

 NATIONAL
GEOGRAPHIC

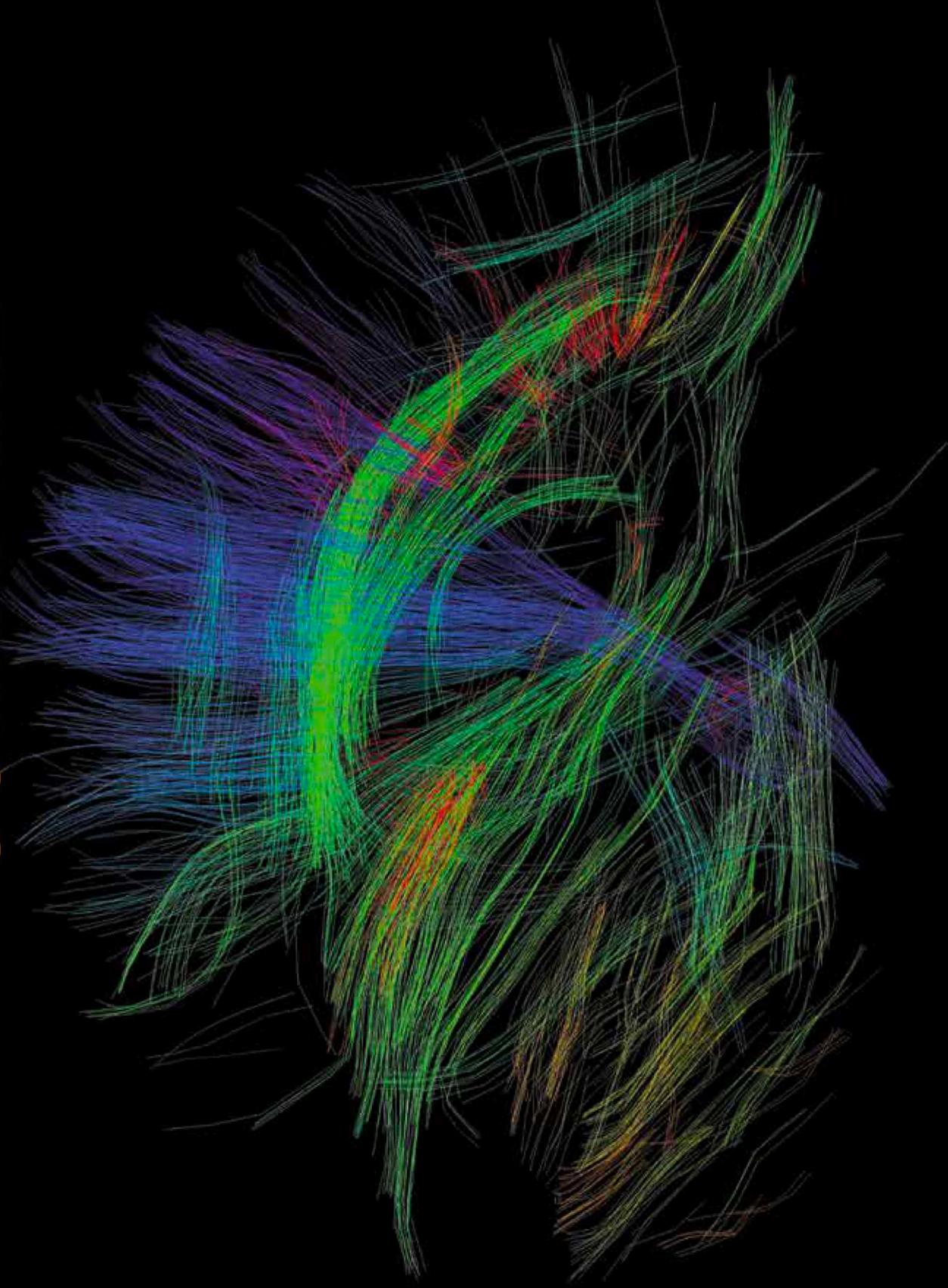
Plongée au cœur du
CERVEAU

HISTOIRE & DÉCOUVERTES - RÔLE & FONCTIONS



Réalisé en collaboration avec des chercheurs de
L'INSTITUT DU CERVEAU ET DE LA MOËLLE ÉPINIÈRE

SOMMAIRE



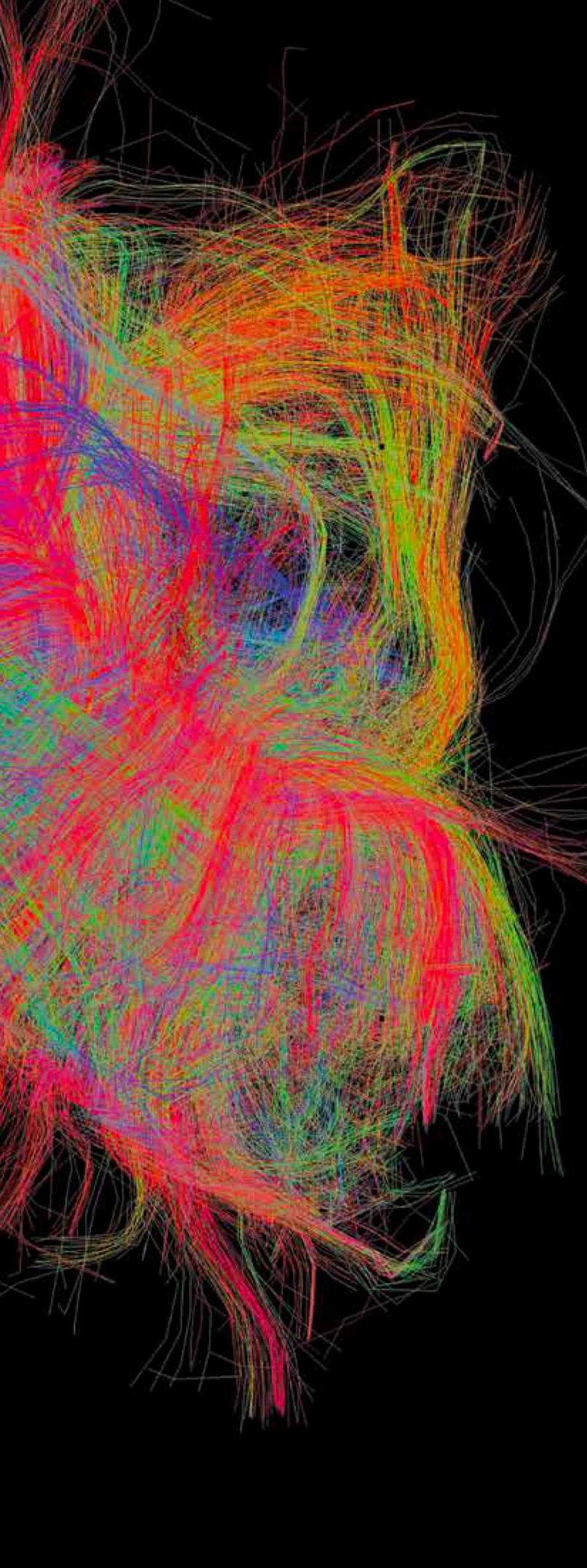
Préface Professeur Gérard Saillant	6
Avant-propos Richard Frackowiak	8
LE CERVEAU DE LA PRÉHISTOIRE AU XXI^E SIÈCLE	10
Jean-Claude Lamielle et Danielle Gourevitch, Jean-François Hutin, Pierre-Léon Thillaud, Jacqueline Vons	
De la préhistoire au xx ^e siècle : énigmes et connaissances du cerveau	12
Des dinosaures aux pharaons	14
Du rhume de cerveau aux trépanations de l'époque impériale	17
Les anatomistes de la Renaissance et des temps modernes	21
Les grandes avancées du xviii ^e au xix ^e siècle	25
De l'iconographie du xx ^e à l'imagerie du xxi ^e siècle	31
L'ORGANISATION GÉNÉRALE DU SYSTÈME NERVEUX	36
Stéphane Lehericy et Éric Bardinet, Olivier Colliot, Jean Daunizeau, Jessica Dubois, Cécile Gallea, Nathalie George, Marie-Odile Habert, Dominique Hasboun, Lucie Hertz-Pannier, Jean-Charles Lamy, Jean-François Mangin, Denis Schwartz, Michel Thiebaut de Schotten, Jérôme Yelnik	
L'anatomie fonctionnelle du cerveau à l'échelle macroscopique	38
Présentation générale du système nerveux central	42
Les grands circuits cérébraux	60
Les techniques d'étude du système nerveux central	78
Vers un décodage du fonctionnement cérébral	98
PLONGÉE AU CŒUR DU CERVEAU	112
Bassem Hassan et Alain Chédotal, Angela Giangrande, André Goffinet, Nelson Rebola, Nicolas Rénier, Jean-Léon Thomas, Pierre Vanderhaeghen, Bernard Zalc	
L'anatomie des cellules et des réseaux du cerveau	114
Les neurones et les cellules gliales	116
Développement et évolution	126
La formation des réseaux neuronaux	132
Comment les cellules communiquent entre elles	142
Une plasticité tout au long de la vie	148
LES FONCTIONS COGNITIVES DU CERVEAU	156
Richard Frackowiak et Marwan Abdellah, Isabelle Arnulf, Paolo Bartolomeo, Laurent Cohen, Bogdan Draganski, Julie Grezes, Jacques Hugon, Pascal Mamassian, Henry Markram, Lionel Naccache, Claire Paquet, Mathias Pessiglione, Pascale Piolino, Daniel Pressnitzer, Eleftherios Zisis	
La cognition humaine	158
La communication	160
La vie consciente	174
La mort et le cerveau	190
L'AVENIR	194
Glossaire	203

L'ORGANISATION GÉNÉRALE DU SYSTÈME NERVEUX



✦ Faisceaux de fibres nerveuses connectant les régions du cerveau entre elles.





« Représentation par tractographie IRM des faisceaux de fibres du cerveau reliant des régions cérébrales distantes.

L'ANATOMIE FONCTIONNELLE DU CERVEAU À L'ÉCHELLE MACROSCOPIQUE

Le cerveau à l'échelle macroscopique, c'est-à-dire celui que l'on voit sans microscope, peut être abordé de plusieurs façons. Les travaux les plus anciens ont étudié les caractéristiques morphologiques du cerveau. C'est l'anatomie descriptive qui va s'attacher à décrire le plus précisément possible les différentes parties du cerveau, les structures et les noyaux qui le constituent, leur forme, leur localisation et leurs rapports ainsi que les enveloppes du cerveau et les cavités ventriculaires. L'anatomie descriptive remonte à l'Antiquité avec des interprétations souvent très influencées par le niveau des connaissances scientifiques et la pression morale et religieuse des différentes époques. La première partie de ce chapitre présentera une description générale du système nerveux central telle qu'elle est enseignée dans les cours d'anatomie aujourd'hui.

L'anatomie fonctionnelle qui étudie les relations entre la morphologie et la fonction du cerveau est née plus récemment. Plusieurs découvertes fondamentales sont à l'origine de la conception moderne du cerveau. La découverte de l'électricité et de son rôle dans le système neuromusculaire par les physiciens Alessandro Volta et Luigi Galvani à partir de la fin du XVIII^e siècle a permis l'essor de l'électrophysiologie qui étudie comment l'influx nerveux se propage le long des neurones et se transmet d'un neurone à l'autre jusqu'au muscle. La découverte de la cellule nerveuse, avec les travaux pionniers de Jan Purkinje, Camillo Golgi et Santiago Ramon y Cajal au XIX^e siècle, est à l'origine de la théorie neuronale qui a remplacé la doctrine réticulaire. De nombreux travaux histologiques sur l'animal et les dissections chez l'Homme ont alors permis d'étudier l'architecture cellulaire du cerveau, de mettre en évidence

l'organisation des neurones en réseaux et de commencer à identifier les faisceaux de fibres du cerveau. En parallèle Franz Joseph Gall, suivi par d'autres, émet l'hypothèse que des aires spécifiques sont responsables des différentes facultés intellectuelles, conception à l'origine de la théorie localisationniste. La conception de Gall, qui liait les contours externes de la boîte crânienne aux fonctions cérébrales, s'est avérée erronée, mais le concept d'une spécialisation des régions cérébrales pour certaines fonctions s'est, lui, confirmé grâce aux observations effectuées par les neuroscientifiques chez l'animal et par les médecins chez les patients atteints de lésions cérébrales. Ces travaux ont permis d'identifier de nombreux circuits cérébraux impliqués dans la perception avec les voies de la sensibilité, de la vision, de l'audition, du goût et de l'odorat, mais aussi dans la motricité, la mémoire et la cognition. Ces circuits seront présentés dans la seconde partie de ce chapitre.

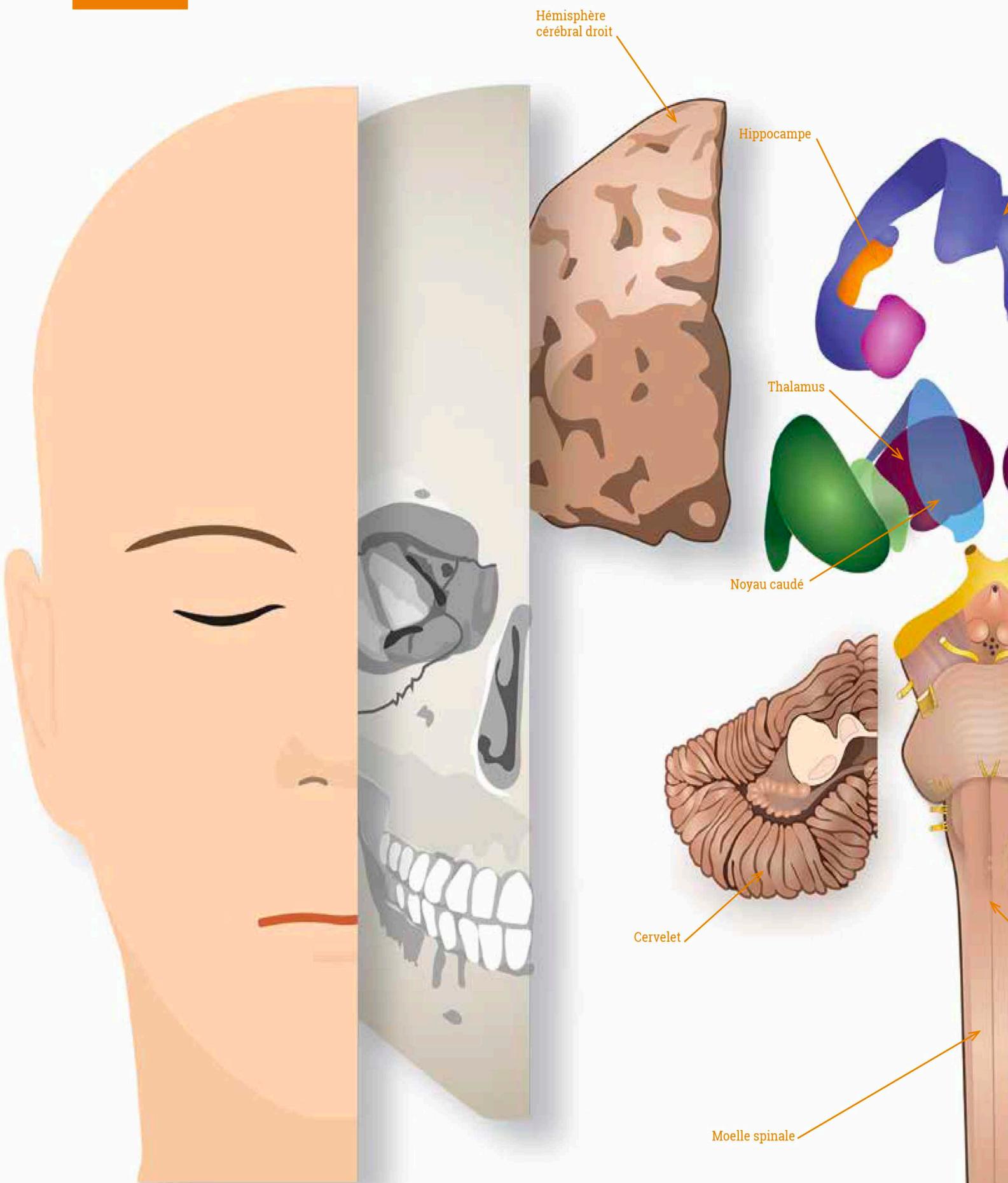
Mais c'est surtout le développement de l'imagerie au xx^e siècle qui a permis de visualiser le cerveau humain vivant. Si la radiographie ne montrait pas directement le cerveau, l'apparition du scanner à rayons X puis surtout de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et des techniques d'exploration fonctionnelle ont donné accès à l'organisation anatomique et fonctionnelle de l'Homme *in vivo*. Grâce à l'imagerie et à la neurophysiologie, la fonction cérébrale a pu être analysée de plus en plus précisément en temps réel, c'est-à-dire pendant que le cerveau travaille, chez le sujet sain ou malade, en lien avec l'anatomie du cerveau de chaque sujet, le niveau d'efficacité intellectuelle ou le profil génétique. Parmi ces techniques, l'IRM a rapidement montré un grand potentiel pour l'étude de l'anatomie cérébrale ou de ses propriétés tissulaires. En parallèle, deux approches complémentaires ont permis l'étude du fonctionnement cérébral, la première, par la mesure de

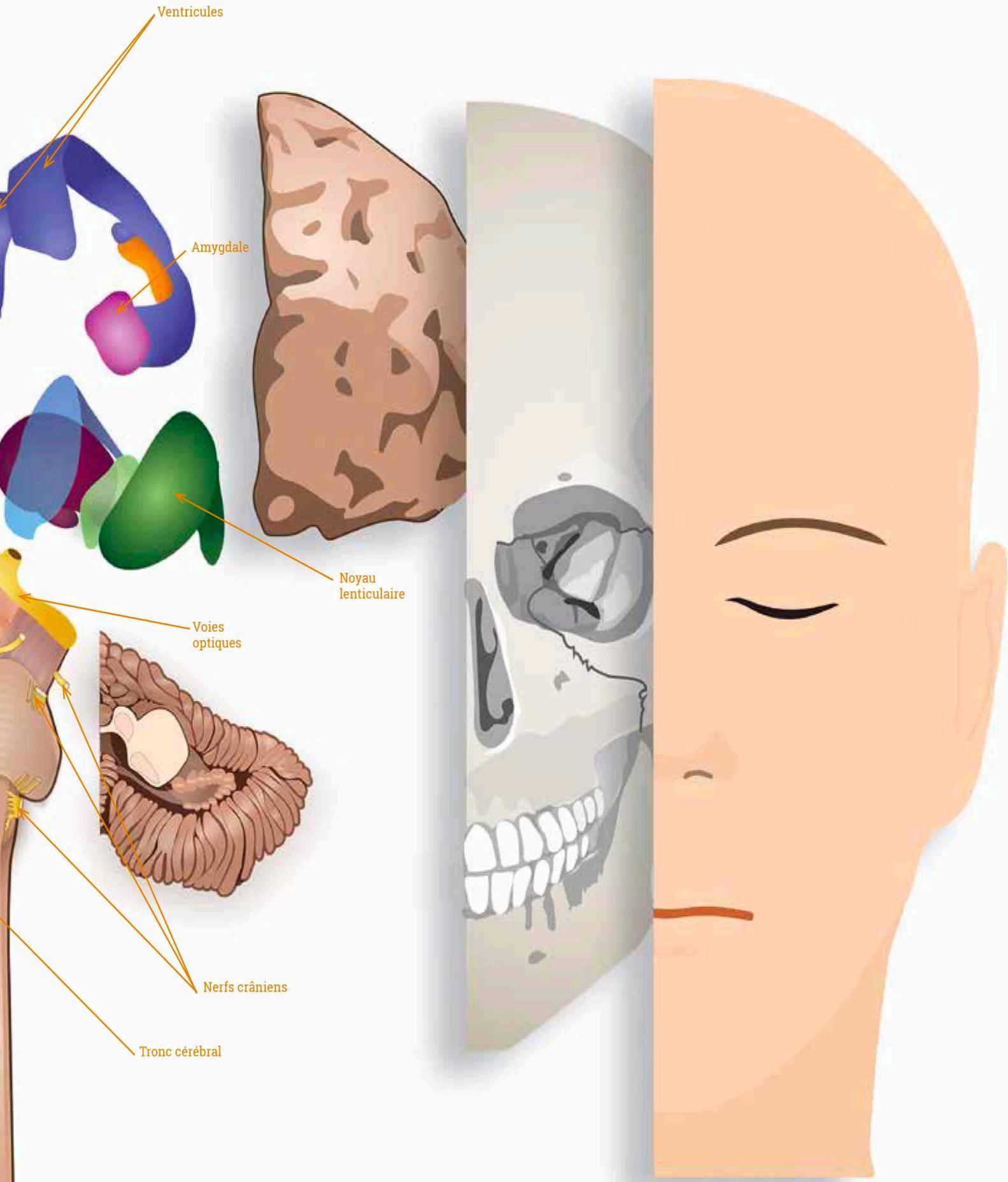
l'activité électrique ou magnétique des neurones en temps réel, ce sont les techniques de neurophysiologie ; la seconde, par des mesures indirectes de ces phénomènes qui résultent des modifications de l'apport sanguin ou par l'injection d'une molécule radioactive. Le développement de l'imagerie fonctionnelle couplée aux approches neuropsychologiques est à l'origine de l'essor des neurosciences cognitives dont l'objet est l'étude des substrats neuronaux de l'activité mentale et de la pensée. Ce sont ces techniques d'exploration qui seront présentées dans la troisième partie de ce chapitre.

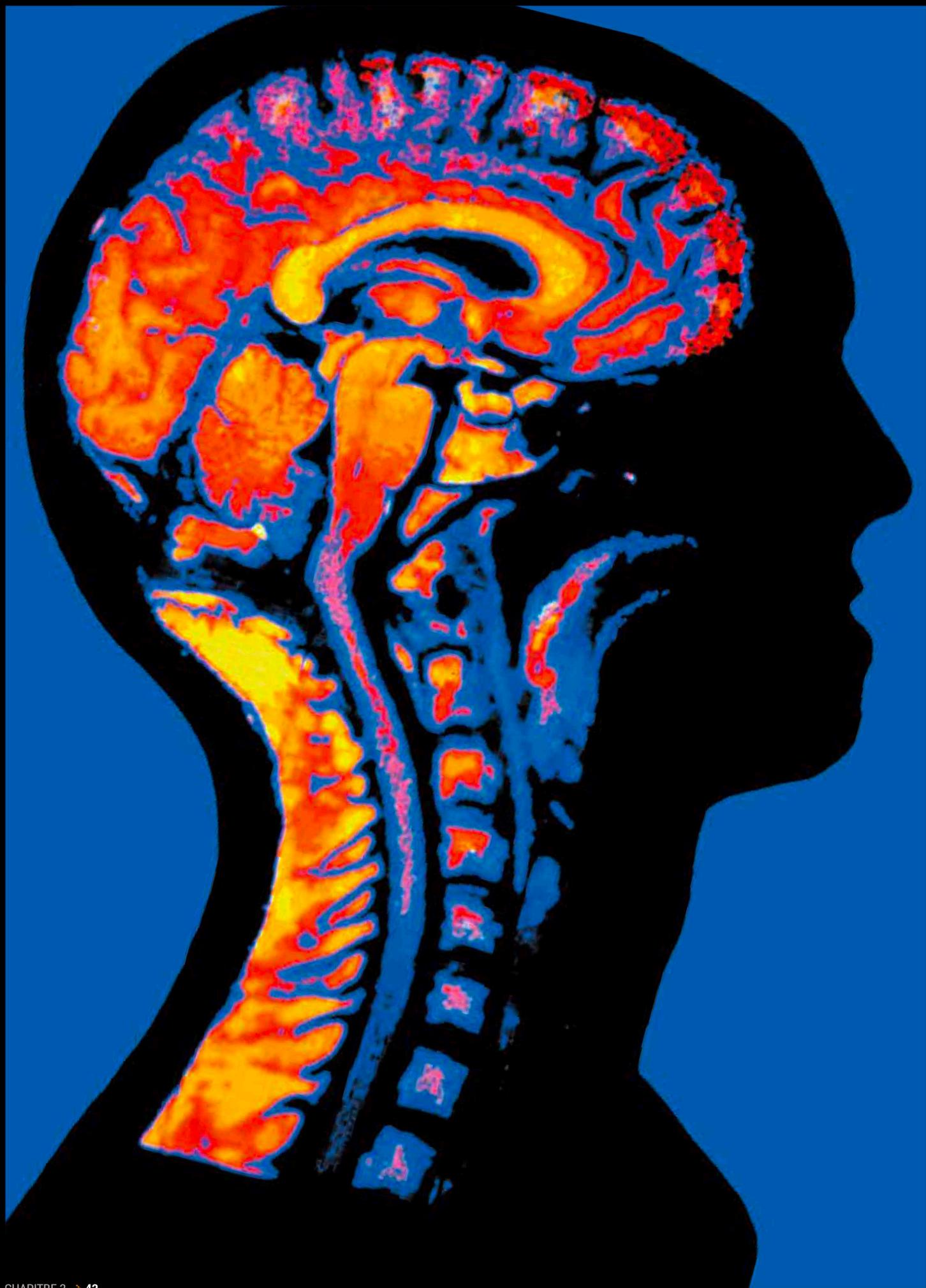
La dernière partie abordera la question du fonctionnement cérébral et de la manière dont le cerveau génère le comportement. Les travaux de la fin du xix^e siècle consistaient à observer l'effet de lésions cérébrales sur le comportement : une lésion d'une région entraînait un déficit d'une fonction. Le raisonnement inverse attribuait cette fonction à cette région dans une approche « localisationniste ». Le perfectionnement des techniques d'étude du cerveau à l'échelle macroscopique du xix^e siècle à nos jours, notamment grâce aux progrès de l'imagerie, a fait évoluer notre conception du cerveau. Celle-ci est passée d'un organe constitué d'un ensemble de régions distinctes, spécialisées dans des fonctions particulières telles la motricité, la vision ou le langage à celle d'un organe connecté dans lequel chaque région est spécialisée dans un traitement spécifique de l'information en interaction constante avec le reste du cerveau au sein de réseaux distribués. Le cerveau se révèle aussi comme un organe dynamique, « plastique », qui se développe au long de la vie, depuis les tout premiers stades embryonnaires jusqu'à l'adolescence, en se modifiant avec l'apprentissage, puis au cours du vieillissement ou de la maladie.

Stéphane Lehericy

L'ANATOMIE DU CERVEAU









PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU SYSTÈME NERVEUX CENTRAL

Le système nerveux est constitué du système nerveux central, ou névraxe, du système nerveux périphérique et du système nerveux autonome. **Le névraxe** est situé dans l'axe de symétrie de l'individu. Il comporte l'encéphale (la partie comprise à l'intérieur du crâne) et la moelle épinière (la partie comprise à l'intérieur de la colonne vertébrale). Le cerveau comprend les hémisphères cérébraux droit et gauche (télencéphale), une partie profonde et centrale (diencéphale), puis plus bas, le tronc cérébral, qui fait la transition avec la moelle spinale située dans le canal rachidien au cœur de la colonne vertébrale. Le cervelet, véritable « petit cerveau », est situé en arrière du tronc cérébral. **Le système nerveux périphérique** comprend les nerfs périphériques moteurs, sensitifs et végétatifs. Le système nerveux végétatif correspond à la partie du système nerveux qui fonctionne de façon autonome. Le tissu nerveux qui constitue le système nerveux est composé de neurones et de cellules gliales. Les neurones sont répartis à la surface des hémisphères pour

former le cortex cérébral et en profondeur sous la forme de noyaux (ganglions de la base et noyaux du tronc cérébral). L'ensemble du névraxe, depuis les hémisphères à la moelle spinale, est axé sur une cavité, appelée cavité épendymaire, remplie de liquide cébrospinal. Les nerfs émergeant de la moelle spinale forment les nerfs rachidiens, et ceux qui émergent du tronc cérébral, les nerfs crâniens. Les cellules gliales sont des cellules de soutien qui forment l'enveloppe des neurones. Les tumeurs du cerveau se développent habituellement à partir du tissu glial et non des neurones. Dans les pages qui suivent, découvrons plus en détail l'anatomie générale du système nerveux.

✦ Croisements aléatoires de fonctions cognitives sur la face latérale du cerveau.

✦ IRM montrant une coupe sagittale (de profil) et médiane du cerveau.

LES DIFFÉRENTS CONSTITUANTS DU SYSTÈME NERVEUX

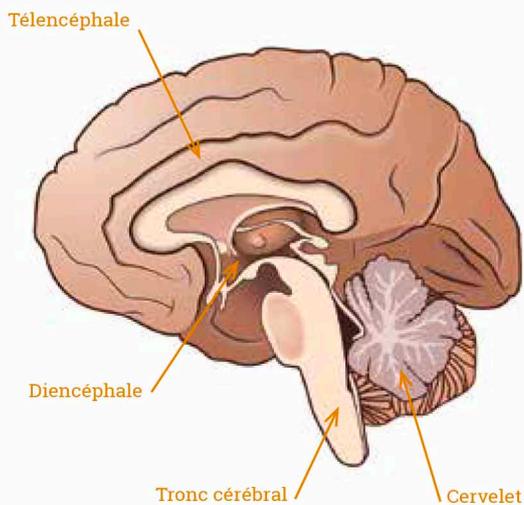
Le système nerveux est constitué du névraxe situé dans l'axe de symétrie de l'individu et de nerfs périphériques. Le névraxe, ou système nerveux central, comprend les éléments suivants :

- Le télencéphale, constitué des hémisphères cérébraux droit et gauche.
- Le diencephale, plus profond et central constitué du thalamus, de l'hypothalamus, de l'épithalamus et du sous-thalamus.
- Le tronc cérébral, situé plus bas, qui fait la transition avec la moelle spinale.
- Le cervelet, situé en arrière du tronc cérébral.
- La moelle spinale, ou moelle épinière, située dans le canal rachidien, au cœur de la colonne vertébrale.

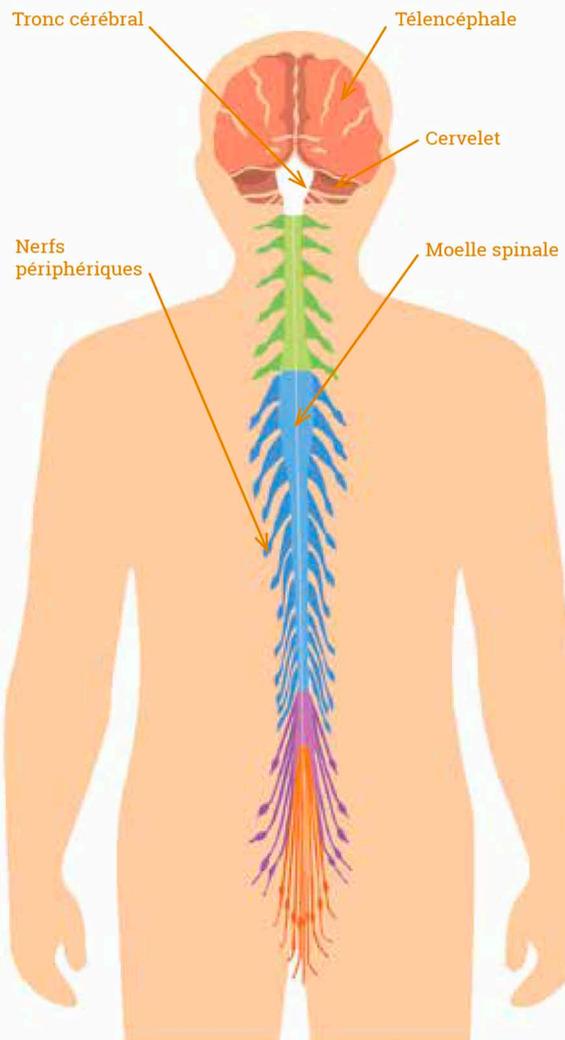
Le système nerveux périphérique comprend des nerfs périphériques moteurs, sensitifs et végétatifs qui partent de la moelle spinale ou du tronc cérébral.

Ces nerfs sont appelés afférents quand ils convergent vers la moelle spinale pour adresser au cerveau des informations périphériques en provenance de la peau, ou profondes en provenance des tendons ou des muscles.

Le système nerveux périphérique comprend aussi des nerfs efférents, ou motoneurones, qui viennent de la moelle et qui contactent les muscles en périphérie. À proximité de la moelle, ces nerfs se regroupent en 31 paires de nerfs rachidiens ou racines. Pour les membres, les racines se recombinent en plexus puis donnent des troncs nerveux comme le nerf sciatique ou le nerf médian.



❖ Vue latérale de la face interne du cerveau.

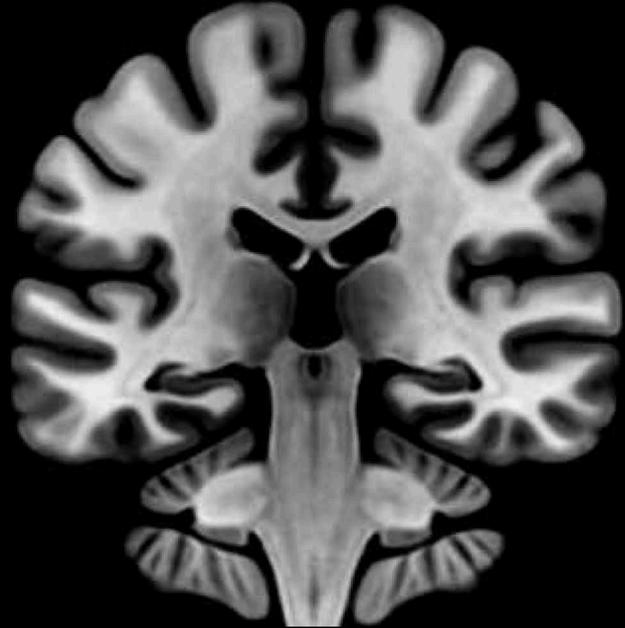


❖ Représentation schématique des constituants du système nerveux, vue de face.

LES PLANS DE RÉFÉRENCE EN ANATOMIE

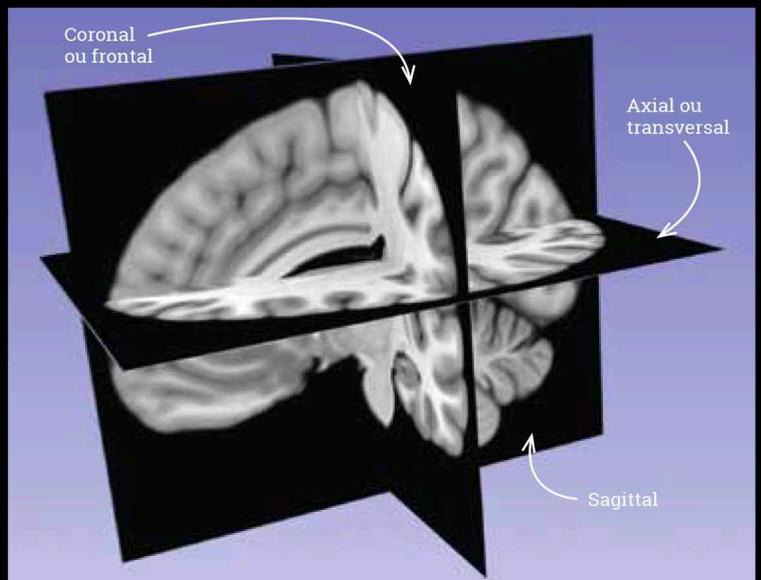
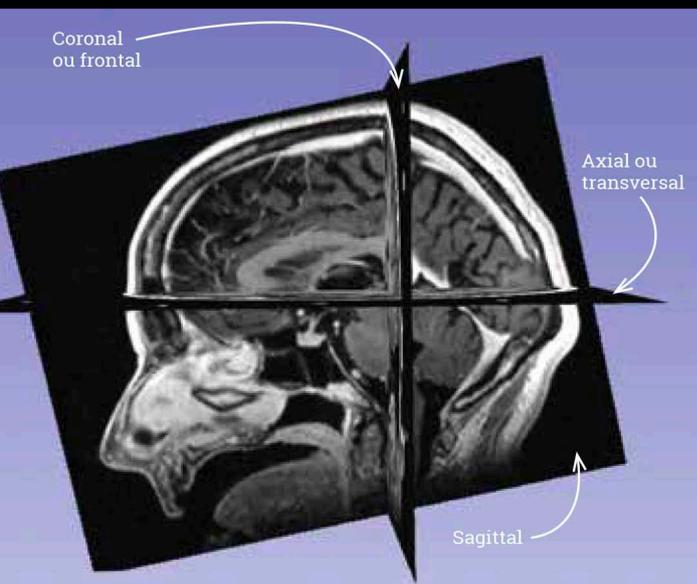
L'anatomie descriptive étudie les structures anatomiques dans un espace bien défini. La position anatomique de référence, ou position de Poirier, place le sujet face à l'observateur, les paumes en avant. La droite du sujet est donc à gauche. Plusieurs plans de référence sont déterminés :

- **Le plan sagittal** montre le sujet de profil. Cette coupe sépare le corps dans deux parties, droite et gauche. Le plan sagittal médian correspond à une coupe passant par l'axe de gravité, séparant le corps en deux parties égales. Le terme « sagittal » vient du fait que le plan sagittal est parallèle à la suture sagittale du crâne.
- **Le plan axial ou transversal** est un plan horizontal. Il distingue des éléments du haut et du bas du corps en le séparant dans une partie rostrale ou crâniale (du côté de la tête) ou caudale (du côté de la queue). Par convention, une coupe axiale IRM est vue par au-dessous, ce qui signifie que la droite de l'image correspond à la gauche du sujet. On parle de convention radiologique puisque c'est celle qu'utilise le radiologue. Dans le cadre de la recherche, les images peuvent être présentées en convention neurologique. Dans ce cas, l'image est vue par au-dessus et la droite de l'image correspond à la droite du sujet.
- **Le plan coronal, ou frontal**, est parallèle au front. Le plan frontal divise le corps en deux parties, antérieure et postérieure ou ventrale (du côté du ventre) ou dorsale (du côté du dos). Dans ce plan, les éléments seront définis comme latéral (en dehors) et médial (en dedans).



✧ Plan coronal ou frontal IRM du cerveau.

✧ Les plans de coupe du cerveau.



LE CRÂNE

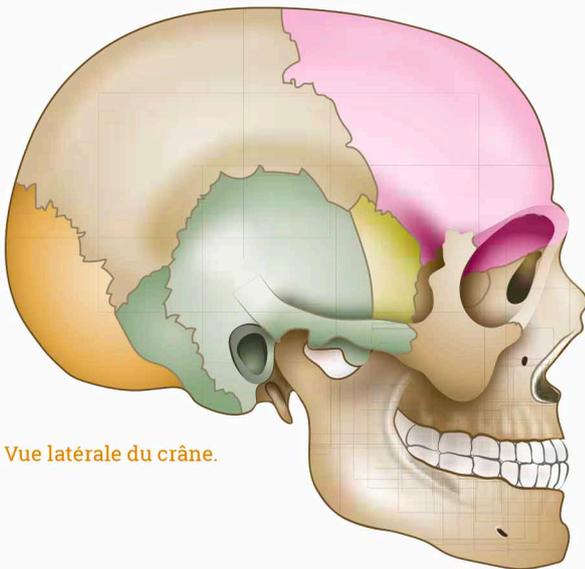
Le système nerveux central est protégé par des enveloppes osseuses et méningées. La tête, enveloppe osseuse protégeant le cerveau, comprend la face et le crâne, lui-même constitué d'une base et d'une voûte (calvaria). Le rachis est l'enveloppe osseuse qui protège la moelle spinale ou épinière.

La calvaria est composée d'os plats réunis entre eux par des sutures. Les os plats sont longs et larges mais peu épais. La calvaria comprend l'os frontal, les deux os pariétaux, l'os occipital et une partie de l'os sphénoïde. Ces os sont reliés entre eux par de solides sutures. Les os de la tête protègent le cerveau en absorbant l'énergie des traumatismes. Certains os sont creusés de cavités appelées sinus qui communiquent avec les fosses nasales. L'infection de ces fosses entraîne une sinusite.

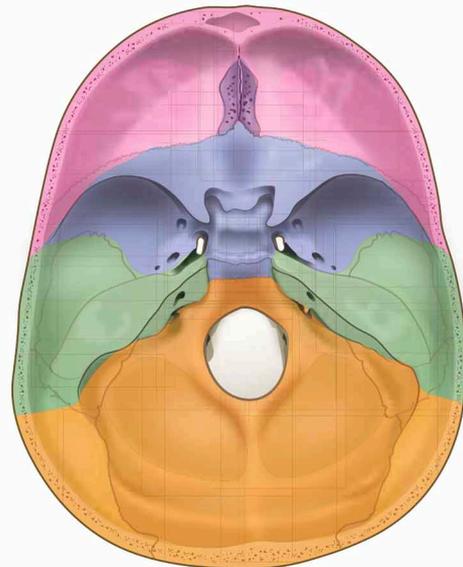
La base du crâne est adaptée à la forme du cerveau. Elle s'échelonne sur les trois étages (antérieur, moyen et postérieur).

L'étage antérieur comprend l'os frontal (rose) ; l'ethmoïde (violet) qui appartient aux fosses nasales ; le sphénoïde (bleu) qui s'étend sur les étages antérieur et moyen ; l'os temporal (vert) qui est traversé par l'artère carotide interne et le nerf facial qui contient la cochlée et le vestibule pour l'audition et l'équilibre ; et l'os occipital (orange) en arrière, percé par le plus grand orifice, le foramen magnum permettant la communication entre le crâne et le rachis.

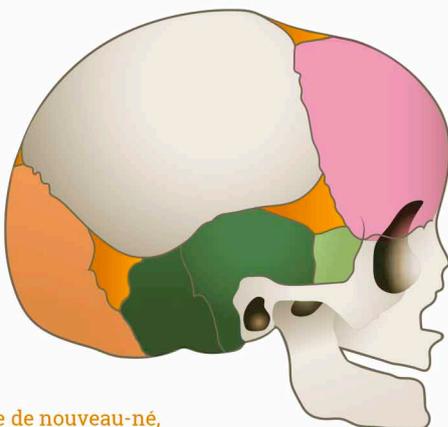
Chez le nouveau-né, les sutures ne sont pas entièrement fermées. Elles forment les fontanelles (en jaune) : sur la ligne médiane en avant et en arrière, latérales en avant et en arrière.



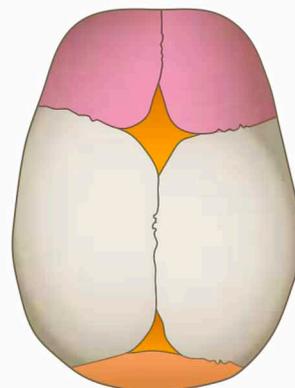
❖ Vue latérale du crâne.



❖ Vue supérieure de la base du crâne.



❖ Crâne de nouveau-né, fontanelles vues de profil à gauche.



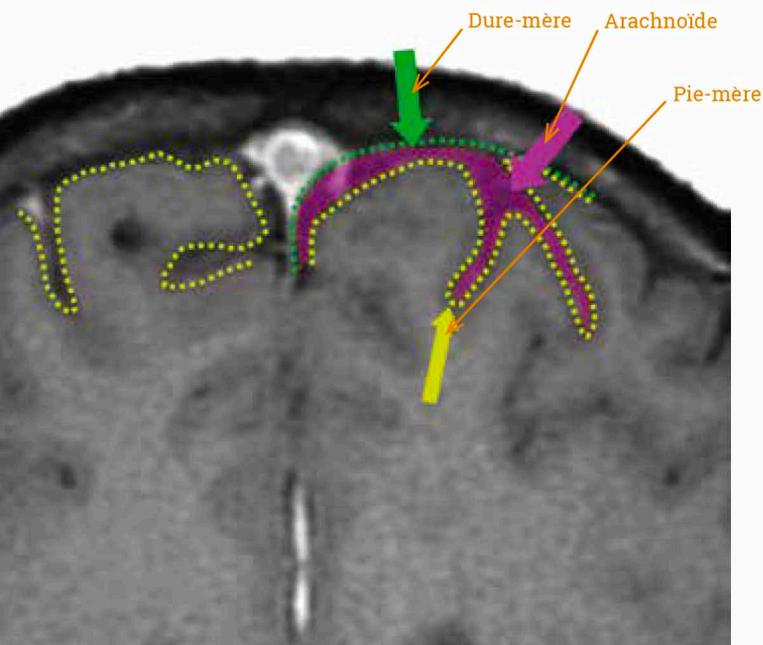
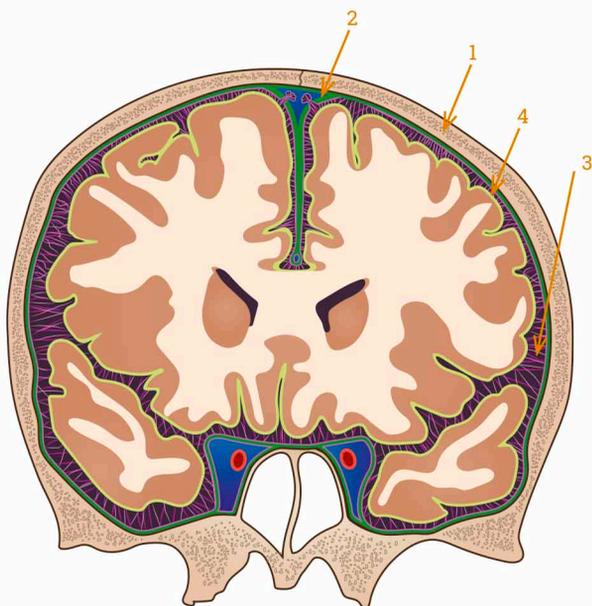
❖ Crâne de nouveau-né, fontanelles, vue supérieure à gauche.

LES MÉNINGES

Le système nerveux central, très fragile, est protégé par quatre enveloppes superposées. La plus externe est formée par les os du crâne et les vertèbres. En dedans, les méninges forment trois enveloppes conjonctives : la dure-mère (vert foncé), qui est la plus résistante, puis deux feuillets fins appelés l'arachnoïde (violet) et la pie-mère (vert clair). Cette dernière adhère complètement aux moindres reliefs du système nerveux central, que ce soit l'encéphale ou la moelle épinière.

Ces feuillets limitent des espaces :

- l'espace extra-dural entre l'os et la dure-mère
- l'espace sous-dural entre la dure-mère et l'arachnoïde
- l'espace sous-arachnoïdien entre l'arachnoïde et la pie-mère.



Ces trois tissus jouent d'abord un rôle de protection du cerveau, mais également un rôle nutritif au niveau de l'arachnoïde via le liquide cérebrospinal.

Le liquide cérebrospinal circule dans l'espace sous-arachnoïdien autour du cerveau et de la moelle spinale ainsi que dans les quatre ventricules cérébraux constitués par les deux ventricules latéraux, le troisième ventricule et le quatrième ventricule.

Les artères et les veines cérébrales cheminent également dans l'espace sous-arachnoïdien. Un saignement artériel, provoqué par exemple par une rupture d'anévrisme, y entraînera une hémorragie méningée. Les saignements veineux diffusent entre la dure-mère et l'arachnoïde, comme dans le cas d'un hématome sous-dural, et sont habituellement moins aigus.

Les méninges sont normalement stériles, mais leur infection par des bactéries ou par des virus entraînera une inflammation des méninges sous la forme d'une méningite.

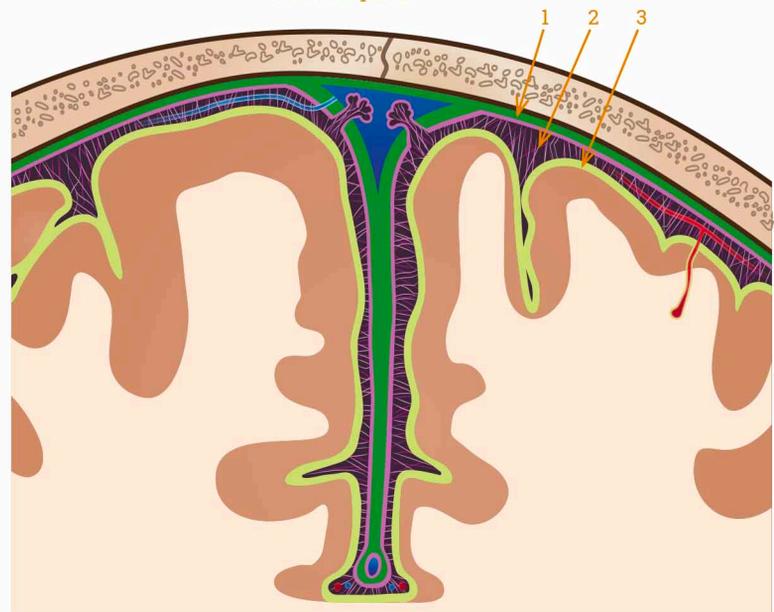
Les extensions de la dure-mère forment des cloisons dans la boîte crânienne : la tente du cervelet, qui sépare le cervelet du lobe occipital et la faux du cerveau qui se situe dans l'espace entre les deux hémisphères du cerveau.

✦ Coupe coronale.

1. Os du crâne.
2. Dure-mère.
3. Arachnoïde.
4. Pie-mère.

✦ Zoom sur les espaces entre les méninges :

1. Espace extra-dural.
2. Espace sous dural.
3. Espace sous-arachnoïdien dans lequel circule le liquide cérebrospinal.



FACES LATÉRALE, INFÉRIEURE ET INTERNE DU CERVEAU

Les neurones, cellules nerveuses élémentaires du cerveau, se répartissent à la surface de l'encéphale, pour former le cortex cérébral, et en profondeur où ils se regroupent en collections appelées noyaux. Cortex cérébral et noyaux forment la substance grise.

Sous le cortex et autour des noyaux se trouve la substance blanche qui contient les fibres nerveuses qui relient les neurones entre eux. Les faisceaux de fibres de la substance blanche constituent les voies de communication du cerveau.

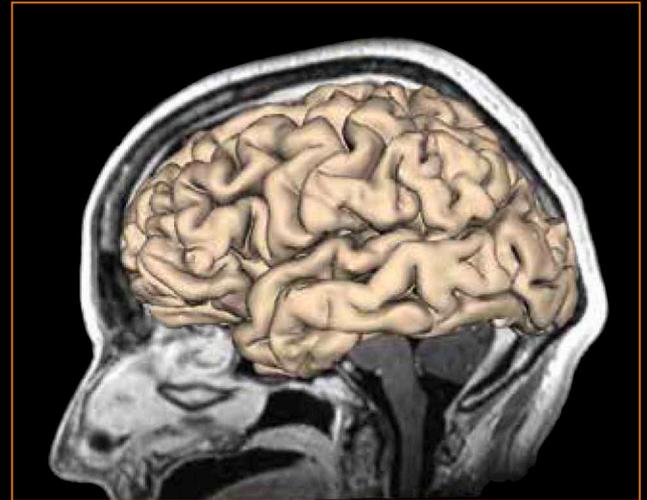
Les hémisphères cérébraux droit et gauche se sont massivement développés chez l'homme : la surface corticale d'un hémisphère atteint 1 470 à 2 275 cm² au sein du crâne.

Pour se loger dans le crâne, le cortex a dû considérablement se plisser et plus de la moitié de la surface corticale se trouve cachée dans les sillons. Des sillons profonds et constants limitent des lobes.

Chaque hémisphère présente six lobes : frontal, pariétal, occipital, temporal, insulaire et limbique. À l'intérieur de ces lobes, d'autres sillons forment un ensemble de replis sinueux : ce sont des circonvolutions ou gyrus.

Les lobes frontaux ont un rôle majeur dans les processus cognitifs tels que la planification ou le raisonnement, ainsi que dans le langage et la motricité. Ils représentent environ 30 % de la surface totale du cerveau.

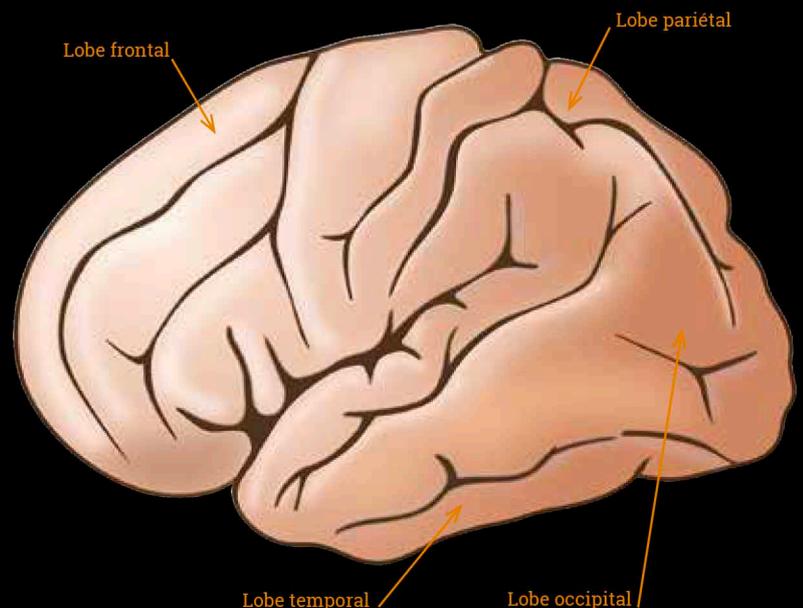
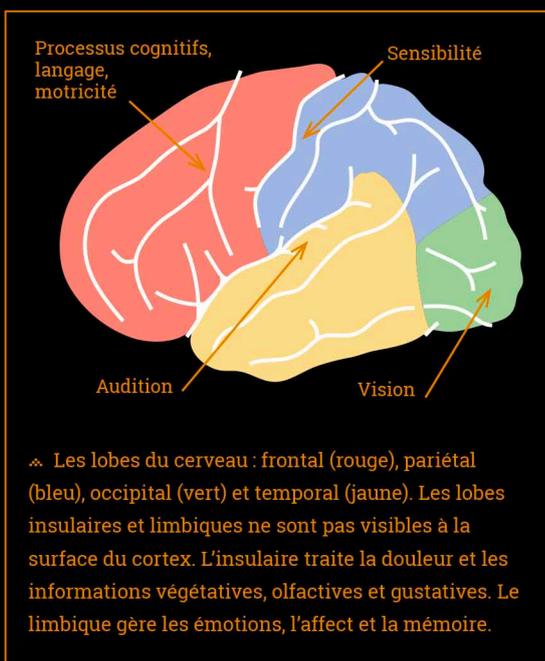
Les informations sensorielles sont traitées dans les autres lobes : sensibilité dans le lobe pariétal, vision dans le lobe occipital, audition dans le lobe temporal.



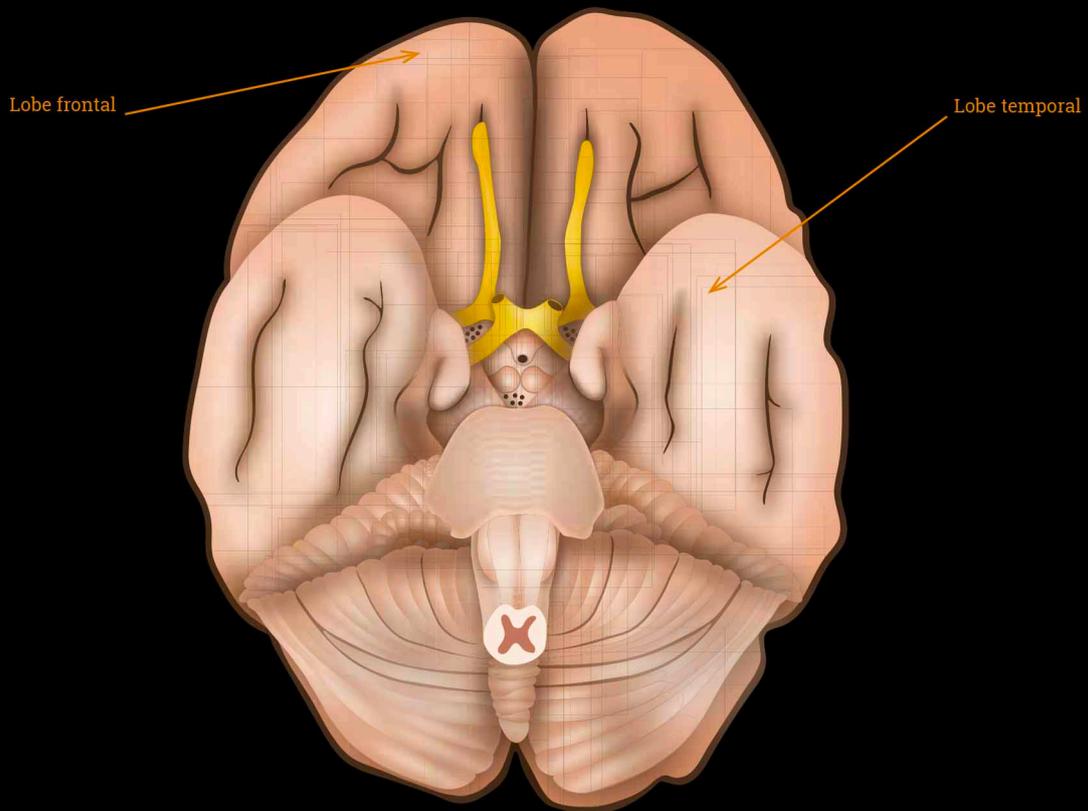
✧ Reconstruction tridimensionnelle de la face latérale du cerveau en IRM superposée sur une coupe sagittale médiane.

Le lobe de l'insula n'est pas directement visible à la surface du cerveau car il est enfoui dans le sillon latéral. Ce lobe traite surtout des informations végétatives, douloureuses, olfactives et gustatives.

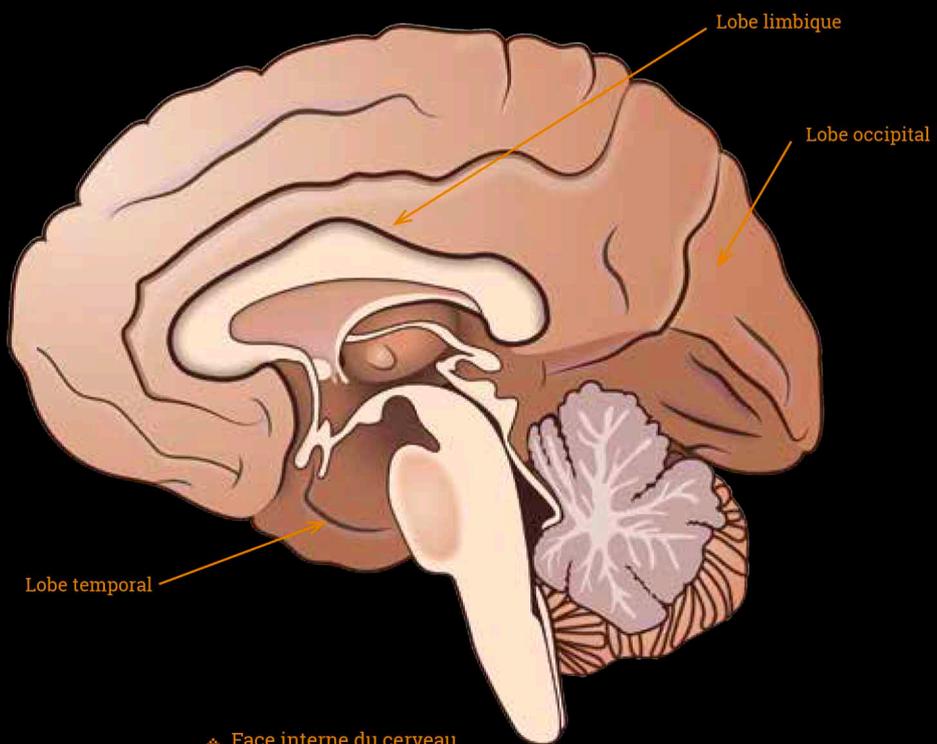
Le lobe limbique traite les informations concernant les émotions, les affects et la mémoire.



✧ Face latérale du cerveau.



❖ Face inférieure du cerveau.



❖ Face interne du cerveau.

COUPES IRM DU CERVEAU HUMAIN

VUE CORONALE AU NIVEAU DU LOBE OCCIPITAL

Le cortex cérébral, ou ruban cortical, contient les neurones. Il est plissé formant ainsi les circonvolutions, ou gyrus, et les sillons.

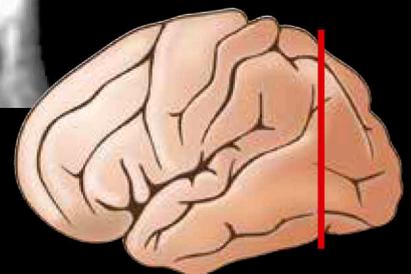
Cortex visuel primaire

La substance blanche apparaît plus claire que la substance grise. Elle contient les faisceaux de fibres nerveuses qui sont les voies de communication du cerveau.

Lobe occipital

Ventricule latéral

Cervelet

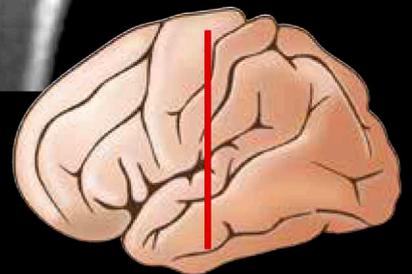


» Plan de coupe.

VUE CORONALE AU NIVEAU DU THALAMUS



» Plan de coupe.



LES NOYAUX GRIS CENTRAUX

Les noyaux gris centraux, ou ganglions de la base, sont un système constitué de plusieurs noyaux de substance grise interconnectés et situés dans la profondeur des hémisphères cérébraux. Ils extraient de l'immense activité du cortex un échantillon d'informations qui sera sélectionné, renforcé et appris, pour pouvoir être réutilisé d'une façon automatisée. Cet échantillon d'informations est traité à travers un circuit très particulier qui part de l'ensemble du cortex et revient, après avoir été totalement transformé, vers le cortex frontal qui commande notre activité motrice et intellectuelle.

Les informations qui partent du cortex arrivent en premier lieu sur le striatum, le premier des quatre noyaux gris centraux qui constituent les ganglions de la base. L'information qui circule à travers les ganglions de la base emprunte deux voies différentes en traversant plusieurs noyaux gris successifs.

La voie directe va au pallidum, puis au thalamus et revient au cortex frontal. Par le jeu des neurotransmetteurs excitateurs et inhibiteurs qu'elle utilise, la voie directe facilite le mouvement. Elle joue le rôle de l'accélérateur dans le système.

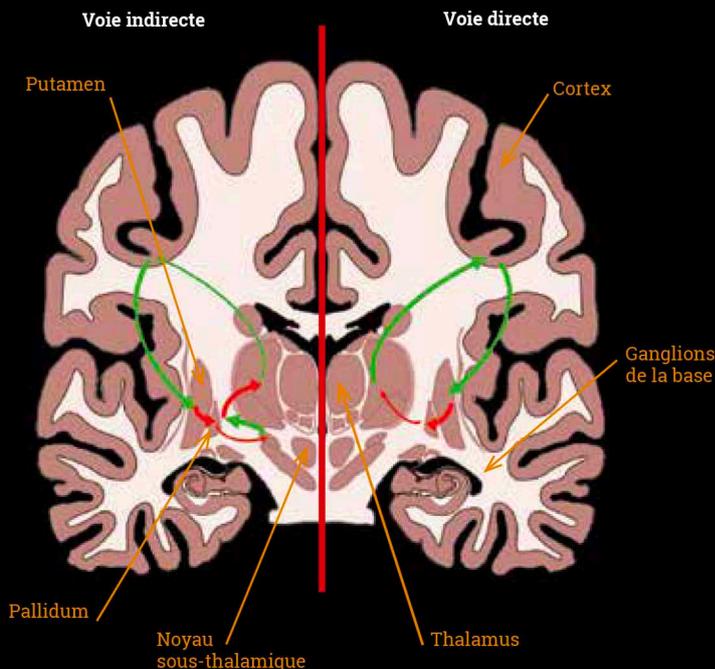
La voie indirecte, elle, fait un crochet par le noyau sous thalamique avant d'arriver au pallidum. Ce circuit comporte donc une étape de plus. Par le jeu des neurotransmetteurs utilisés, la voie indirecte joue le rôle de frein dans le système.

Ainsi, quand une commande est reçue du cortex, elle est à la fois facilitée par la voie directe et freinée par la voie indirecte, qui reviennent l'une et l'autre vers le cortex frontal. L'équilibre entre ces deux voies est très finement contrôlé par un neurotransmetteur, la dopamine, qui permet de favoriser ou d'inhiber l'une ou l'autre des deux composantes pour aboutir à l'acquisition d'une commande parfaitement adaptée.

Les informations qui partent du cortex vers les ganglions de la base sont de trois types : **motrices** pour celles qui émanent des régions motrices, **cognitives** (des régions associatives), ou **émotionnelles** (des cortex limbiques).

Ces trois types d'informations parcourent les voies directes et indirectes des noyaux gris de telle sorte que l'information qui retourne vers le cortex frontal est un assemblage de ces trois aspects, indispensable à la gestion de tous nos comportements. Ainsi, nos actions ont toujours un but précis, se déroulent dans un contexte cognitif distinct, et sont empreintes d'un vécu émotionnel et d'une motivation particuliers.

LES VOIES DE L'INFORMATION À TRAVERS LES NOYAUX GRIS CENTRAUX



❖ Coupe coronale des noyaux gris centraux.

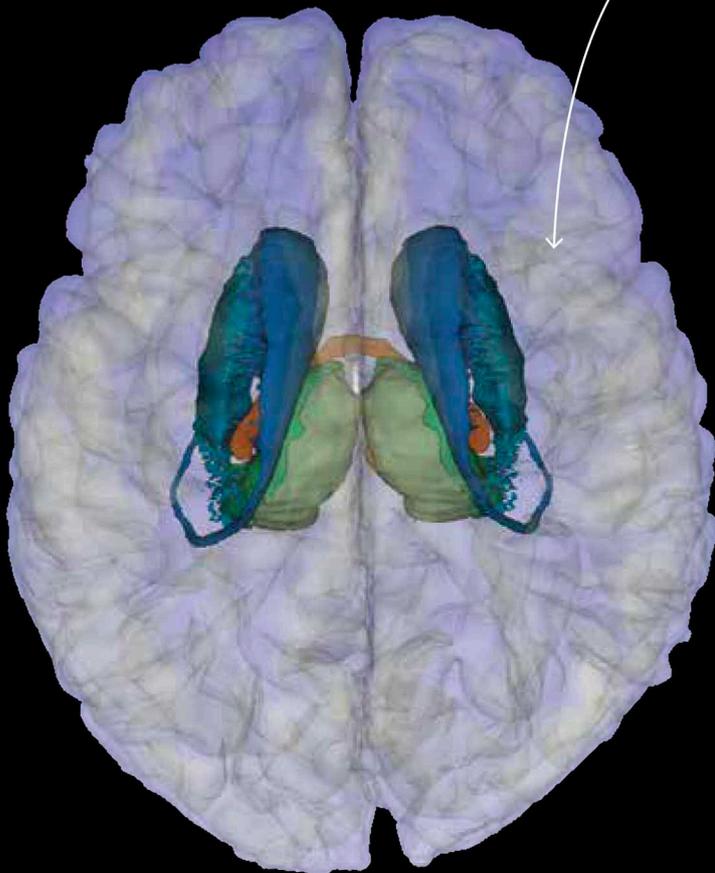
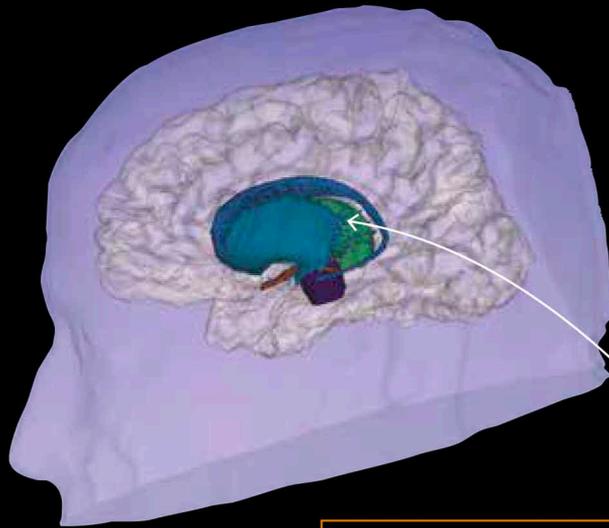
La commande provenant du cortex est propagée à travers les ganglions de la base, sort par le thalamus puis retourne vers le cortex. L'épaisseur du trait indique si la commande est augmentée (trait épais) ou réduite (trait fin).

Dans la voie directe, l'enchaînement de commandes excitatrices (vertes) et inhibitrices (rouges) entraîne une augmentation de l'excitation du thalamus vers le cortex. Cette voie facilite le mouvement.

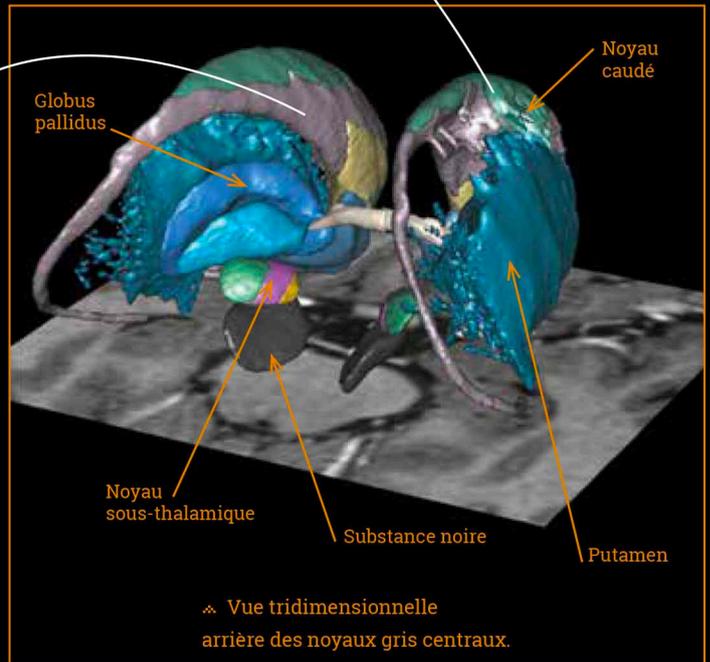
Dans la voie indirecte, une commande corticale entraîne une diminution de l'excitation du thalamus vers le cortex. Cette voie freine le mouvement.

LES GANGLIONS DE LA BASE

✧ Vue latérale des ganglions de la base en transparence à travers le cerveau.



✧ Vue supérieure des ganglions de la base en transparence à travers le cerveau.



✧ Vue tridimensionnelle arrière des noyaux gris centraux.

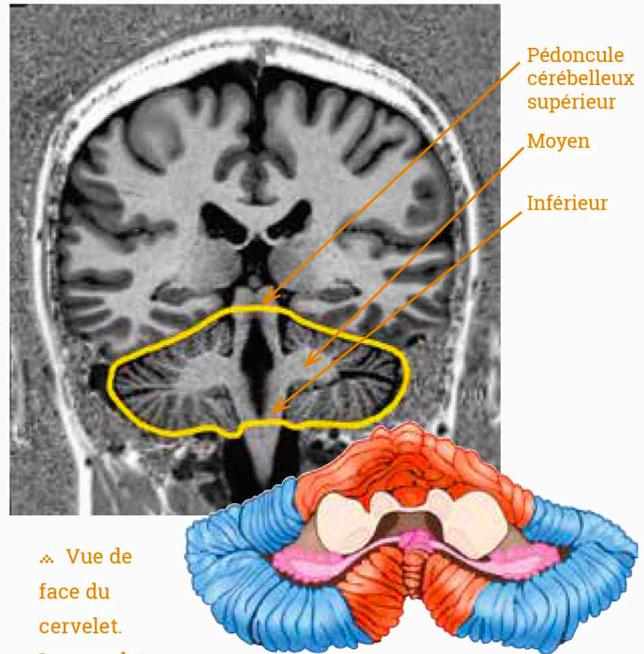
LE CERVELET

Malgré sa taille relativement réduite, le cervelet présente toutes les caractéristiques du cerveau avec un cortex (trois couches seulement), des noyaux profonds (noyaux fastigiux, interposés et dentelés) et de la substance blanche. Il est situé en arrière du tronc cérébral, sous le cerveau, et est centré sur le quatrième ventricule, au niveau du pont et de la moelle allongée. Il contient près de la moitié des neurones du cerveau. Pendant longtemps, le rôle du cervelet a été attribué uniquement au contrôle de la motricité. Cependant, des études fonctionnelles mettant en lumière ses nombreuses connexions avec tous les lobes cérébraux montrent qu'il intervient aussi dans les processus cognitifs. Le vermis cérébelleux ainsi que la région adjacente, paravermienne, correspondent à sa région médiane. Les hémisphères cérébelleux, assez étendus, forment toute la partie latérale. Il est relié au tronc cérébral par trois paires de pédoncules cérébelleux : supérieurs, inférieurs et moyens.

Le cervelet joue un rôle important dans le contrôle moteur et en particulier l'adaptation du mouvement à l'aide des informations sensorimotrices. Il est également impliqué, dans la cognition, l'attention, le langage et les émotions.

Sur un plan moteur, on peut séparer le cervelet en trois grandes régions :

1) **Le néocerevelet** (en bleu) traite des informations du cortex cérébral, surtout prémoteur (planification motrice). Il joue un rôle important dans l'organisation dans le temps de la commande motrice.

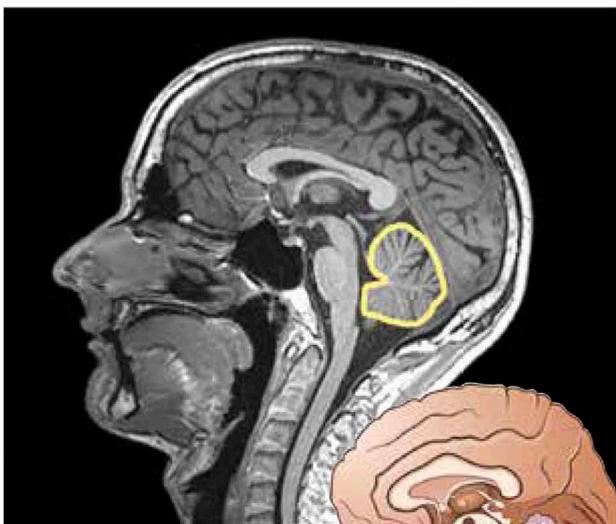


✦ **Vue de face du cervelet.**

Le cervelet est relié au tronc cérébral par trois pédoncules cérébelleux : inférieur et moyen, qui amènent respectivement les informations de la moelle et du cortex, et supérieur, qui envoie les informations du cervelet vers le cortex.

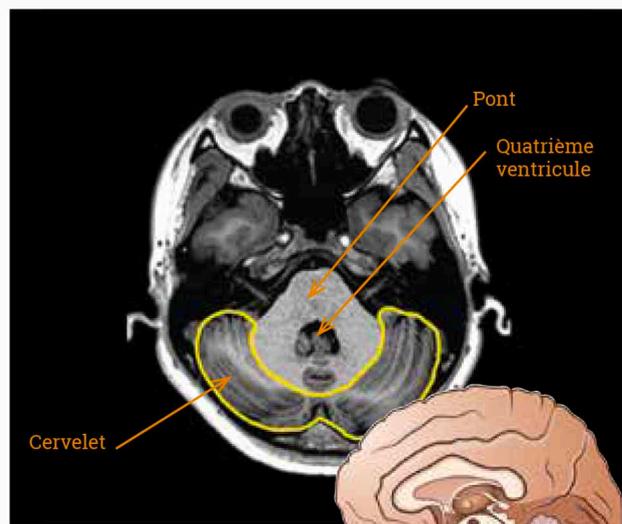
2) **Le spinocerevelet** (en rouge) traite des informations motrices issues de la moelle. Il contribue au rétrocontrôle et au réajustement en temps réel de la motricité.

3) **Le vestibulocerevelet** (en rose) est connecté en boucle au noyau vestibulaire qui contrôle l'équilibre, en lien avec le système vestibulaire dans l'oreille interne, et aux noyaux réticulaires du tronc cérébral qui modulent le tonus musculaire.



✦ **Vue médiale du cervelet entouré en jaune.**

Cervelet



✦ **Vue axiale en IRM du cervelet entouré en jaune.**

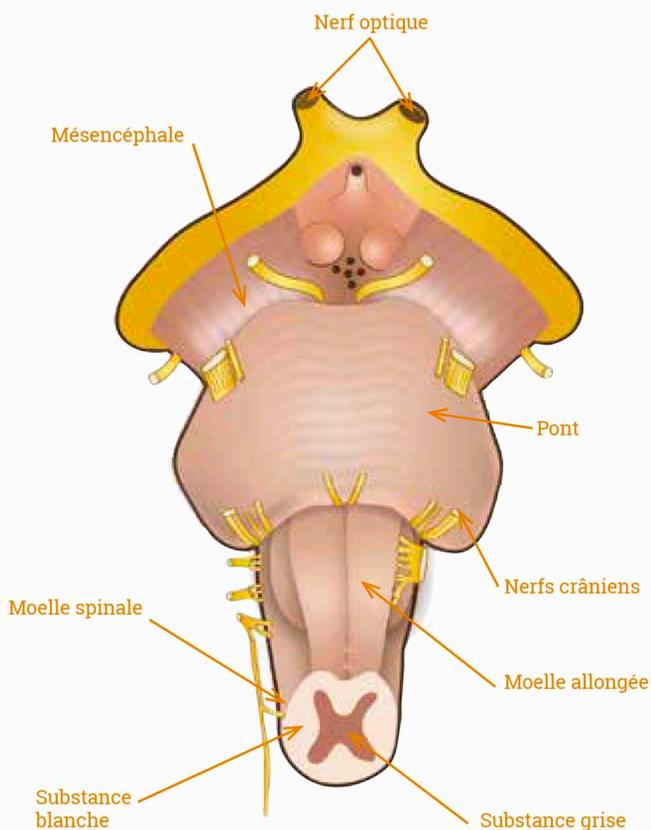
Cervelet

LE TRONC CÉRÉBRAL

Le tronc cérébral forme la transition entre le diencephale en haut et la moelle spinale en bas. Il est traversé par les grandes voies sensibles (voies ascendantes) et motrices (voies descendantes). Il contient de nombreux centres nerveux vitaux. Il présente, de haut en bas, trois parties : le mésencéphale, le pont et la moelle allongée. La partie antérieure contient la principale voie de la motricité (la voie pyramidale) ; sa partie moyenne contient toutes les autres voies ainsi que des centres nerveux essentiels qui contrôlent entre autres l'éveil cortical, le tonus, le sommeil, les grandes fonctions végétatives et de nombreux réflexes et automatismes tels que la respiration, la régulation cardiovasculaire et la digestion. Du tronc cérébral, émergent dix des douze paires de nerfs crâniens. Ces derniers véhiculent la motricité, la sensibilité et le contrôle végétatif destiné au crâne et à la face.

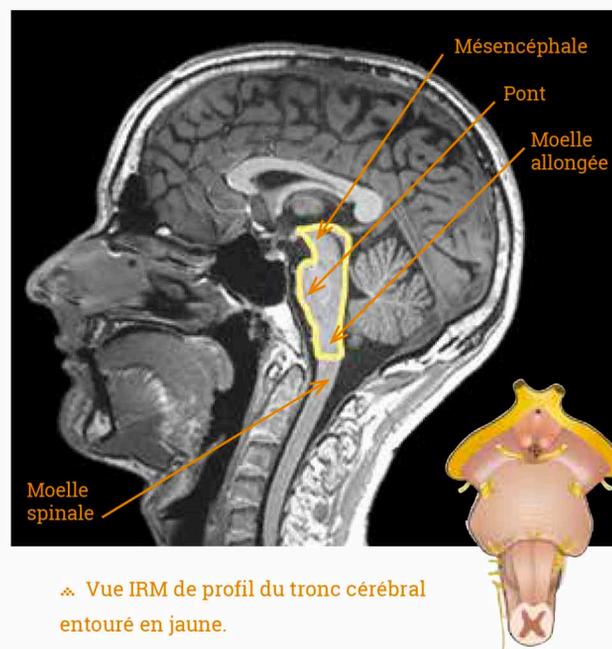
Les nerfs crâniens incluent le nerf olfactif, le nerf optique, les trois nerfs oculomoteurs, le nerf facial pour la sensibilité

du visage et la mastication, le nerf vestibulo-cochléaire pour l'audition et l'équilibre, les nerfs glosso-pharyngien et vagal pour les fonctions motrices et sensibles végétatives, le nerf spinal pour les muscles du cou et le nerf hypoglosse pour la motricité de la langue.

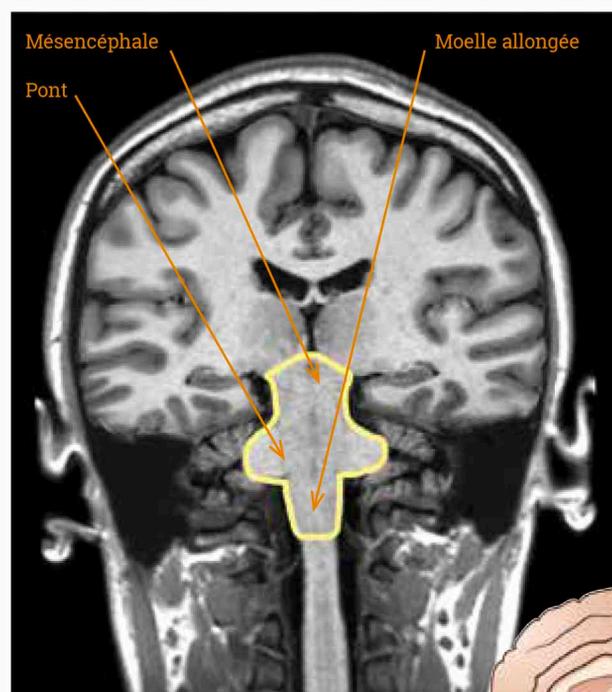


✦ Vue de face du tronc cérébral.

Il existe douze paires de nerfs crâniens symétriques (en jaune). En bas, le tronc cérébral se poursuit par la moelle spinale dont la substance grise, centrale, présente une forme de H entourée par les faisceaux de substance blanche.



✦ Vue IRM de profil du tronc cérébral entouré en jaune.

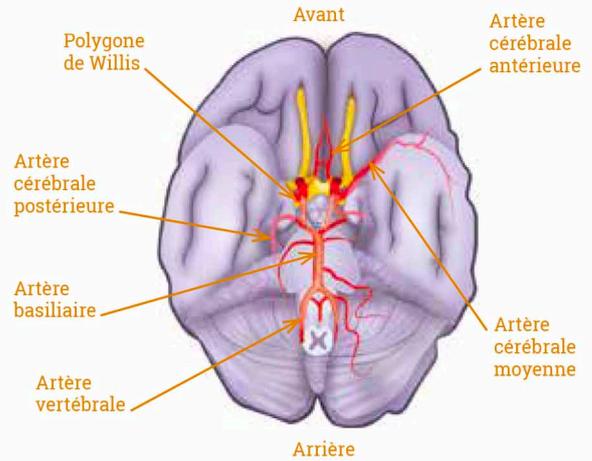


✦ Coupe IRM de face montrant le tronc cérébral entouré en jaune.

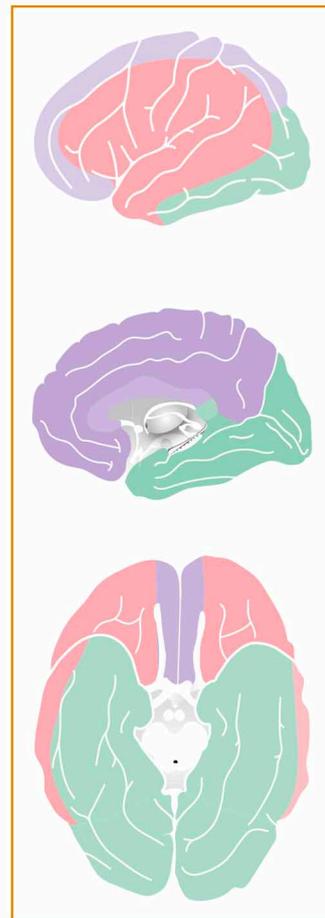
LA VASCULARISATION DU CERVEAU

La vascularisation du cerveau est assurée par quatre artères : deux artères carotides et deux artères vertébrales qui partent de l'aorte, ou de ses branches, et rejoignent le cerveau en passant par le cou. Les artères vertébrales cheminent dans les foramens transversaires, ou trous de conjugaison, des vertèbres cervicales, puis se rejoignent à la face antérieure du tronc cérébral pour donner naissance à l'artère basilaire.

Après avoir traversé la boîte crânienne, les artères carotides et les artères vertébrales vont former le polygone de Willis. Le polygone de Willis est un système de communication entre les artères cérébrales qui permet d'assurer un certain degré de suppléance vasculaire entre celles-ci, et permet au cerveau de recevoir du sang même si une des artères cervicales est bouchée.



✧ Vue inférieure du cerveau montrant les vaisseaux intracrâniens.



✧ Les territoires superficiels des artères dans le cerveau :

- Région cérébrale moyenne (en rose), dont la lésion peut entraîner une aphasie ou une hémiplégie prédominant à la face et au membre supérieur.
- Région cérébrale antérieure (en violet), dont la lésion peut entraîner une hémiplégie prédominant au membre inférieur.
- Région cérébrale postérieure (en vert) dont la lésion peut entraîner des troubles visuels.

✧ Reconstruction tridimensionnelle en vue inférieure des vaisseaux du polygone de Willis par angiographie par résonance magnétique.

LA MOELLE SPINALE

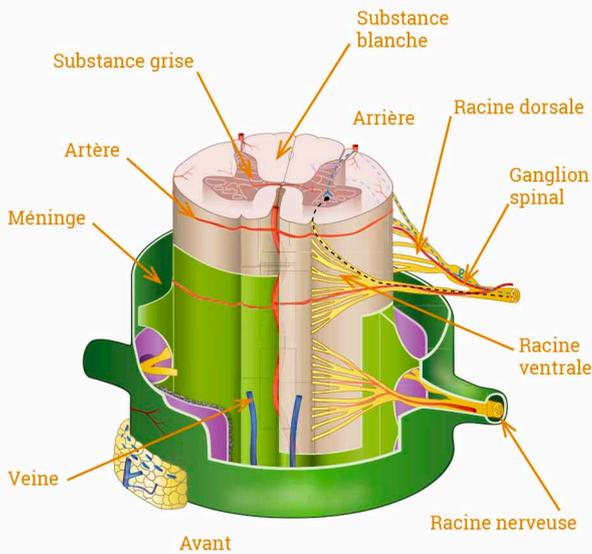
La moelle spinale forme la partie inférieure du névraxe. Elle est située entièrement à l'intérieur du canal rachidien qui transite dans la colonne vertébrale et se prolonge jusqu'à la deuxième vertèbre lombaire. Plus bas, seules les racines occupent le canal rachidien et forment ce que l'on appelle la « queue de cheval ».

La moelle est traversée par de grands faisceaux moteurs (voies descendantes) et sensitifs (voies ascendantes) et par des voies d'association. Tous ces faisceaux myélinisés forment la substance blanche en périphérie. Les corps cellulaires des neurones relayant les informations forment au centre de la moelle la substance grise en forme d'ailer de papillon. Les faisceaux de substance blanche entourent la moelle.

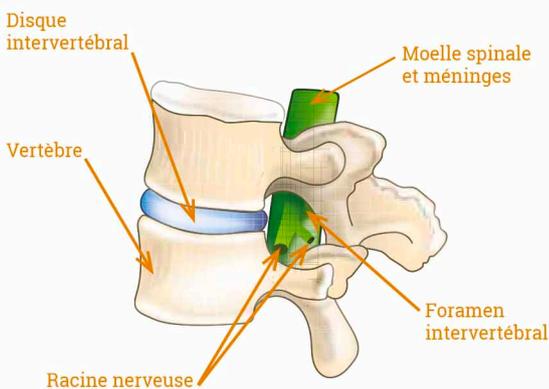
La moelle est à l'origine de réflexes archaïques comme le réflexe rotulien ou le triple retrait en cas de douleurs. Elle contient des centres végétatifs sympathiques et parasympathiques qui constituent le système nerveux autonome commandant des fonctions telles que la respiration, la circulation sanguine et la digestion. La moelle est enveloppée par les mêmes feuillets méningés que ceux décrits au niveau du cerveau.

La moelle est subdivisée en 31 segments desquels sont issues 31 paires de nerfs rachidiens, ou racines. On distingue les nerfs cervicaux (pour les membres supérieurs), thoraciques (pour le thorax et l'abdomen), lombaires (pour les membres inférieurs) et sacrés (pour le petit bassin). Chaque nerf est formé de l'union d'une racine ventrale formée par des motoneurones, ou neurones moteurs, et d'une racine dorsale constituée d'afférences ou entrées sensitives.

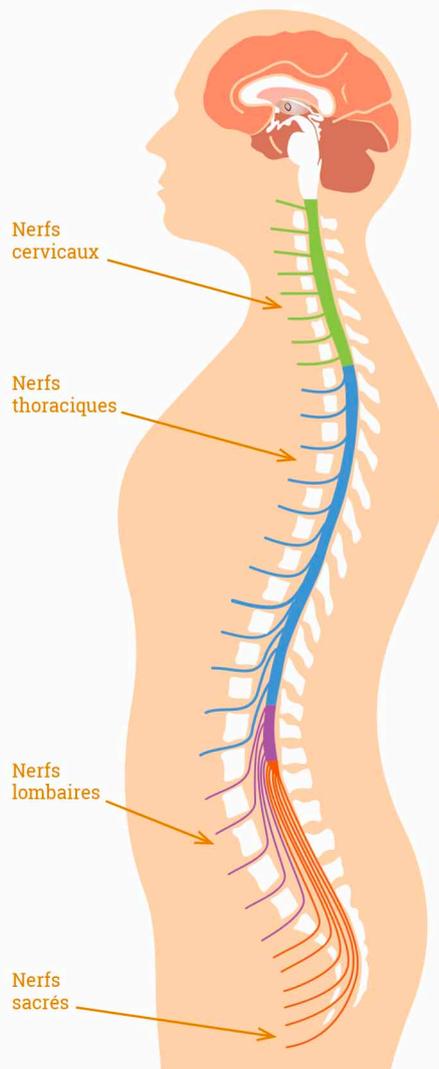
Les sillons d'où émergent les racines délimitent des cordons de substance blanche.



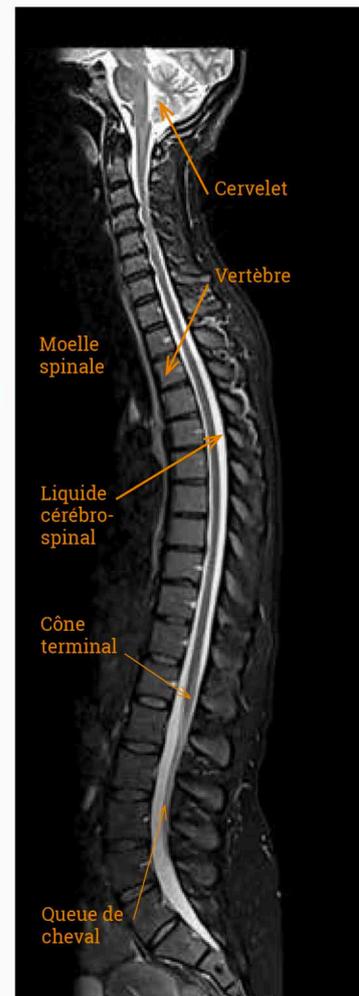
❖ Vue tridimensionnelle de la moelle et des racines.



❖ Vue latérale de la moelle spinale enveloppée par les méninges (en vert).



❖ Vue sagittale (de profil) de la moelle épinière et des nerfs rachidiens.



❖ Vue sagittale (de profil) de la moelle épinière et du rachis en IRM.