

TS TP4: la commande motrice volontaire

L'objectif de ce TP est de comprendre l'organisation du cerveau et son rôle dans la motricité volontaire.



Lycée E. Delacroix Tale S

Les données d'Imagerie par Résonance Magnétique, une technique non invasive d'exploration du fonctionnement cérébral

Le logiciel « EduAnatomist » permet de visualiser et d'explorer facilement des données de **neuroimagerie** obtenues par diverses méthodes d'investigation, notamment l'**IRMf** (voir texte ci-contre).

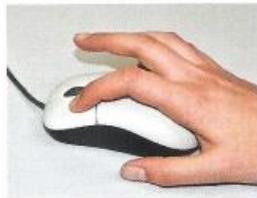
■ PROTOCOLE SUIVI

Ces images du fonctionnement cérébral (IRMf) se rapportent à une série de tests de routine visant à explorer les fonctions cérébrales.

Dans le cas présent, le sujet reçoit l'instruction visuelle ou auditive suivante :

« Cliquez trois fois avec la main droite sur le bouton de la souris ».

On peut alors visualiser quelles zones du cerveau ont été les plus actives au cours de l'exécution de cette tâche bien ciblée.



■ EXPLORATION DES RÉSULTATS

Quelques indications pour l'utilisation du logiciel :

- Rechercher et charger les images en utilisant, par exemple, le mot-clé « motricité ».
- Sélectionner une palette de couleurs.
- Faire varier la position du curseur pour rechercher une zone plus active que les autres.
- Déplacer la croix pour obtenir la même zone sur les trois images.

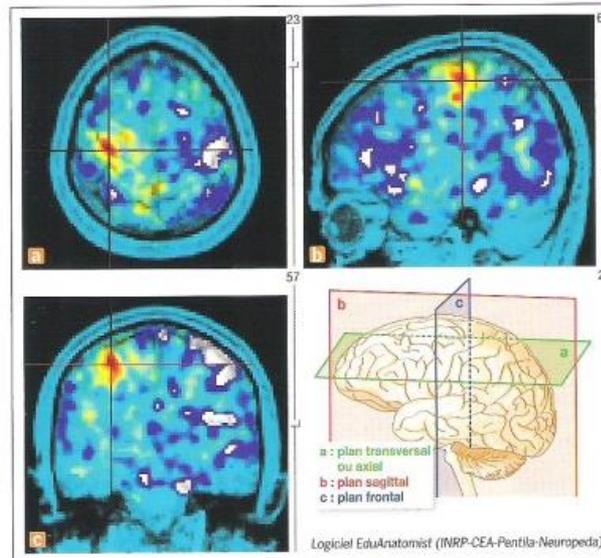
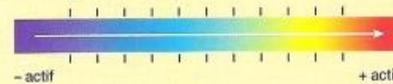
Remarque : dans ce chapitre, toutes les images sont présentées selon les conventions neurologiques, c'est-à-dire que la droite de l'image correspond à la droite du sujet.

Des techniques d'imagerie fonctionnelle

L'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) est une technique permettant d'obtenir des images anatomiques du cerveau correspondant à des coupes virtuelles ou en 3D, avec une précision inférieure au millimètre.

L'IRM fonctionnelle (IRMf) renseigne sur l'activité cérébrale : on superpose alors aux images anatomiques des informations concernant les variations locales de la consommation de dioxygène sanguin.

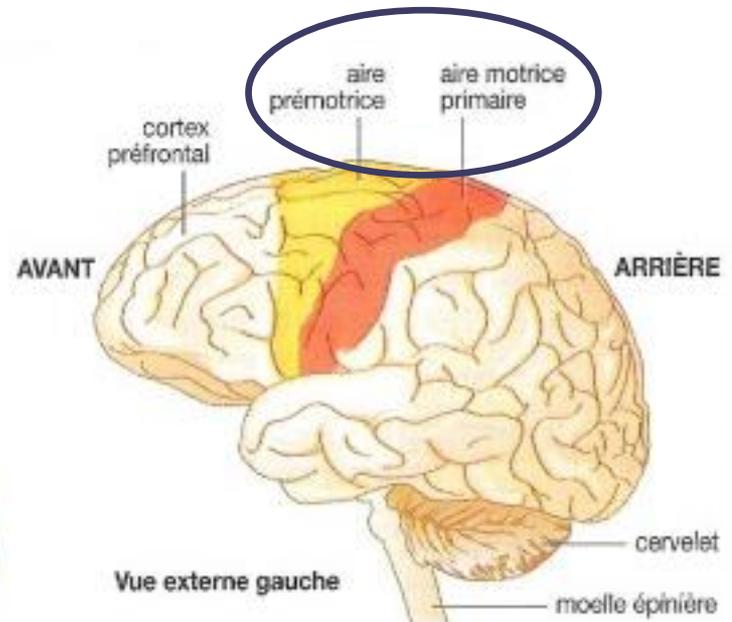
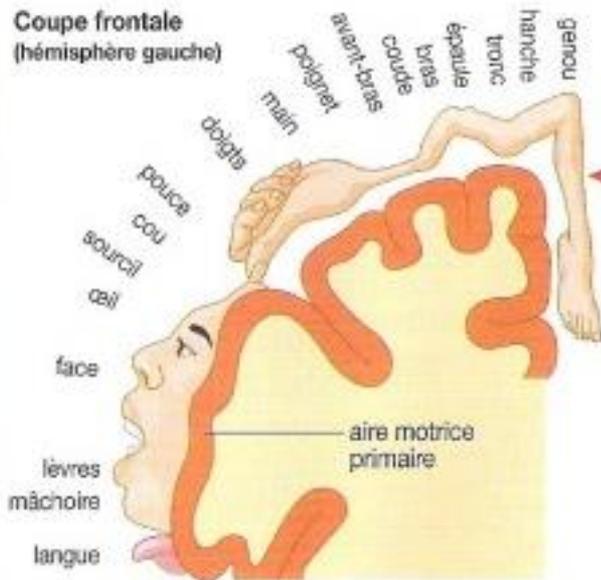
Sur les images, ces variations d'activité sont représentées par un dégradé de couleurs :



La carte motrice du cortex cérébral

La commande des mouvements volontaires met en jeu des territoires bien déterminés du **cortex** cérébral, appelés pour cette raison **aires corticales motrices**. Alors que l'aire motrice primaire commande directement les mouvements, l'aire qualifiée de prémotrice, située plus en avant, est impliquée quant à elle dans la planification et le contrôle de l'exécution des mouvements. Les aires motrices sont présentes symétriquement dans les deux **hémisphères cérébraux**.

Coupe frontale
(hémisphère gauche)



◀ Toute stimulation pratiquée dans l'aire motrice se traduit par l'exécution d'un mouvement d'une partie du corps alors qu'une lésion entraîne une paralysie de cette même partie.

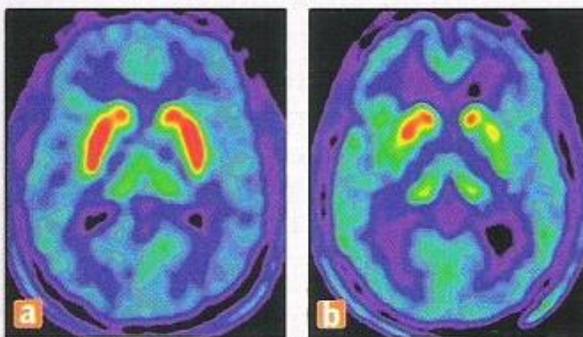
Des expériences systématiques de stimulation, qui confirment une investigation par imagerie cérébrale, ont permis de dresser une cartographie de l'aire motrice : sur la *représentation ci-contre*, appelée *bomunculus* moteur, chaque partie du corps humain a été associée au territoire du cortex qui assure sa commande motrice.

Doc. 2 Une « carte motrice » à la surface du cerveau.

Des exemples de troubles de la motricité: maladie de Parkinson et apraxie

La maladie de Parkinson

La maladie de Parkinson touche 1,5 % des personnes de plus de 65 ans. Elle se manifeste par des troubles de la motricité : tremblements au repos, surtout au niveau des mains, mouvements difficiles à exécuter, marche lente à petits pas, difficultés d'élocution... Cette maladie est due à la disparition progressive de neurones situés en profondeur dans l'encéphale.



Dr Gaëtan Garraux – Service de neurologie, CHU de Liège, Belgique

Coupes transversales montrant une diminution de l'activité des neurones utilisant de la dopamine comme neurotransmetteur.

a : sujet normal.

b : sujet atteint de la maladie de Parkinson.

L'apraxie

L'apraxie (du grec *praxis*, action) est un trouble de la réalisation des gestes : le sujet est incapable d'exécuter certains mouvements de façon intentionnelle ou lorsqu'on lui donne un ordre. Les fonctions motrices sont cependant intactes : le sujet ne présente aucune paralysie.

Ce déficit neurologique concerne la conceptualisation et l'exécution programmée des mouvements, mettant en jeu les aires prémotrices et le cortex préfrontal.

Doc. 3 Des troubles de la motricité dus à des déficiences cérébrales.

Les effets des lésions médullaires: la perte de la motricité



Les accidents qui affectent la moelle épinière se traduisent souvent par une paralysie et une perte de sensibilité plus ou moins importante.

◀ Cet homme est paraplégique. Il a été victime d'une lésion accidentelle de la moelle épinière au niveau des vertèbres lombaires : il est désormais paralysé des deux jambes et de la partie basse du tronc, mais la motricité des membres antérieurs est conservée.

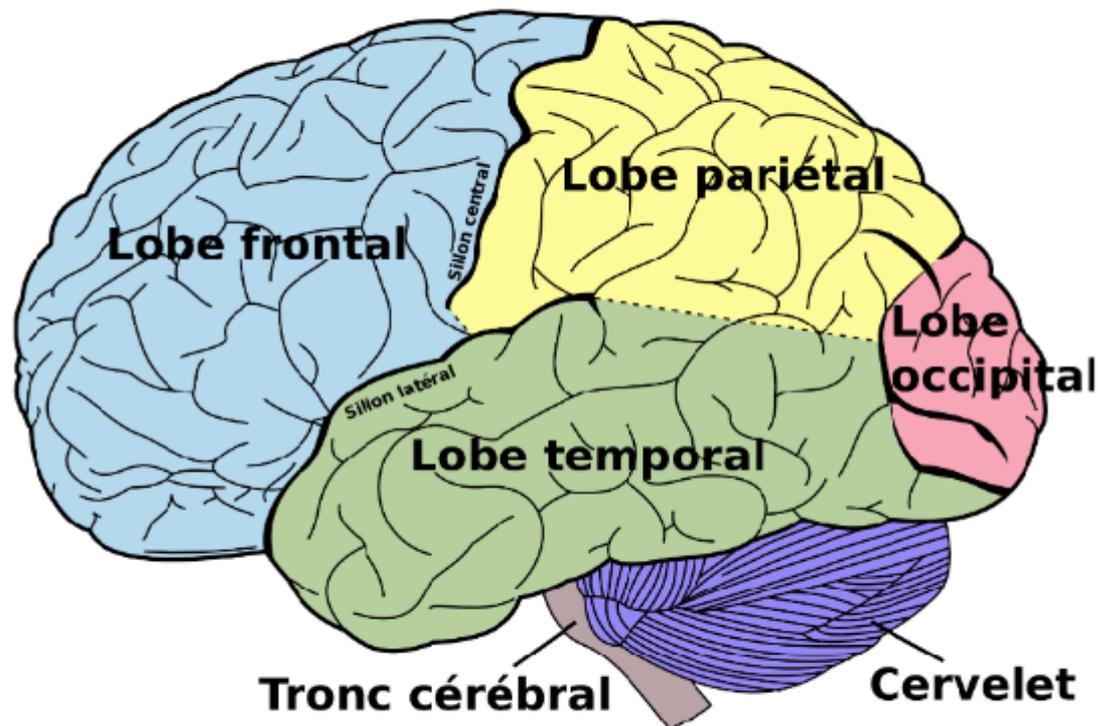


L'IRM ci-dessus révèle une fracture sévère de la 7^e vertèbre cervicale avec atteinte de la moelle épinière (en rouge). Les lésions de ce segment particulièrement vulnérable de la colonne vertébrale (accidents de la circulation, chutes) sont la cause de paralysies graves ou de décès.

Doc. 1 Les effets de lésions médullaires.

Les différents lobes cérébraux

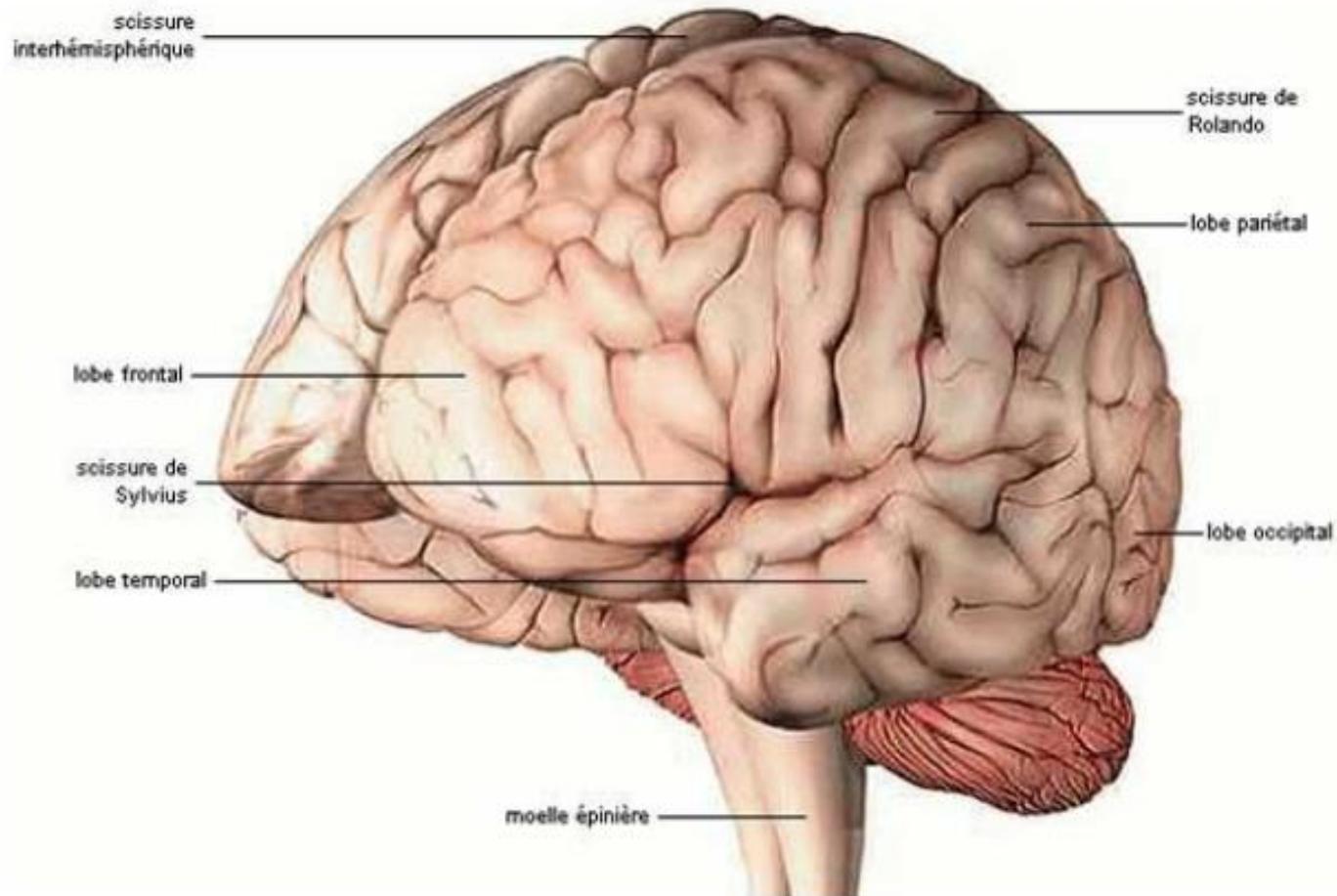
Document référent : Représentations des différents lobes d'un hémisphère cérébral



Vue latérale des quatre lobes externes de l'hémisphère cérébral gauche

http://fr.wikipedia.org/wiki/Lobe_cerveau

les principaux lobes et scissures cérébraux



Scissures et lobes

Etude d'un cas clinique, sujet 13212

Image d'IRM interprétée et commentée – Monsieur X

territoire cérébral
lésé



Phénotype clinique de Monsieur X

hémiplégie droite (paralysie du côté droit du corps : face, membre supérieur, membre inférieur).

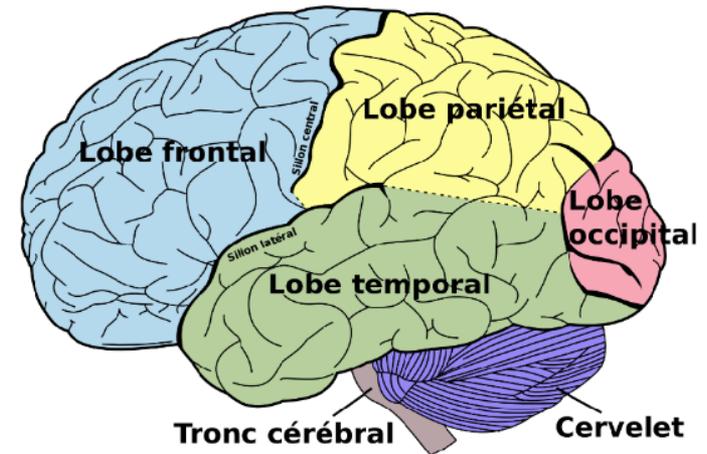
On observe une lésion localisée dans le lobe pariétal de l'hémisphère gauche.

Localisation de la lésion cérébrale et phénotype clinique associé dans le cas de monsieur X, victime d'AVC

(Origine des images : D. C. Rosso, Chef de clinique, Service des Urgences Cérébro-Vasculaires, APHP, Hôpital Pitié-Salpêtrière, 75013, Paris, France)

- On peut aisément remarquer que l'AVC dont a été victime Monsieur X a causé une lésion cérébrale, et a eu pour conséquence une hémiplégie. La commande du mouvement par le cortex des hémisphères cérébraux est ainsi suggérée. D'autre part, l'hémiplégie de Monsieur X touche la région du corps située du côté opposé à celui de l'hémisphère lésé, ce qui suggère que la commande corticale du mouvement est controlatérale.
- Enfin, en mettant en parallèle l'atteinte motrice de ce sujet et le fait que la zone cérébrale lésée se trouve dans le lobe pariétal, on peut imaginer que le cortex pariétal joue un rôle dans la commande des mouvements volontaires. On cherchera alors, toujours dans le deuxième temps, à s'en assurer avec l'analyse d'images en IRMf.

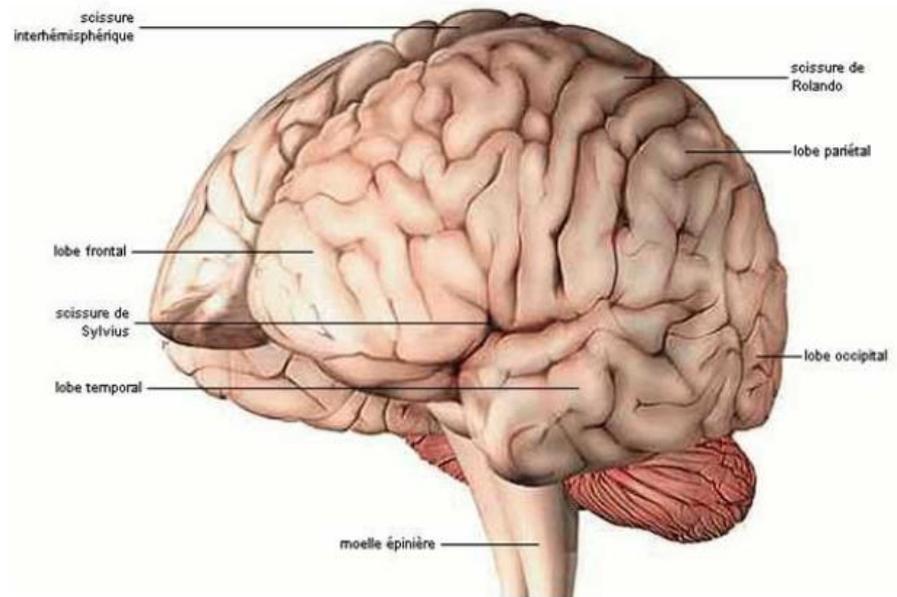
Document référent : Représentations des différents lobes d'un hémisphère cérébral



Vue latérale des quatre lobes externes de l'hémisphère cérébral gauche

http://fr.wikipedia.org/wiki/Lobe_cerveau

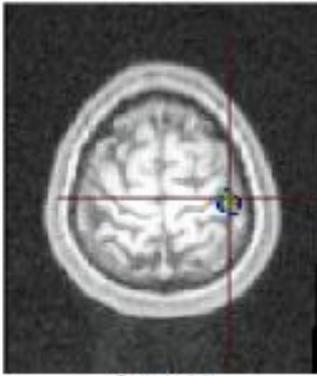
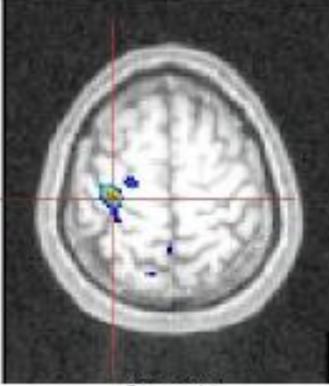
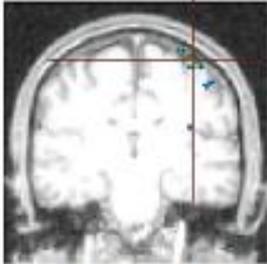
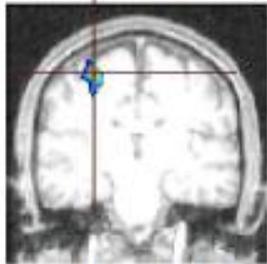
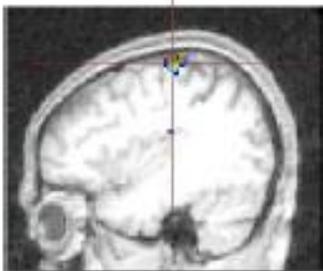
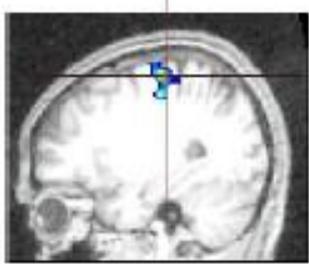
Il existe des aires motrices spécialisées à l'origine des mouvements volontaires. Il s'agit de l'**aire motrice primaire**, située dans le **lobe pariétal** en avant du sillon de Rolando, ainsi que d'autres régions, antérieures, situées dans le **cortex frontal** (*il s'agit des aires prémotrices et motrices supplémentaires*).



Scissures et lobes

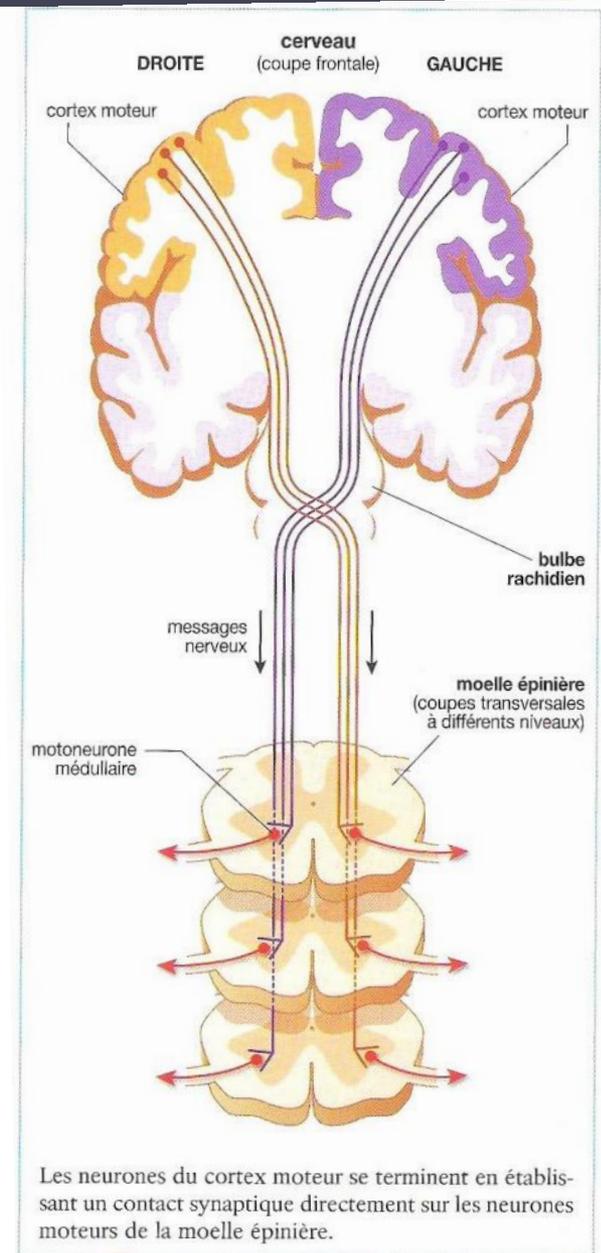
<http://www.dinosoria.com/cerveau.htm>

Exploitation des images d'IRMf du patient 13212

Condition expérimentale	Mesure de la différence entre les acquisitions avec activation motrice de la main gauche versus celle de la main droite IRM_sujet13112_fonctionMotrioteMainGaucheVersusDroite	Mesure de la différence entre les acquisitions avec activation motrice de la main droite versus celle de la main gauche IRM_sujet13112_fonctionMotrioteMainDroiteVersusGauche
Images fonctionnelles obtenues, après réglage du plan de coupe mettent en valeur les zones corticales les plus actives	 <p data-bbox="1091 549 1188 571">Coupe axiale</p>	 <p data-bbox="1516 556 1613 578">Coupe axiale</p>
	 <p data-bbox="1081 863 1197 885">Coupe coronale</p>	 <p data-bbox="1506 863 1622 885">Coupe coronale</p>
	 <p data-bbox="1081 1220 1197 1242">Coupe sagittale</p>	 <p data-bbox="1506 1213 1622 1235">Coupe sagittale</p>
Commentaires	On observe que la réponse motrice de la main gauche est associée à l'activation d'une aire corticale située dans le lobe pariétal de l'hémisphère cérébral droit	On observe que la réponse motrice de la main droite est associée à l'activation d'une aire corticale située dans le lobe pariétal de l'hémisphère cérébral gauche

Localisation des aires cérébrales activées lors de la réalisation d'une tâche motrice (origine des images : Antoni Jean-Luc,

Cette étude en IRMf permet de vérifier que le contrôle moteur assuré par une aire motrice primaire s'effectue sur la partie controlatérale (= du côté opposé) du corps. Les axones des neurones du cortex moteur de l'hémisphère droit bifurquent (= changent de côté) lors de leur descente vers les contacts synaptiques avec les motoneurones de la moelle épinière, il en est de même pour les neurones du cortex moteur de l'hémisphère gauche. Les scientifiques parlent de **décussation de la voie pyramidale.**



Doc. 5 Des faisceaux de neurones dans la moelle épinière.

Etude d'un cas clinique, sujet 12211

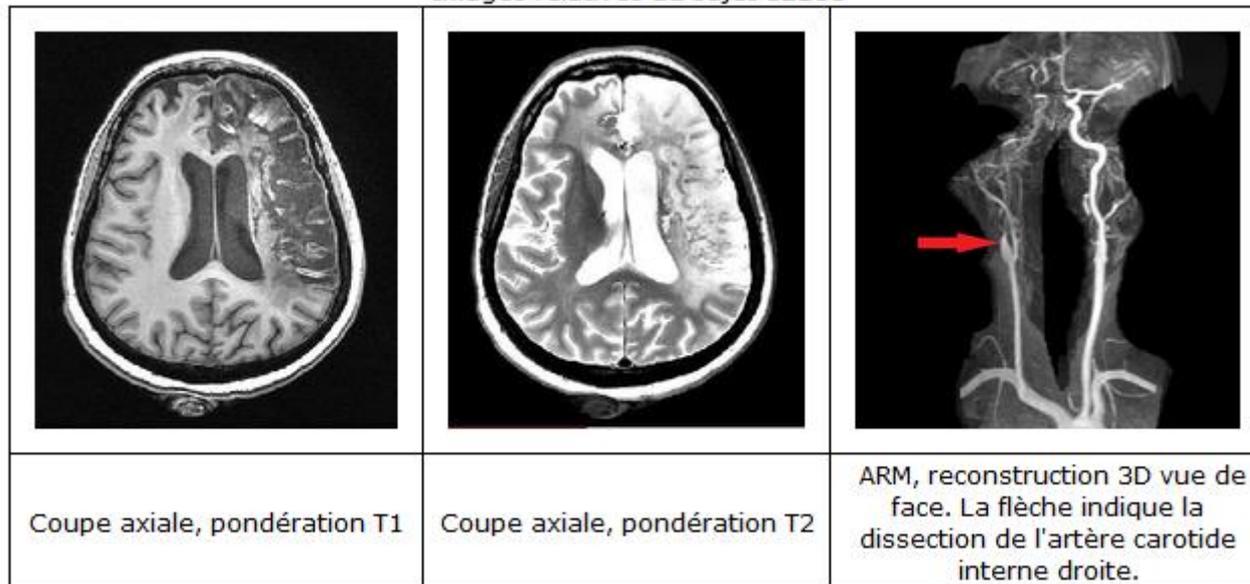
Les images anatomiques du sujet 12211 permettent de mettre en évidence un AIC (Accident Ischémique Constitué) au stade chronique.

Le patient présente :

- une hémiparésie gauche (paralysie du côté gauche du corps : face, membre supérieur, membre inférieur)
- une hémiparésie gauche (incapacité à détecter, s'orienter vers ou répondre à des stimuli présentés dans l'hémiespace gauche)
- une hémianopsie latérale homonyme gauche (perte de l'hémichamp visuel gauche, concerne aussi bien l'oeil droit que l'oeil gauche)
- une hémihypoesthésie gauche (atteinte de la sensibilité extéroceptive élémentaire, c'est à dire le toucher, la douleur et la température du côté gauche du corps).

L'acquisition des images a été réalisée lors du séjour du patient en ré-éducation, 6 mois après l'apparition des symptômes. Les séquences permettent de mettre en évidence un AIC carotidien droit au stade chronique avec atrophie du tissu cérébral de l'hémisphère droit. ARM = angiographie-IRM

Images relatives au sujet 12211

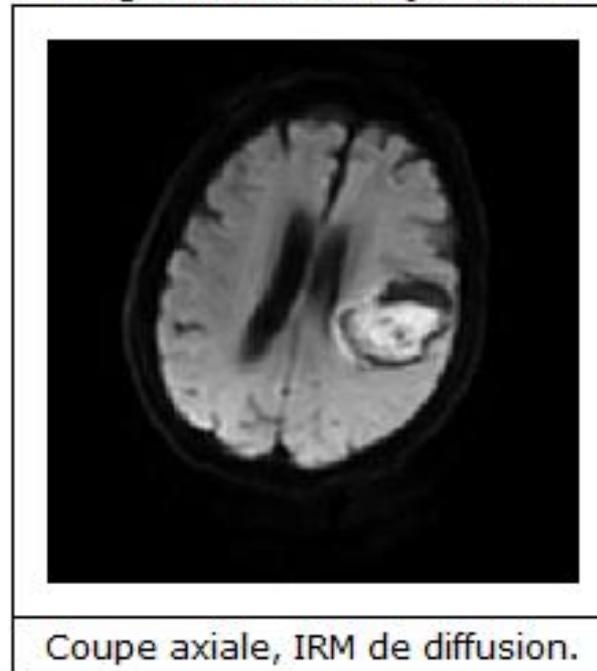


Etude d'un cas clinique, sujet 12213

Les images anatomiques du sujet 12213 permettent de mettre en évidence un HIC (. Le patient présente une hémiparésie gauche (paralysie du côté gauche du corps : face, membre supérieur, membre inférieur).

L'acquisition des images, réalisée 4 heures après le début des symptômes, révèle un hématome intraparenchymateux droit au stade aigu (atteinte des structures cérébrales profondes). L'image proposée, acquise en séquence de diffusion, montre au niveau de la lésion un signal hyperintense au centre et hypointense en périphérie. Ce type de signal résulte des différents produits de dégradation de la molécule d'hémoglobine qui perturbent le champ magnétique local et donc le signal enregistré en IRM.

Image relative au sujet 12213



Le rôle intégrateur des corps cellulaires des neurones

A Une réponse motrice modulée

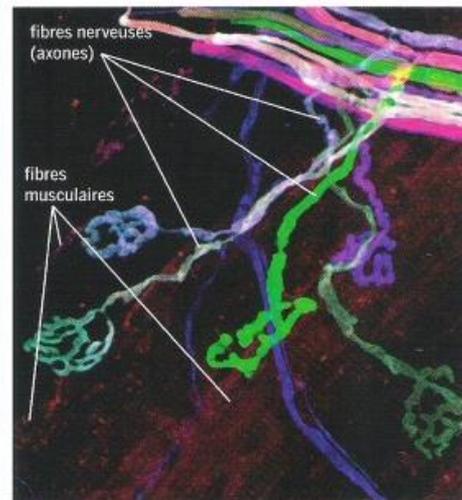
■ PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

En utilisant un dispositif d'ExAO semblable à celui décrit page 352, il est possible d'enregistrer la réponse réflexe myotatique (ici **le réflexe achilléen**) dans différentes situations. Par exemple :

- muscles de la jambe parfaitement relâchés, sujet non prévenu de l'instant du choc ;
- muscles de la jambe parfaitement relâchés, sujet prévenu de l'instant du choc ;
- muscles de la jambe légèrement contractés de manière volontaire par le sujet ;
- traction latérale sur les deux mains pendant la manipulation.



Doc. 1 Une mise en évidence expérimentale d'une intégration neuronale.



• Tout comme un nerf est composé de plusieurs fibres nerveuses, un muscle est formé par de nombreuses fibres musculaires.

La variabilité de la réponse réflexe de contraction à la suite d'une stimulation pourrait laisser penser que chaque fibre musculaire réalise une **intégration** de différentes informations reçues.

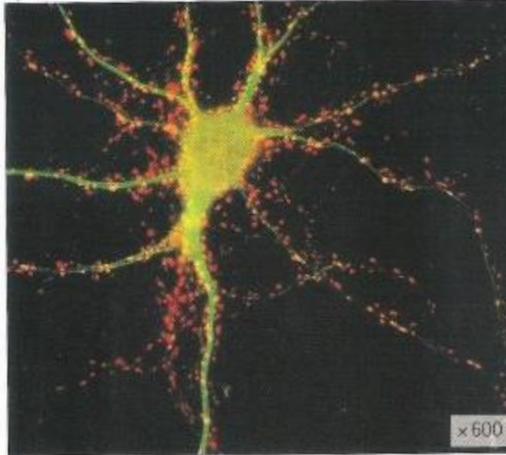
• La récente technique de coloration appelée « Brainbow » (de *brain* pour cerveau et *rainbow* pour arc-en-ciel) utilise une combinaison de gènes codant pour des protéines fluorescentes. Cette technique permet ainsi de distinguer individuellement plusieurs dizaines de neurones (d'où l'aspect multicolore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

Doc. 2 Une étude précise des relations fibre nerveuse - fibre musculaire.

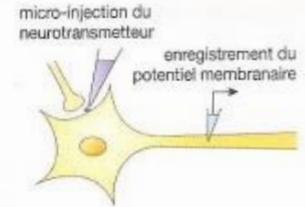
Sommation spatiale et temporelle des corps cellulaires des neurones

- Dans le système nerveux, chaque neurone peut être en connexion avec de très nombreux autres neurones : sur la *photographie ci-dessous*, chaque point rouge correspond à un contact synaptique établi sur le neurone figuré en jaune. On estime qu'un volume de cortex équivalent à une tête d'allumette contient environ un milliard de connexions.

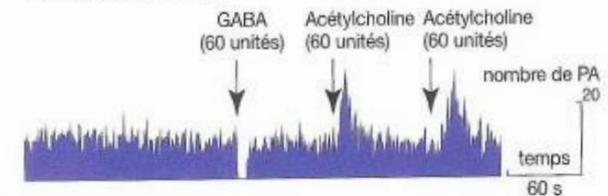


Doc. 3 Des milliers de contacts synaptiques sont établis sur un neurone.

- 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.

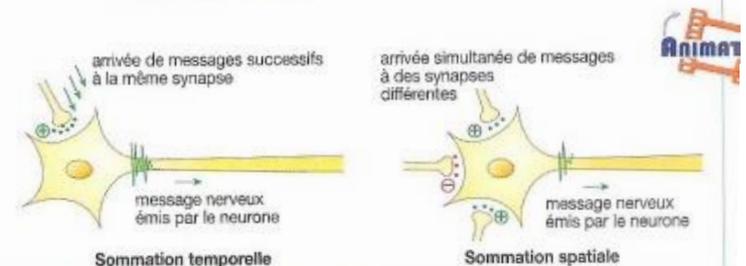


Au niveau d'une synapse donnée, la dose de neurotransmetteurs délivrée dépend du nombre et de la fréquence des potentiels présynaptiques qui atteignent l'extrémité de l'axone.

- Une salve de potentiels d'action présynaptiques n'engendre pas nécessairement l'émission d'un message nerveux postsynaptique. Il faut en général une arrivée de messages successifs suffisamment rapprochés pour générer un message : c'est la **sommation temporelle**.
- Par ailleurs, à tout instant, de nombreuses synapses sont actives. Le neurone est alors soumis à une « pluie »

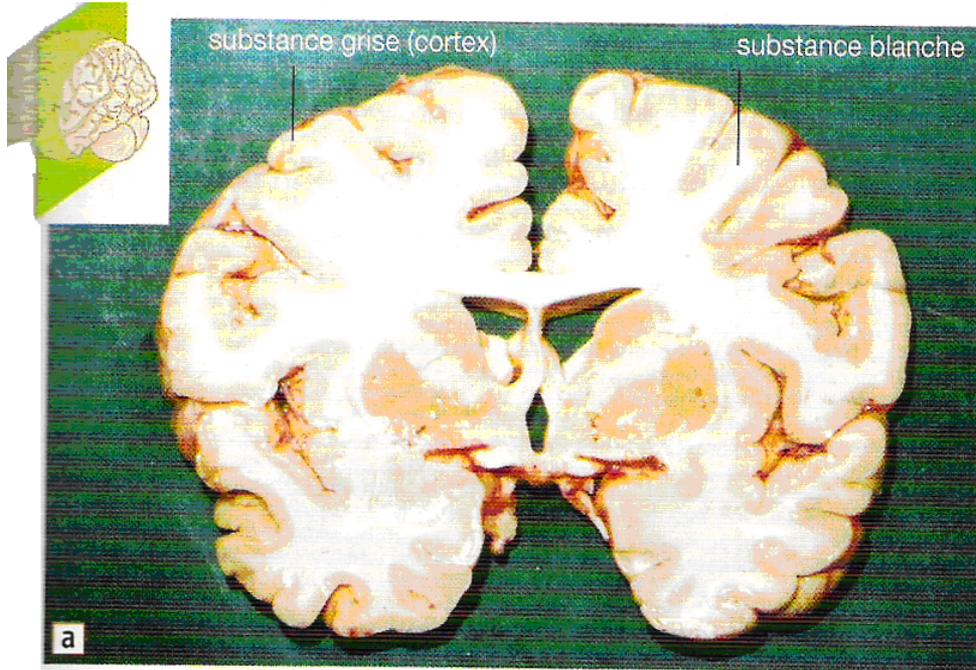
de neurotransmetteurs, les uns tendant à l'exciter, les autres à le mettre au repos : c'est la **sommation spatiale**.

- À tout instant, la sommation spatiale et temporelle de toutes les influences reçues conditionne l'état d'activité d'un neurone. Cette propriété remarquable est l'**intégration neuronale**.

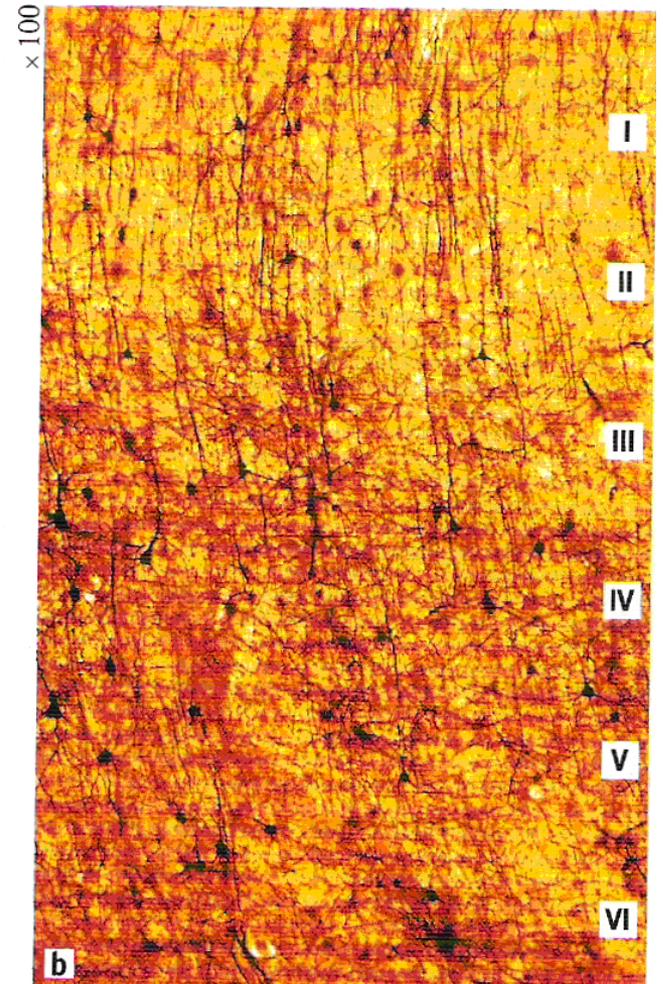


Doc. 4 Le message nerveux émis par un neurone résulte de l'intégration des diverses informations reçues.

Le cortex cérébral, une mince pellicule de « matière grise »



Le cortex cérébral n'a que 2 à 4 mm d'épaisseur, mais les nombreux plissements du cerveau triplent sa surface. Le cortex contient 100 milliards de neurones interconnectés. Ces neurones sont répartis en **six couches superposées** numérotées de I à VI de la périphérie vers la base (**photo b**). La couche IV est la voie d'entrée du cortex puisque c'est là qu'aboutissent les fibres nerveuses sensibles. En établissant des multitudes de connexions entre elles, les autres couches constituent des voies de traitement de l'information.



Mise en évidence de la plasticité cérébrale:
Autoportrait du peintre Anton Räderscheidt après un
AVC

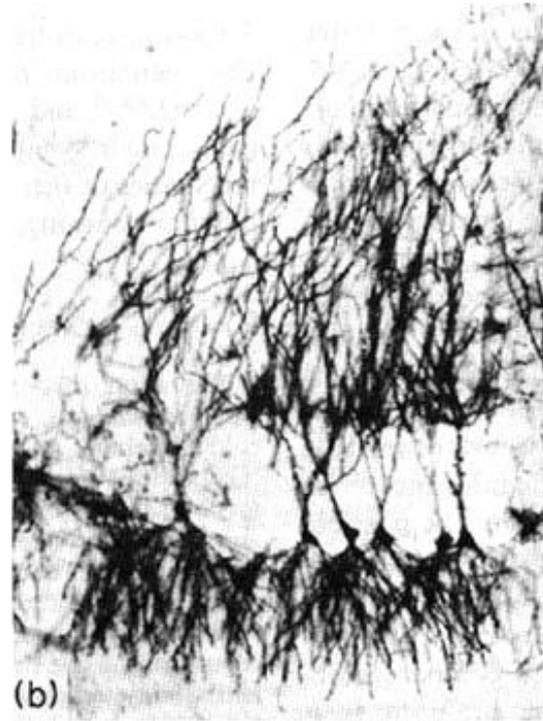


Changements répétés de la morphologie dendritique dans l'hippocampe de l'écureuil sibérien au cours de l'hibernation

Observations des neurones pyramidaux CA3 de l'hippocampe (coloration par la méthode de Golgi):

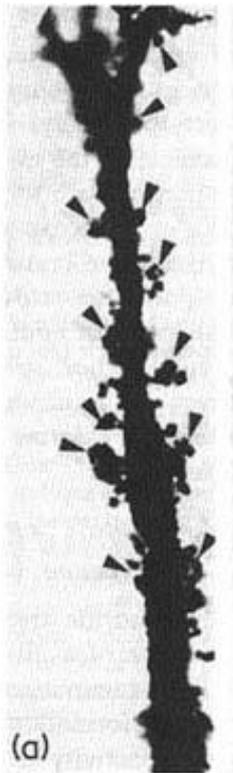


Animal actif

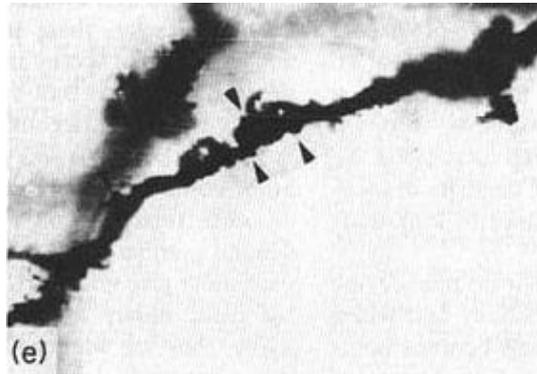


Animal hibernant

Neurones de l'hippocampe : épines dendritiques marquées par des flèches



Animal actif



Animal hibernant



Animal au réveil (2 heures après l'éveil provoqué)