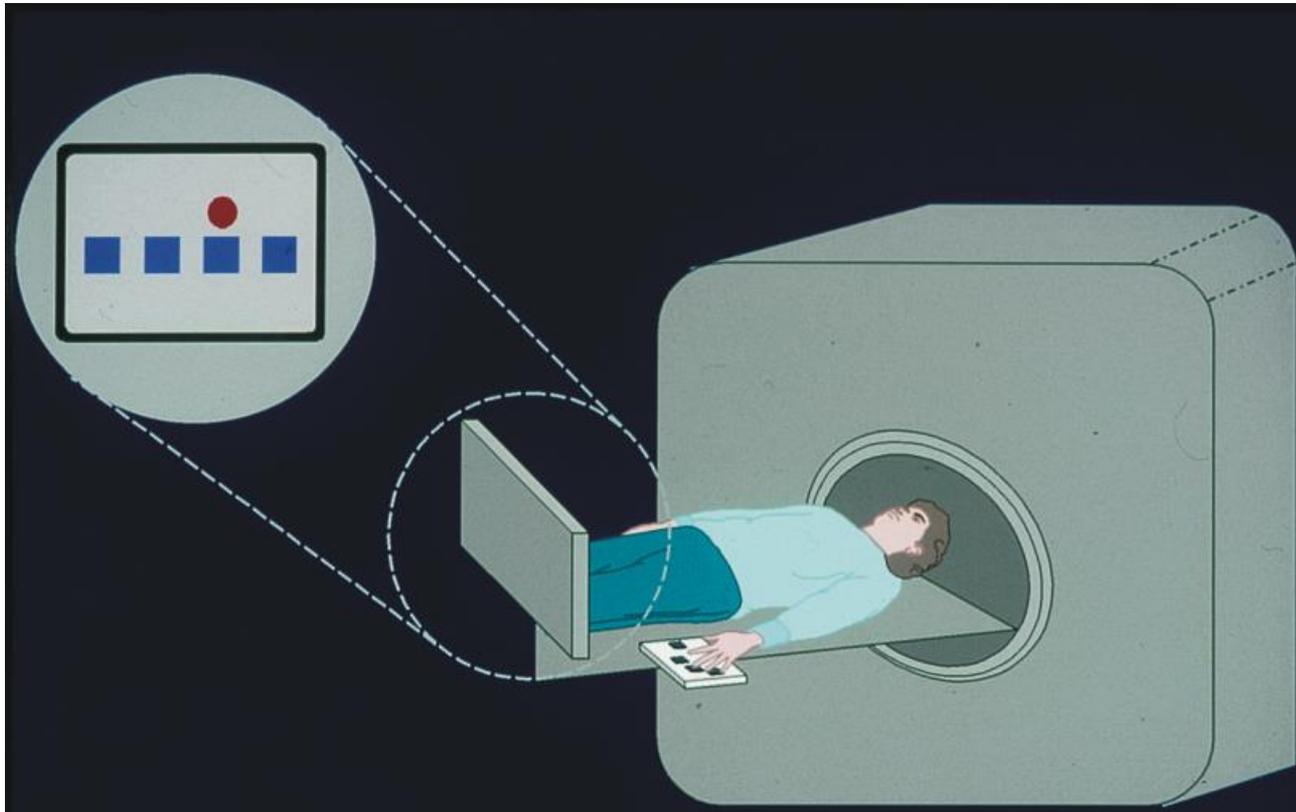
Déterminer les réseaux neuronaux sous-tendant l'acquisition de mouvements séquentiels et l'adaptation sensori-motrice au cours des différentes phases du processus d'apprentissage

Phases :

- Acquisition (Rapide)
- Consolidation (Lente)
- Automatisation

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

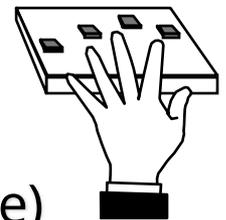


Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

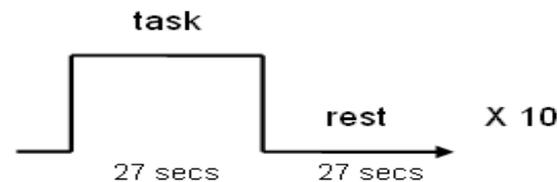
Séquences motrices

Apprentissage de séquences motrices et plasticité du striatum

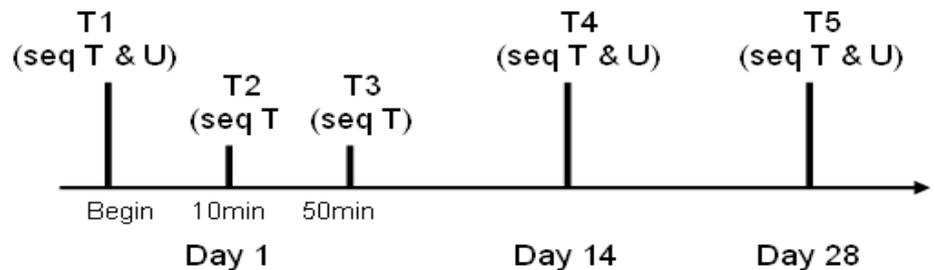
- Sujets : n = 14 (âge : 19-34, droitiers)
- Tâche : Séquence motrice à 8 éléments
2 séquences (Trained & Untrained)
Utilisation des 4 doigts de la main gauche (non dominante)



- Design expérimental :



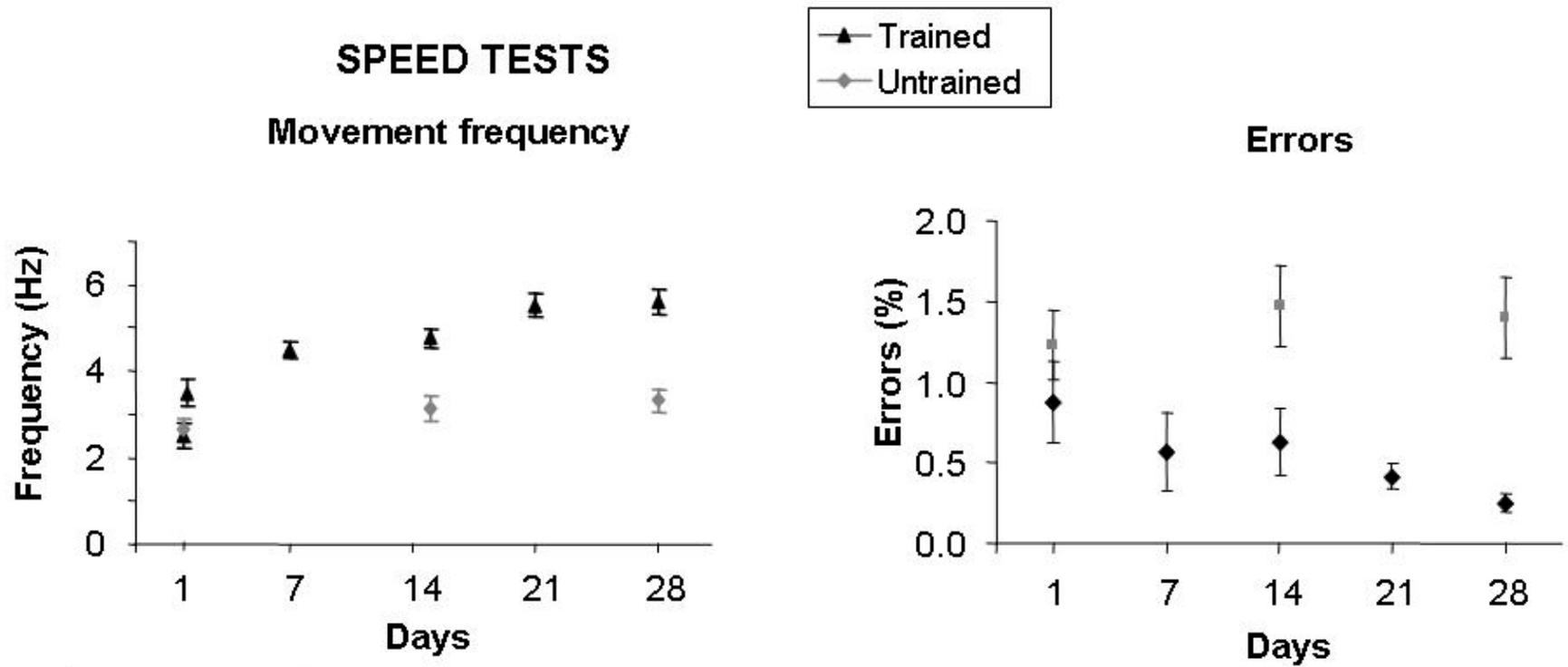
- 5 sessions IRM fonctionnelle



Lehéricy et al. (2005) PNAS

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

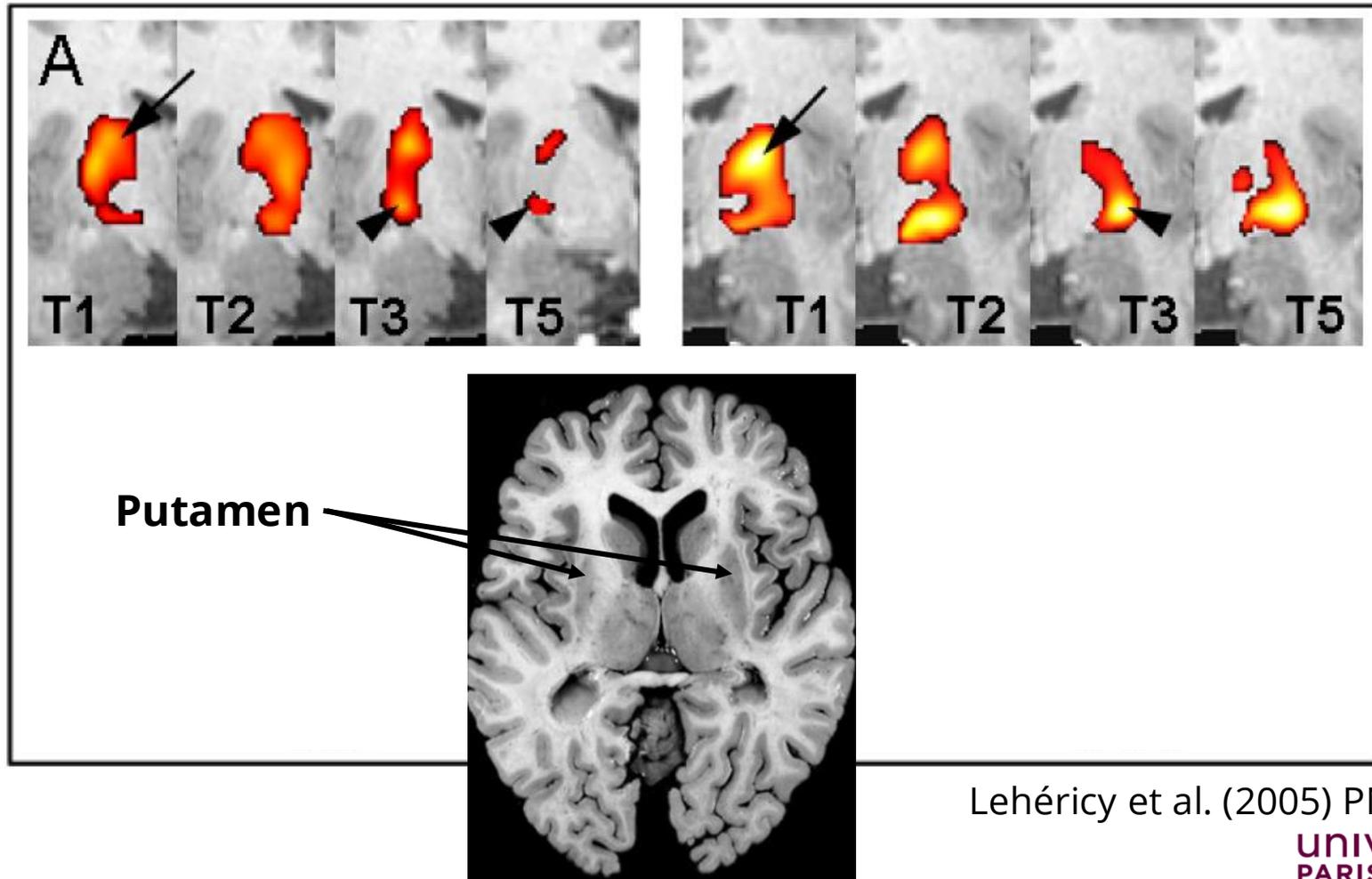


Lehéricy et al. (2005) PNAS

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Résultats : Modification fonctionnelle (plasticité) dans le striatum

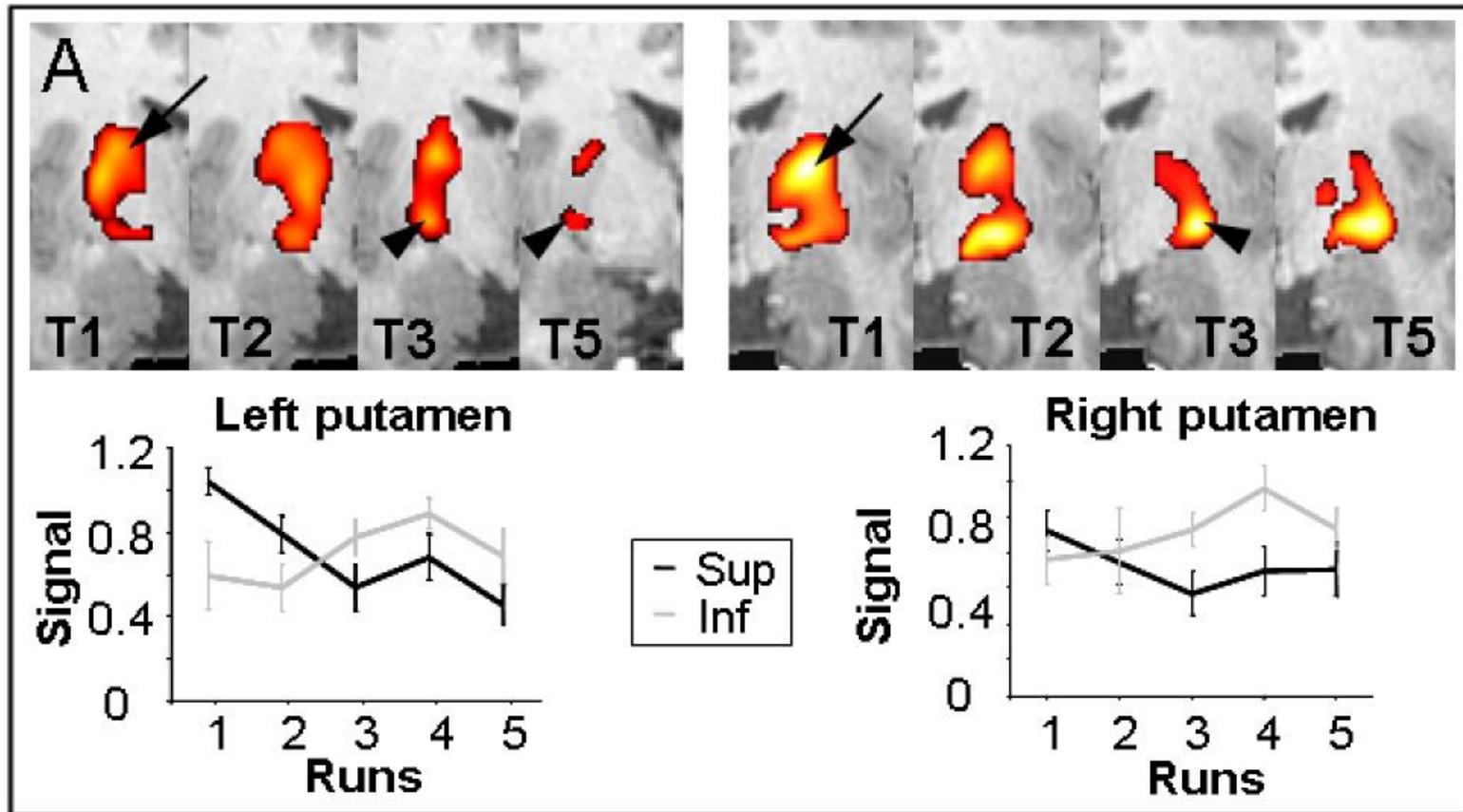


Lehéricy et al. (2005) PNAS

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Résultats : Modification fonctionnelle (plasticité) dans le striatum

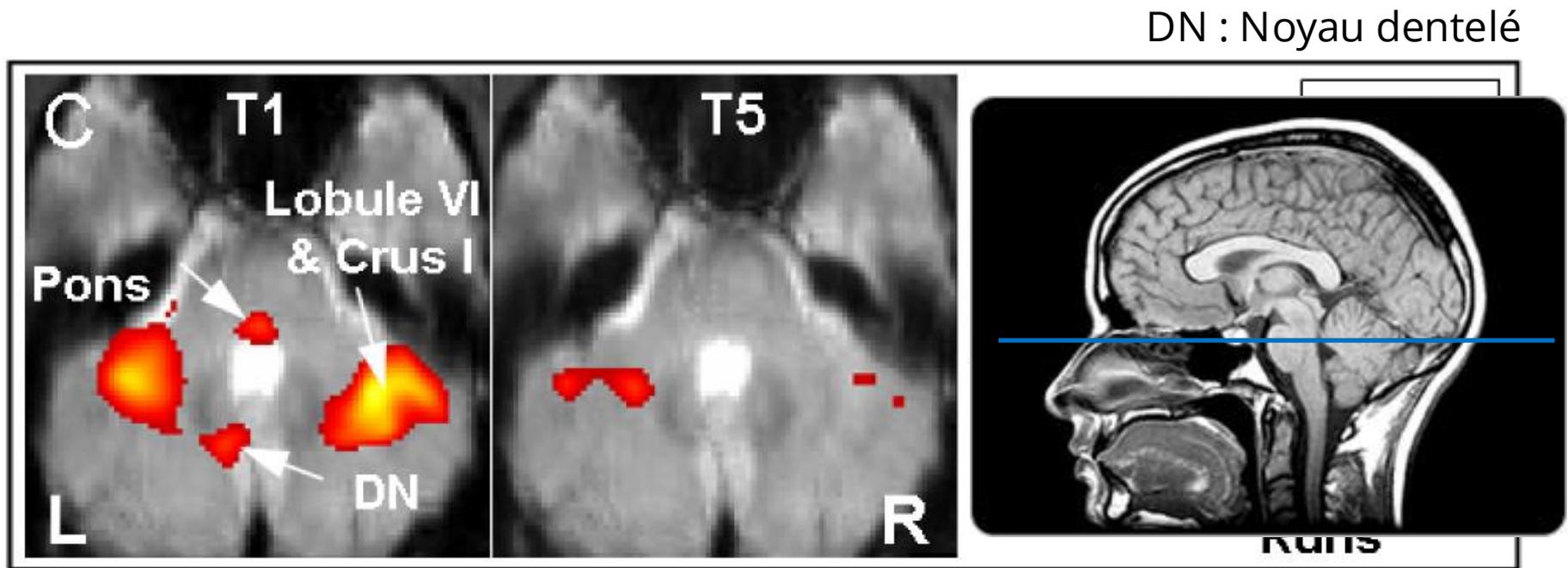


Lehéricy et al. (2005) PNAS

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Résultats : Plasticité dans le cervelet



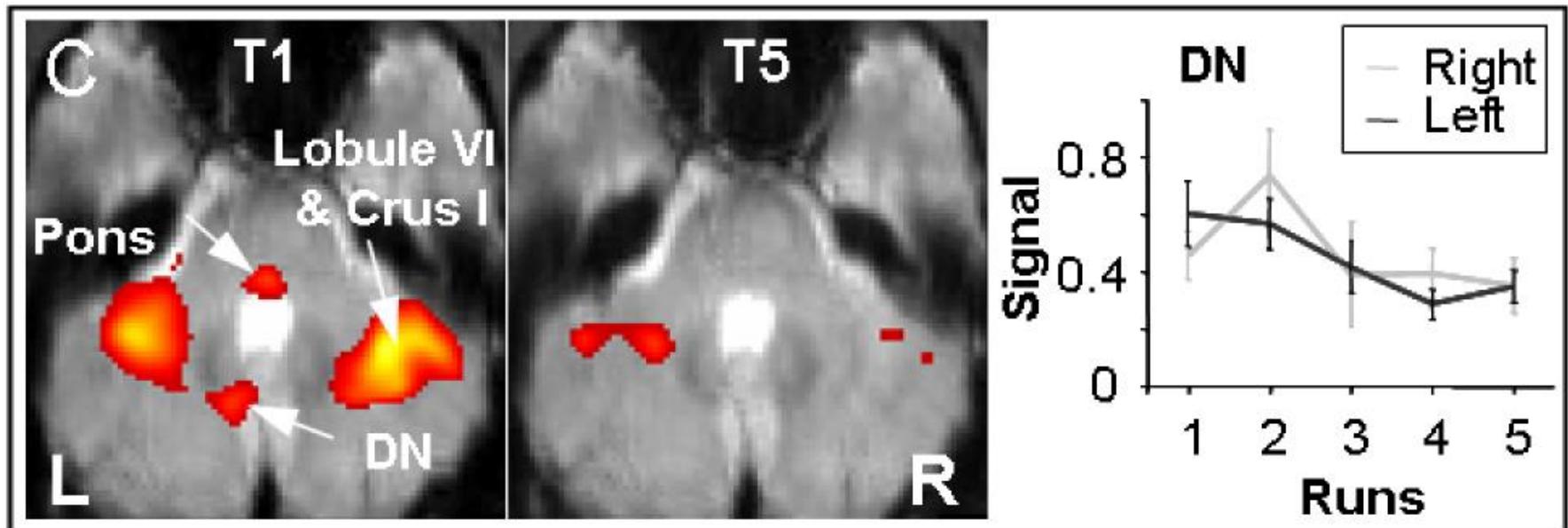
Lehéricy et al. (2005) PNAS

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Résultats : Plasticité dans le cervelet

DN : Noyau dentelé



Lehéricy et al. (2005) PNAS

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Etude sur le tricotage

Identifier et comparer, à l'aide de l'IRMf chez les mêmes sujets, le circuit neuronal qui sous-tend le début (phase rapide) versus celui qui supporte la performance parfaitement automatisée d'une séquence de mouvements

Doyon et al., 2008, Beh. Brain Res.

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Sujets : N = 11, âge moyen : 52 ans

Tâche : Tricotage de mailles – Tricoteuses expérimentées (14 à 58 années) avec la Technique Nord Américaine (TNA)

Procédure : Entraînement avec la nouvelle Technique Européenne (TE)

IRM fonctionnelle (activité cérébrale) pour 4 conditions :

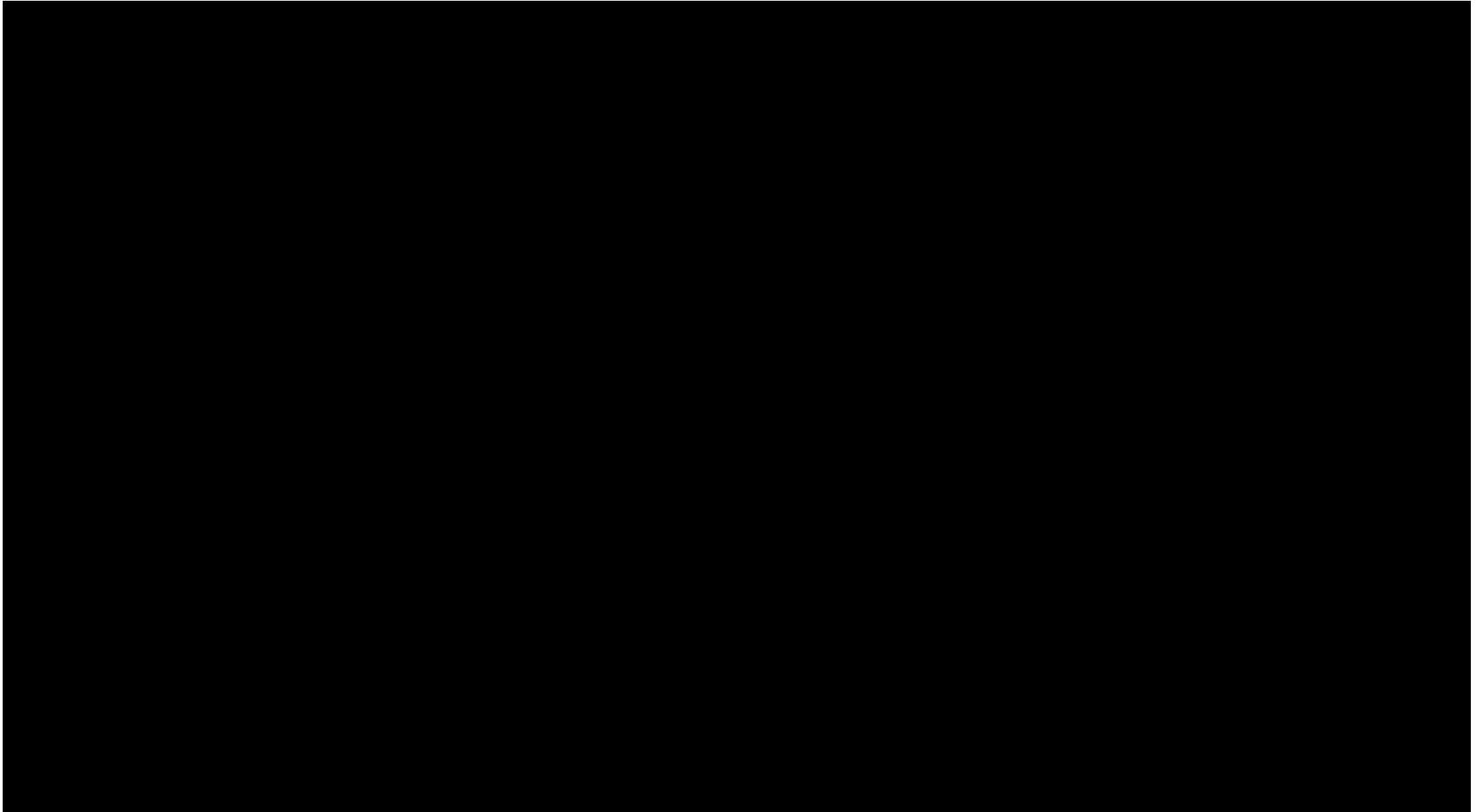
- Ancienne (TNA)
- Nouvelle (TE)
- Contrôle

Doyon et al., 2008, Beh. Brain Res.

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

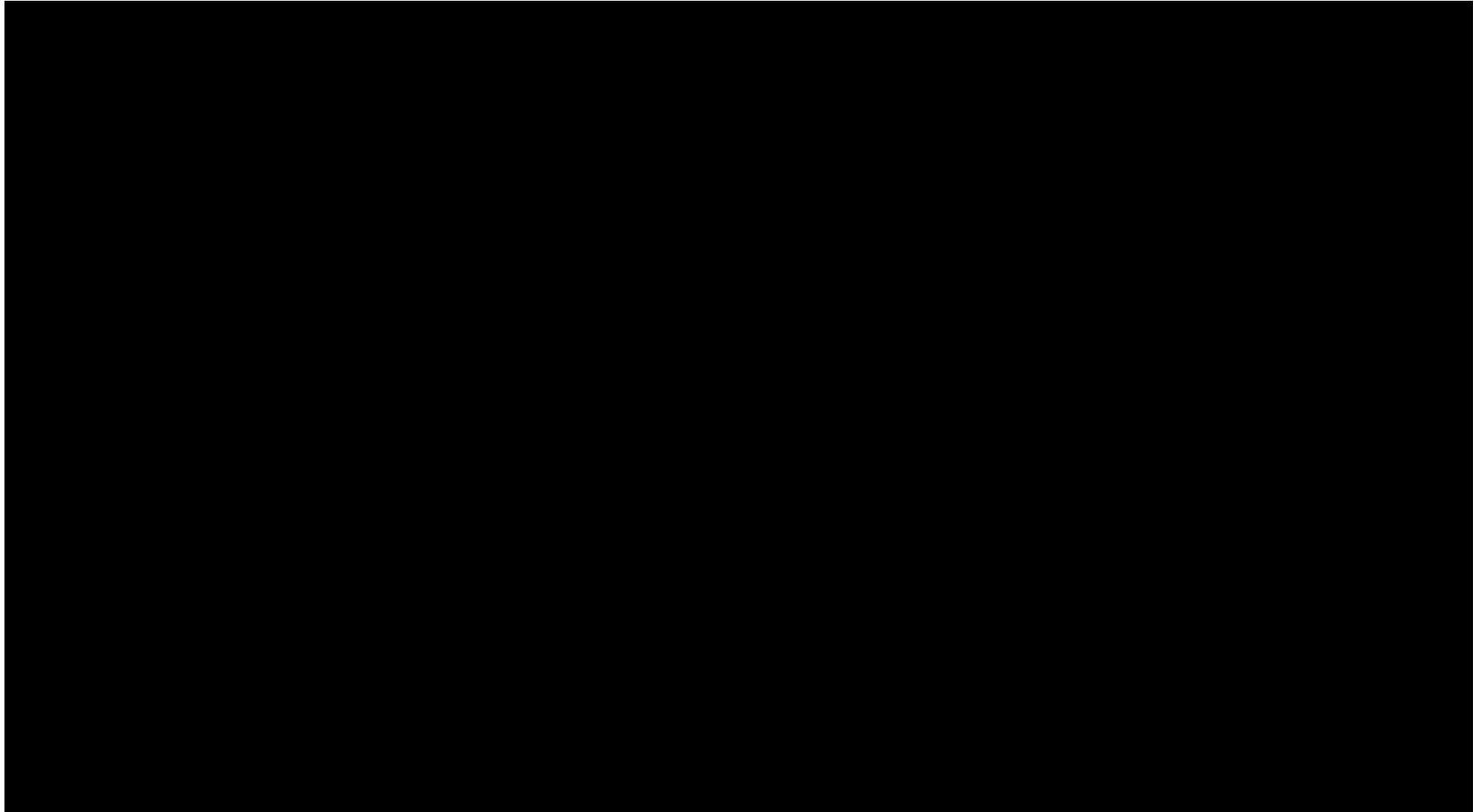
Technique Nord Américaine



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

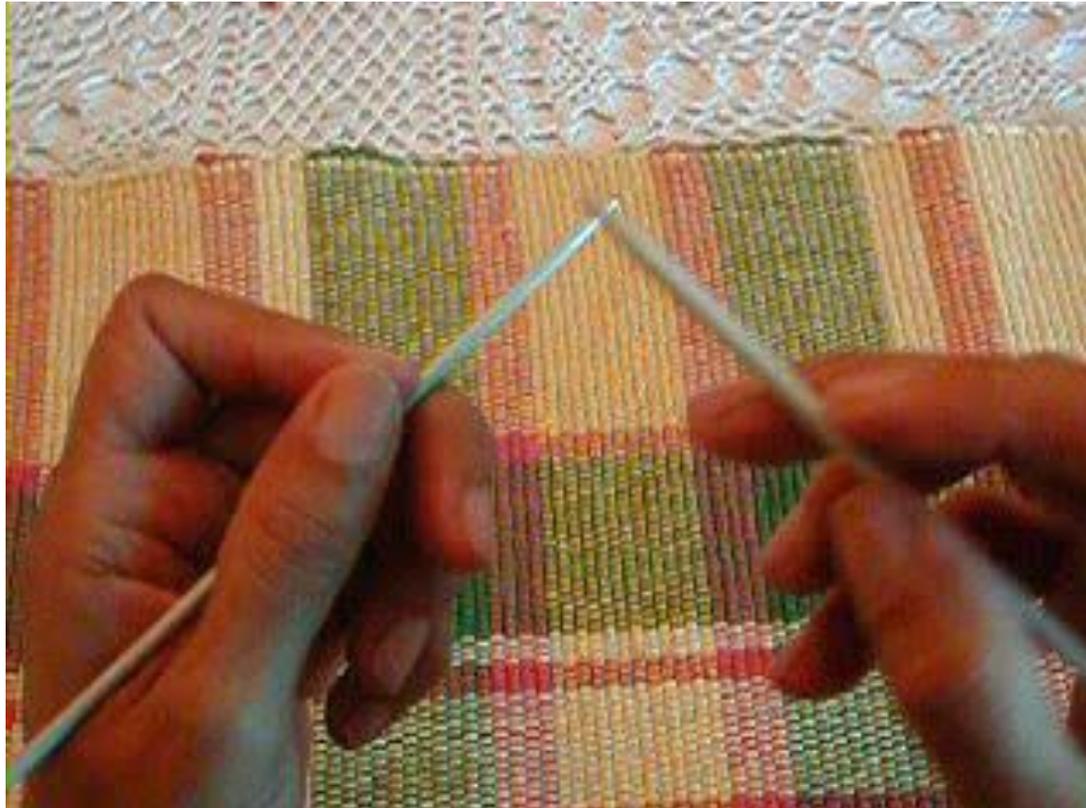
Technique Européenne



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Contrôle

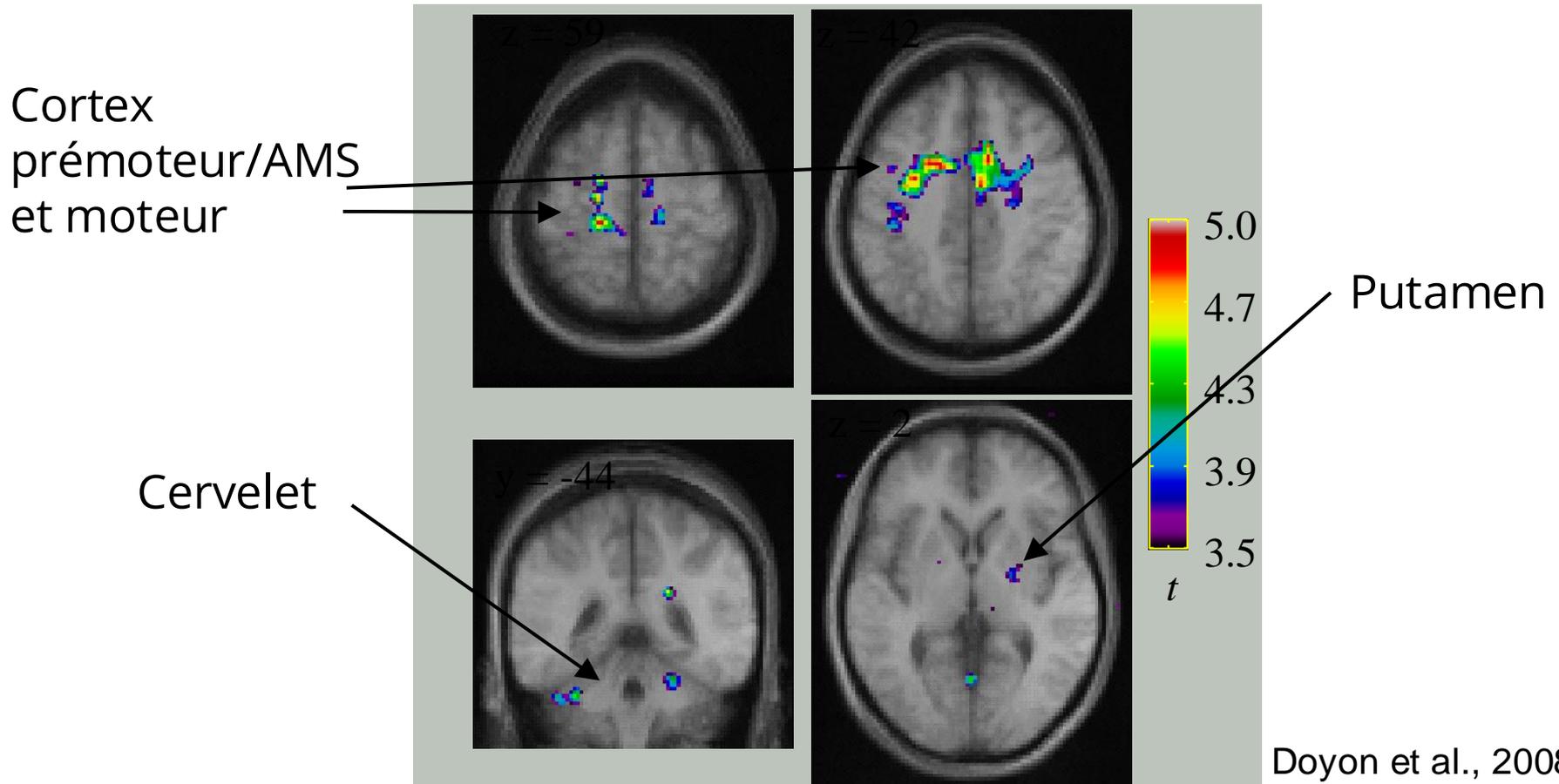


Doyon et al., 2008, Beh. Brain Res.

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Nouvelle technique (acquise) – Condition contrôle

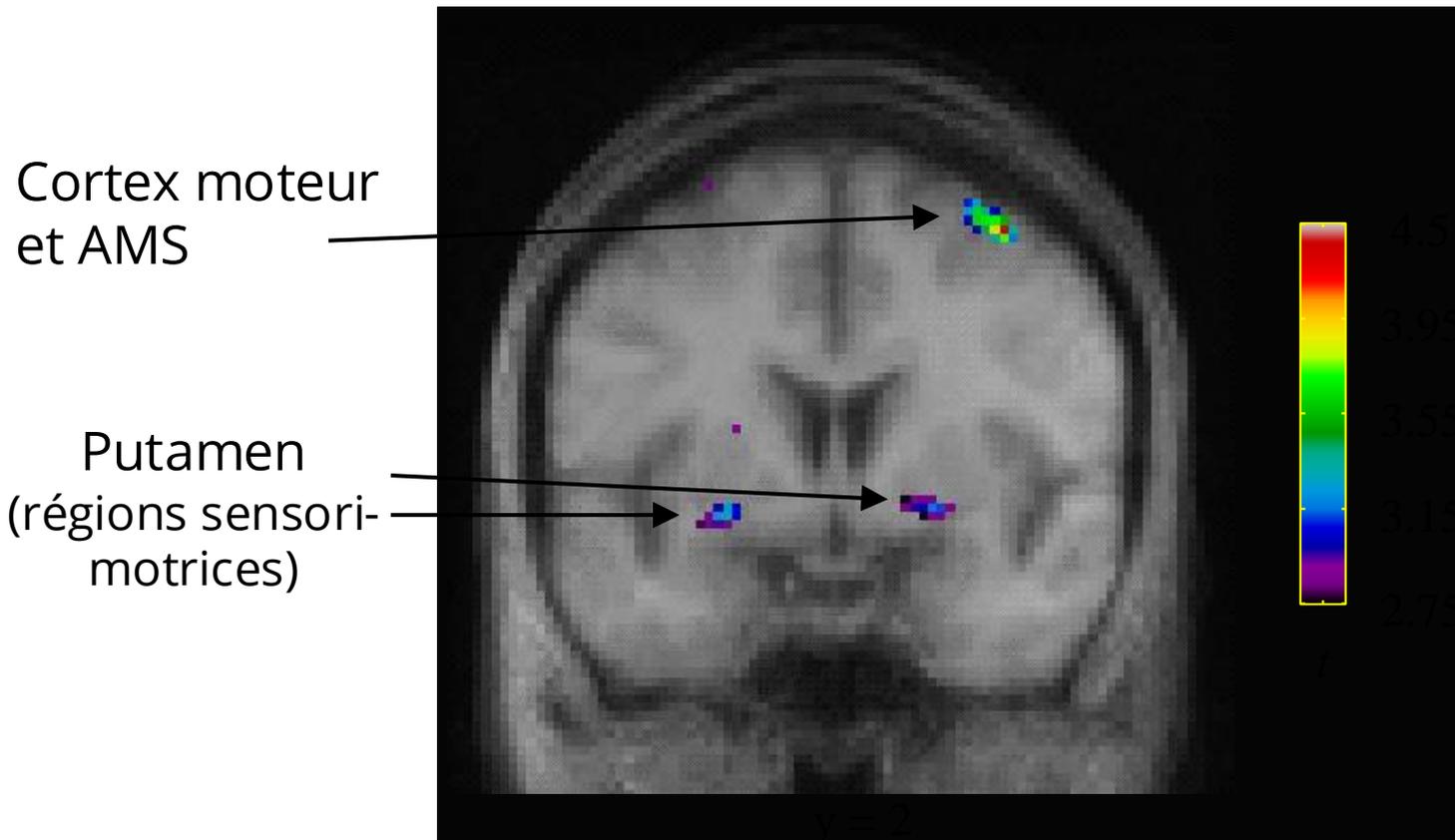


Doyon et al., 2008

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Ancienne technique (automatisée) – Condition contrôle

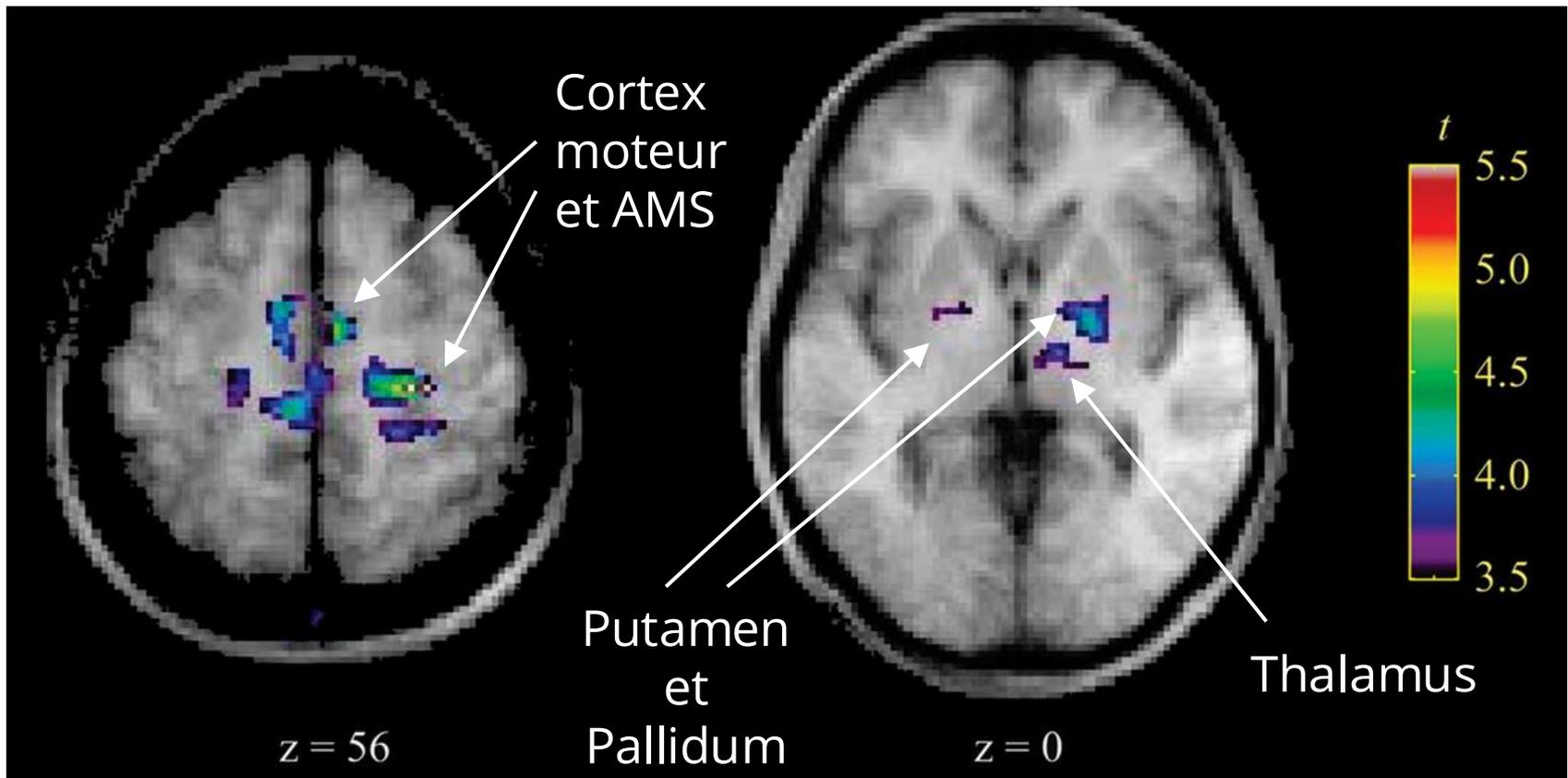


Doyon et al., 2008

Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

Ancienne technique automatisée – Nouvelle technique Européenne



Bases neurobiologiques de l'apprentissage moteur

Séquences motrices

- Interactions entre les boucles cortico-striatale et cortico-cérébelleuse en début d'apprentissage (phase rapide) de séquences de mouvements
- La représentation à long terme d'une séquence motrice automatisée implique majoritairement le système cortico-striatal
- **Plasticité du striatum** : Transfert d'activité de la partie associative (dorsale) du putamen à la partie sensorimotrice (ventrale) du putamen au cours de l'apprentissage et du développement de l'habileté motrice
- **Plasticité du cervelet** : Un transfert d'activité du cortex cérébelleux vers les noyaux profonds (le noyau dentelé en particulier) peut survenir pendant l'apprentissage de séquences motrices