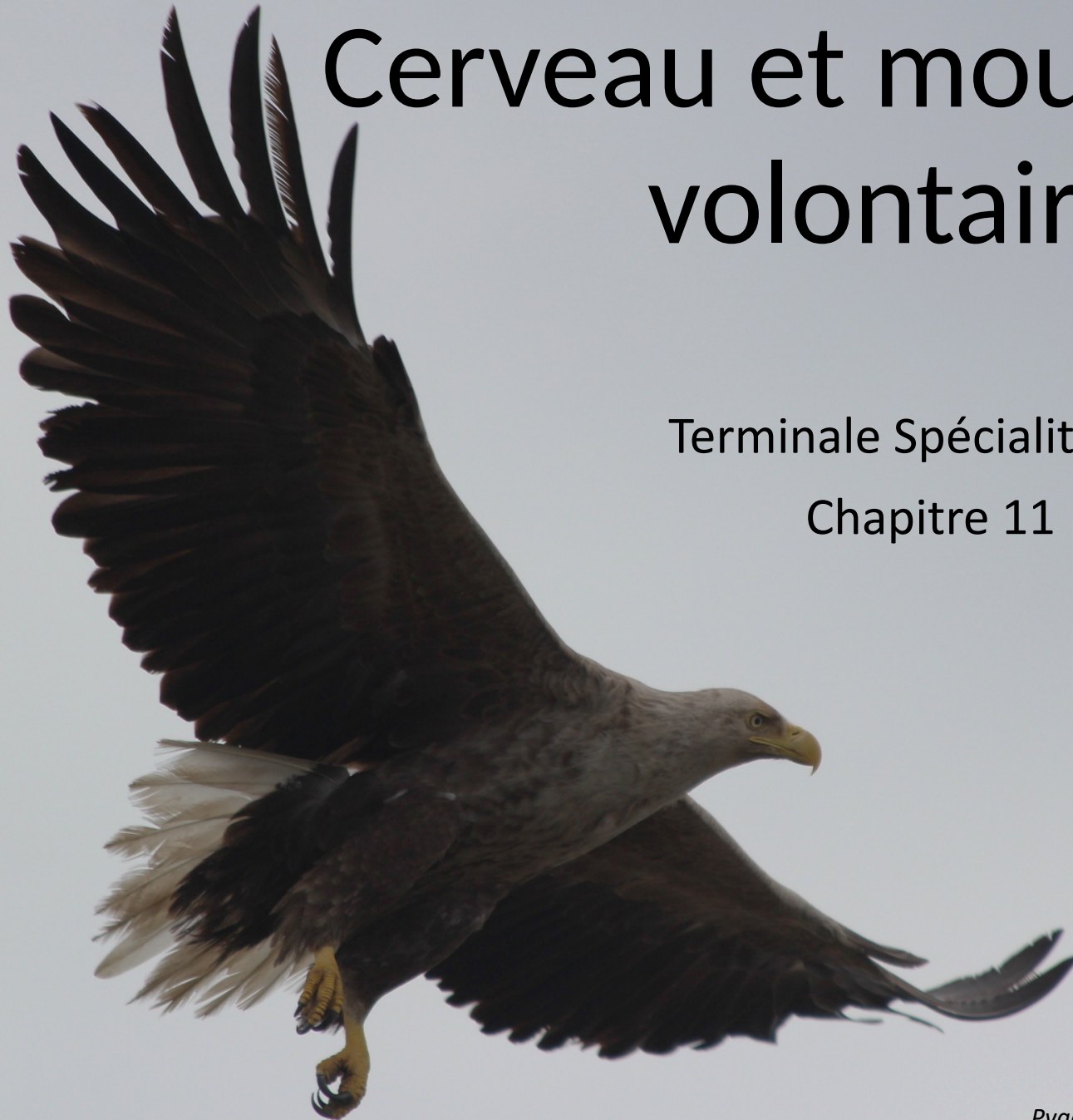


Cerveau et mouvement volontaire

Terminale Spécialité SVT

Chapitre 11



Pygargue au décollage, Hokkaido © P.Baly



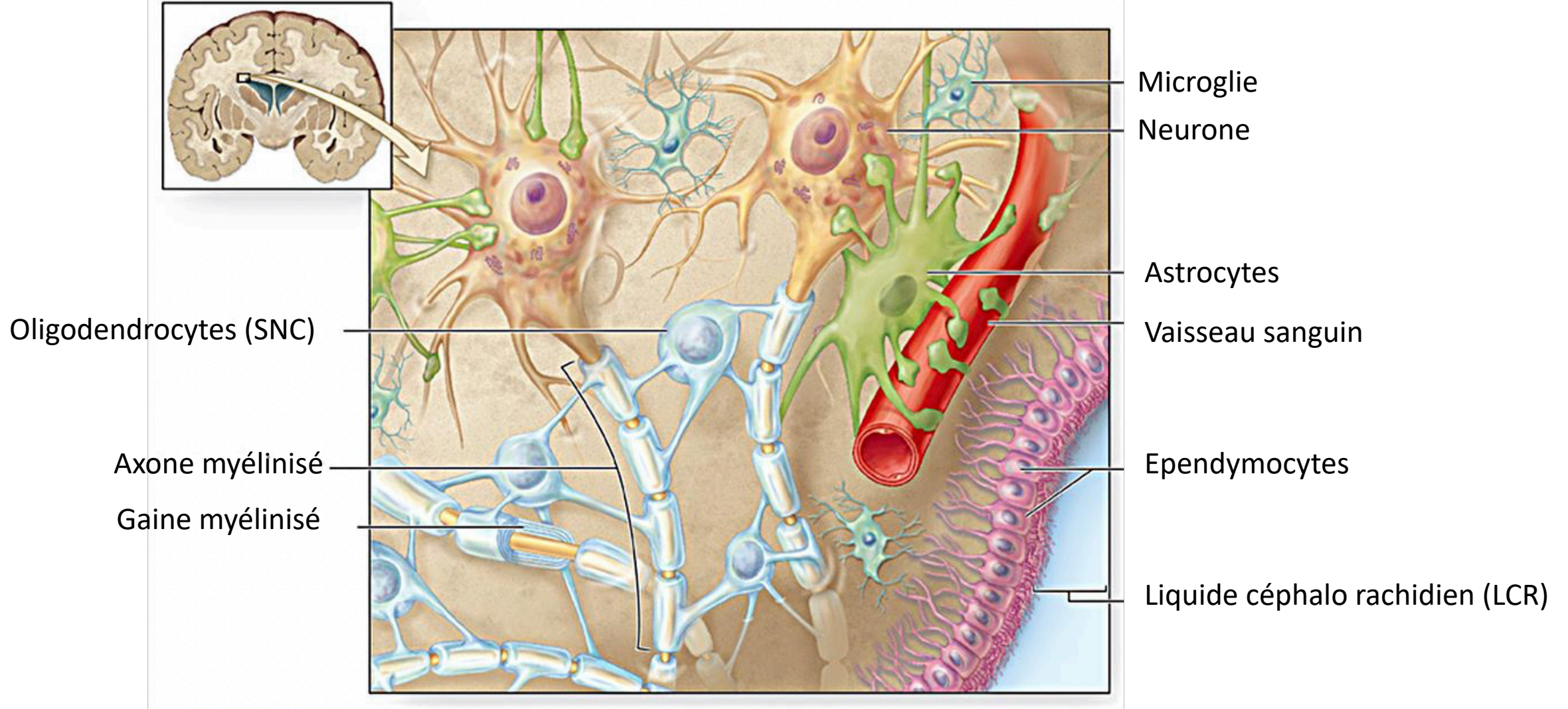
«Cerveau du nommé Lelong âgé de 84 ans. Moitié latérale gauche du cerveau. Cicatrice d'un ancien foyer hémorragique qui a lésé la partie postérieure de la 2e et 3e circonvolution frontale ; aphasie. Professeur Broca (cat. Houel T3, page 276, n° 50). »

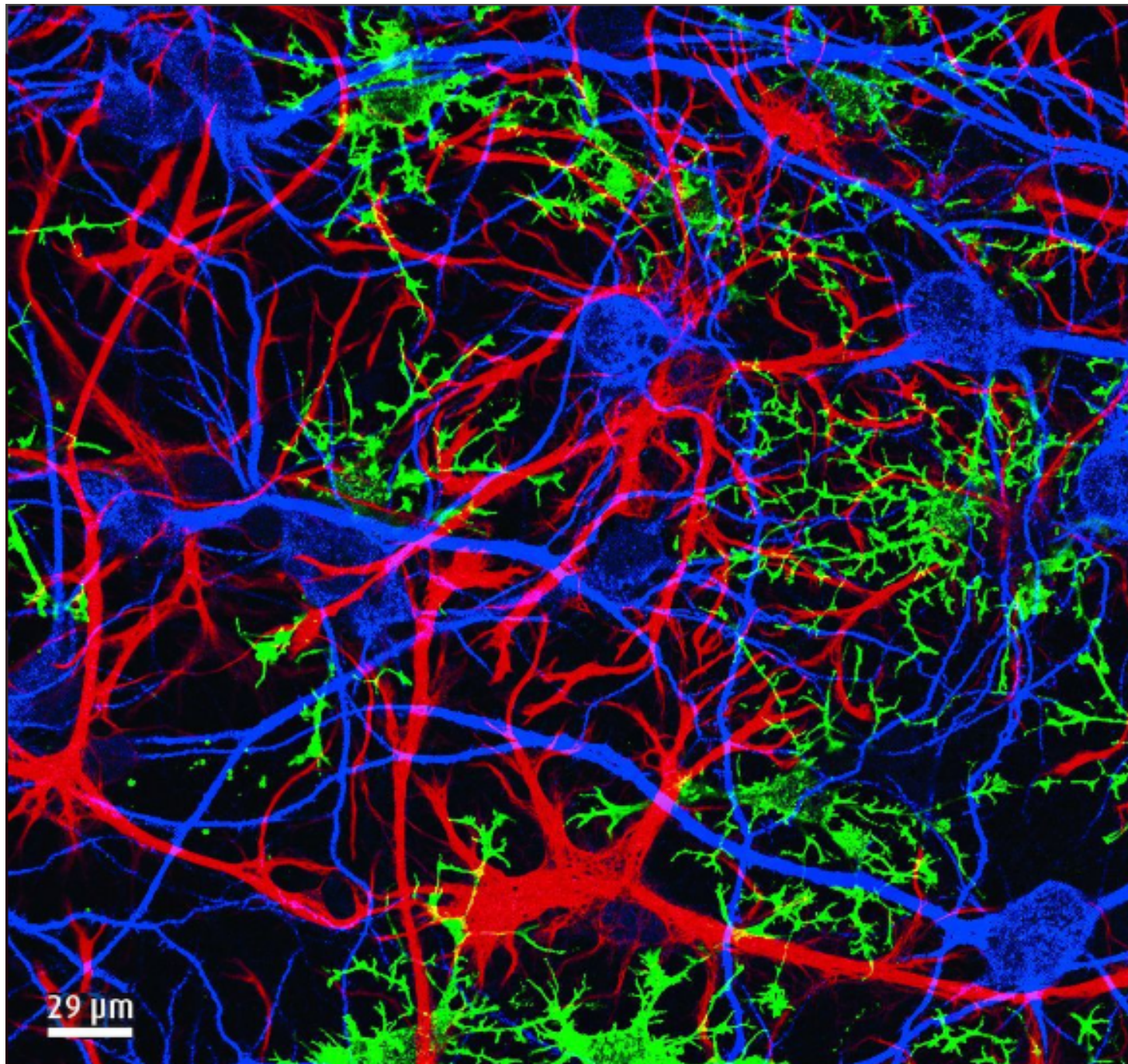
Ces indications figurent sur le bocal contenant le cerveau qui a permis à Broca de découvrir que l'aire dite de Broca est celle du langage articulé.

© Musée Dupuytren

Les cellules gliales

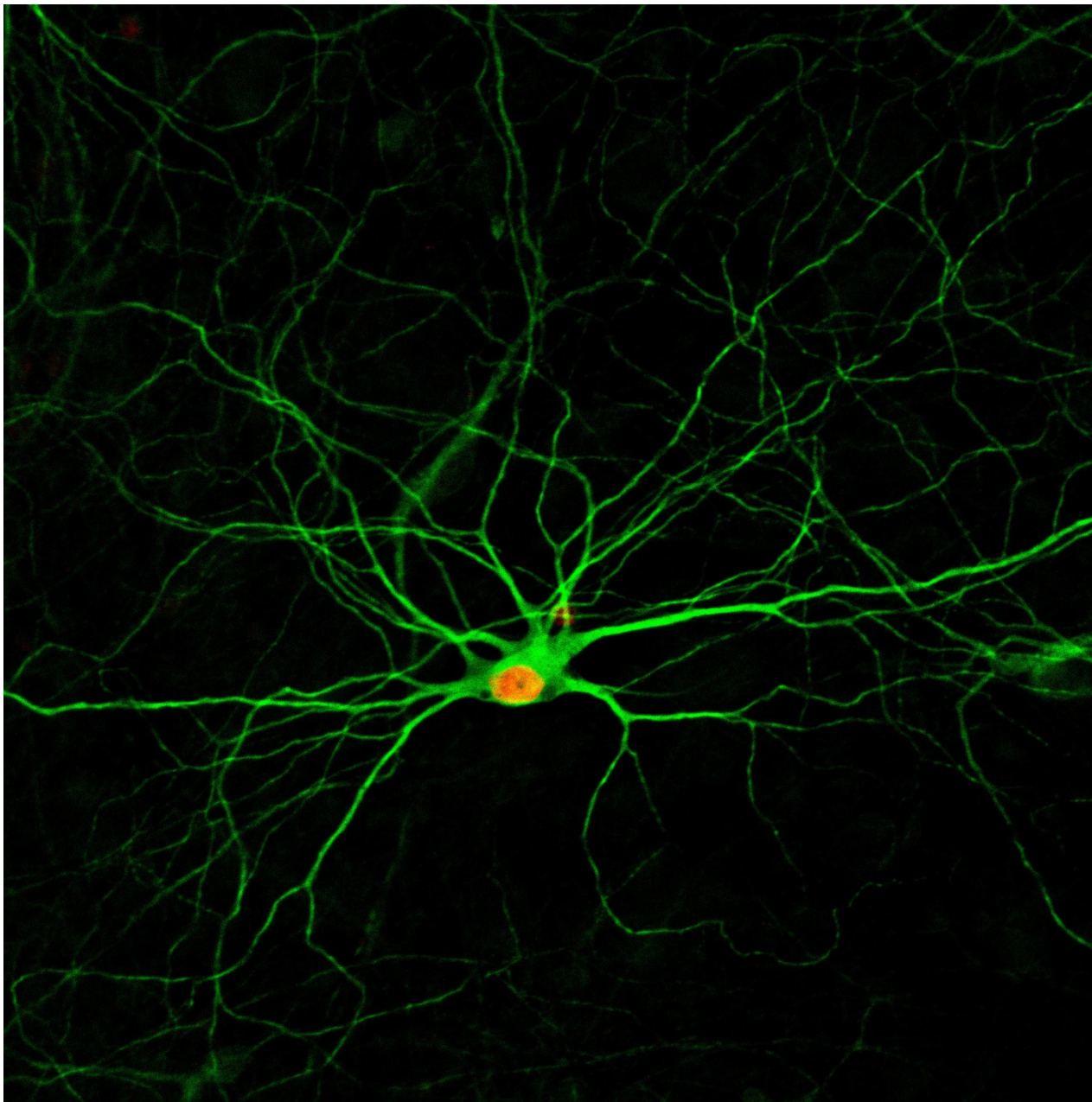
(schéma pas à apprendre)





Coupe dans un cerveau de rat observé au microscope optique à fluorescence et schéma interprétatif

On observe trois types de cellules : les **neurones** (en bleu), les **astrocytes** (en rouge) et les **oligodendrocytes** (en vert). Astrocytes et oligodendrocytes sont des cellules dites **gliales**. Celles-ci n'ayant pas d'activité électrique, elles ont été peu étudiées jusque récemment.



Photographie d'un
astrocyte au MO

Le fonctionnement du cerveau résulte donc d'interactions permanentes et harmonieuses entre tous ces acteurs, permettant par exemple la réalisation de mouvements très précis.

Comment les mouvements volontaires sont-ils élaborés au sein du cerveau ?
Comment le contrôle des mouvements se modifie-t-il au cours du temps ?

Plan du chapitre

I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs

B) Des aires cérébrales spécialisées

C) Les voies motrices : du cortex aux muscles

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

A) Diversité des terminaisons synaptiques

B) Sommation et intégration des messages nerveux

C) Des réponses motrices intégrées

III) La plasticité cérébrale

A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie

B) Les capacités de récupération du cerveau

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

Plan du chapitre

I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs

B) Des aires cérébrales spécialisées

C) Les voies motrices : du cortex aux muscles

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

A) Diversité des terminaisons synaptiques

B) Sommation et intégration des messages nerveux

C) Des réponses motrices intégrées

III) La plasticité cérébrale

A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie

B) Les capacités de récupération du cerveau

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs



<https://centre-medical-auber.fr/content/irm>

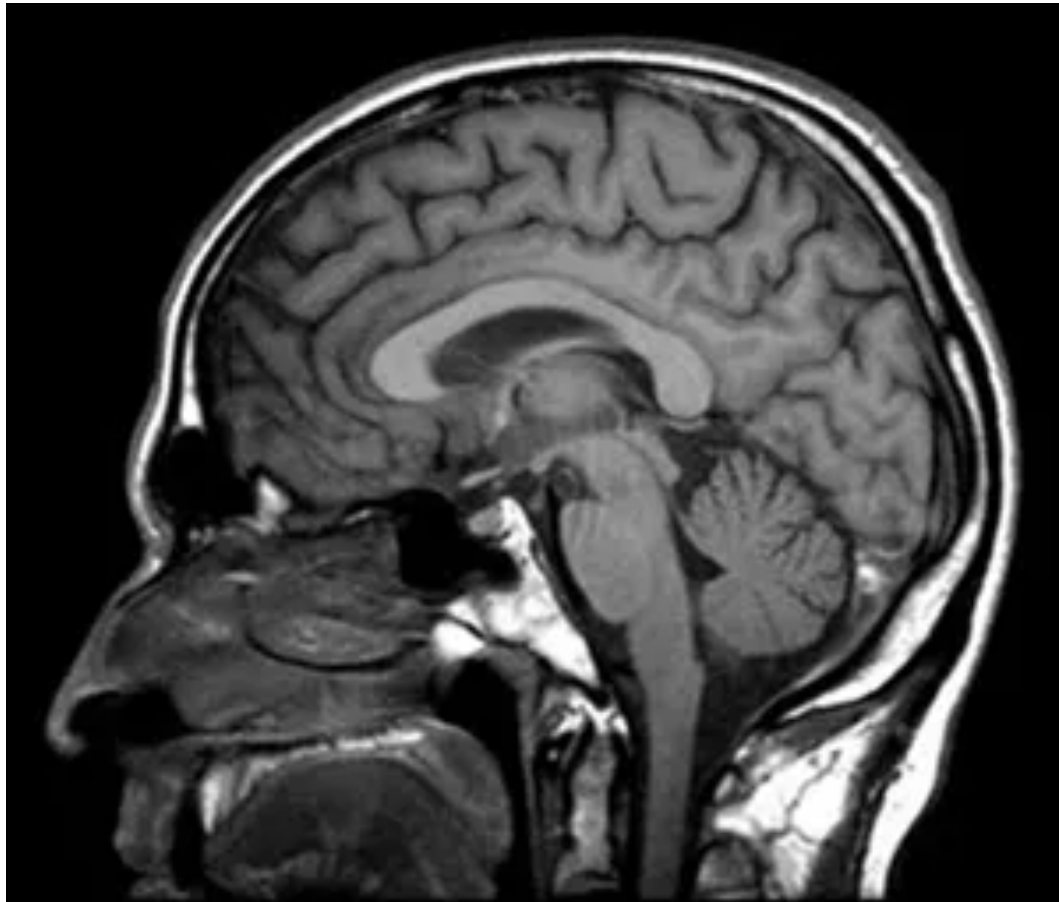


<https://www.doctissimo.fr/html/sante/imagerie/irm.htm>

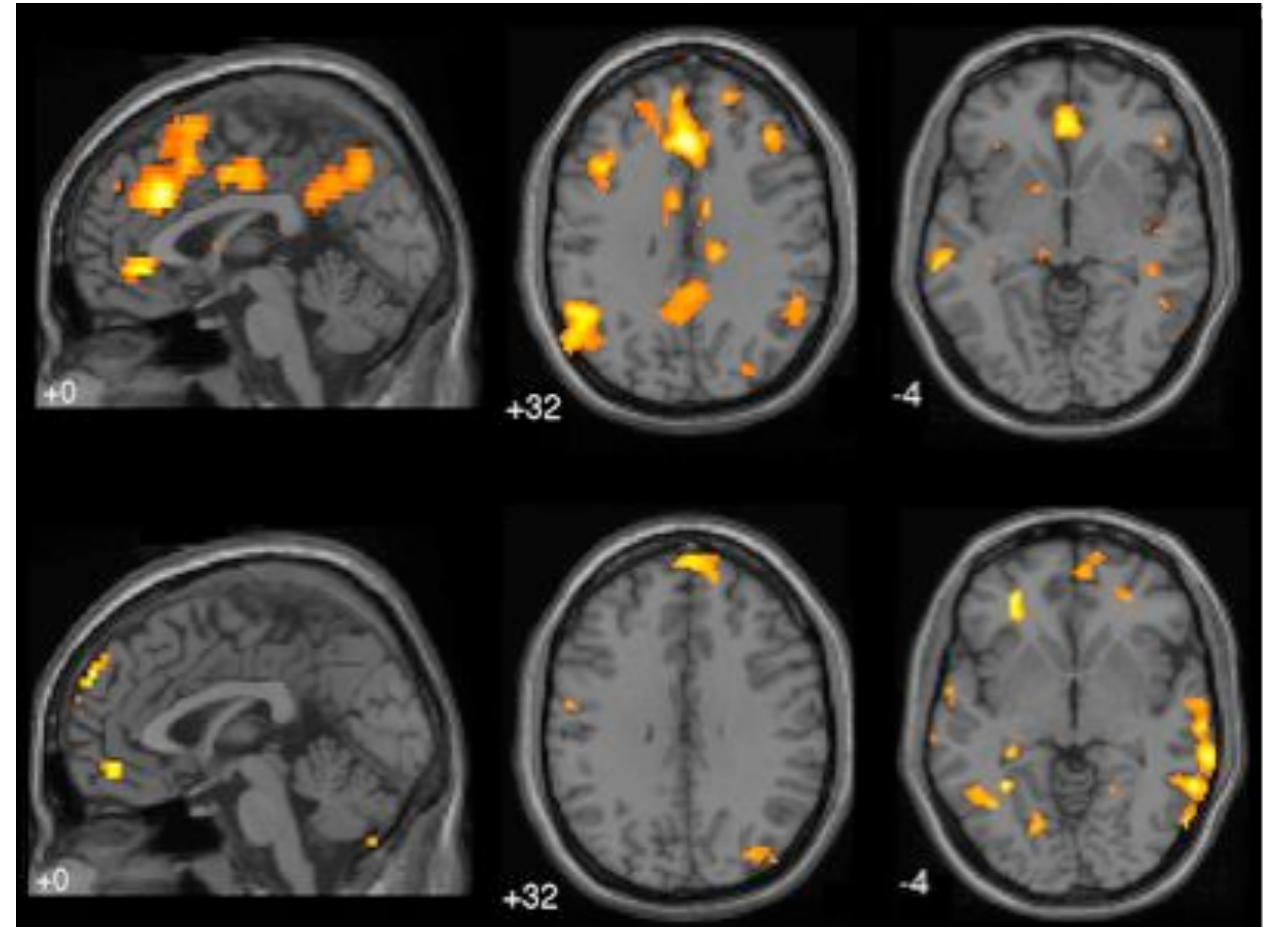
I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs

Coupe sagittale de cerveau humain obtenue en IRM anatomique.



IRM fonctionnelle d'un cerveau en train de rêvasser

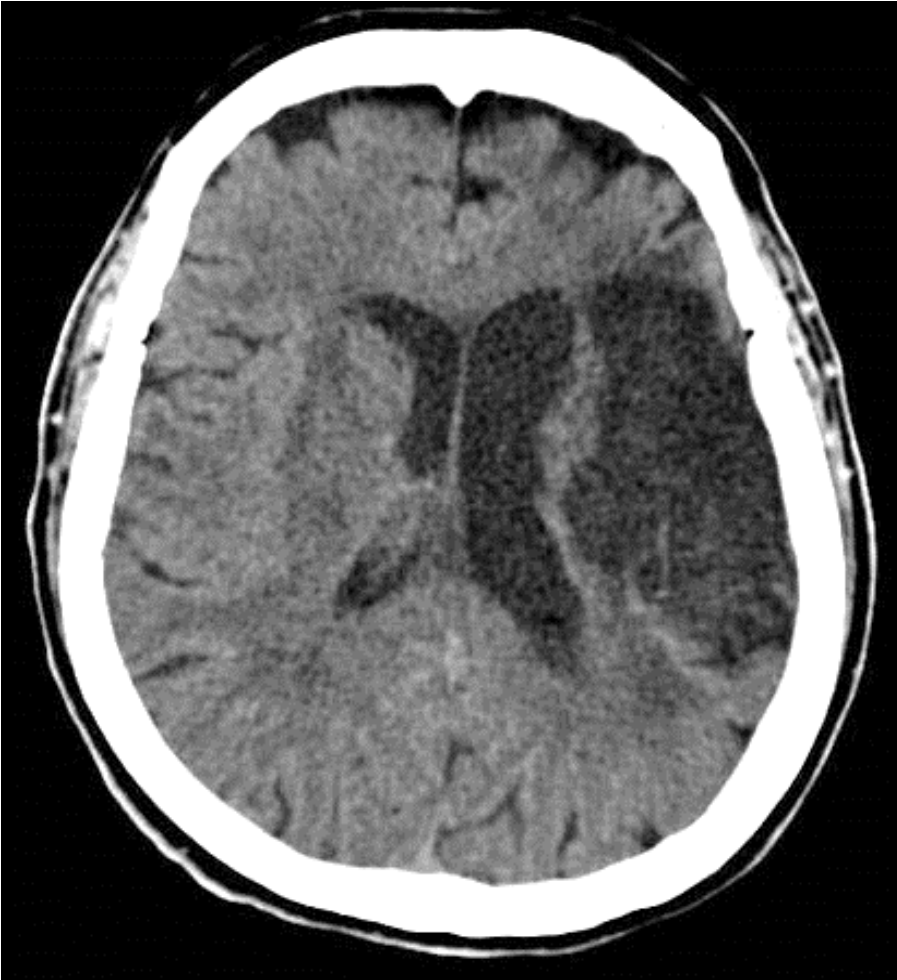


<http://www.lebardessciences.com/2009/05/cerveau-booste-en-revassant/>

I) De la volonté au mouvement

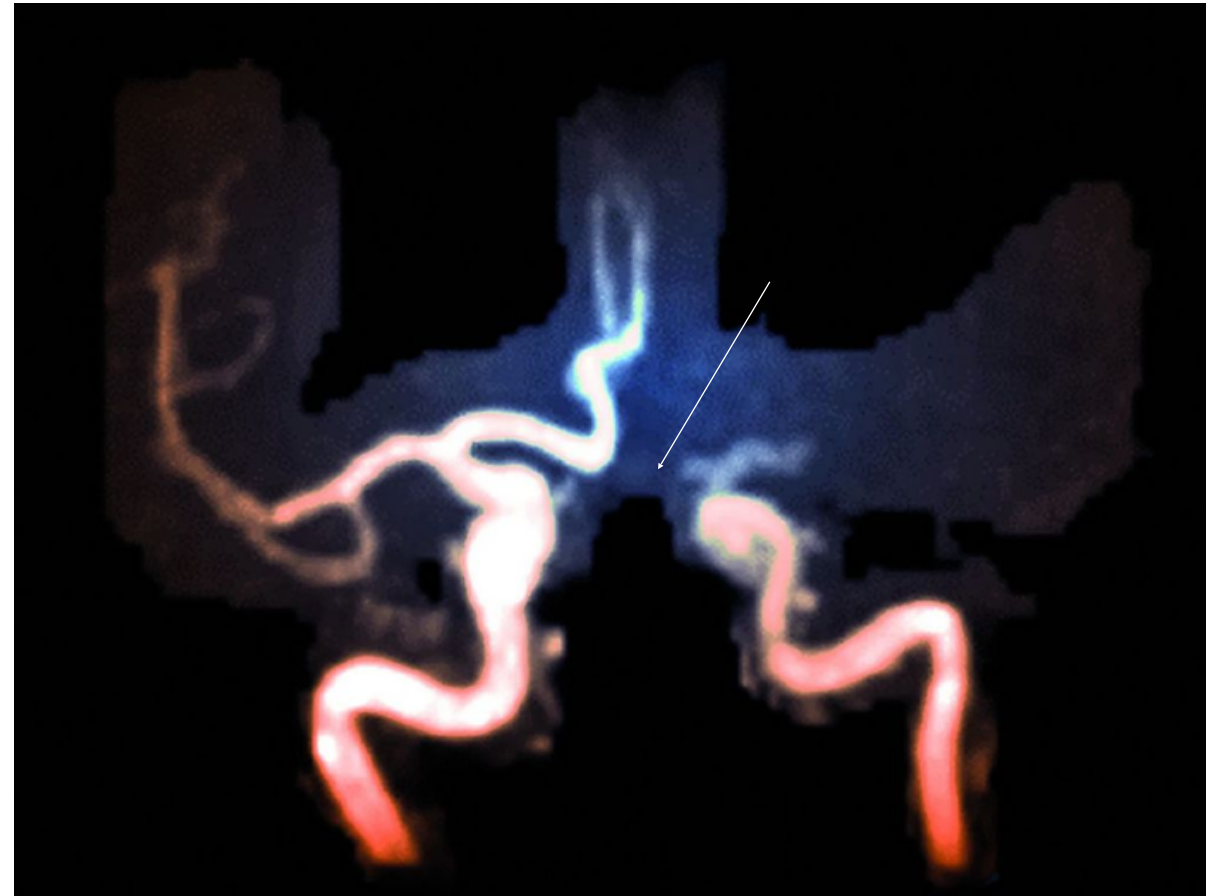
A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs

Séquelle d'AVC ischémique sylvien droit



<https://urgences-serveur.fr/prise-en-charge-des-avc-au-sau,36.html>

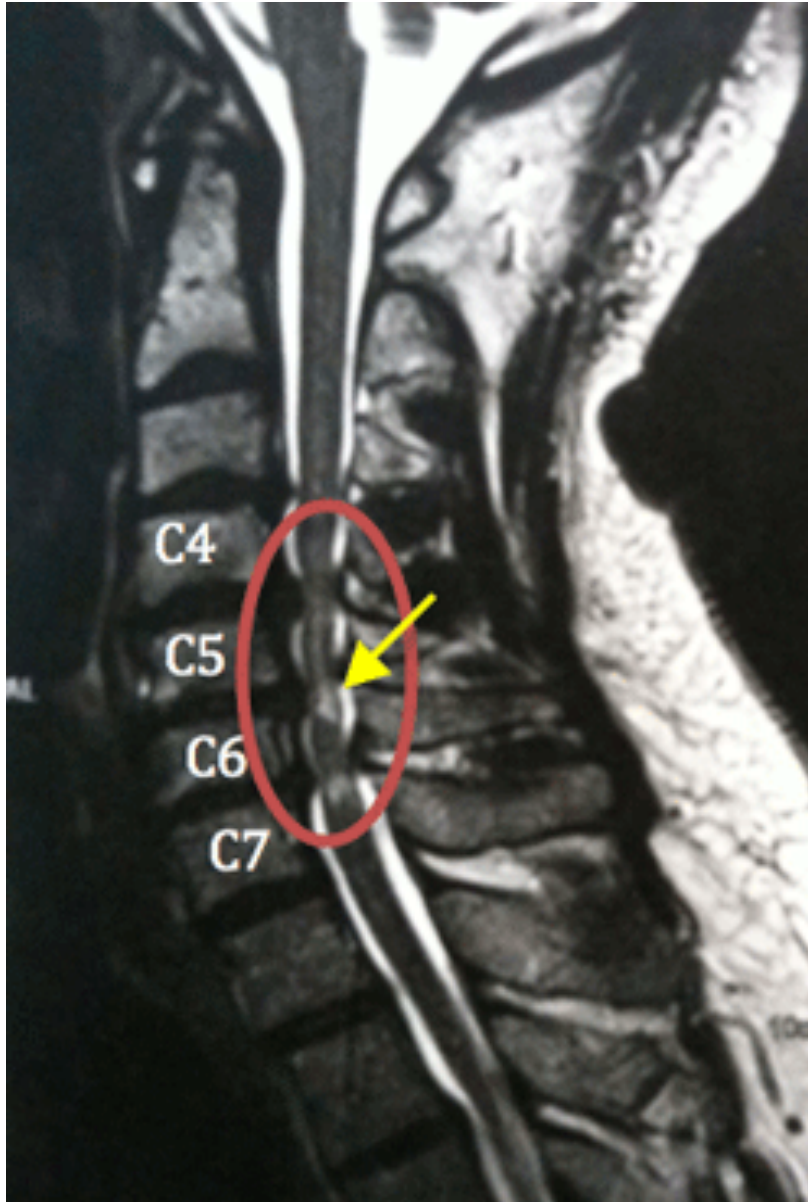
ARM (= Angio IRM) après injection d'un produit de contraste (Ga)



Occlusion de l'artère sylvienne gauche

I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs



Coupe sagittale d'IRM :

la myélopathie apparaît sous la forme d'un hypersignal centro-médullaire (tâche claire au sein de la moelle épinière pointée par la flèche jaune) en regard du segment le plus rétréci du canal cervical (ici en C4-C5, C5-C6 et C6-C7, entourés par le cercle rouge)

I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs

Exemple d'une image IRM de la moelle épinière cervicale montrant une fracture au niveau des vertèbres C6-C7.



<https://amecq.ca/2019/05/15/yann-mathieu-et-son-accident-de-parcours/>

https://www.researchgate.net/figure/Exemple-dune-image-IRM-de-la-moelle-epiniere-cervicale-montrant-une-fracture-au-niveau_fig1_318380050

I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs



Hernie discale L5-S1 sur une IRM en coupe sagittale.

Plan du chapitre

I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs

B) Des aires cérébrales spécialisées

C) Les voies motrices : du cortex aux muscles

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

A) Diversité des terminaisons synaptiques

B) Sommation et intégration des messages nerveux

C) Des réponses motrices intégrées

III) La plasticité cérébrale

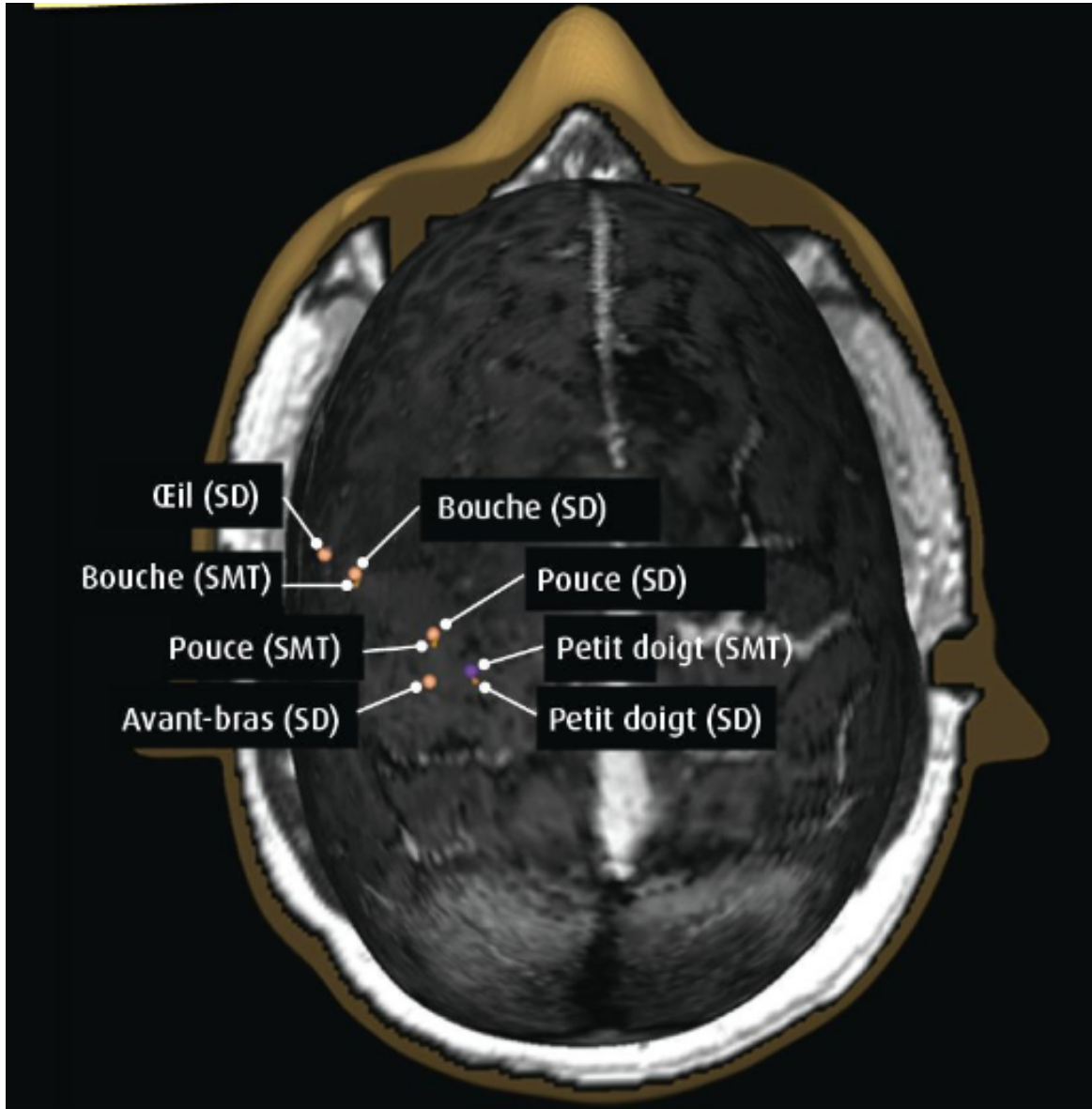
A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie

B) Les capacités de récupération du cerveau

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

I) De la volonté au mouvement

B) Des aires cérébrales spécialisées

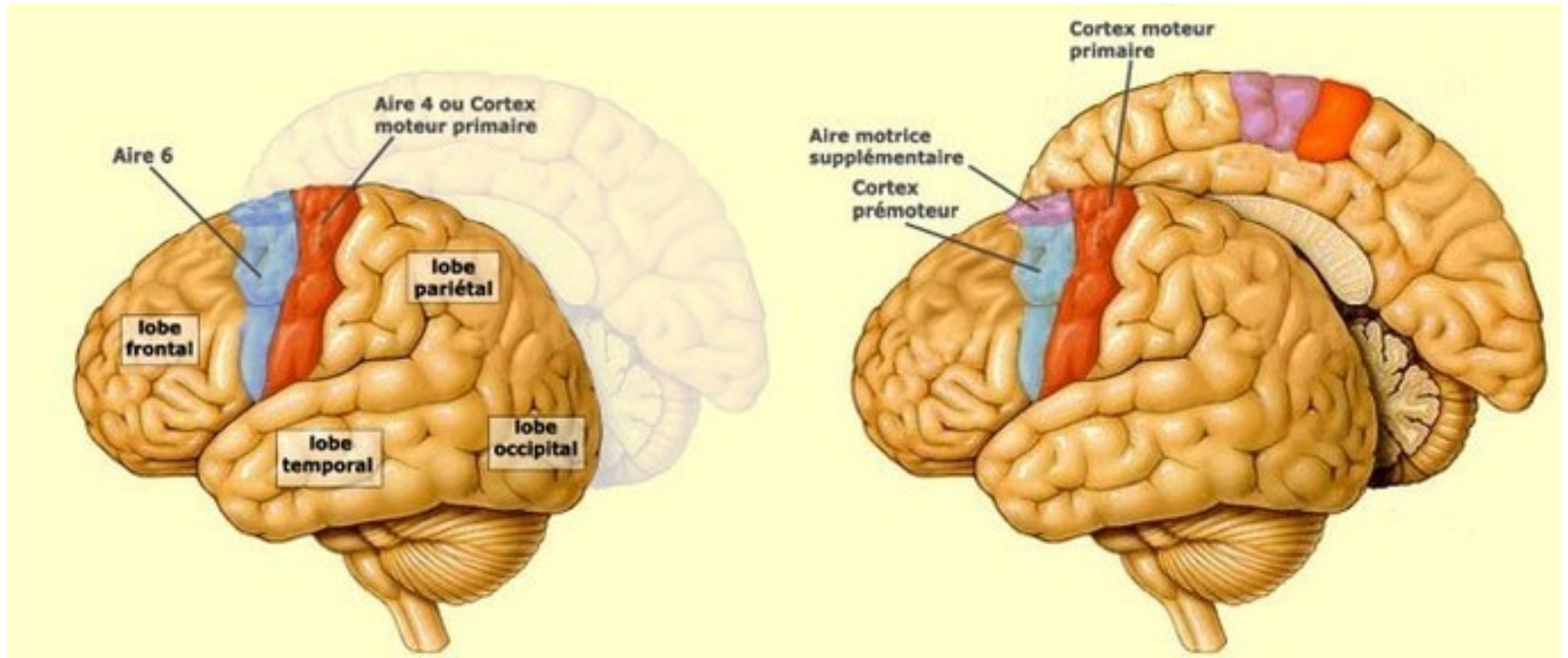


Localisation d'aires impliquées dans la mobilité volontaire de divers organes

Ces zones ont été identifiées soit par stimulation magnétique transcrânienne (SMT = application d'une impulsion électromagnétique qui stimule les neurones dans la zone sous-jacente du cortex cérébral), soit par stimulation directe (SD) du cortex à l'occasion d'opérations chirurgicales

I) De la volonté au mouvement

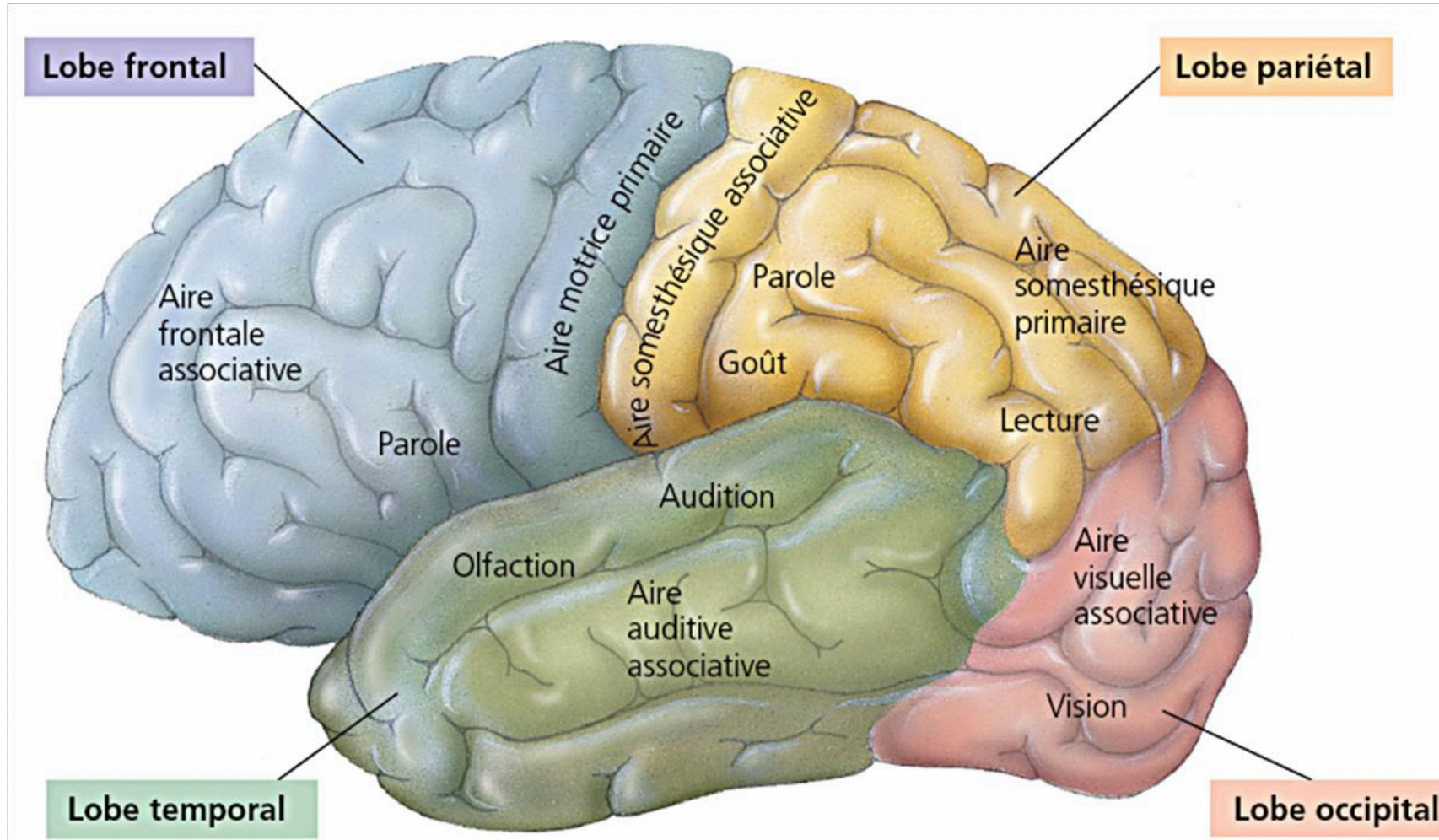
B) Des aires cérébrales spécialisées



Localisation des aires impliquées dans la motricité

I) De la volonté au mouvement

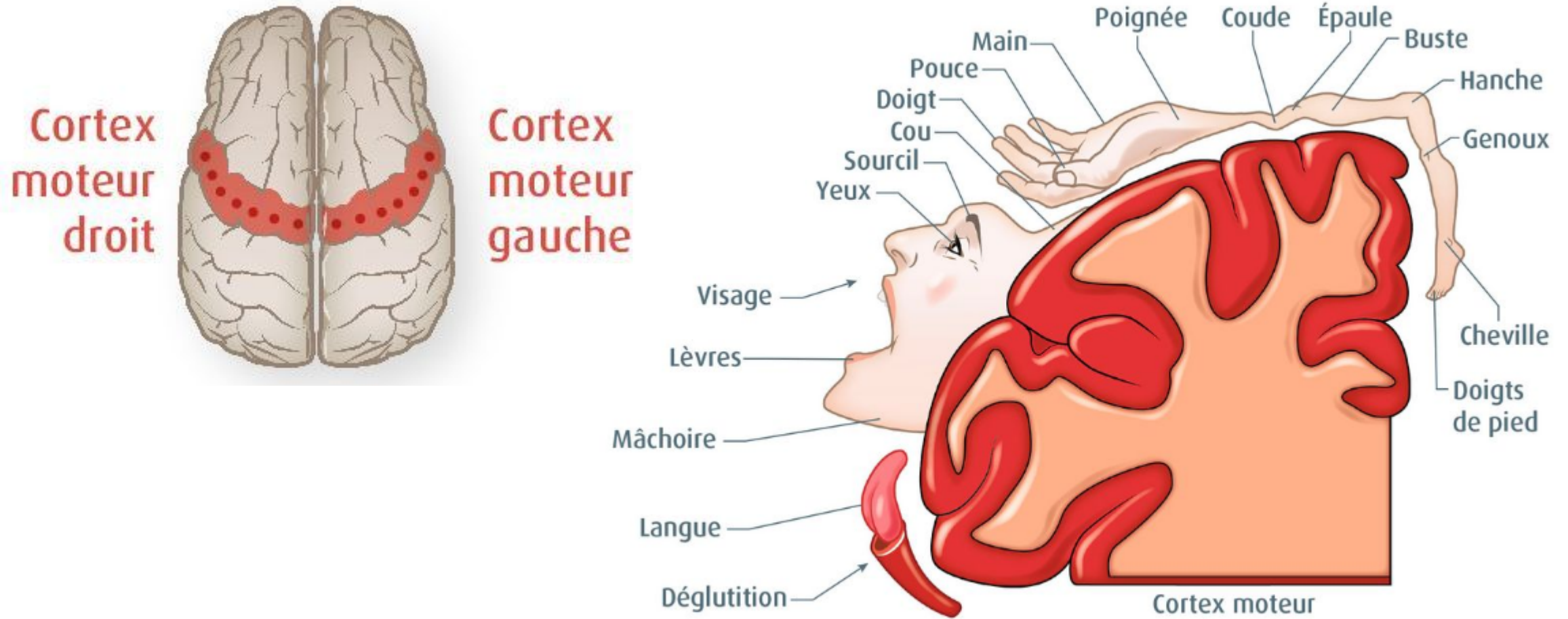
B) Des aires cérébrales spécialisées



I) De la volonté au mouvement

B) Des aires cérébrales spécialisées

La carte motrice cérébrale et l'homonculus



I) De la volonté au mouvement

B) Des aires cérébrales spécialisées

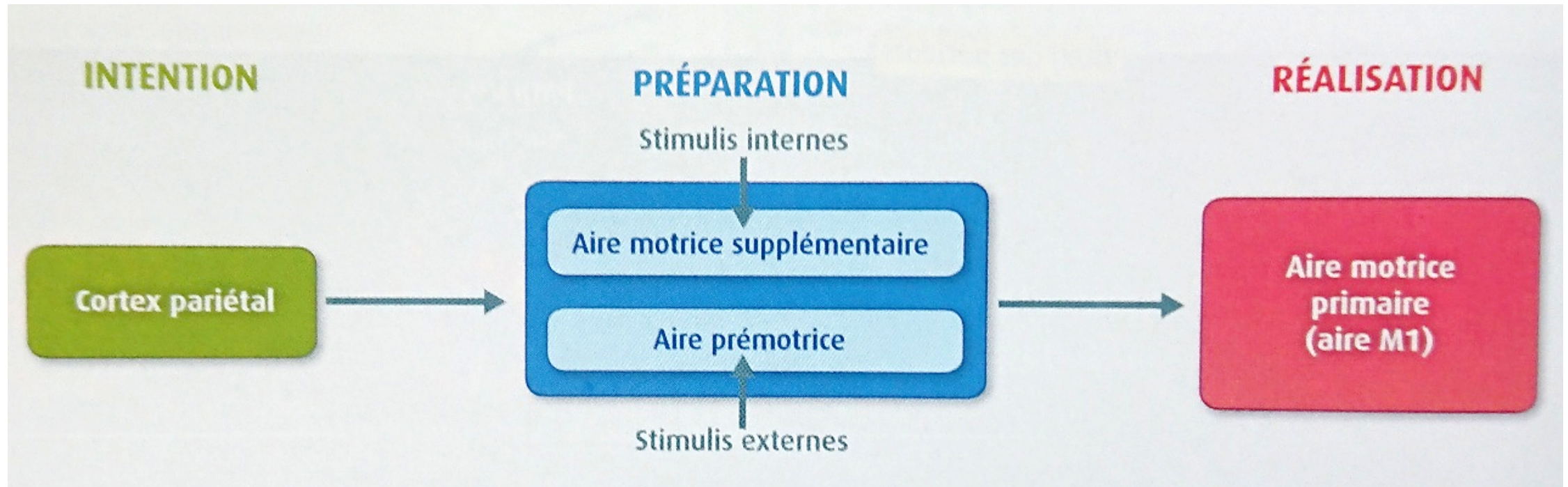


L'homonculus moteur humain

L'homonculus moteur est un humain dont les différentes parties du corps ont une surface proportionnelle à la surface des zones de l'aire motrice qui contrôlent leurs mouvements.

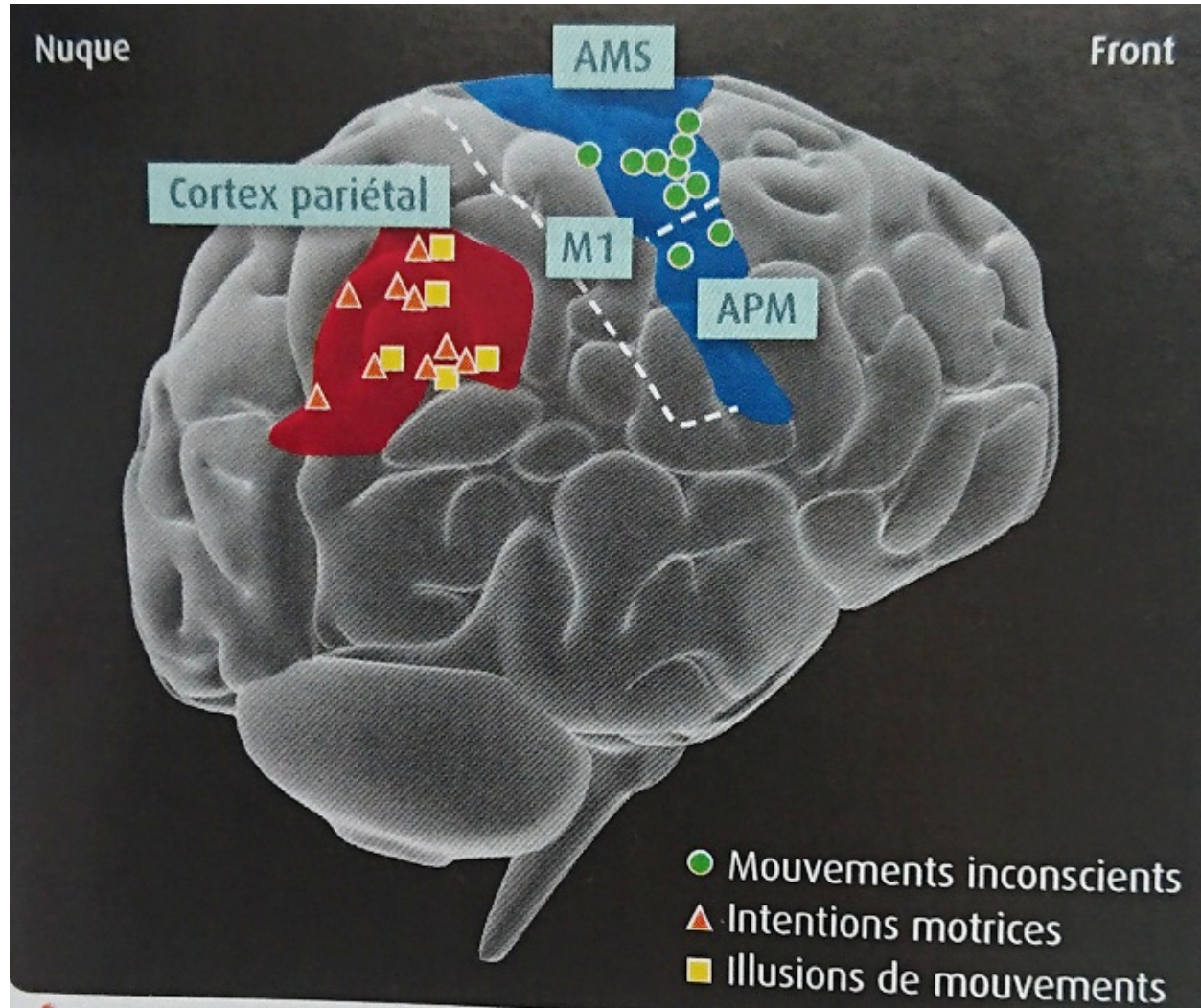
- I) De la volonté au mouvement
- B) Des aires cérébrales spécialisées

Collaboration entre les aires corticales dans la commande du mouvement



I) De la volonté au mouvement

B) Des aires cérébrales spécialisées



Collaboration entre les aires corticales dans la commande du mouvement

Plan du chapitre

I) De la volonté au mouvement

A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs

B) Des aires cérébrales spécialisées

C) Les voies motrices : du cortex aux muscles

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

A) Diversité des terminaisons synaptiques

B) Sommation et intégration des messages nerveux

C) Des réponses motrices intégrées

III) La plasticité cérébrale

A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie

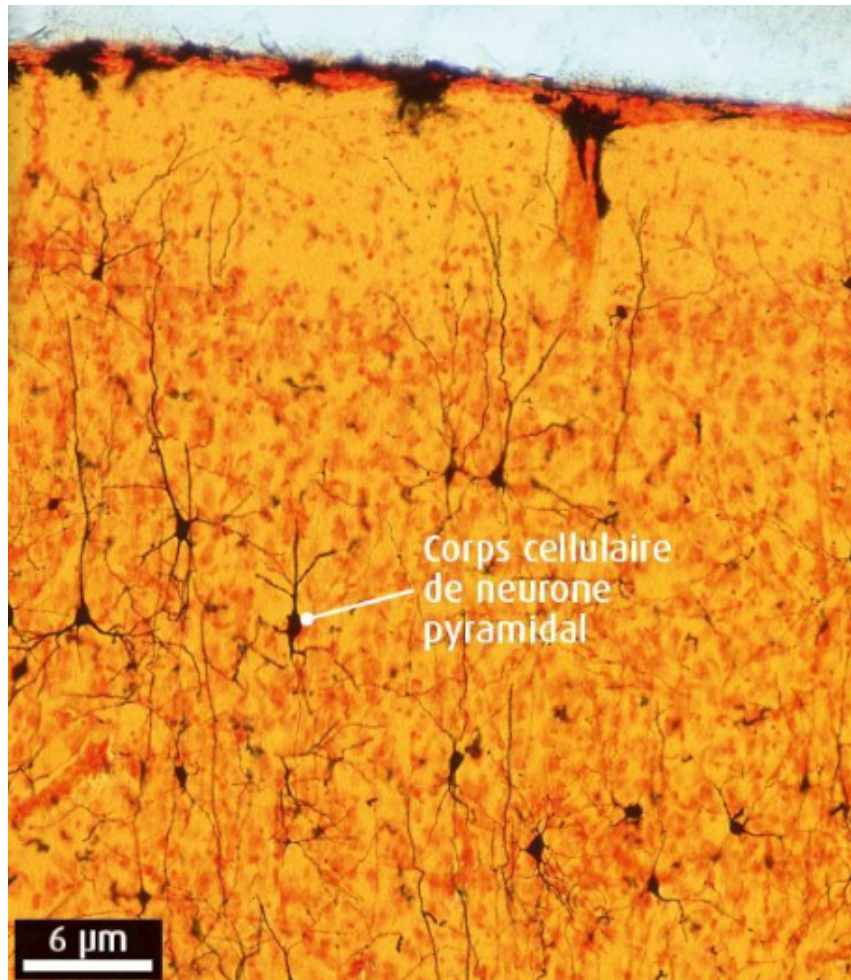
B) Les capacités de récupération du cerveau

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

I) De la volonté au mouvement

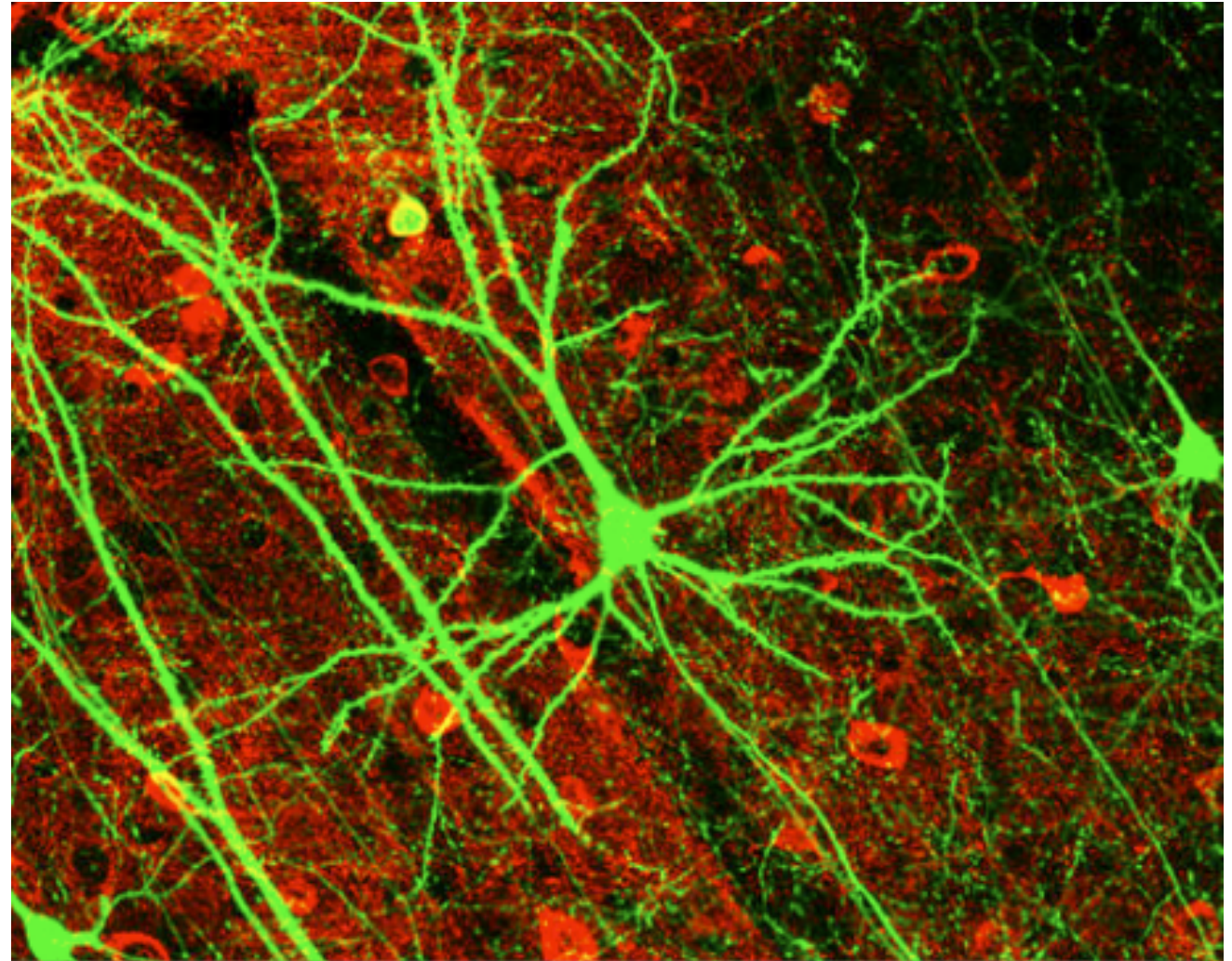
C) Les voies motrices : du cortex aux muscles

Coupe du cortex cérébral au microscope optique



D'après Manuel de Terminale, Spécialité SVT, Belin (p.404)

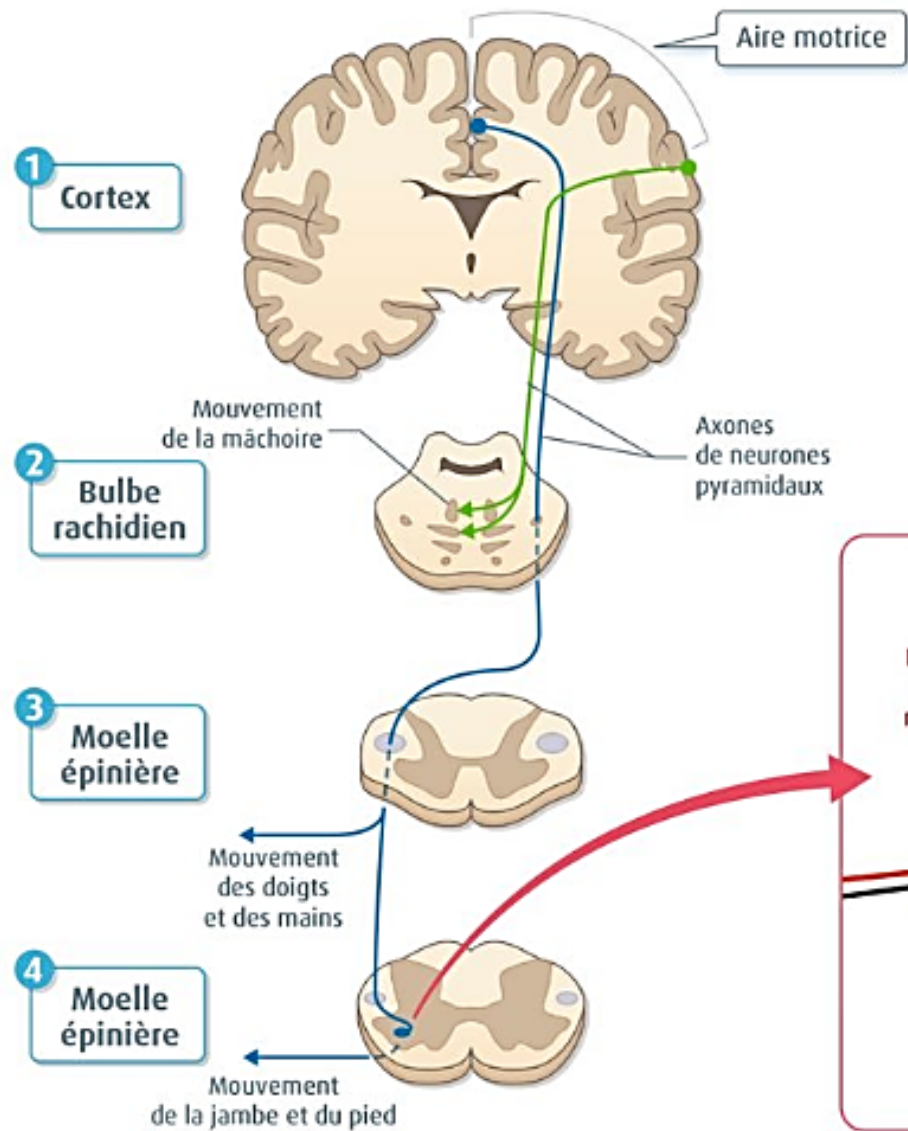
Neurone pyramidal visualisé grâce à la protéine fluorescente verte.



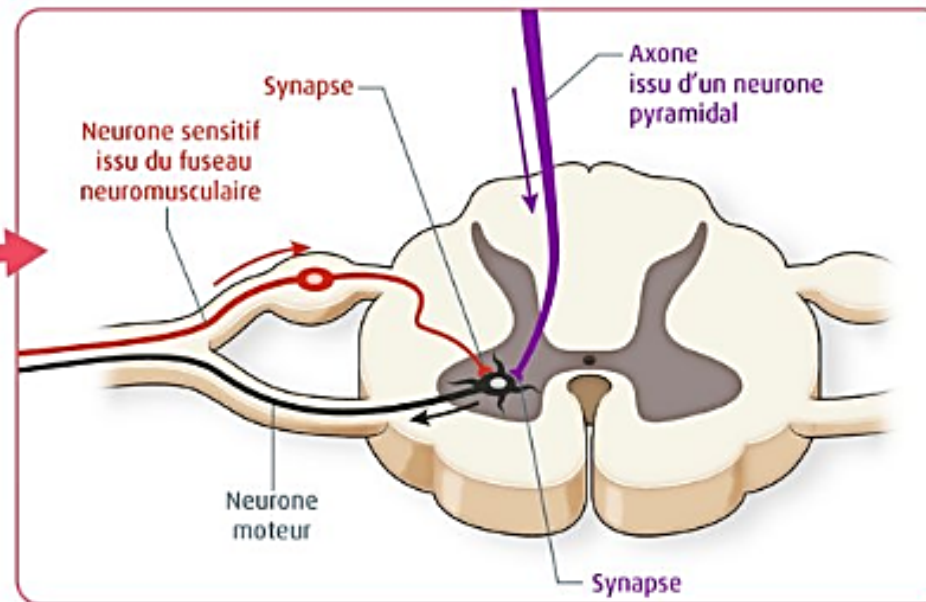
https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_pyramidale

I) De la volonté au mouvement

C) Les voies motrices : du cortex aux muscles



Le trajet de différents neurones pyramidaux



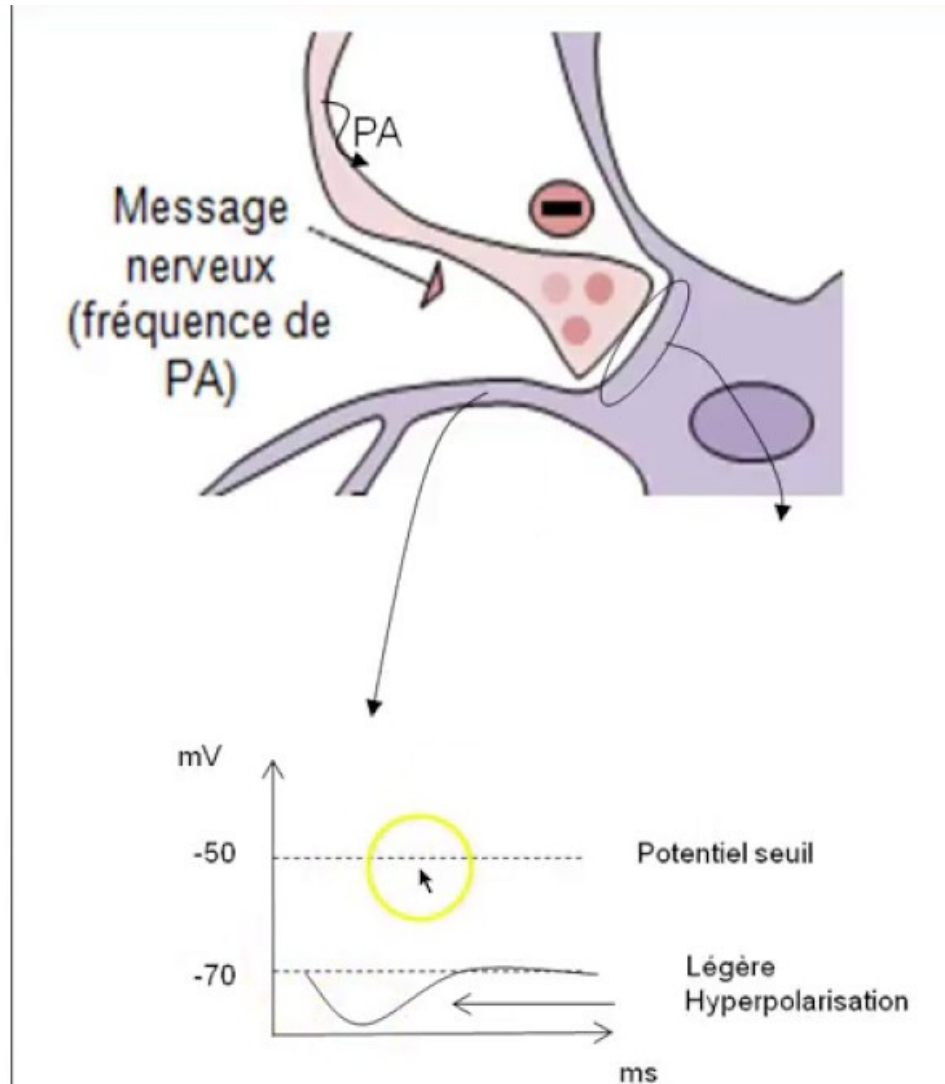
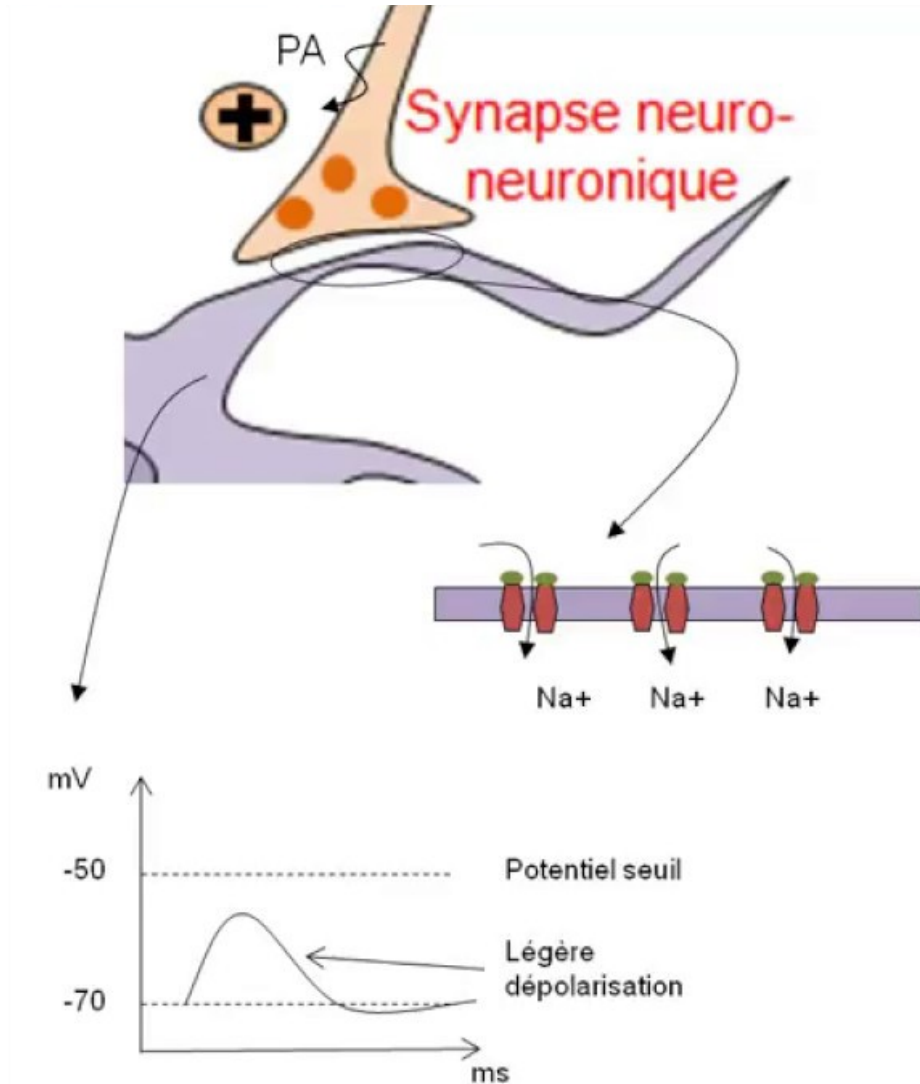
Plan du chapitre

- I) De la volonté au mouvement
 - A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs
 - B) Des aires cérébrales spécialisées
 - C) Les voies motrices : du cortex aux muscles
- II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
 - A) Diversité des terminaisons synaptiques
 - B) Sommation et intégration des messages nerveux
 - C) Des réponses motrices intégrées
- III) La plasticité cérébrale
 - A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie
 - B) Les capacités de récupération du cerveau
 - C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

A) Diversité des terminaisons synaptiques

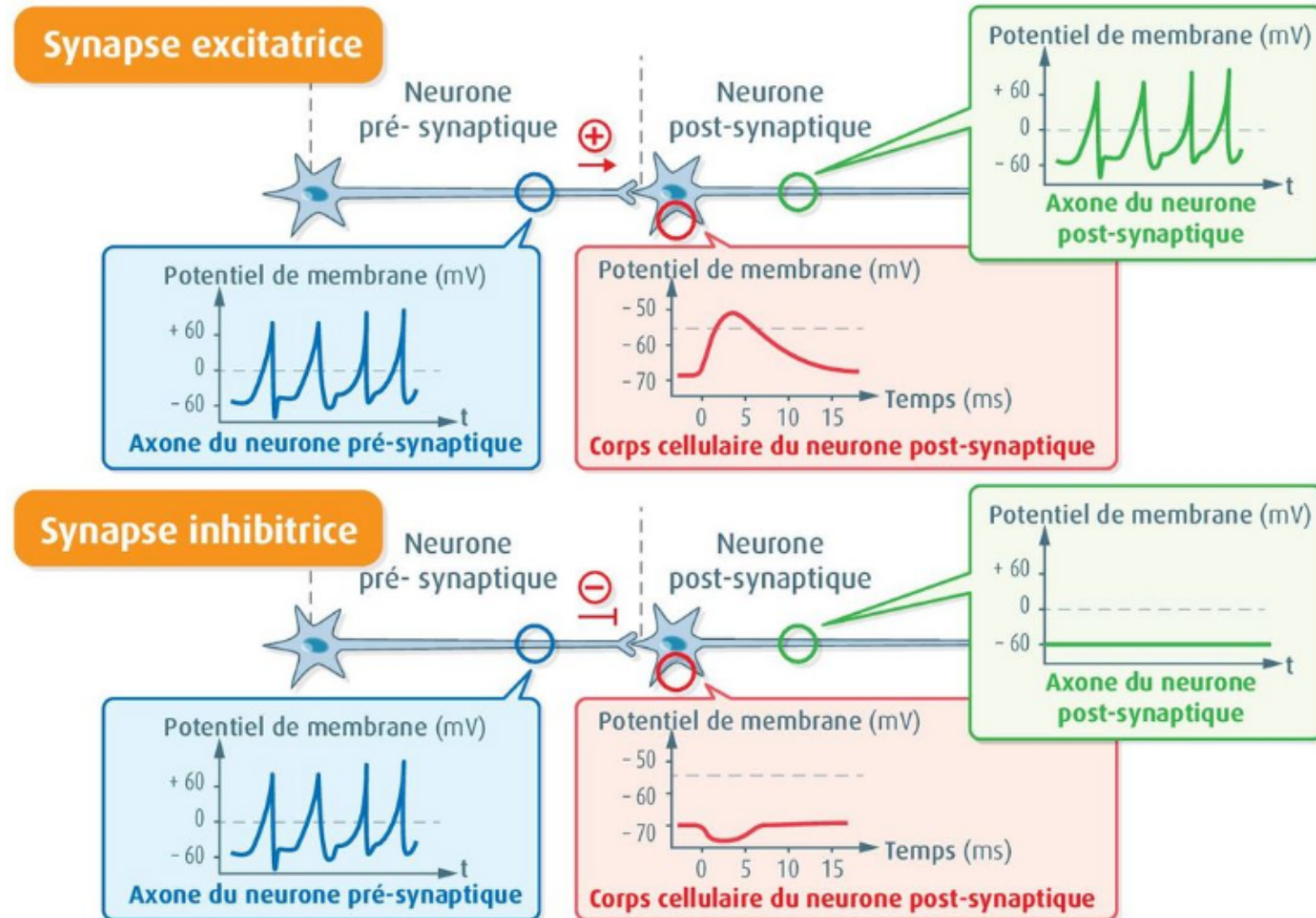
Diversité des synapses



II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

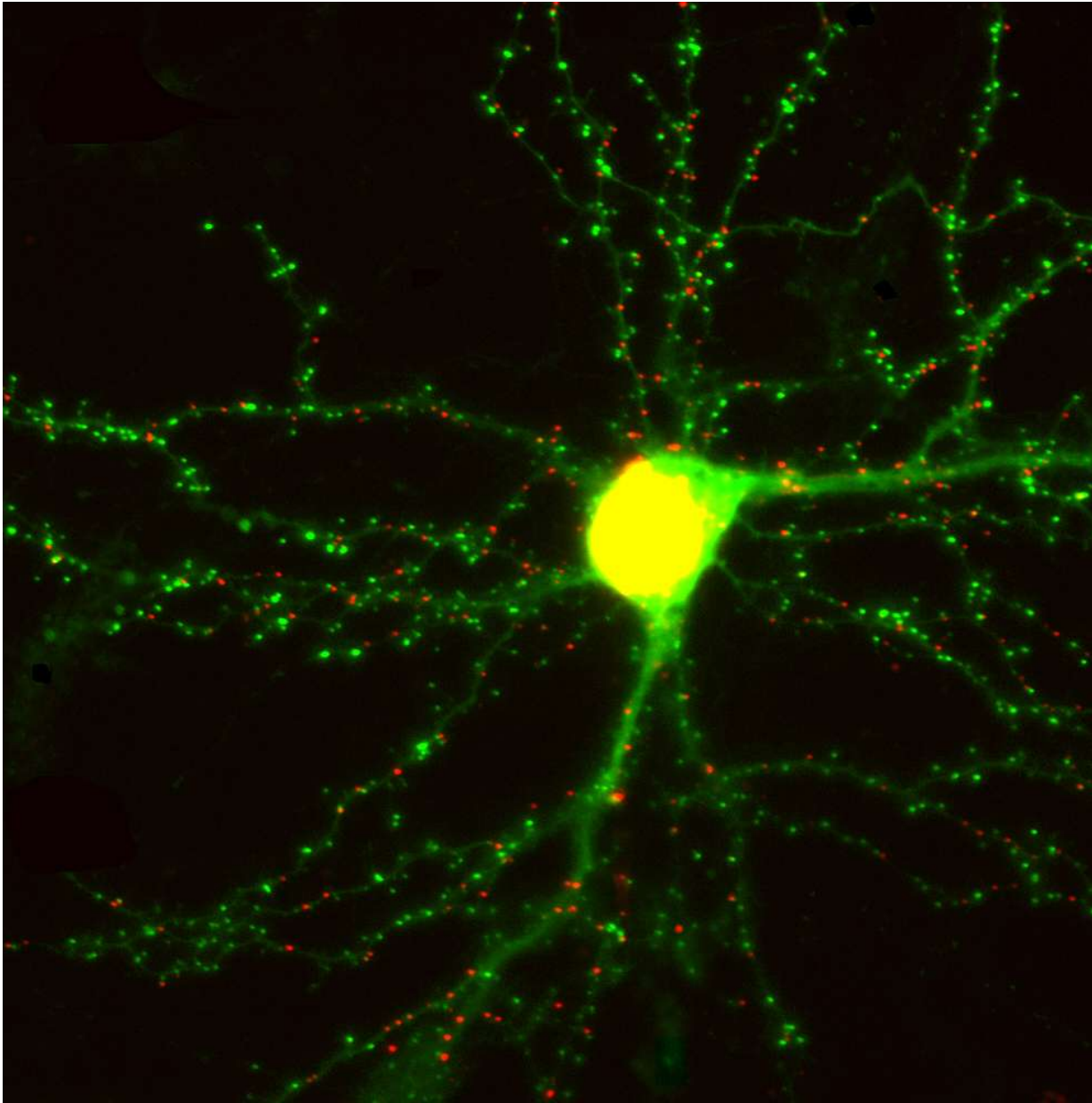
A) Diversité des terminaisons synaptiques

Les deux types de synapses



II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

A) Diversité des terminaisons synaptiques



Densité et diversité des synapses

Sur un neurone en culture, le corps cellulaire et les dendrites sont rendus visibles par une fluorescence verte ; les dendrites qui convergent sur ceux-ci forment des synapses :

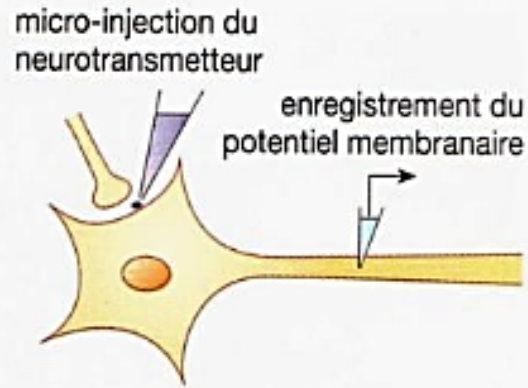
- **excitatrices** (visibles par les points **verts**), qui libèrent des NT identiques à l'acétylcholine, ce qui stimule le neurone post-synaptique ;
- **inhibitrices** (visibles par les points **rouges**) qui libèrent des NT qui inhibent le neurone post-synaptique.

© Don Arnold, DP

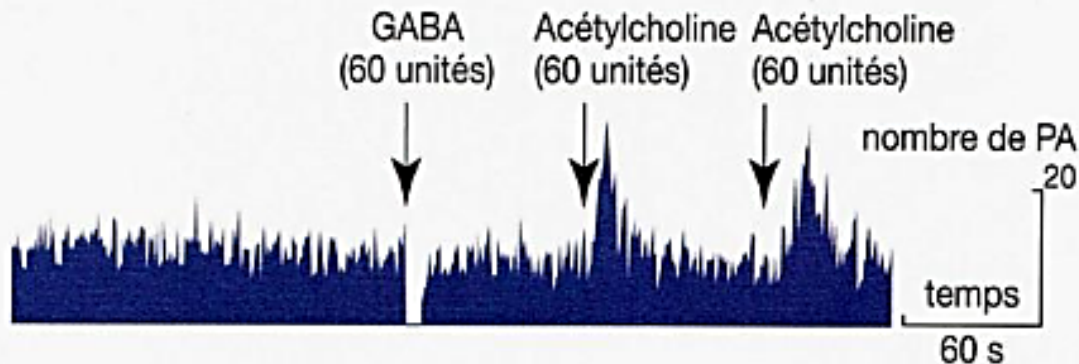
II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

A) Diversité des terminaisons synaptiques

- Les synapses ne fonctionnent pas toutes avec le même neurotransmetteur. Par une technique de micro-injection, on teste l'effet de deux neurotransmetteurs, l'acétylcholine et le GABA, sur l'activité d'un neurone (il s'agit dans cette expérience d'un neurone du cortex cérébral de rat).



Le graphique ci-dessous montre l'activité électrique enregistrée au niveau de l'axone, mesurée en fréquence de potentiels d'action. L'activité de base du neurone est environ de 15 potentiels d'action par seconde.



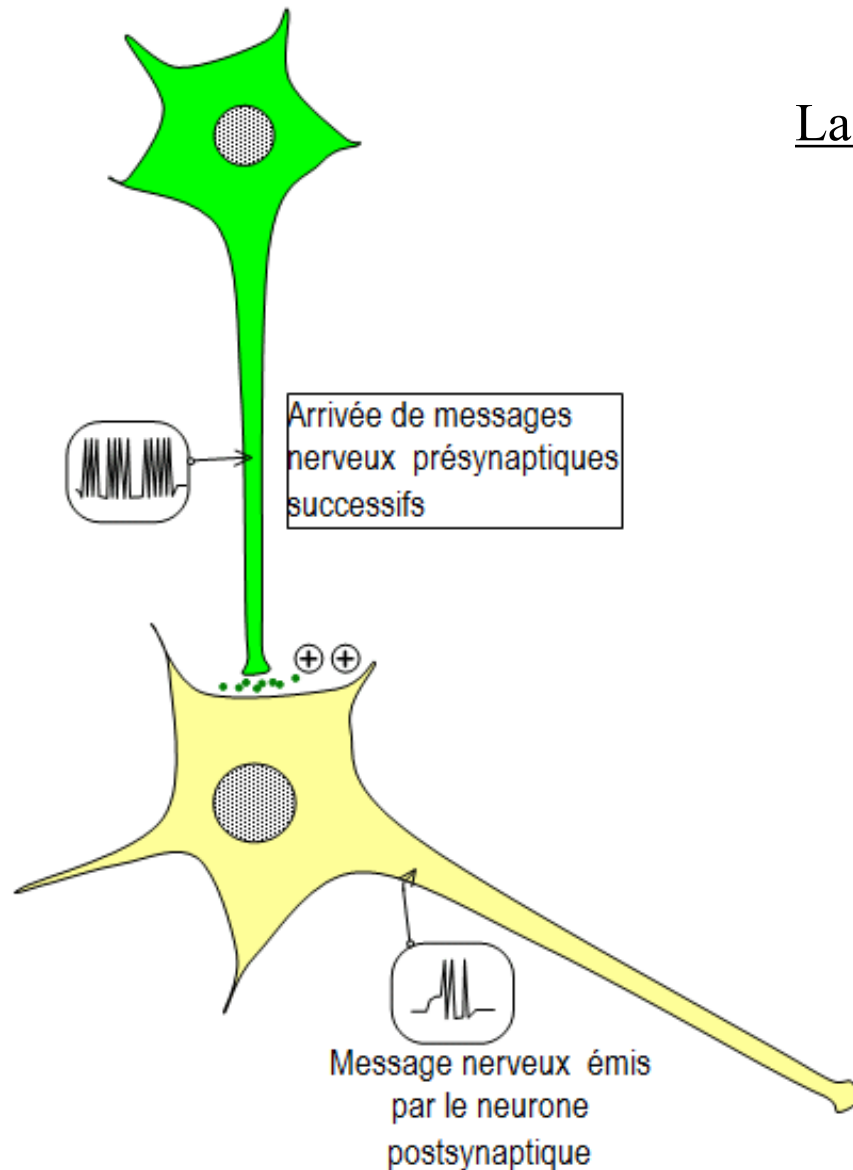
Diversité des synapses et des neurotransmetteurs

Plan du chapitre

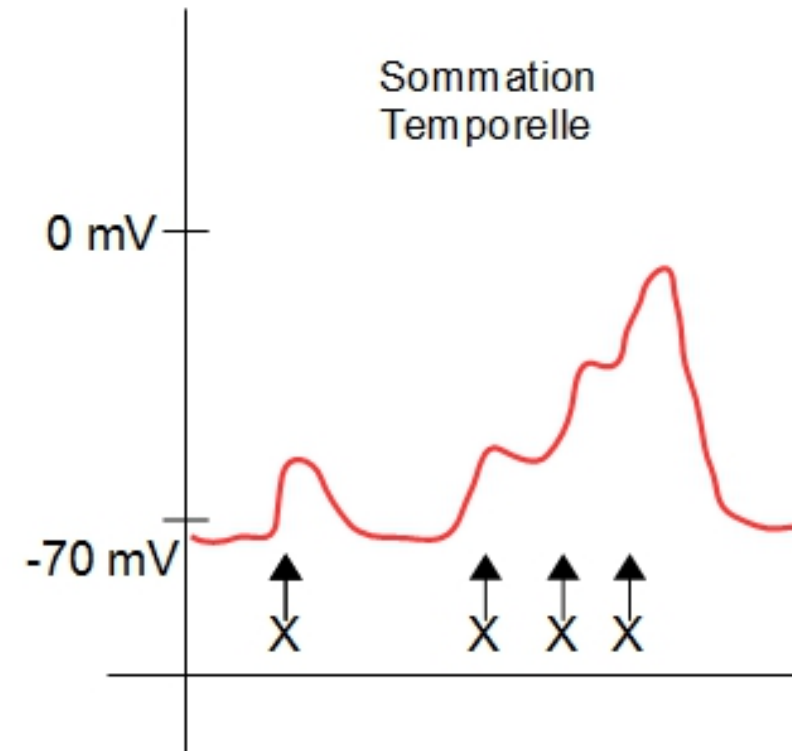
- I) De la volonté au mouvement
 - A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs
 - B) Des aires cérébrales spécialisées
 - C) Les voies motrices : du cortex aux muscles
- II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
 - A) Diversité des terminaisons synaptiques
 - B) Sommation et intégration des messages nerveux
 - C) Des réponses motrices intégrées
- III) La plasticité cérébrale
 - A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie
 - B) Les capacités de récupération du cerveau
 - C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

B) Sommation et intégration des messages nerveux



La sommation temporelle

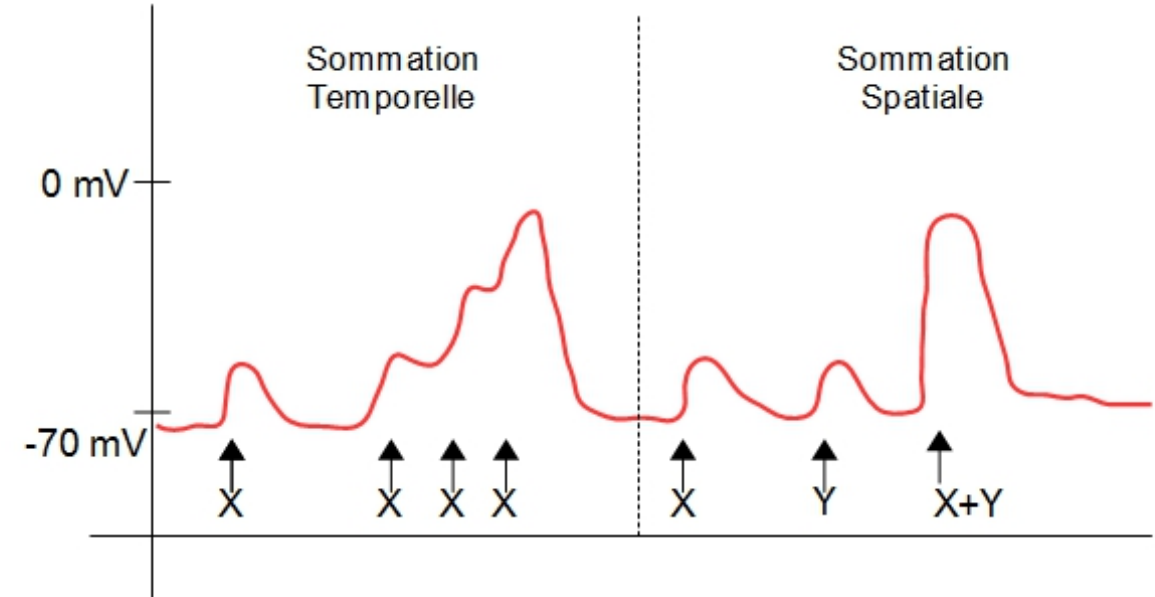
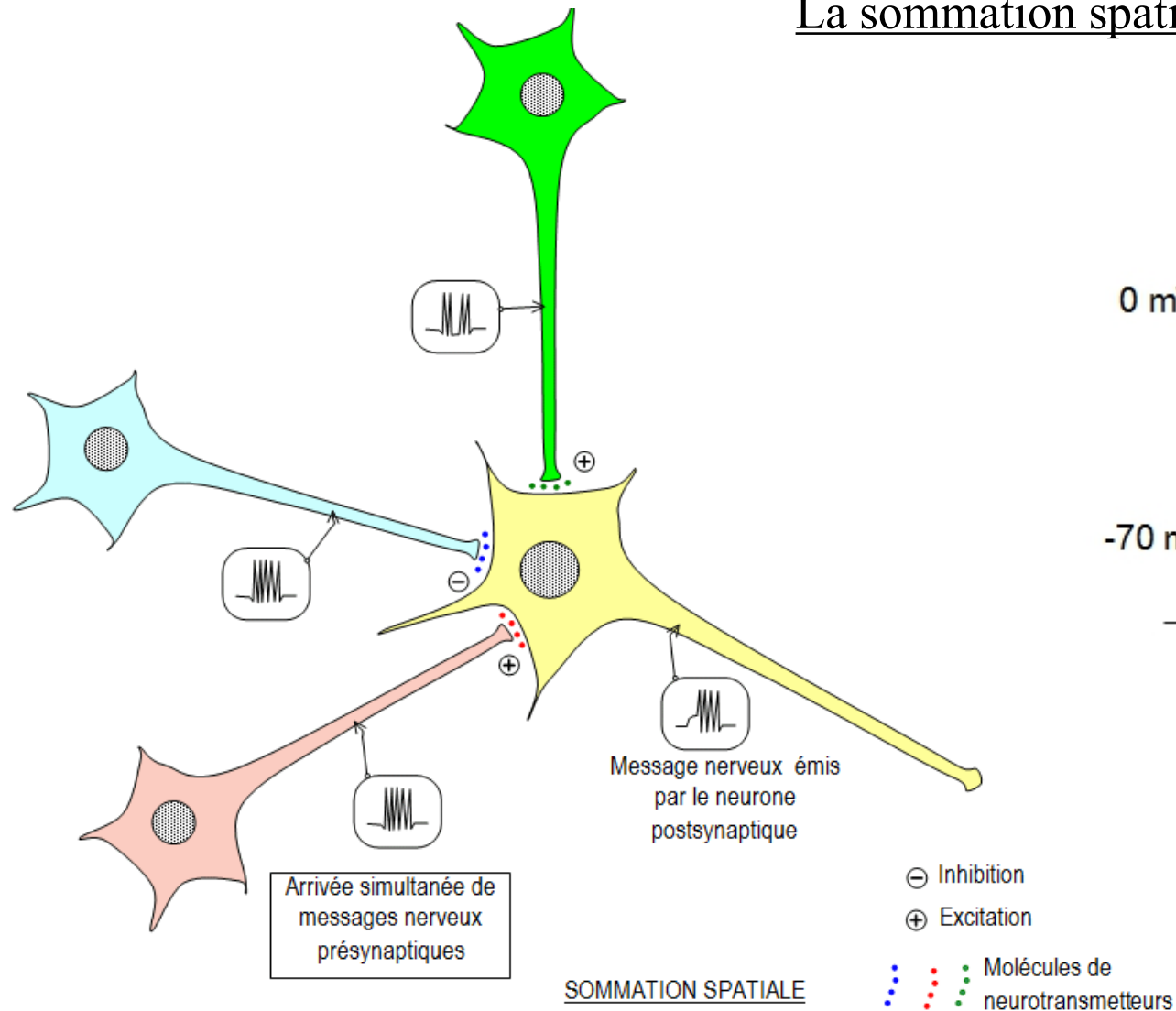


https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Sommation_Potentiel_gradu%C3%A9s.jpg

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

B) Sommation et intégration des messages nerveux

La sommation spatiale

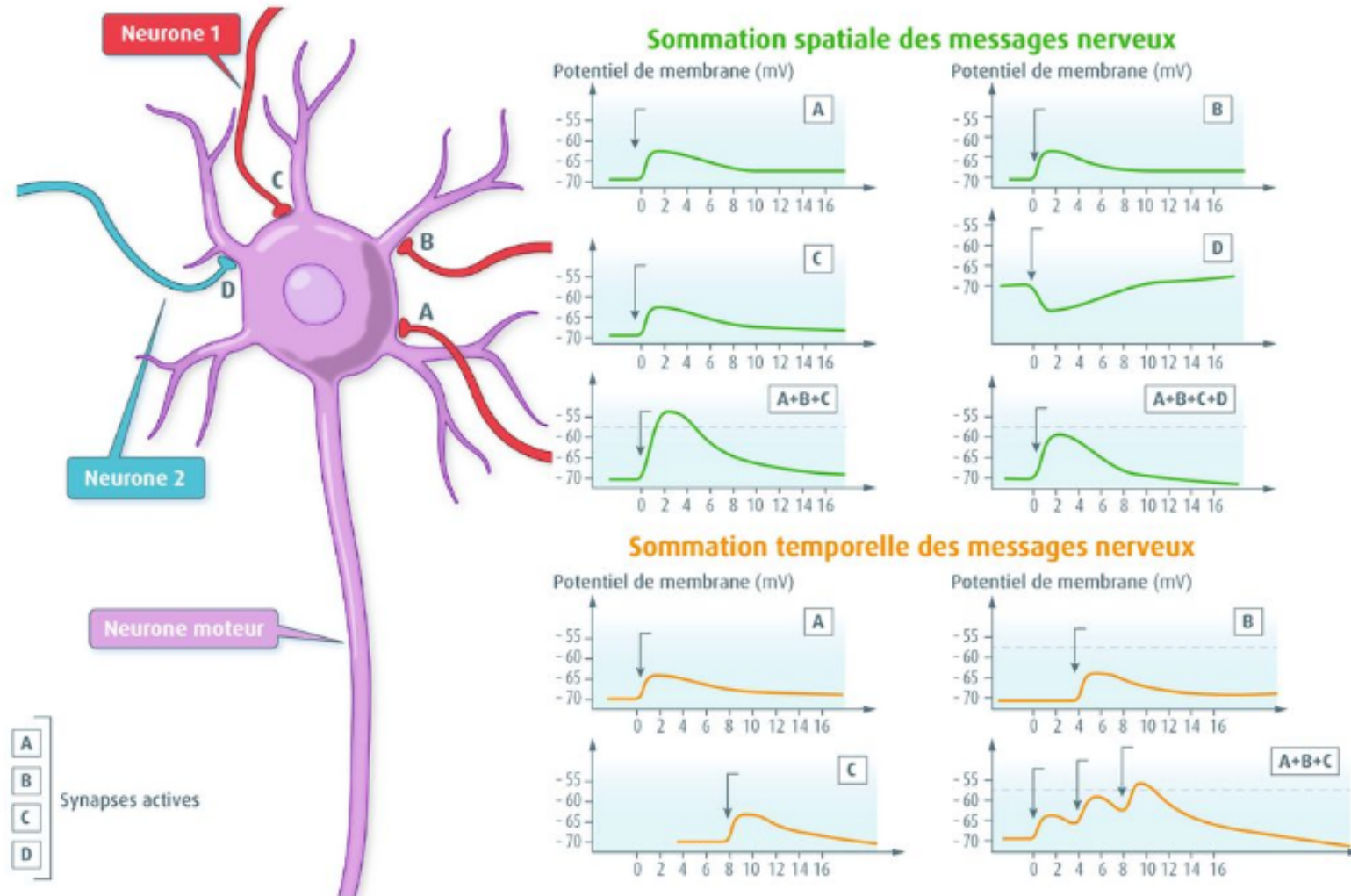


https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Sommeation_Potentiel_gradu%C3%A9s.jpg

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

B) Sommation et intégration des messages nerveux

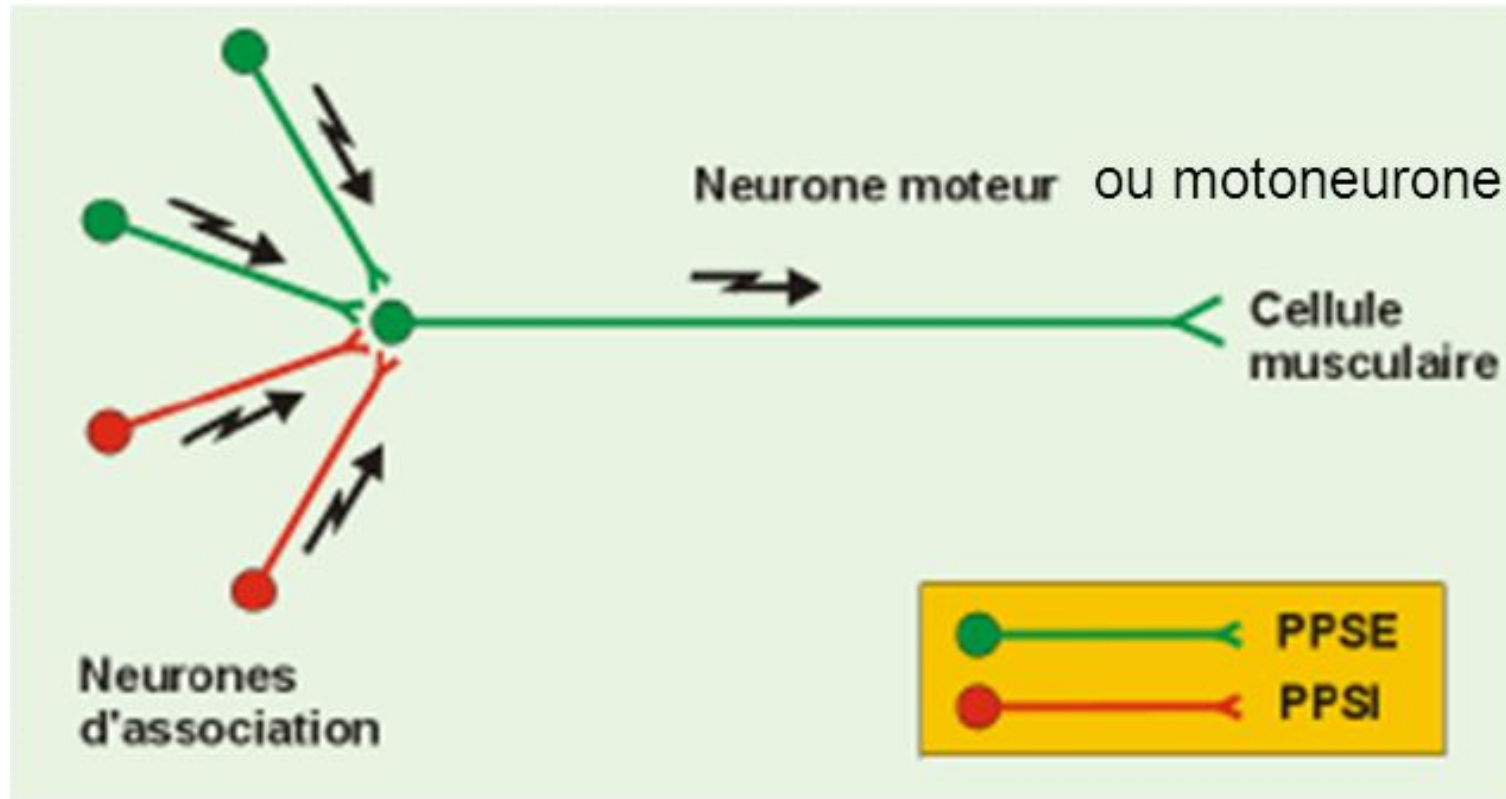
Intégration de plusieurs messages nerveux par un motoneurone



II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

B) Sommation et intégration des messages nerveux

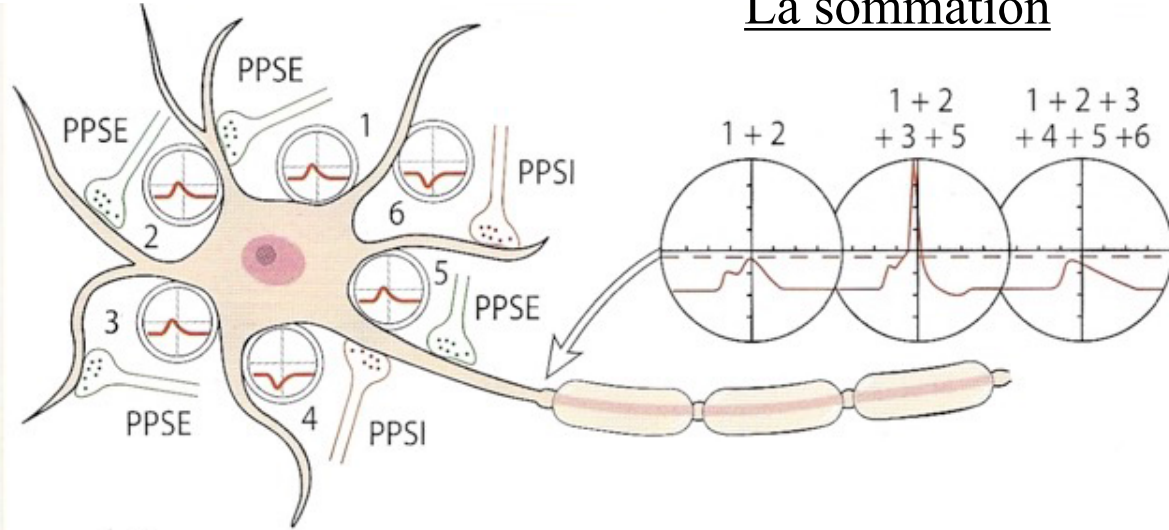
La sommation



II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

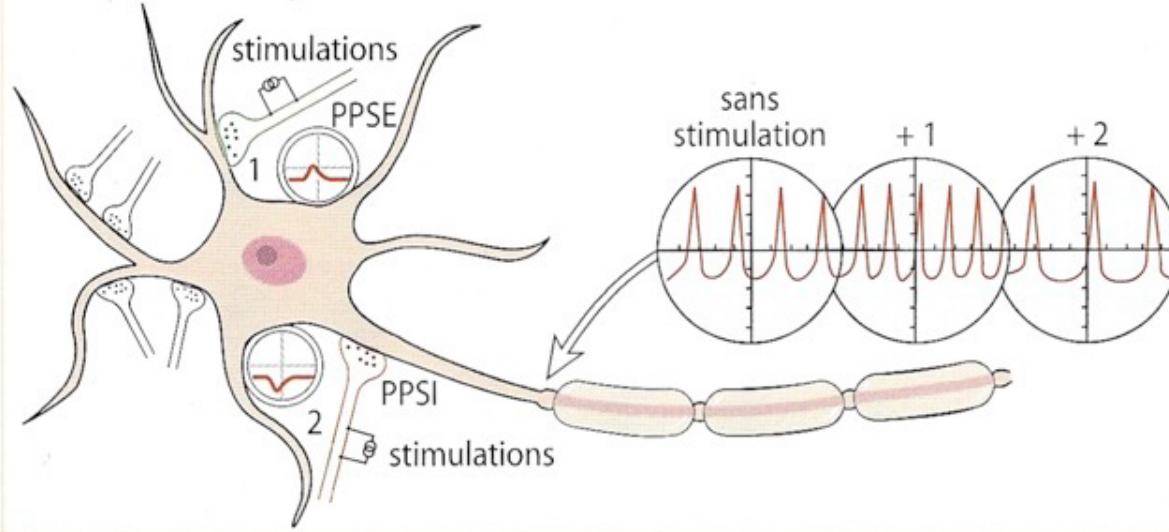
B) Sommation et intégration des messages nerveux

La sommation



EFFETS DE LA SOMMATION

C'est l'intégration des PPS qui détermine la valeur du potentiel dans le segment initial. Si ce potentiel est supérieur au seuil d'ouverture des canaux Na^+ , un potentiel d'action est produit.



EFFETS DES SYNAPSES SUR LA FRÉQUENCE DE DÉCHARGE

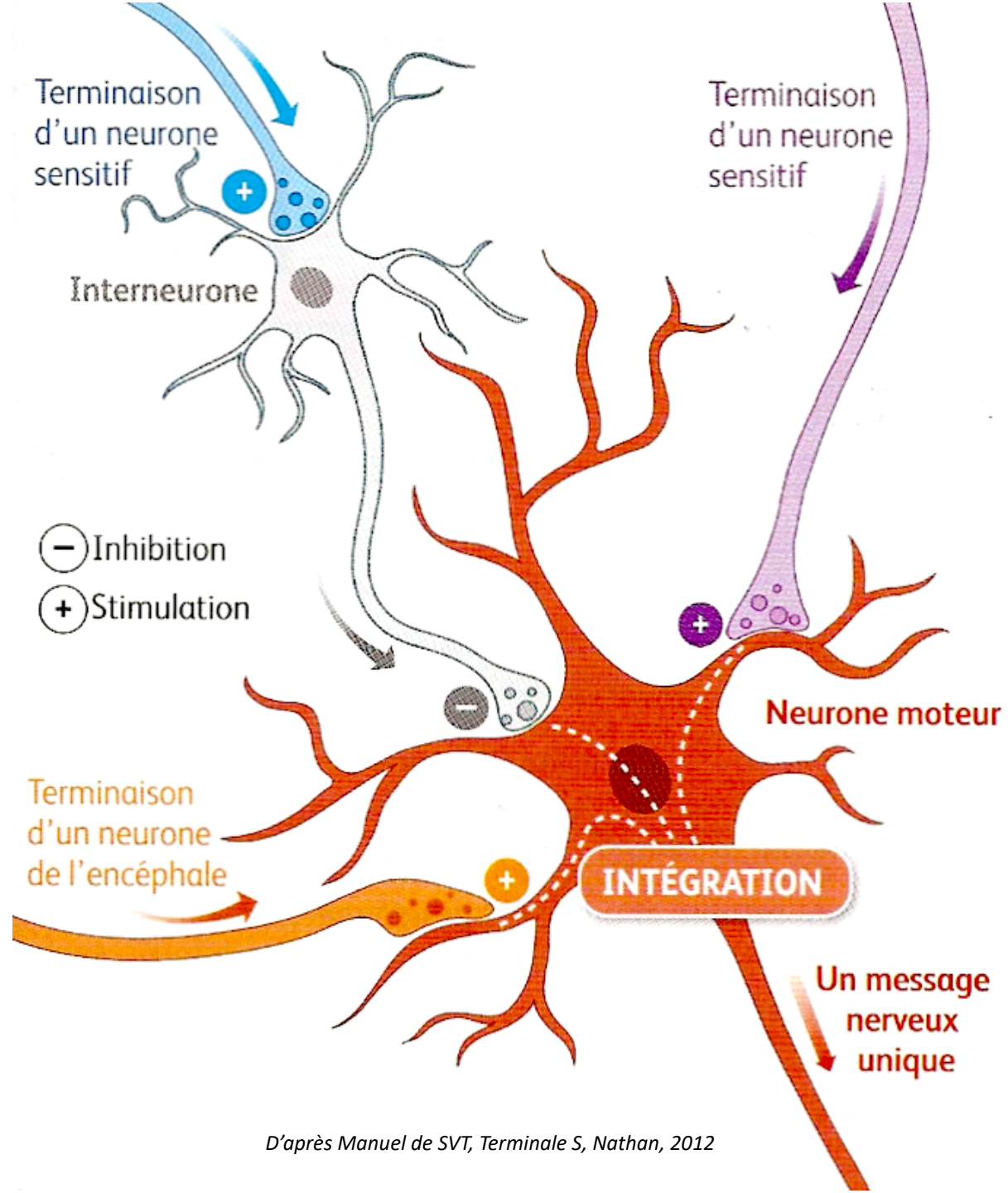
Le fonctionnement d'une synapse excitatrice entraîne une augmentation de fréquence des potentiels d'action postsynaptiques. Inversement, le fonctionnement d'une synapse inhibitrice mène à une baisse de fréquence. Ainsi, les synapses traduisent une information présynaptique codée en fréquence, en une information codée en amplitude. L'intégration des PPS permet de traduire cette nouvelle information à nouveau en termes de fréquence.

Plan du chapitre

- I) De la volonté au mouvement
 - A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs
 - B) Des aires cérébrales spécialisées
 - C) Les voies motrices : du cortex aux muscles
- II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
 - A) Diversité des terminaisons synaptiques
 - B) Sommation et intégration des messages nerveux
 - C) Des réponses motrices intégrées
- III) La plasticité cérébrale
 - A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie
 - B) Les capacités de récupération du cerveau
 - C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

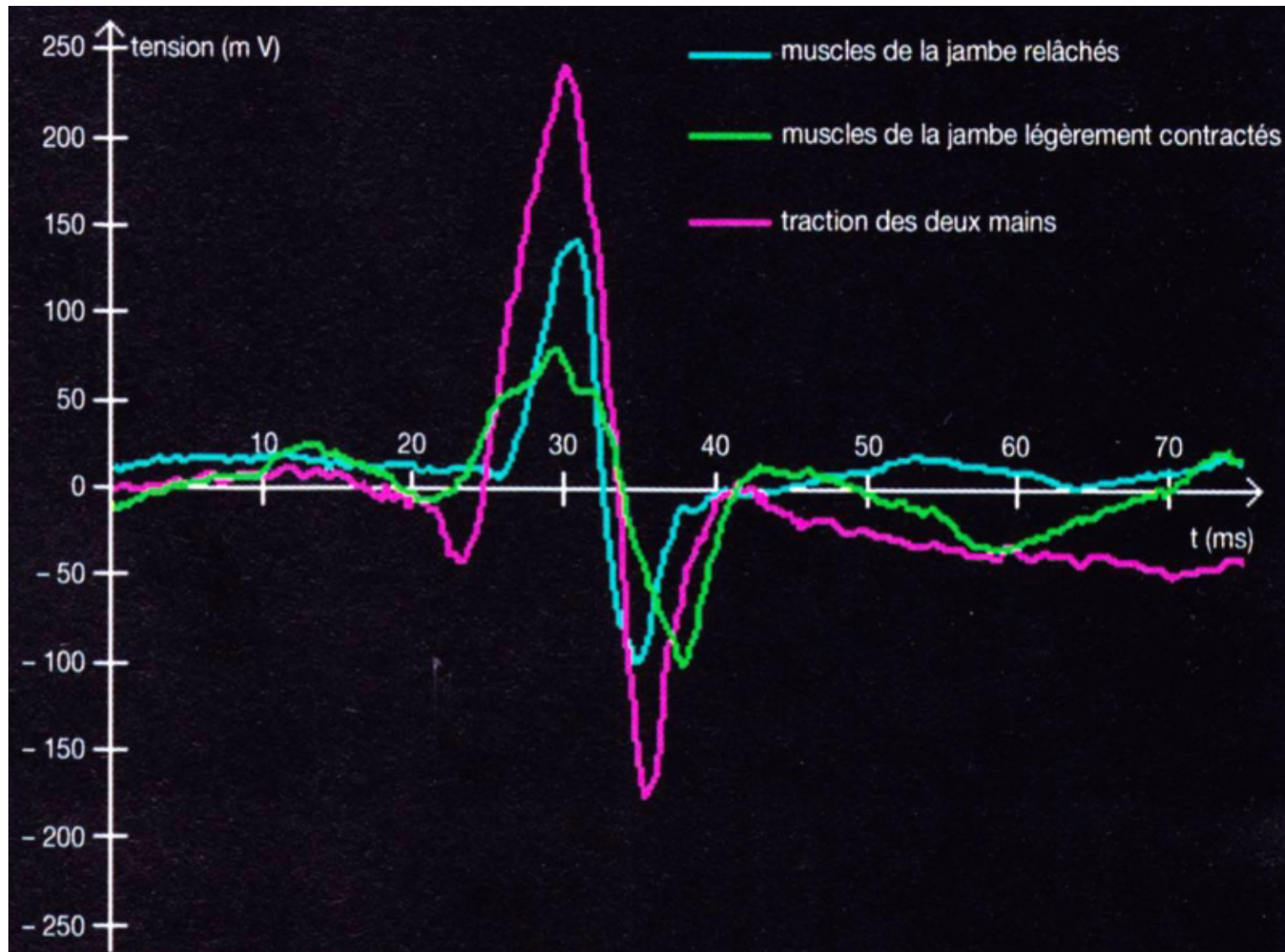
II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
C) Des réponses motrices intégrées

L'intégration par le motoneurone



II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

C) Des réponses motrices intégrées



Réflexe myotatique et
commande intégrée du
mouvement

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

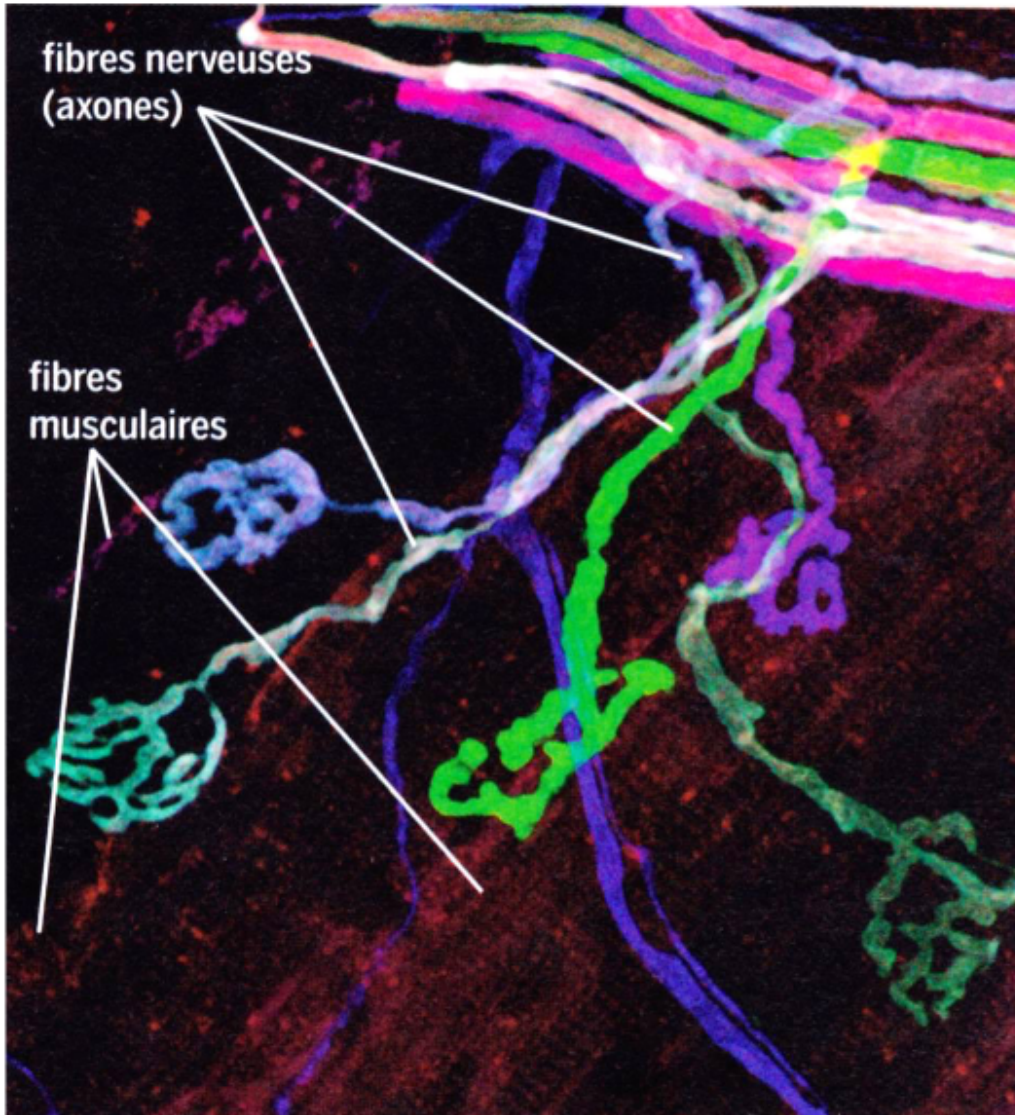
C) Des réponses motrices intégrées

L'intégration par le motoneurone

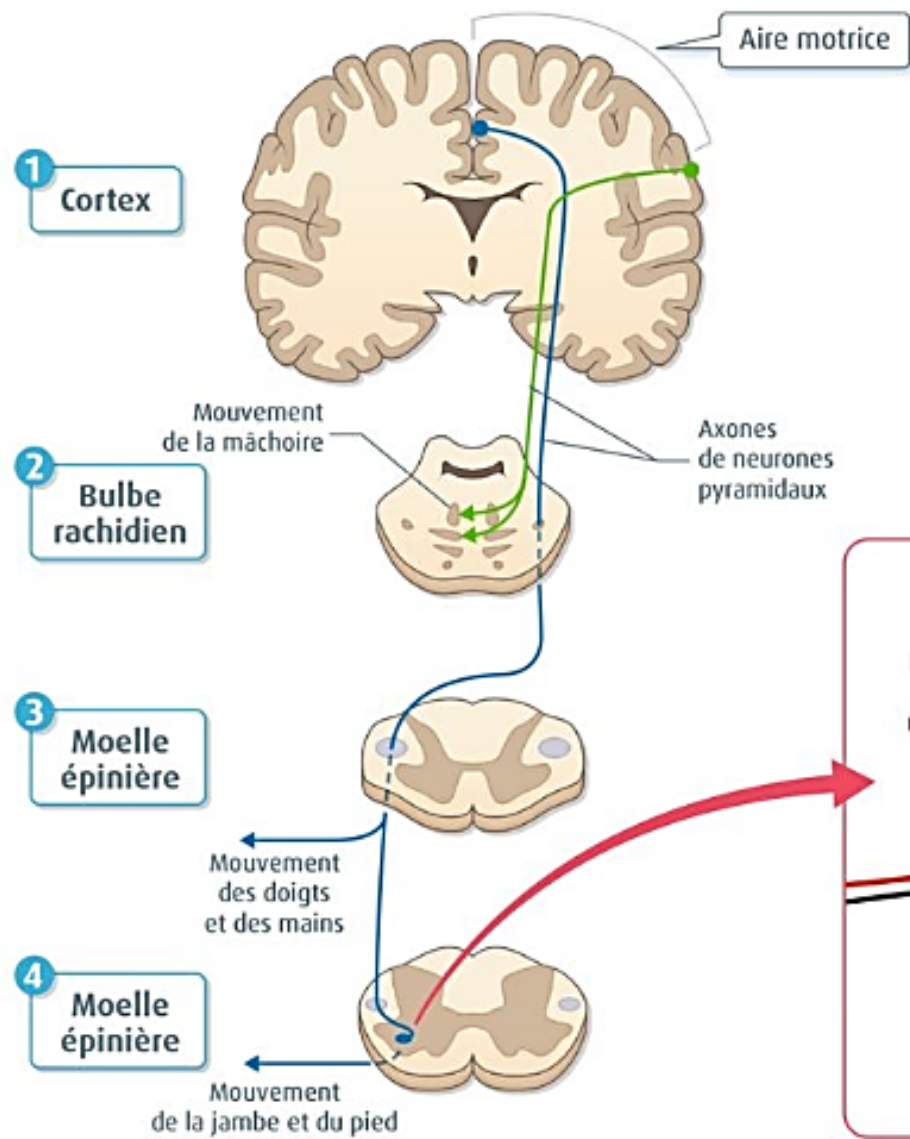
La récente technique de coloration appelée «Brainbow» (*de brain pour cerveau et rainbow pour arc-en-ciel*) utilise une combinaison de gènes codant pour des protéines fluorescentes. Cette technique permet ainsi de distinguer individuellement plusieurs dizaines de neurones (d'où l'aspect multicolore des images obtenues).

Un tel marquage réalisé pour étudier les relations nerf-muscle (photographie ci-contre) a montré **qu'une fibre nerveuse peut innervé plusieurs fibres musculaires** mais qu'une fibre musculaire ne reçoit de message nerveux **que d'un seul motoneurone**.

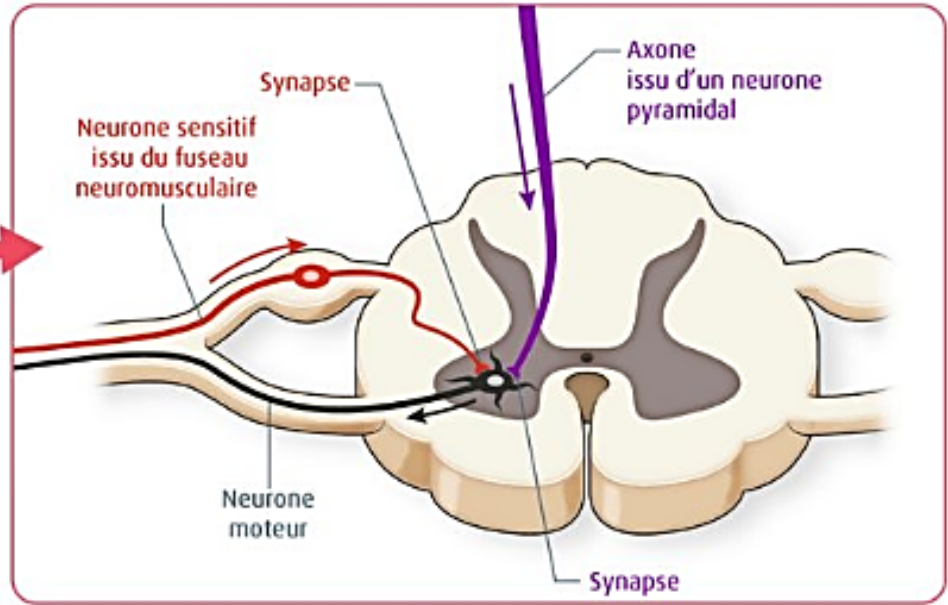
=> Pas d'intégration musculaire !



II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
C) Des réponses motrices intégrées

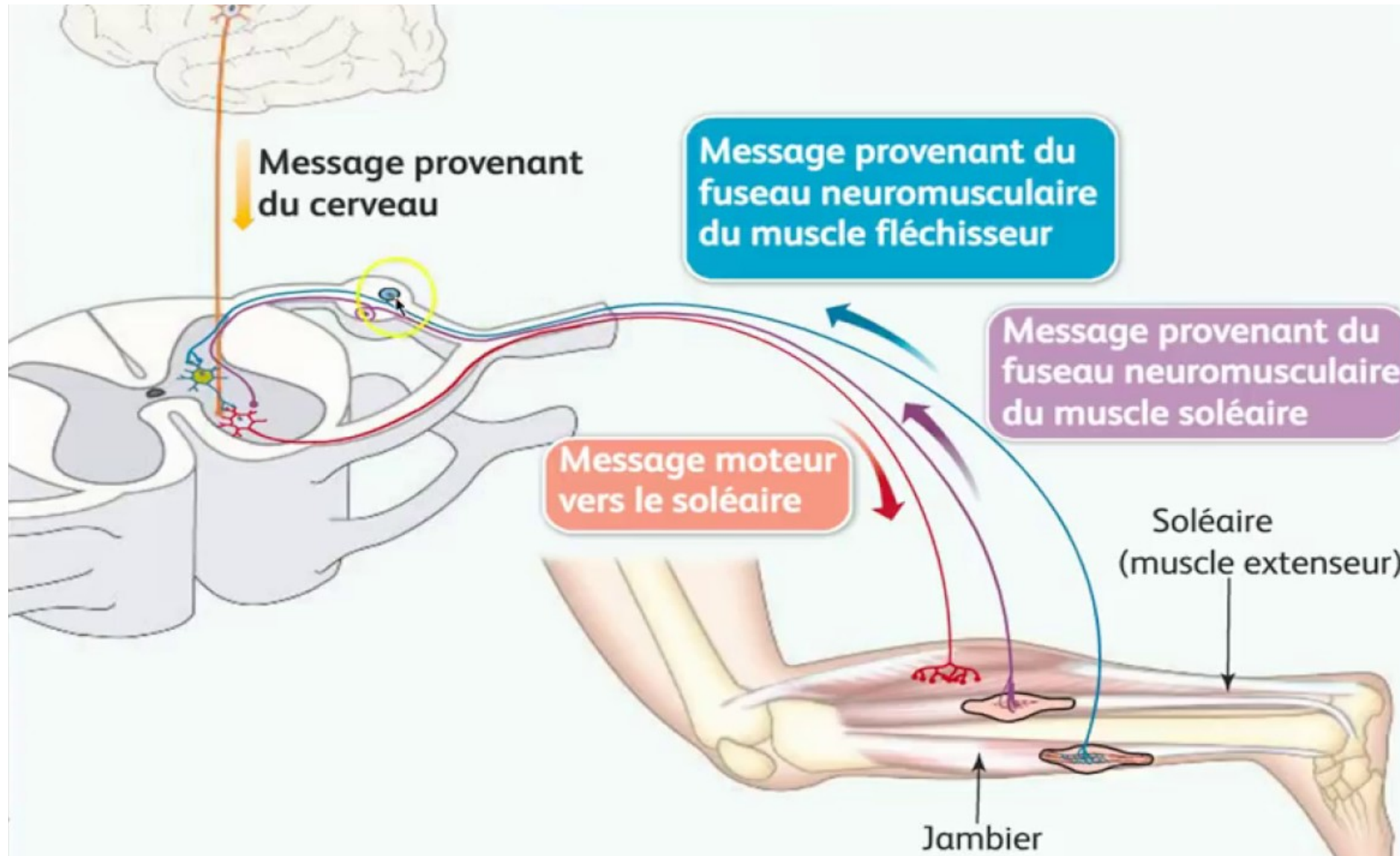


Réflexe myotatique et commande intégrée du mouvement



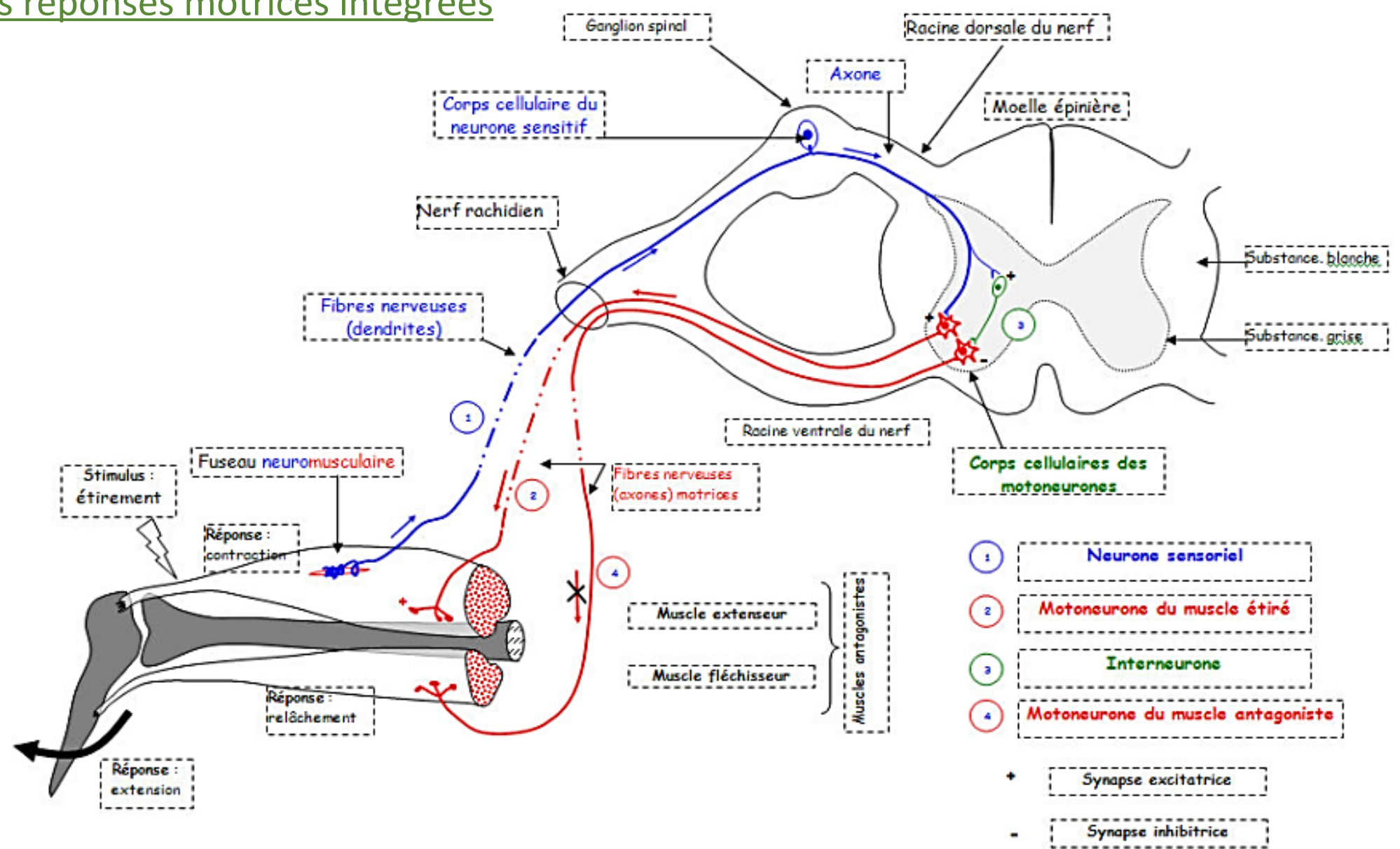
II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité

C) Des réponses motrices intégrées



Réflexe myotatique
et commande
intégrée du
mouvement

II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
C) Des réponses motrices intégrées



Les circuits neuronniques du réflexe myotatique achilléen

Plan du chapitre

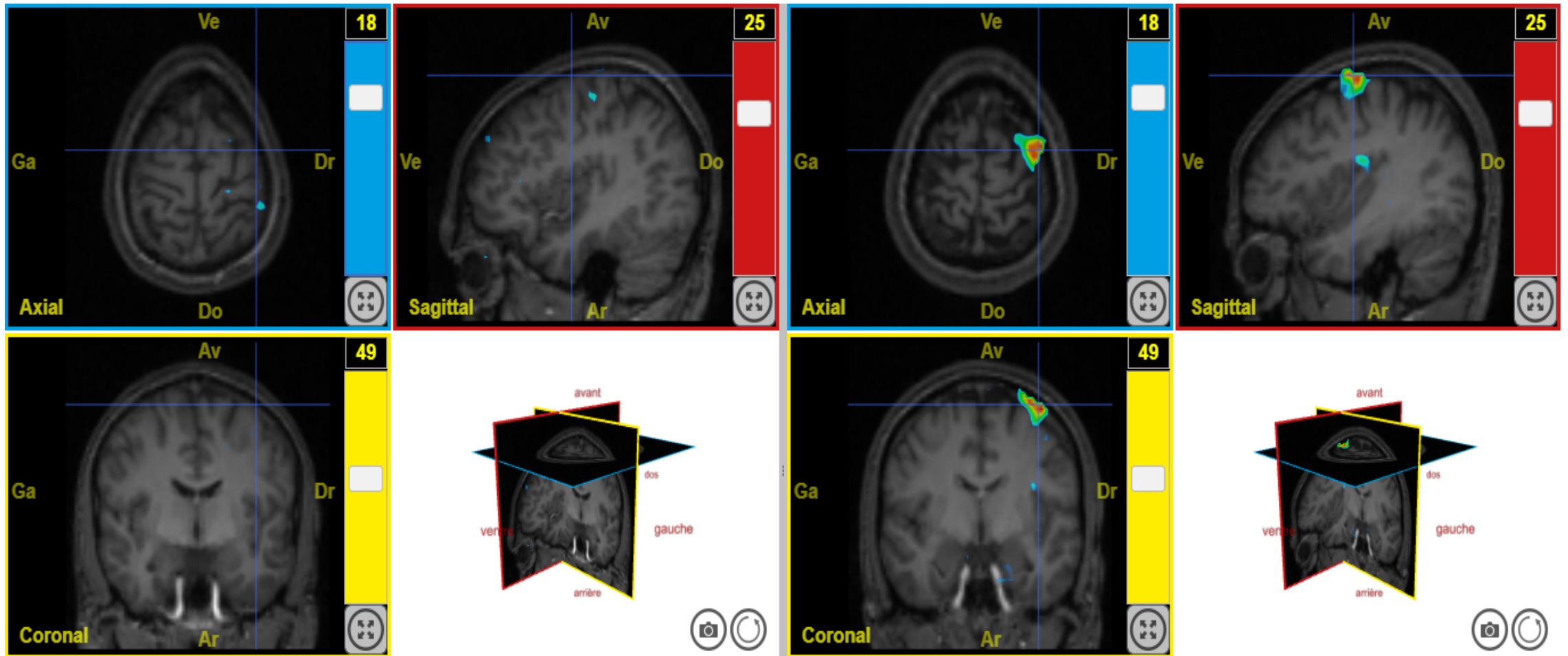
- I) De la volonté au mouvement
 - A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs
 - B) Des aires cérébrales spécialisées
 - C) Les voies motrices : du cortex aux muscles
- II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
 - A) Diversité des terminaisons synaptiques
 - B) Sommation et intégration des messages nerveux
 - C) Des réponses motrices intégrées
- III) La plasticité cérébrale
 - A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie
 - B) Les capacités de récupération du cerveau
 - C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

III) La plasticité cérébrale

A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie

La commande corticale du mouvement volontaire

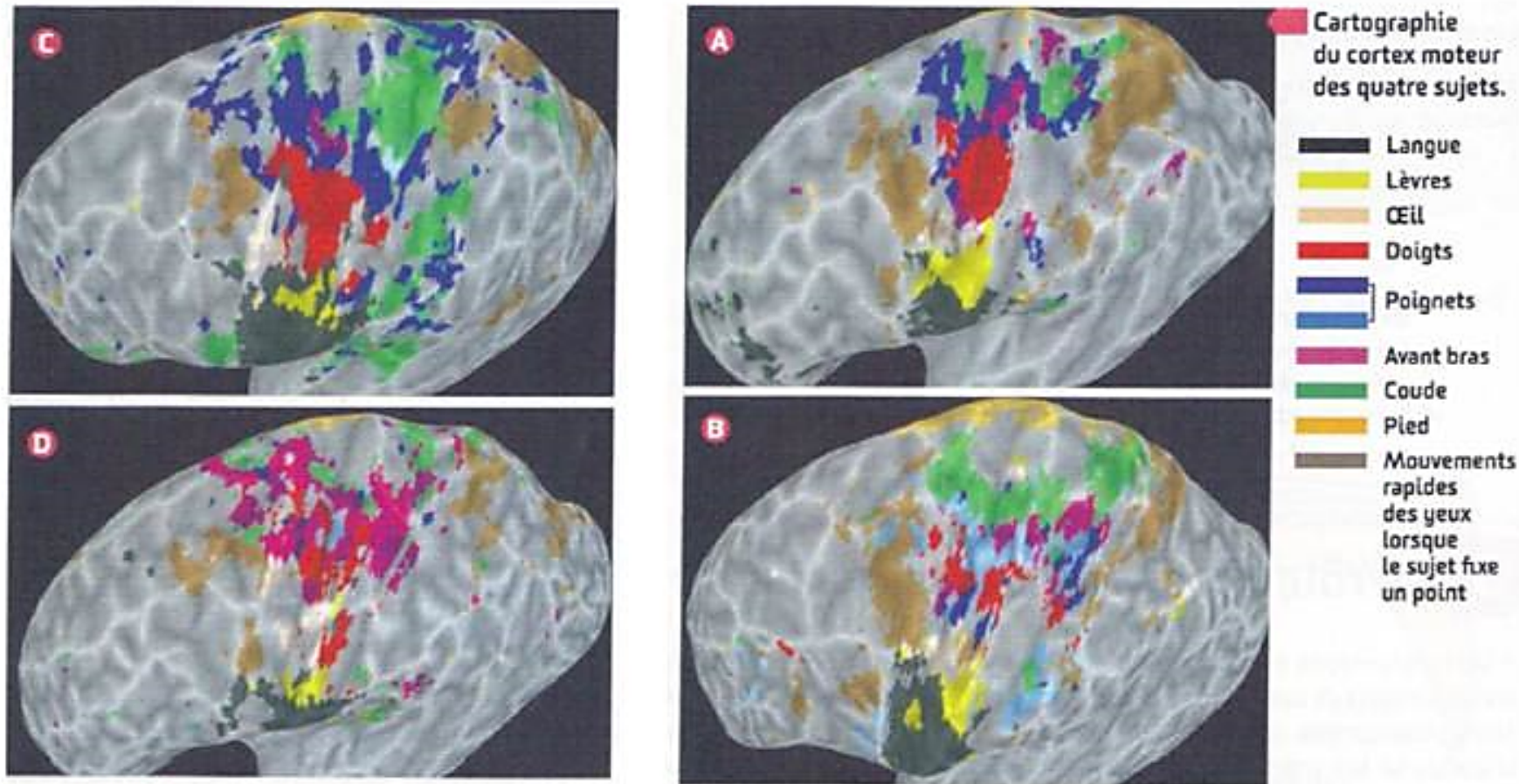
IRMf de Monsieur C. avant et après avoir appris le piano, main gauche



III) La plasticité cérébrale

A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie

Des cartes motrices variables selon les individus

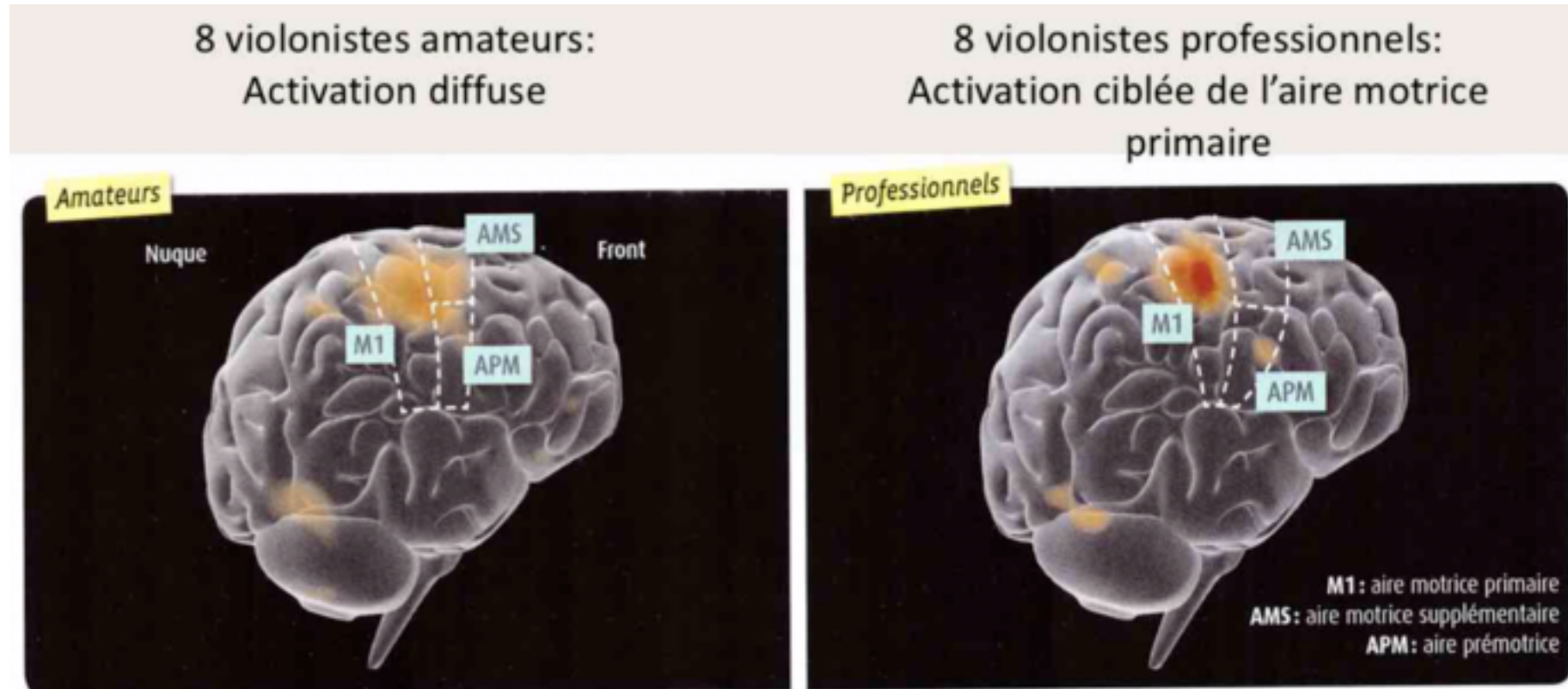


- On établit par IRMf les régions du cortex moteur activées de différents sujets. Quatre sujets, de même âge, A, B, C et D exécutent successivement huit mouvements différents.
- Chaque mouvement est répété pendant plusieurs minutes et ne met en jeu qu'une région musculaire restreinte.
- Le cortex moteur se met en place lors du développement embryonnaire. Les grandes étapes de ce processus sont identiques pour tous les individus.

III) La plasticité cérébrale

A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie

Effets de l'entraînement sur la carte motrice de violonistes



2 Analyse par IRMf de l'activité du cortex cérébral chez des violonistes amateurs ou professionnels.

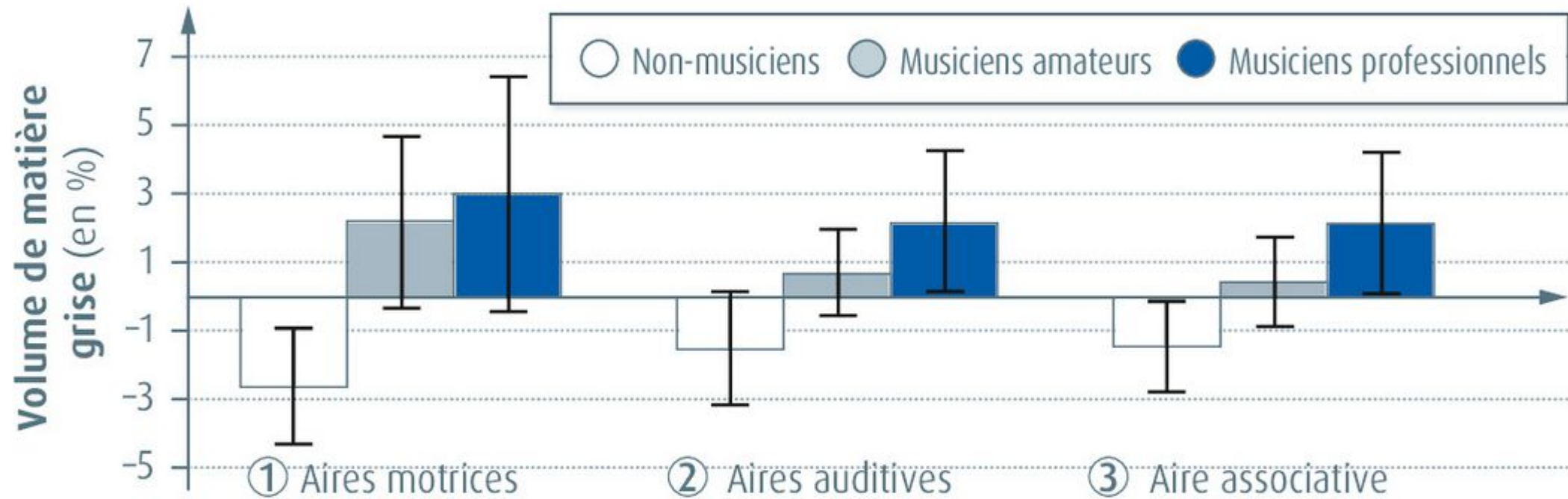
Seize violonistes (8 amateurs et 8 professionnels) auxquels on a demandé d'exécuter les mouvements de la main gauche d'un concerto pour violon de Mozart ont été soumis à une analyse par IRMf. Sur les cartes d'activation des différentes zones du cortex moteur qui ont été obtenues, on observe que, comparés aux amateurs, les musiciens professionnels présentent une augmentation de l'activation de l'aire motrice primaire. Chez les amateurs, l'activation du cortex est plus diffuse et elle est étendue à d'autres aires corticales.

D'après Manuel de SVT, Terminale S, Belin, 2012

III) La plasticité cérébrale

A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie

Étude comparative du volume de certaines aires cérébrales chez des non-musiciens, des musiciens amateurs et des musiciens professionnels



III) La plasticité cérébrale

A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie



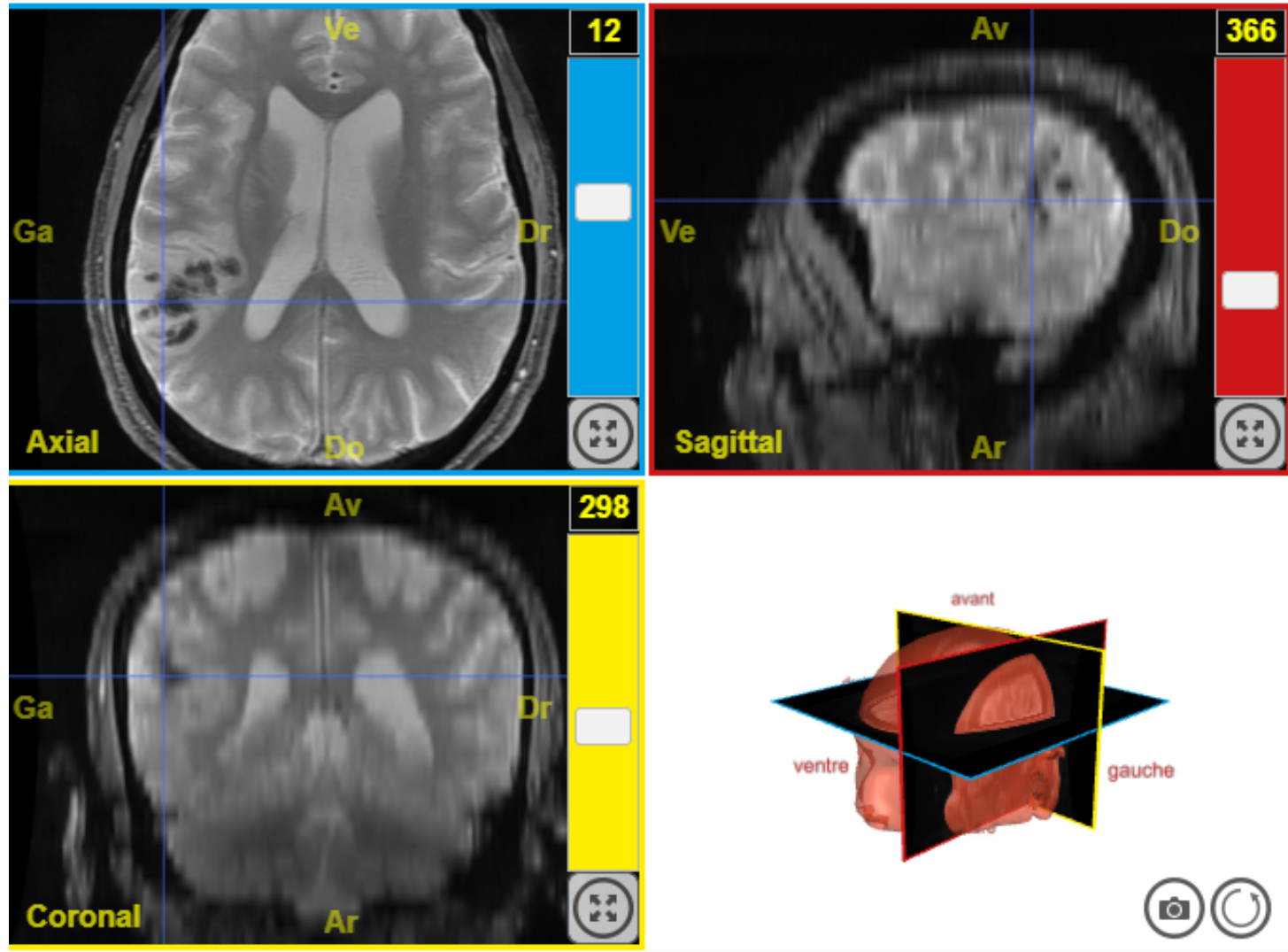
Plan du chapitre

- I) De la volonté au mouvement
 - A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs
 - B) Des aires cérébrales spécialisées
 - C) Les voies motrices : du cortex aux muscles
- II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
 - A) Diversité des terminaisons synaptiques
 - B) Sommation et intégration des messages nerveux
 - C) Des réponses motrices intégrées
- III) La plasticité cérébrale
 - A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie
 - B) Les capacités de récupération du cerveau
 - C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

III) La plasticité cérébrale

B) Les capacités de récupération du cerveau

IRM du cerveau de M.H., une journée après son AVC



Monsieur H. montre d'importants dysfonctionnements musculaires. Il présente une hémiparésie droite, mais son réflexe myotatique est intact.

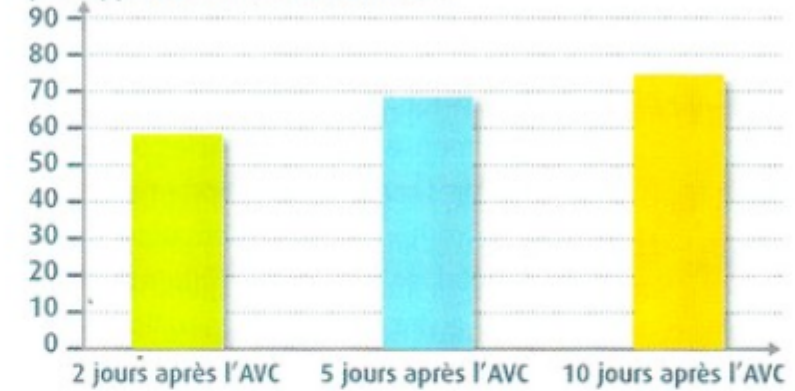
III) La plasticité cérébrale

B) Les capacités de récupération du cerveau

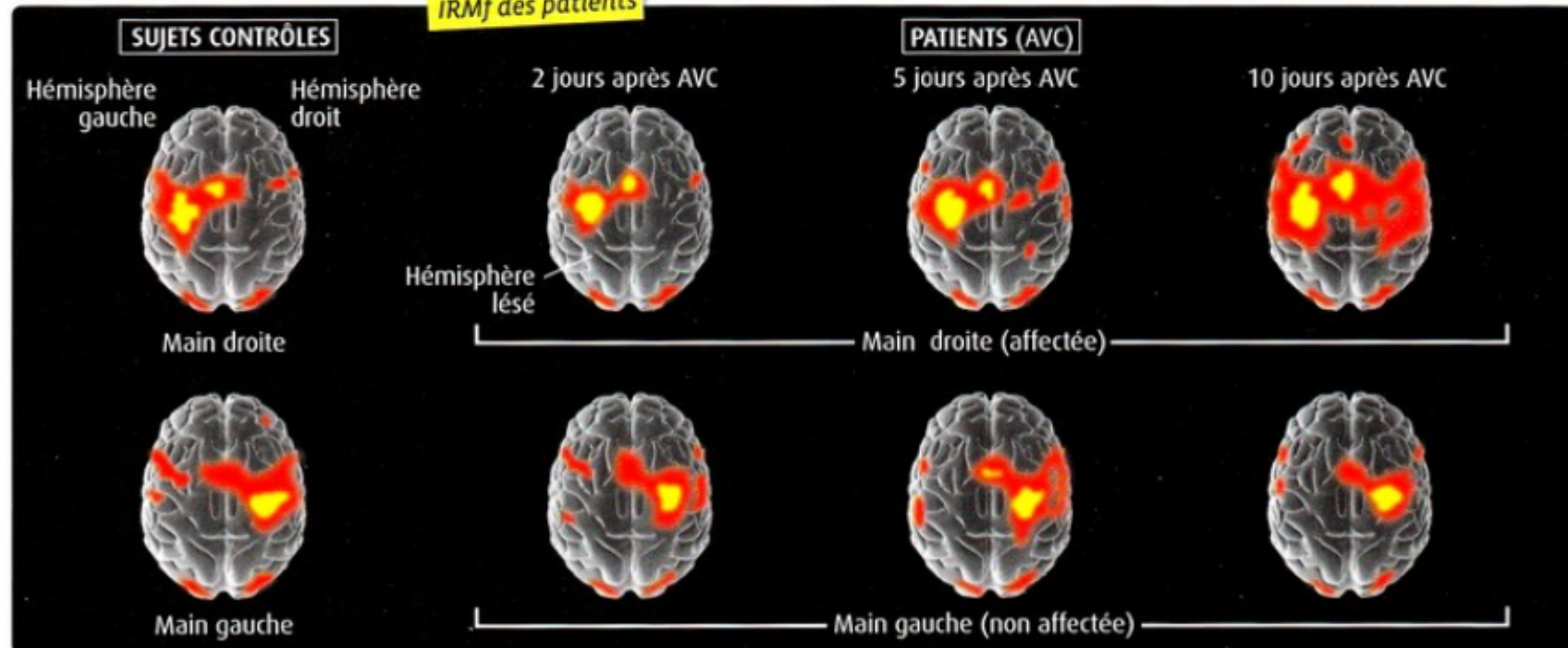
Récupération après un AVC

Récupération motrice des patients

Pourcentage de force de la main affectée
par rapport à la main non affectée



IRMf des patients



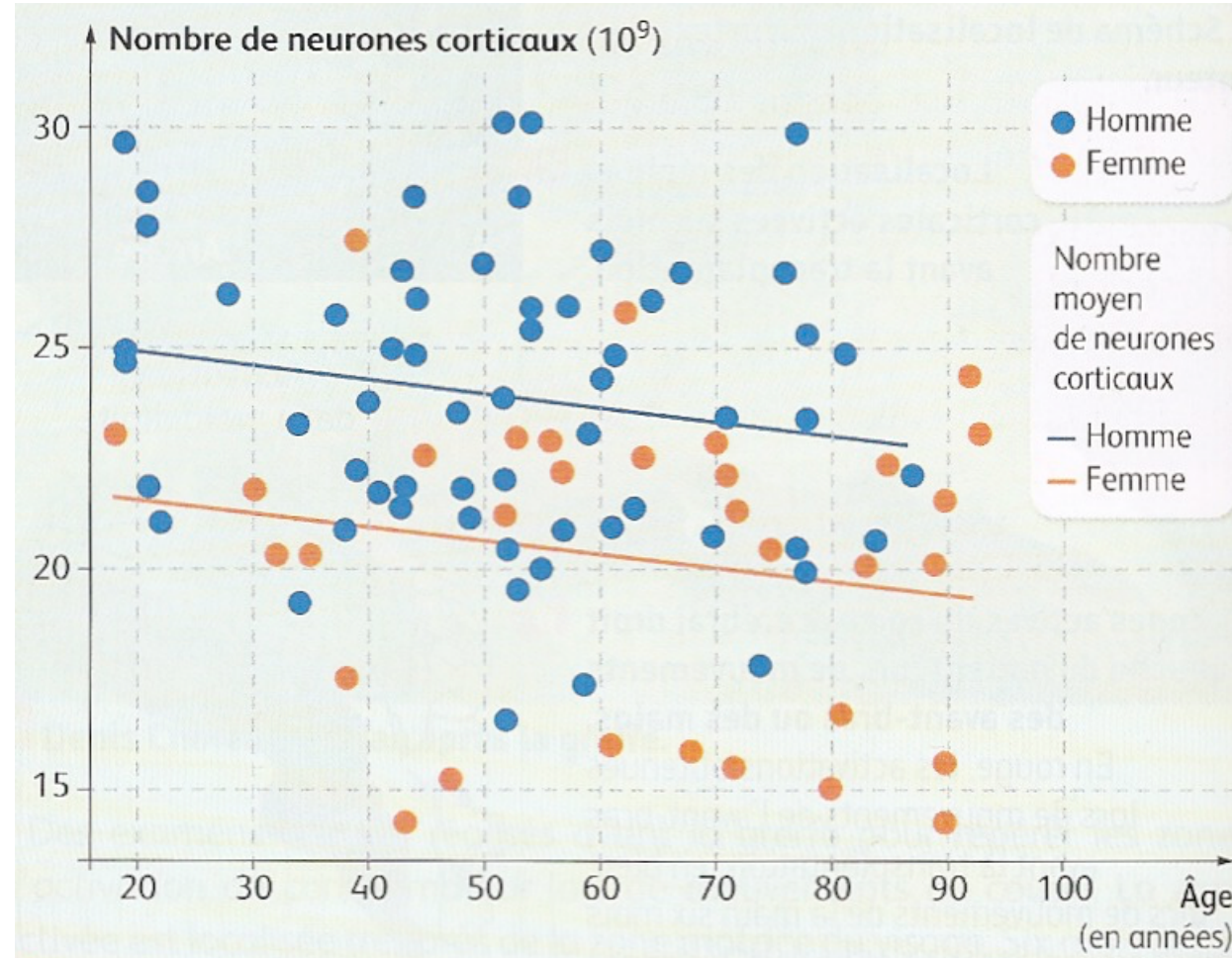
Plan du chapitre

- I) De la volonté au mouvement
 - A) Lésions cérébrales et dysfonctionnements moteurs
 - B) Des aires cérébrales spécialisées
 - C) Les voies motrices : du cortex aux muscles
- II) Le rôle intégrateur des neurones dans la motricité
 - A) Diversité des terminaisons synaptiques
 - B) Sommation et intégration des messages nerveux
 - C) Des réponses motrices intégrées
- III) La plasticité cérébrale
 - A) Des variations des cartes motrices en relation avec le mode de vie
 - B) Les capacités de récupération du cerveau
 - C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

III) La plasticité cérébrale

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

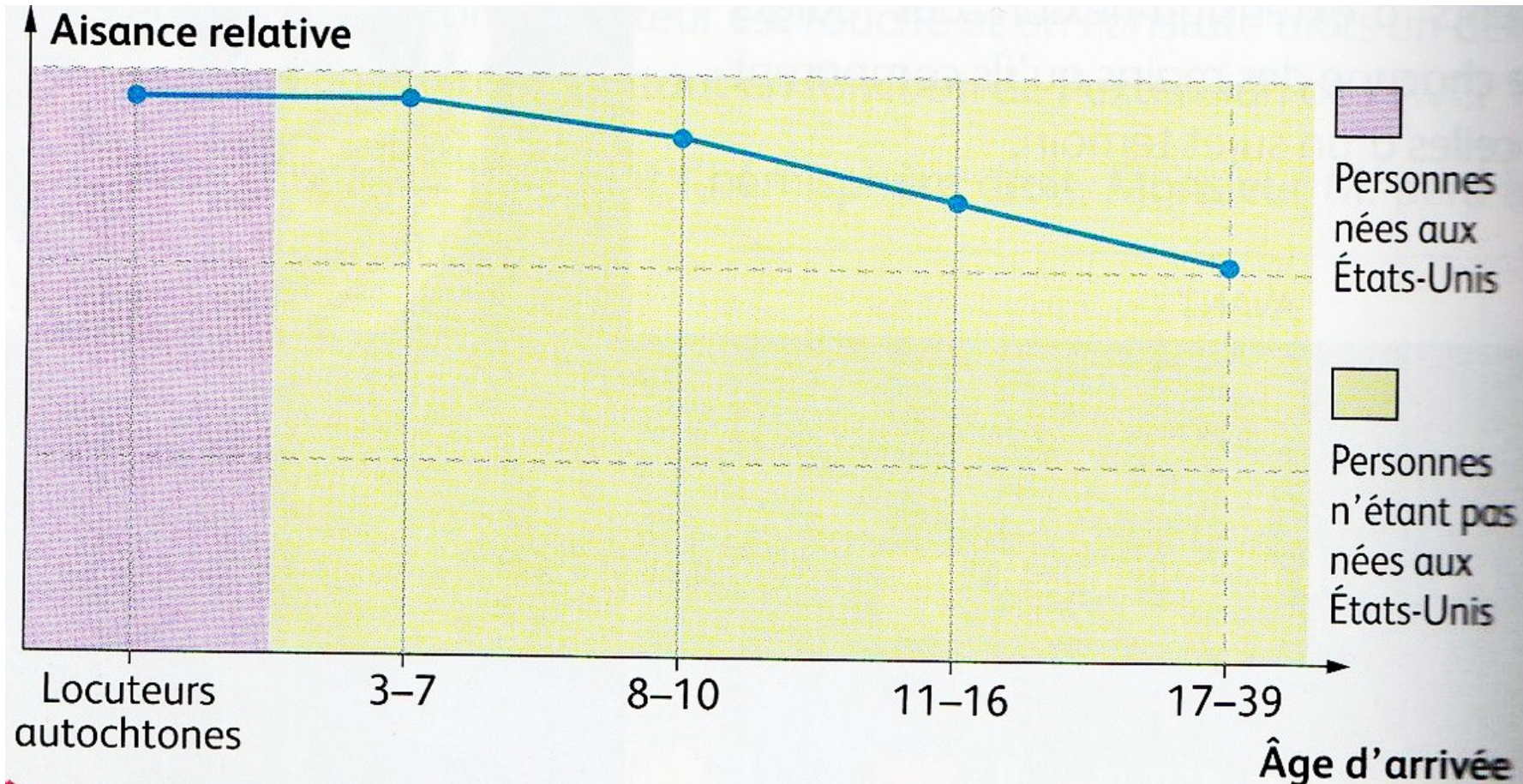
Évolution du nombre de neurones avec l'âge



III) La plasticité cérébrale

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

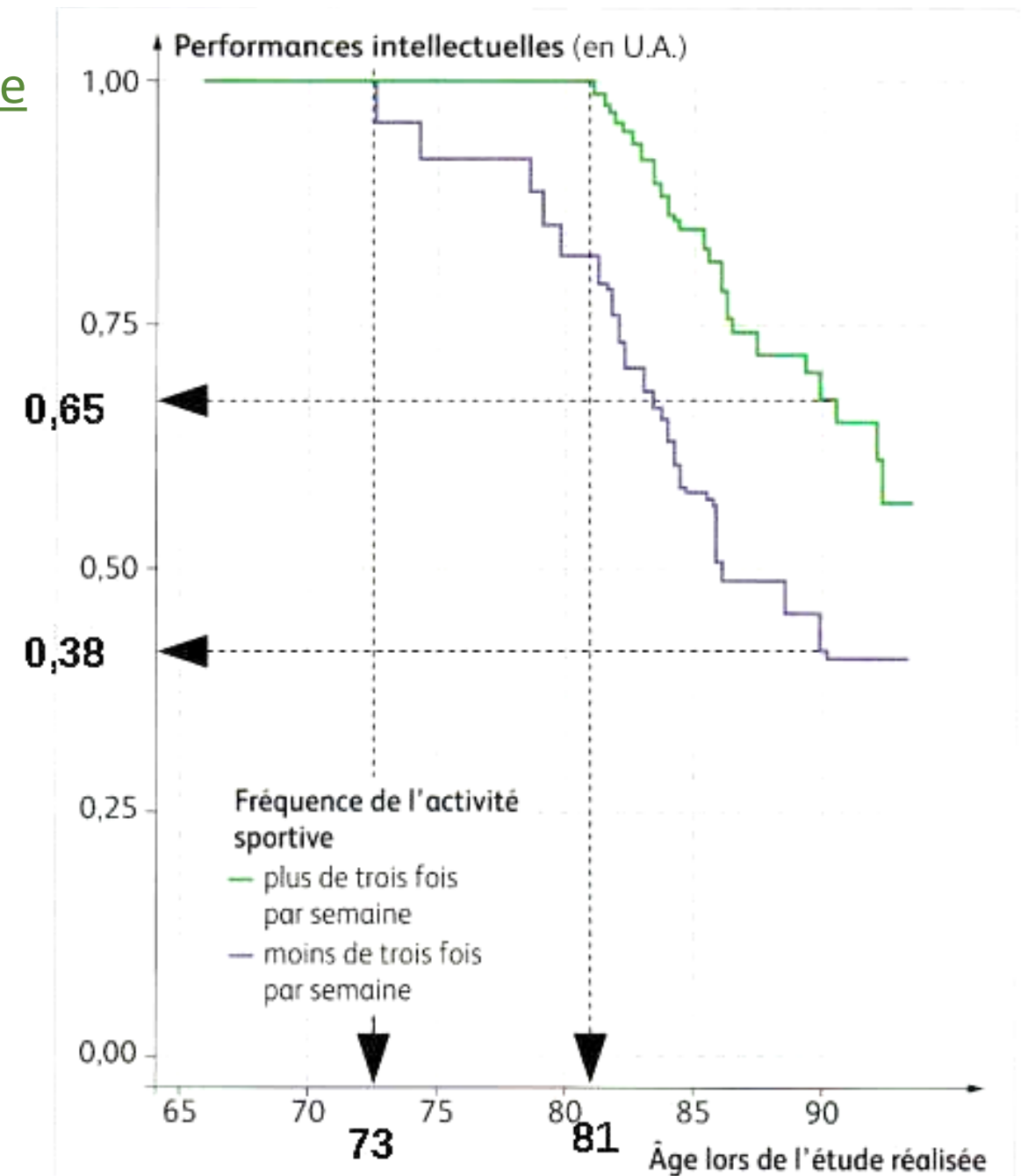
Plasticité variable suivant l'âge



III) La plasticité cérébrale

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

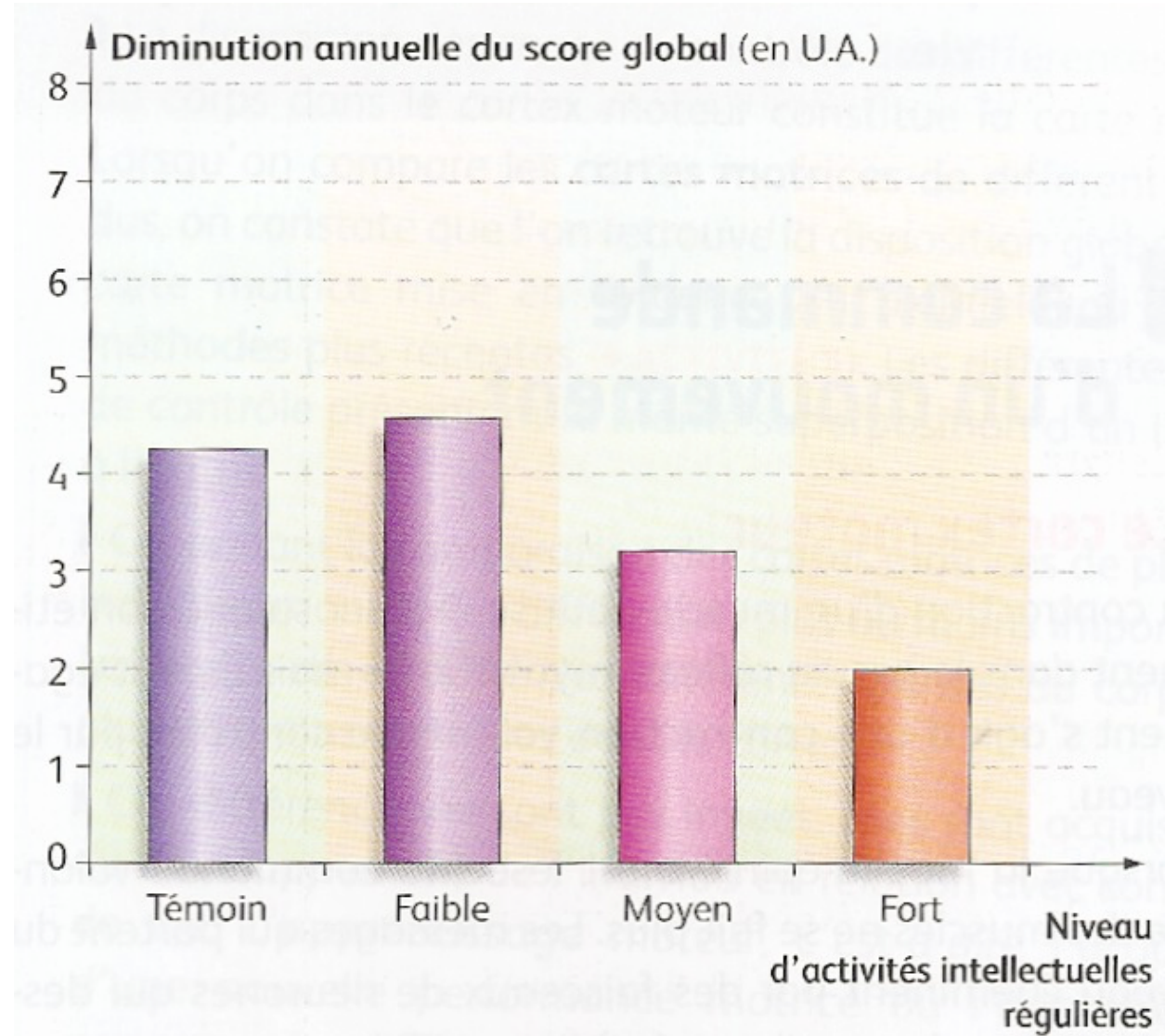
Vieillessement cérébral
et activité physique



III) La plasticité cérébrale

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

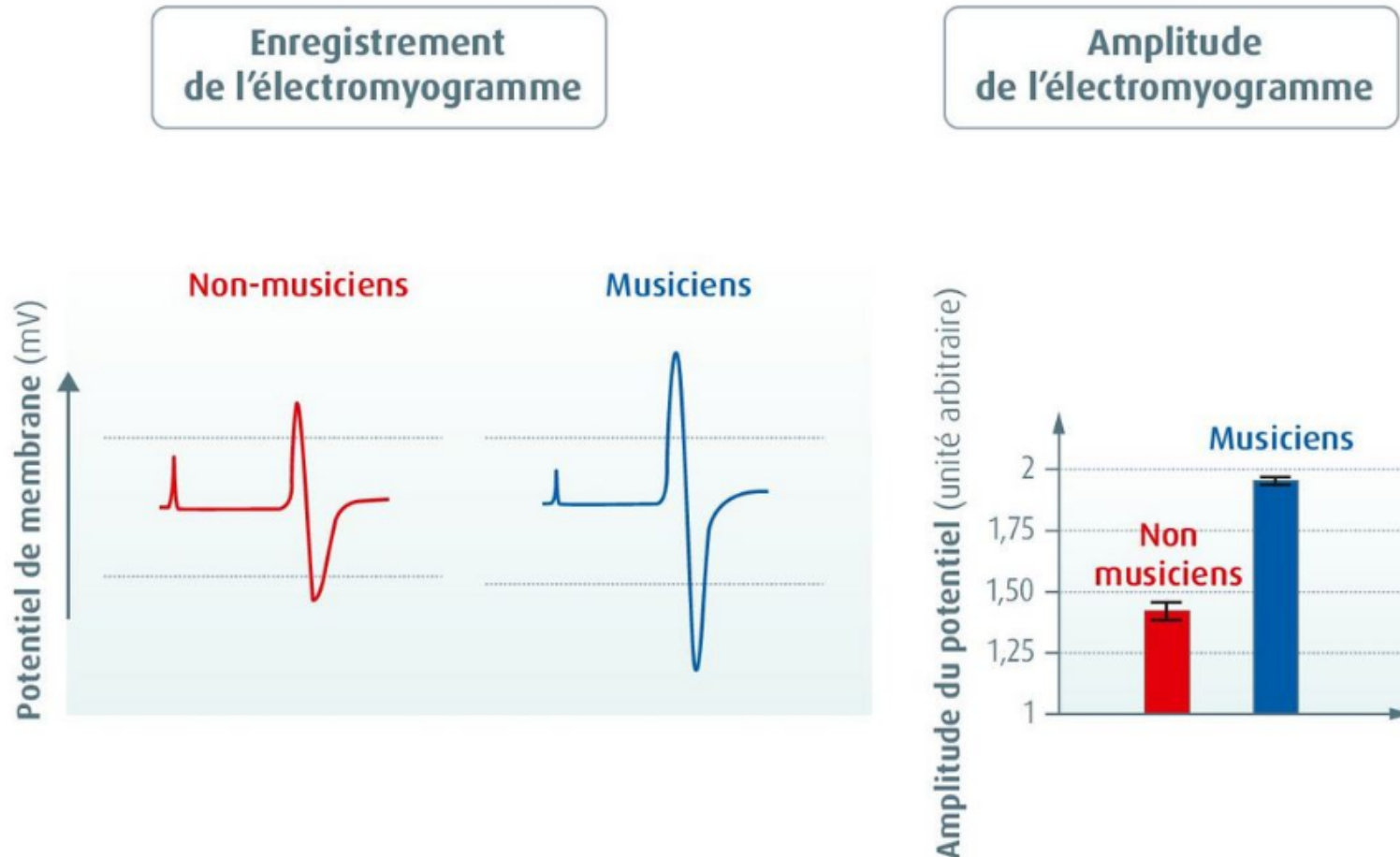
Vieillessement cérébral et activité intellectuelle



III) La plasticité cérébrale

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie

Comparaison de l'efficacité de la voie motrice chez des non-musiciens et des musiciens

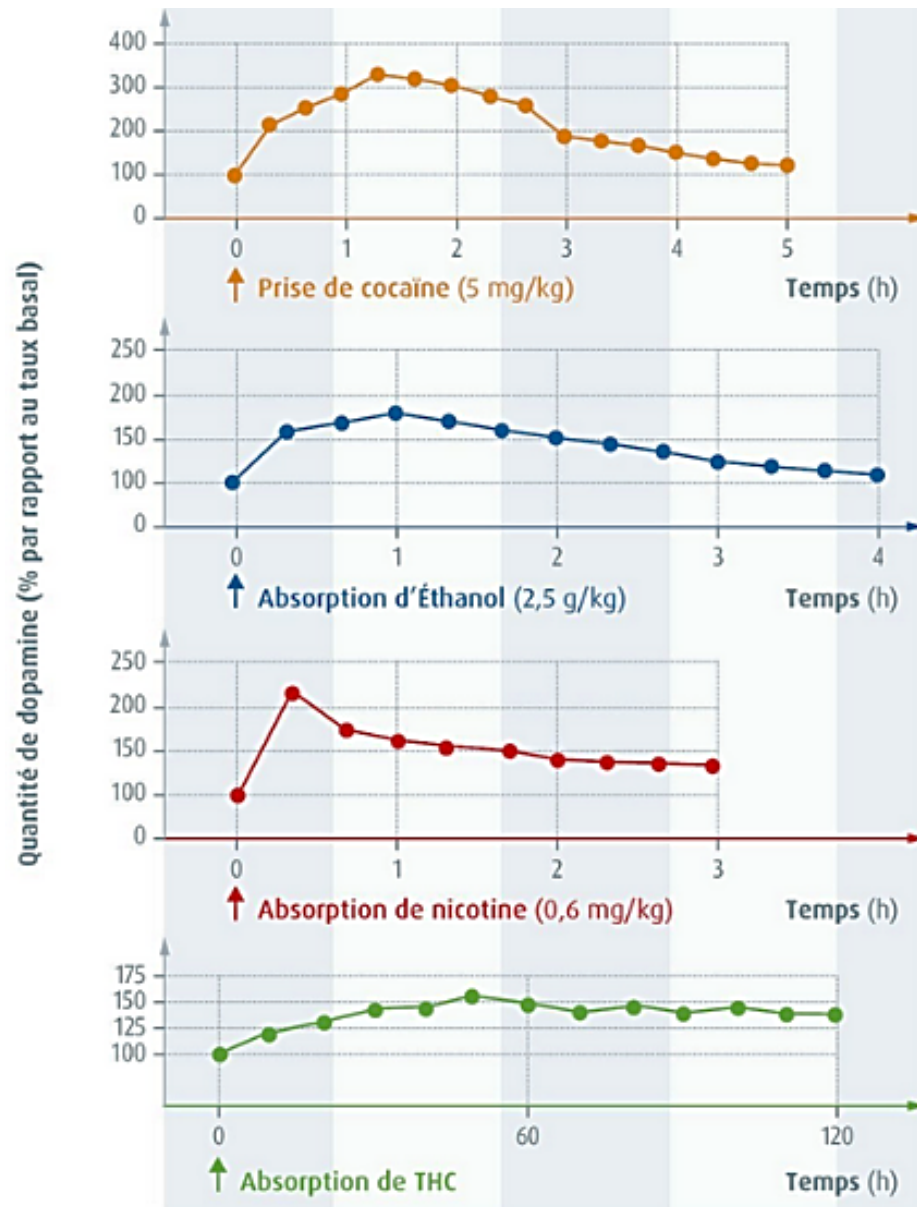


L'expérience est réalisée chez 8 non-musiciens et chez 11 musiciens professionnels âgés de 18 à 34 ans, ayant commencé leur apprentissage (piano, guitare, trompette ou trombone) entre 4 et 12 ans et s'entraînant entre 3 et 5 heures par jour.

La contraction d'un muscle permettant la mobilité du pouce est déclenchée par une stimulation de l'aire motrice cérébrale associée et une stimulation du nerf moteur. On mesure l'amplitude des phénomènes électriques associés à la contraction du muscle (électromyogramme). Une amplitude plus élevée traduit un renforcement de l'efficacité et du nombre de synapses dans l'aire corticale impliquée dans la mobilité du pouce.

III) La plasticité cérébrale

C) L'évolution de la plasticité au cours de la vie



Le cerveau, un organe fragile à préserver

Mesures de la libération de dopamine au niveau du noyau accumbens* du cerveau de rat après la prise de différentes substances.

le noyau accumbens est une structure paire qui fait partie du striatum ; c'est un élément central du **circuit de la récompense (synapses à **dopamine** et **sérotonine**).*

À regarder :

<http://www.msc.univ-paris-diderot.fr/~henry/UO-2020-7.pdf>

Conclusion

La plasticité du cerveau est un espoir de guérison dans maladies neurodégénératives (problèmes liés au vieillissement, sur lesquels il n'y a pas de prise évolutive).

En effet, certaines zones du cerveau (hippocampe, zone sous-ventriculaire) sont capables de produire de nouveaux neurones qui peuvent s'intégrer dans des réseaux préexistants. Toutefois, il n'y a pas d'application médicale à court ou moyen terme, ce qui implique de privilégier l'idée d'un capital à préserver et à entretenir.

Mots-clés : intégration par le neurone moteur, sommation temporelle et spatiale, aire motrice, plasticité cérébrale, neurotransmetteur, molécules exogènes.

La plasticité du cortex moteur

