

TRAVAUX PRATIQUES 1

Neuroanatomie Microscopique et Macroscopique

TP 1 : Introduction à la morphologie externe et interne du cerveau

Objectifs :

Étudier

- 1) Les grandes divisions anatomiques du système nerveux
- 2) Les rapports cerveau/crâne et moelle épinière/colonne vertébrale
- 3) Les méninges et les espaces externes
- 4) Les ventricules et la circulation du LCR
- 5) Les divisions du tronc cérébral (noter leurs liens avec les nerfs crâniens) : axes rostro-caudal et ventro-dorsal
- 6) La localisation du diencephale
- 7) Les lobes et les principaux gyrus du néocortex
- 8) La localisation de l'hippocampe, de l'amygdale et des noyaux gris centraux

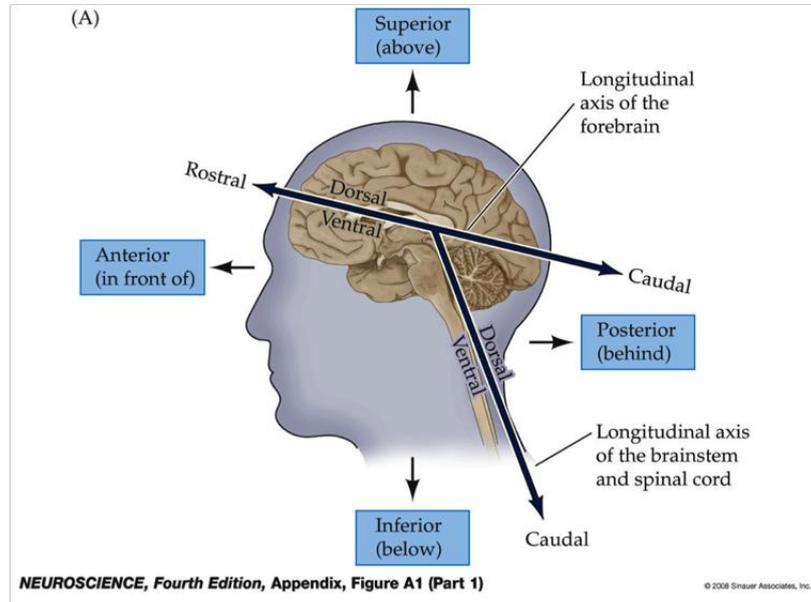
Par :

Les membres du Neuroclub et Charles Quairiaux

Rappel : Les plans et axes de référence

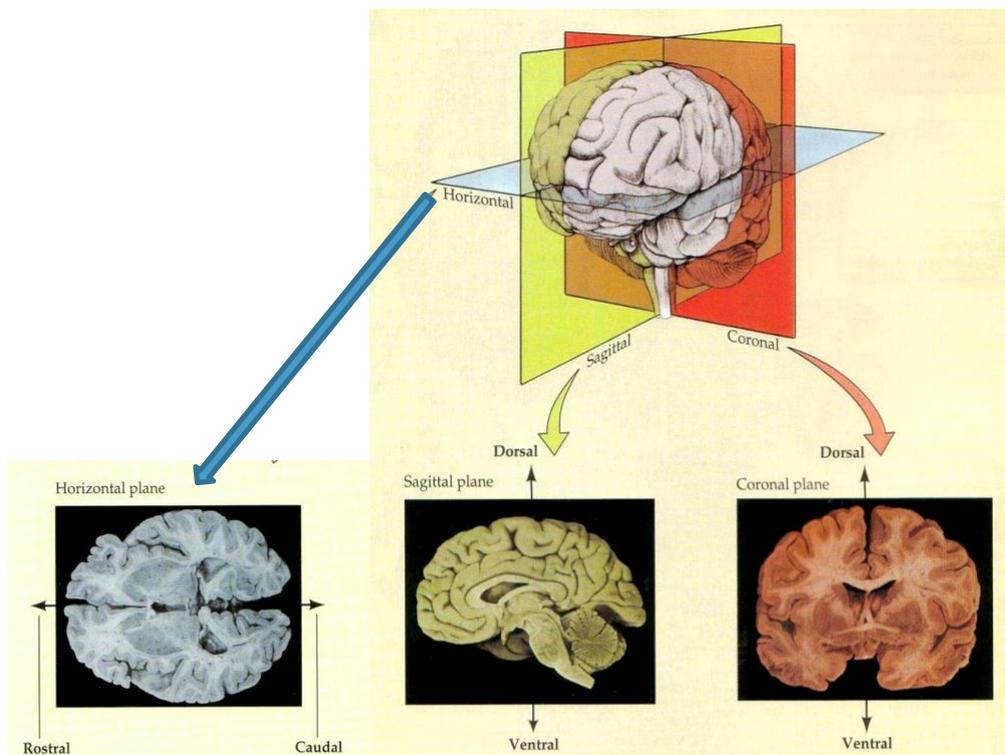
Comme pour toute structure anatomique, on s'oriente selon 3 axes dans le SNC :

1. Ventro-dorsal
2. Rostro-caudal (ou crânio-caudal)
3. Médio-latéral



On observe durant le développement une rotation de l'axe du SNC entre le tronc cérébral et le diencéphale chez l'Homme à cause de la station debout. Remarquez qu'en conséquence l'axe rostro-caudal de la moelle épinière et du tronc cérébral diffère de celui du cerveau antérieur. Celui de la moelle épinière et du tronc cérébral coïncide avec l'axe vertical du corps, tandis que l'axe rostro-caudal du cerveau antérieur coïncide avec l'axe antéro-postérieur de la tête.

Ces orientations doivent être bien comprises pour décrire les structures sur les coupes du cerveau, classiquement faites dans les 3 plans : horizontal, sagittal et coronal.

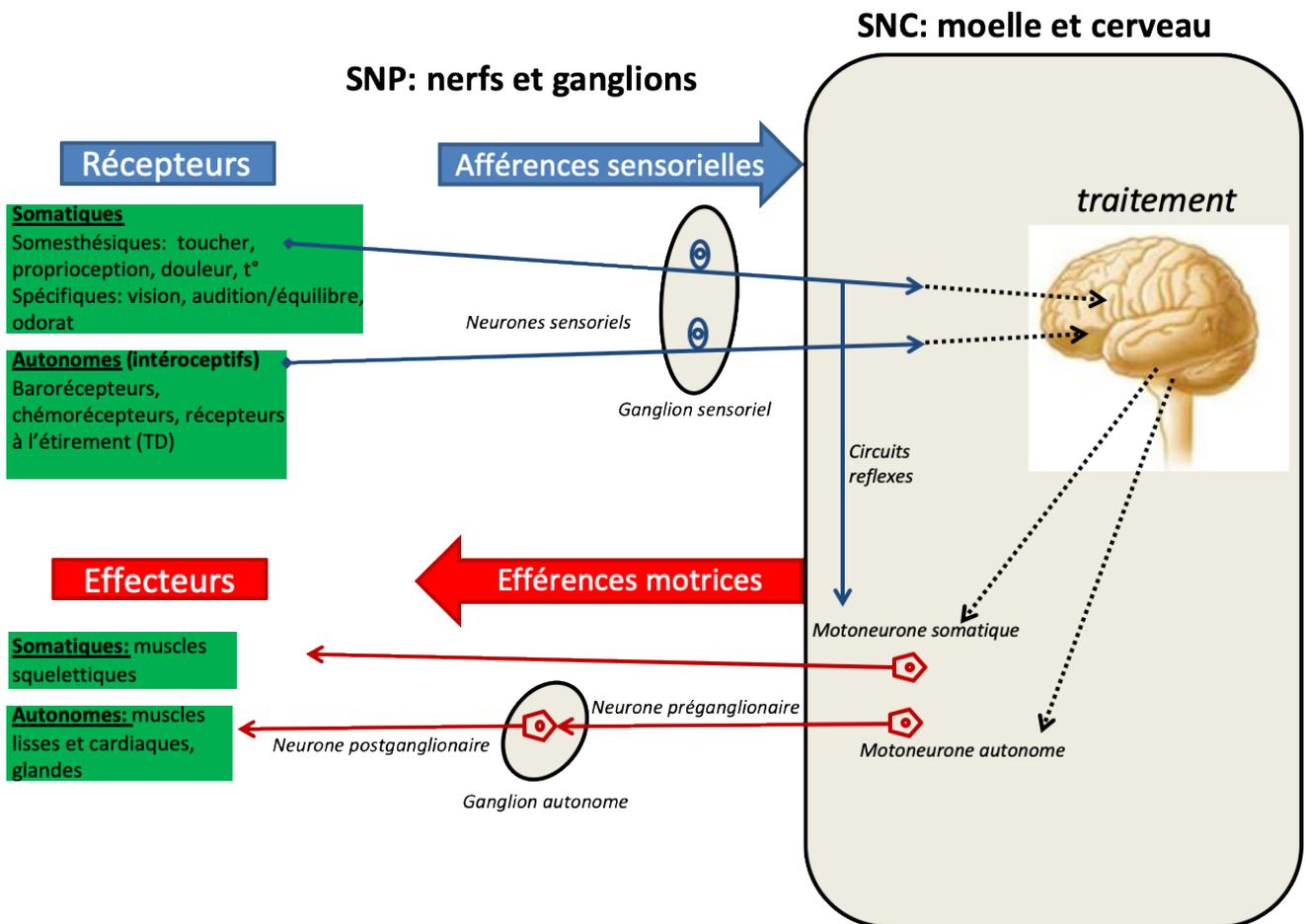


1) Les grandes divisions anatomiques du système nerveux

On peut subdiviser le système nerveux en :

- **Système nerveux central (SNC)**, ou névraxe, qui se développe à partir du tube neural. Il est constitué de l'**encéphale** et de la **moelle épinière**.
L'**encéphale** se compose lui-même de plusieurs parties faisant suite à la moelle épinière :
 - Le **tronc cérébral** qui comprend bulbe, pont et cervelet postérieurement, et mésencéphale.
 - Le **diencéphale**, qui regroupe un ensemble de structures autour du 3^{ème} ventricule.
 - Les deux hémisphères qui forment le **télocéphale**. Le diencéphale et télocéphale forment le cerveau antérieur (ou *cerebrum*).
- **Système nerveux périphérique (SNP)**, composé des **nerfs** et des **ganglions nerveux**. Il comprend les voies nerveuses situées en dehors du SNC et véhicule l'information afférente et efférente au SNC. Il se développe à partir des cellules des crêtes neurales.

Dans le SNP, on distingue les voies sensibles afférentes au SNC et les voies motrices efférentes au SNC :



Les afférences sensorielles comprennent des fibres somatiques et viscérales (autonomes). Elles relaient vers le système nerveux central l'information reçue des récepteurs sensoriels, qu'ils soient situés dans les organes somatiques (peau, muscles) ou viscéraux (intestin, poumons, etc.). Les corps cellulaires des neurones sensoriels primaires se trouvent dans les ganglions rachidiens, au niveau des racines dorsales de la moelle épinière pour les nerfs rachidiens ou au niveau d'un ganglion du crâne pour les nerfs crâniens (principalement le ganglion trigéminal, ou ganglion de Gasser, pour la sensibilité somatique de la tête).

Les efférences motrices somatiques (ou volontaires) sont constituées des motoneurones dont les corps cellulaires sont situés dans la corne ventrale de la moelle (nerfs rachidiens) ou dans les noyaux moteurs du tronc cérébral (nerfs crâniens) et qui innervent les muscles squelettiques.

Les efférences motrices autonomes sympathiques (qui préparent le corps à l'action) et parasympathiques (qui assurent le bon fonctionnement du corps et l'homéostasie en période de repos) comprennent l'ensemble des efférences contrôlant les fonctions automatiques de l'organisme. Elles sont formées par des voies à deux neurones moteurs : les neurones pré-ganglionnaires dont les corps cellulaires sont dans le SNC et les neurones post-ganglionnaires dont les corps cellulaires sont dans un ganglion et qui innervent les muscles lisses des viscères et des vaisseaux sanguins, le cœur et les glandes.

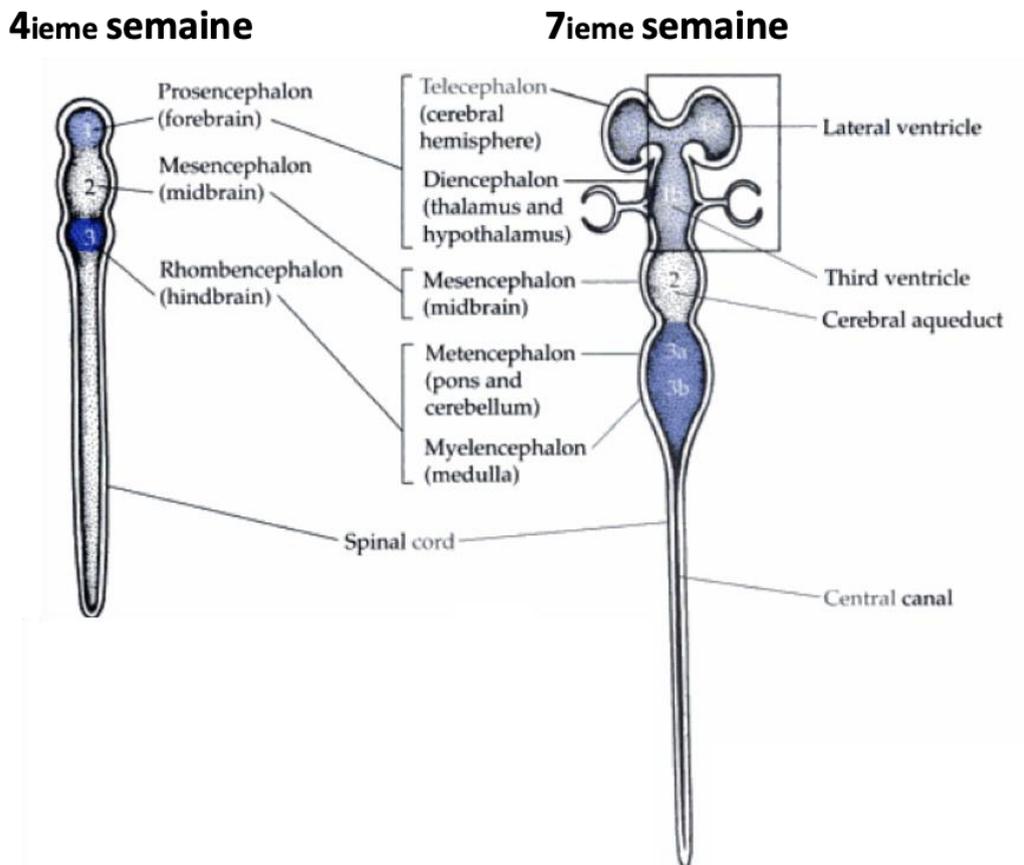
- Le système sympathique est composé de neurones pré-ganglionnaires dont les corps cellulaires sont dans la moelle épinière thoraco-lombaire (T1-L2). Ils sortent par les nerfs rachidiens et font synapse dans un ganglion (de la chaîne paravertébrale ou dans un ganglion prévertébral plus distal). Les axones des neurones postganglionnaires rejoindront ensuite les organes cibles via des nerfs propres (nerfs splanchniques) ou en rejoignant les ramifications des nerfs rachidiens.
- Dans le système parasympathique, les corps cellulaires des neurones pré-ganglionnaires se trouvent soit dans les noyaux parasympathiques du tronc cérébral soit dans la moelle au niveau sacral. Leurs axones quittent le SNC via des nerfs crâniens (III, VII, IX et X) ou sacrés (plexus sacrés : S2-S4), et font synapse dans des ganglions se trouvant à proximité des organes cibles (ganglions intra-muraux). Les axones postganglionnaires seront donc beaucoup plus courts que pour le système sympathique.

Question : Quel est le principal centre de contrôle du système nerveux autonome dans le cerveau ?

Remarque : Notez qu'il n'existe pas de composante sympathique dans les nerfs crâniens. L'innervation sympathique de la tête se fait via des neurones postganglionnaires de la chaîne paravertébrale qui remontent à travers le cou. De même, comme il n'y a pas d'efférences parasympathiques aux niveaux lombaires et thoraciques, l'innervation parasympathique des viscères du thorax et de l'abdomen se fait via un nerf crânien descendant dans le corps : le nerf vague (X).

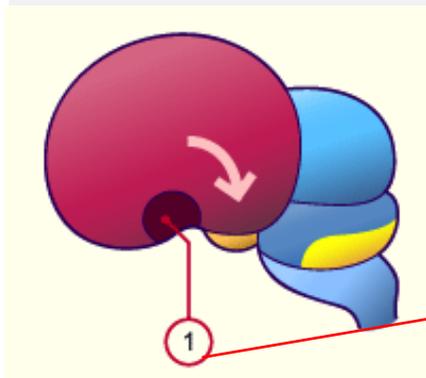
Note : embryologie des grandes régions du SNC

Le SNC se développe à partir du tube neural. La croissance du tube neural n'est pas homogène, aboutissant à la délimitation de la moelle tubulaire caudale et de vésicules juxtaposées rostrales (d'abord 3 puis 5 à la 7ème semaine) qui donneront ensuite les grandes subdivisions du cerveau comme illustré ci-dessous. Le canal neural, au centre du tube, aboutira au système ventriculaire.



Après la 5ème semaine, la croissance importante du néocortex va provoquer un enroulement des vésicules télencéphaliques autour du diencéphale : le télencéphale subit une rotation en fer à cheval appelée « temporalisation » (grand développement du lobe temporal, propre aux espèces les plus évoluées). Le point de pivot de cet enroulement est le cortex insulaire, qui au cours de ce développement va être recouvert par les régions adjacentes du cortex cérébral, formant les opercules.

Croissance et temporalisation des vésicules télencéphaliques. Le numéro 1 indique l'Insula.

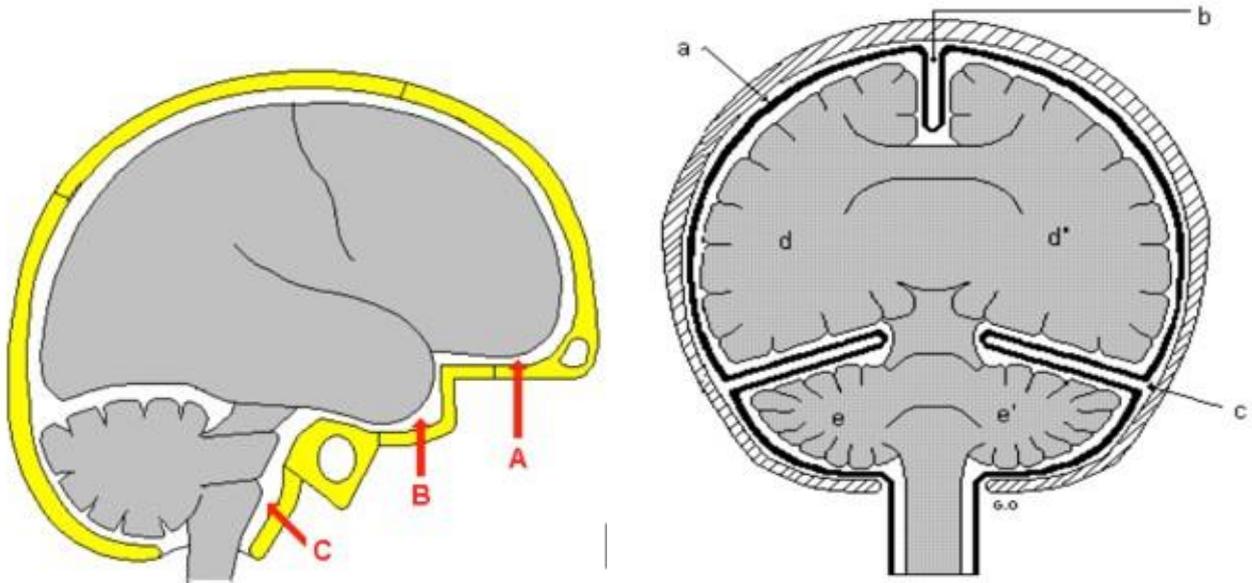


Coupe coronale à l'âge adulte.



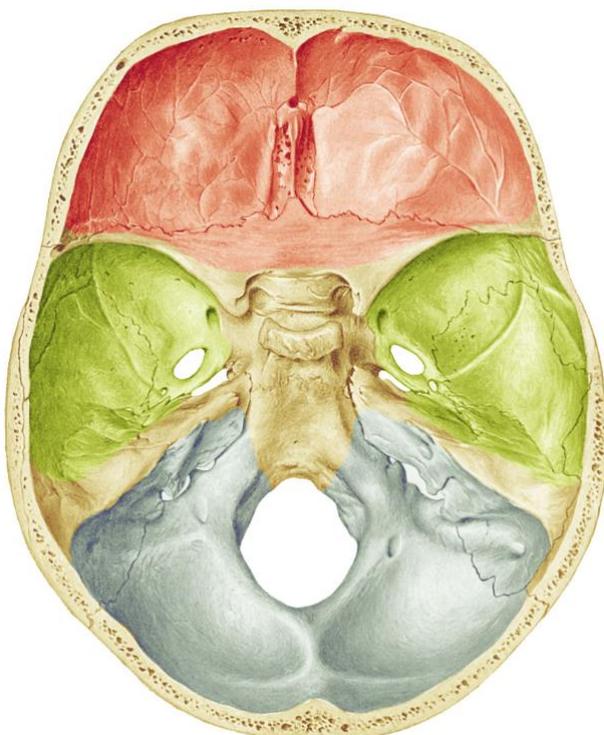
2) Rapports cerveau/crâne et moelle épinière/colonne vertébrale

Le cerveau est placé dans la boîte crânienne où il repose sur la base du crâne et est recouvert par la voûte. La base du crâne présente 3 fosses, antérieure (A), moyenne (B) et postérieure (C).



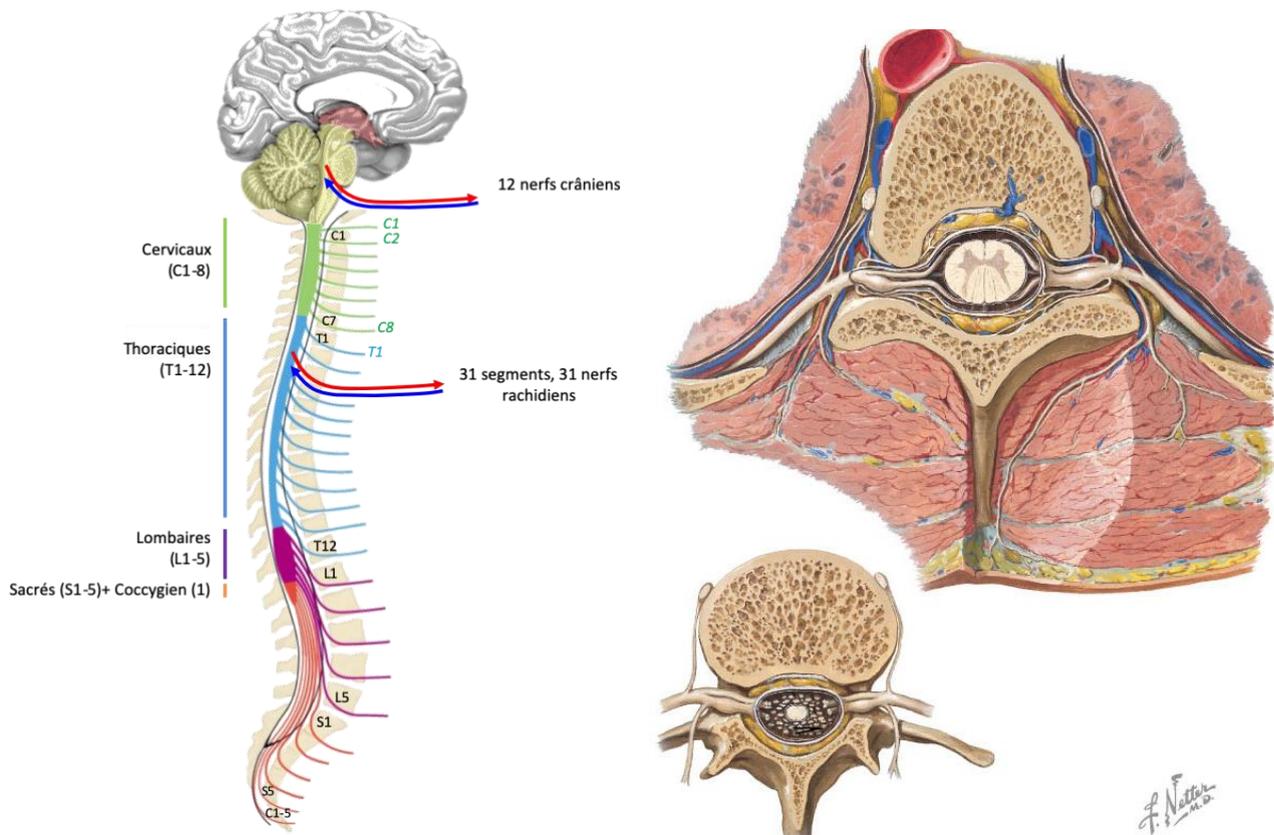
La dure-mère (a) tapisse la face interne du crâne et forme une cloison médio-sagittale entre les deux hémisphères du cerveau, appelée faux du cerveau (b). Elle forme aussi une cloison transversale, sous le cerveau appelée tente du cervelet (c).

Ainsi le volume intracrânien se trouve séparé en deux étages : dorsalement, la loge supra-tentorielle qui contient les deux hémisphères du cerveau (d, d'), en dessous la loge sous-tentorielle (qui correspond à la fosse crânienne postérieure C (e, e') qui contient le cervelet et le tronc cérébral, appuyé sur le clivus.



En rouge : la fosse antérieure
En vert : la fosse moyenne
En gris : la fosse postérieure

Moelle épinière et nerfs rachidiens (ou spinaux)



Gauche : Segmentation de la moelle par les nerfs rachidiens.

Droite : Coupes transversales de la moelle aux niveaux thoracique et lombaire.

Retrouvez corps vertébral, lame vertébrale, processus épineux, racines dorsales et ventrales, foramen intervertébral, nerf rachidien, cornes dorsales et ventrales, colonnes dorsales, colonnes antérolatérales et ventrales, espace épidural, espace sous-arachnoïdien, ganglion paravertébral.

3) Examiner les méninges et les espaces externes

Le système nerveux central est entouré de trois enveloppes méningées successives :

- **La dure-mère**, résistante, fibreuse, sert de protection. Elle adhère fortement à la base et aux sutures du crâne, plus faiblement à la voûte, et pas du tout aux vertèbres (d'où l'espace péri-dural autour de la moelle).

Elle est composée de 2 feuillets : l'externe (périoste) et l'interne (mêningé). Le feuillet mêningé émet des expansions qui divisent le volume intracrânien : les faux du cerveau et du cervelet, la tente du cervelet ainsi que le diaphragme sellaire (qui entoure la tige pituitaire).

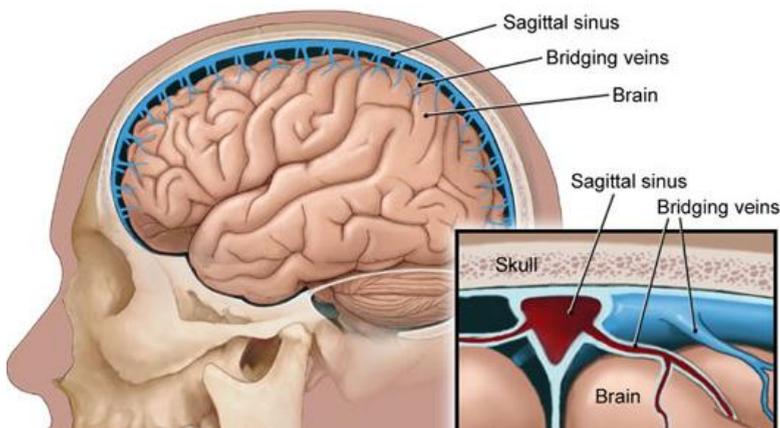
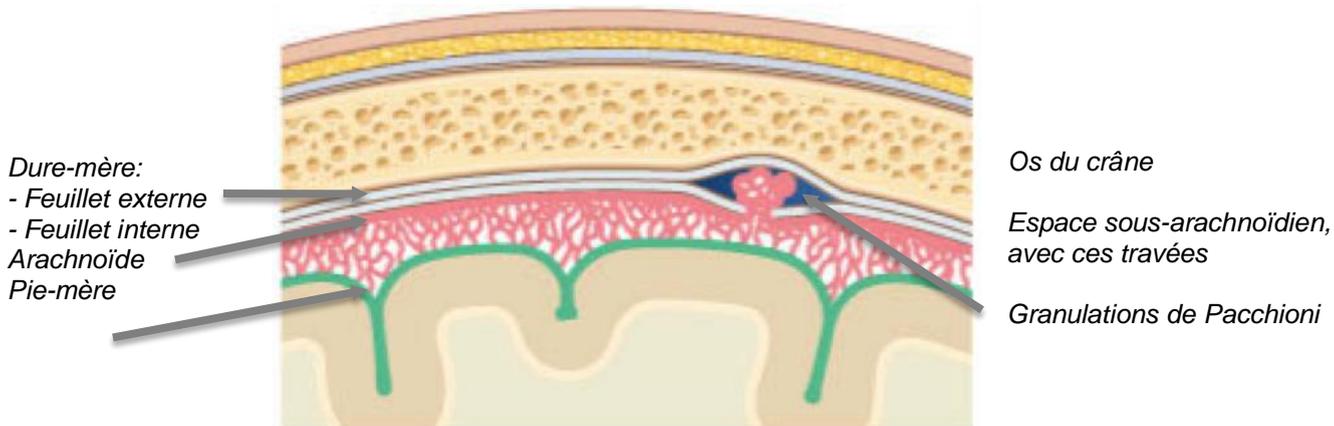
Par endroits, entre ces deux feuillets se trouvent les sinus veineux (voir plus loin).

C'est la seule couche des méninges qui est vascularisée (artères mêningées) et innervée (nerfs crâniens V et X).

- **L'arachnoïde**, méninge molle, appliquée sur le feuillet méningé de la dure mère. Elle émet des travées (trabécules) vers la pie-mère, traversant l'espace sous-arachnoïdien. Elle forme des villosités, les granulations arachnoïdiennes de Pacchioni, à travers le feuillet interne de la dure-mère, permettant la résorption du LCR dans les sinus veineux. Elle n'est ni innervée, ni vascularisée, étant nourrie par le LCR.
- **La pie-mère**, méninge molle, nourricière qui adhère fortement au SNC, s'enfonçant dans les scissures et les sillons. Elle n'est également ni innervée, ni vascularisée.

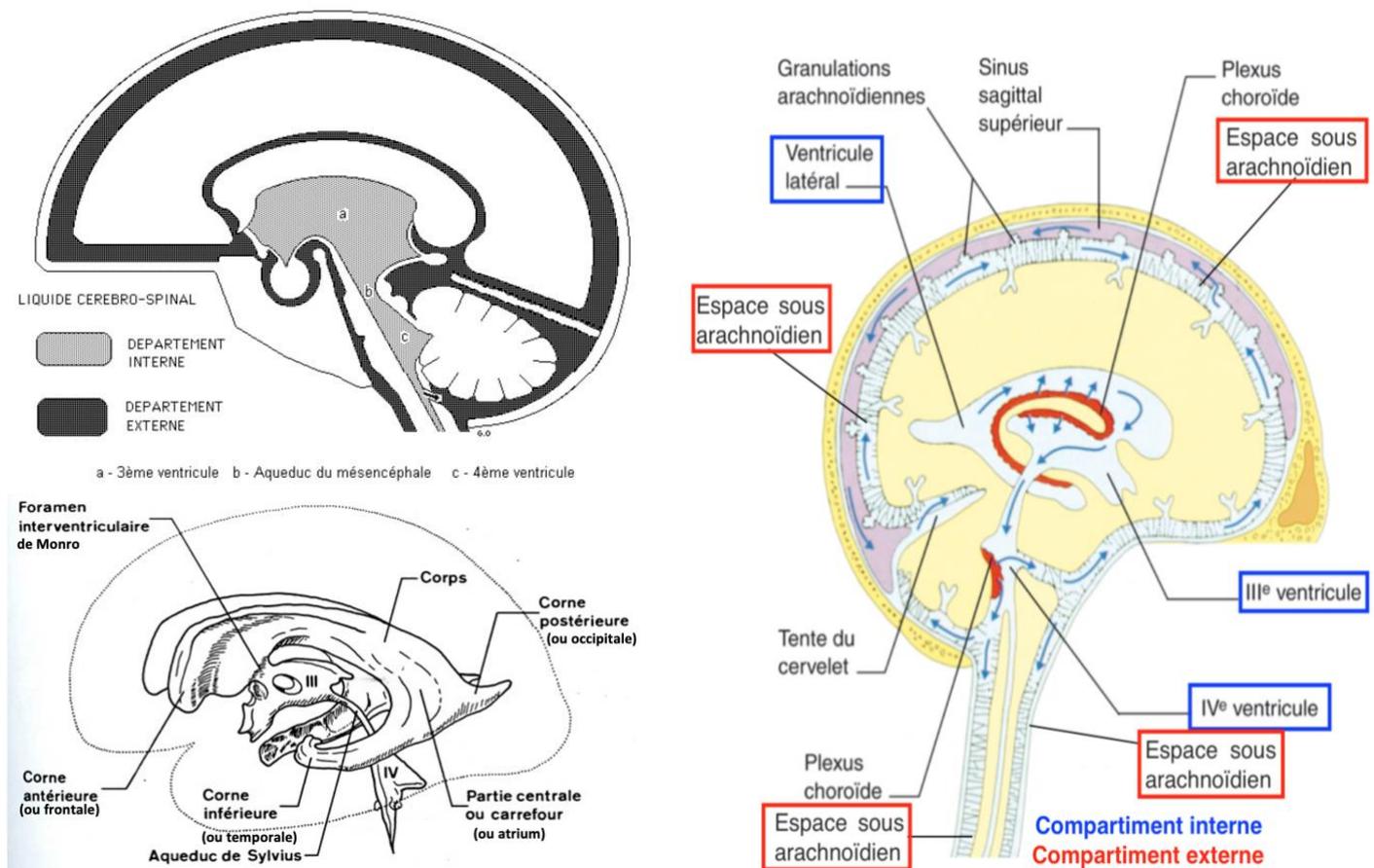
Ces trois enveloppes méningées définissent des espaces :

- **L'espace épidual**, entre l'os et le feuillet externe de la dure-mère. Il dépend de l'adhérence de cette dernière aux structures osseuses. Il est virtuel au niveau de la base du crâne, presque virtuel au niveau de la voûte mais présent au niveau des vertèbres. Au niveau du crâne, il contient les artères méningées.
- **L'espace sous-dural**, entre le feuillet interne de la dure-mère et l'arachnoïde. Il est virtuel en temps normal, et est traversé par les *bridging veins* qui vont du SNC aux sinus veineux.
- **L'espace sous-arachnoïdien**, entre l'arachnoïde et la pie-mère. Il est bien développé, contient le LCR et est traversé par les artères et veines cérébrales et par les nerfs crâniens. Certaines portions de cet espace sont plus vastes, formant les « citernes » (exemple : citerne magna derrière le bulbe, sous le cervelet).



Les "bridging veins" drainent le sang depuis le cortex vers les sinus veineux. Pour ce faire, elles traversent successivement l'arachnoïde, l'espace virtuel sous dural et le feuillet méningé de la dure mère.

4) Décrire les ventricules et la circulation du LCR



D'une part, durant le développement, le canal neural donne naissance à un système ventriculaire, à l'intérieur de l'encéphale, composé de cavités. D'autre part, le SNC est entouré par un compartiment externe : l'espace sous-arachnoïdien. Ces deux espaces sont remplis de liquide céphalo-rachidien (LCR) (environ 150 ml, renouvelé 3 fois par jour), dans lequel le SNC baigne d o n c totalement. Le système ventriculaire (« département » ou espaces liquidiens internes) et l'espace sous-arachnoïdien (espace liquidien externe) sont en communication via les foramens de Luschka et de Magendie, et le LCR circule entre les deux compartiments. Le LCR est produit depuis le sang dans les ventricules par les plexus choroïdes et éliminés vers le sang veineux par les granulations arachnoïdiennes (ou « de Pacchioni »).

Le système ventriculaire est constitué de quatre ventricules : les **ventricules latéraux**, dans les hémisphères cérébraux, le troisième ventricule (V3) entre les deux thalamus et hypothalamus, et le quatrième ventricule (V4) dans le tronc cérébral. Les ventricules latéraux ont une forme en fer à cheval ouvert en avant. Ils se drainent dans le troisième ventricule par les trous de Monro droit et gauche.

Le **troisième ventricule** est une dilatation impaire médiane. Il communique avec le quatrième ventricule par l'aqueduc cérébral (de Sylvius, ou encore du mésencéphale).

Le **quatrième ventricule** est également une dilatation unique et médiane, en arrière du pont et du bulbe rostral. Le foramen de Magendie (dorso-caudal) et les deux foramens de Luschka (latéralement) assurent la communication entre le quatrième ventricule et l'espace sous-arachnoïdien.

Au niveau de la moelle, le système ventriculaire comprend le **canal de l'épendyme** qui est partiellement virtuel, car en principe plus ou moins oblitéré pendant l'adolescence.

Questions : qu'est ce qui provoque le déplacement du LCR ? Dans quel sens ?

Remarque : La libre circulation du LCR est cruciale pour le bon fonctionnement du SNC. Ainsi un obstacle à la circulation ou à la résorption du LCR résultera en des pathologies comme l'hydrocéphalie chez le nouveau-né, ou l'hypertension intracrânienne (HTIC) une fois que les fontanelles se sont refermées, empêchant l'expansion de la cavité crânienne.

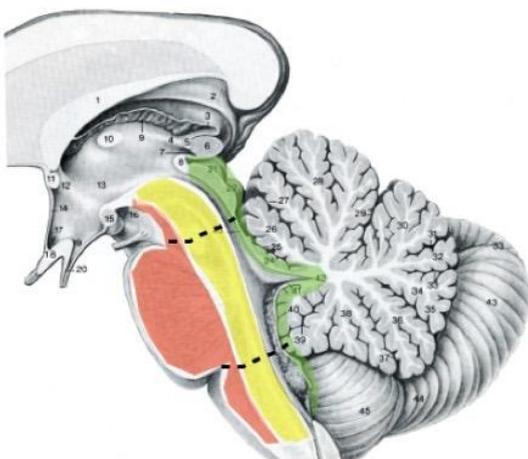
5) Identifier les divisions du tronc cérébral (noter leurs liens avec les nerfs crâniens) : axes rostro-caudal et ventro-dorsal

Le tronc cérébral est situé, avec le cervelet, dans une loge ostéo-fibreuse propre : la fosse postérieure (étage sous-tentorial).

Il est limité par la moelle spinale caudalement, et le diencephale rostralement. Sa limite rostrale correspond à la jonction méso-diencephalique. Sa limite caudale correspond à la jonction médullo-spinale (au niveau de la décussation pyramidale), située au niveau du foramen magnum.

Axe rostro-caudal : De rostral à caudal, on le subdivise en 3 étages : le mésencéphale, le pont (ou protubérance) avec le cervelet en arrière, et le bulbe (ou moelle allongée, ou *medulla oblongata*).

Axe ventro-dorsal : De dorsal à ventral, on le subdivise en 3 tranches verticales : tectum (dorsal), tegmentum, et base (ventral). Le tegmentum contient les noyaux des nerfs crâniens (à l'exception du I et II), des noyaux propres du tronc et la substance réticulée ainsi que les voies ascendantes. Dans le tectum du mésencéphale on trouve les collicules supérieurs et inférieurs. Au niveau du pont et du bulbe le tectum forme le toit du 4ème ventricule. La base du tronc est traversée par des fibres descendantes et notamment les fibres motrices cortico-bulbaires et cortico-spinales.

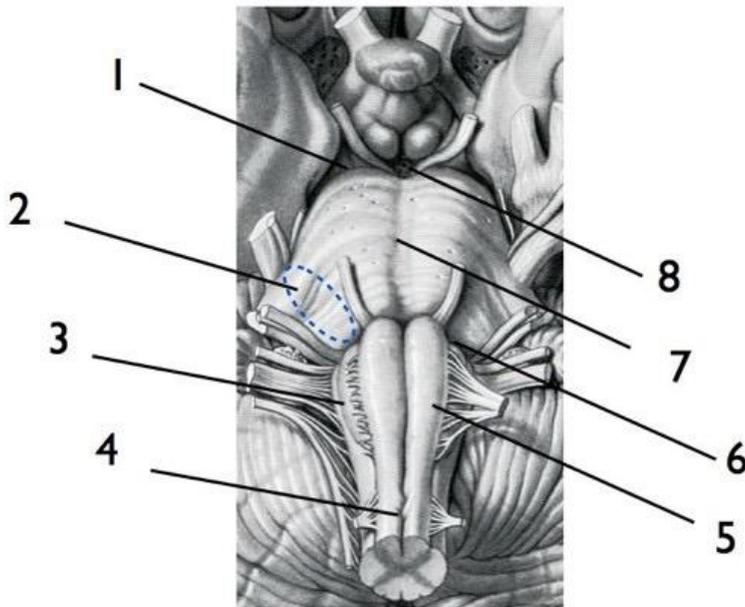


Coupe sagittale du tronc cérébral et du cervelet :

Axe rostro-caudal : Les traits tillés noirs délimitent rostro-caudalement le mésencéphale, le pont et le bulbe.

Axe ventro-dorsal : Base (rouge), tegmentum (jaune) et tectum (vert).

Face ventrale :



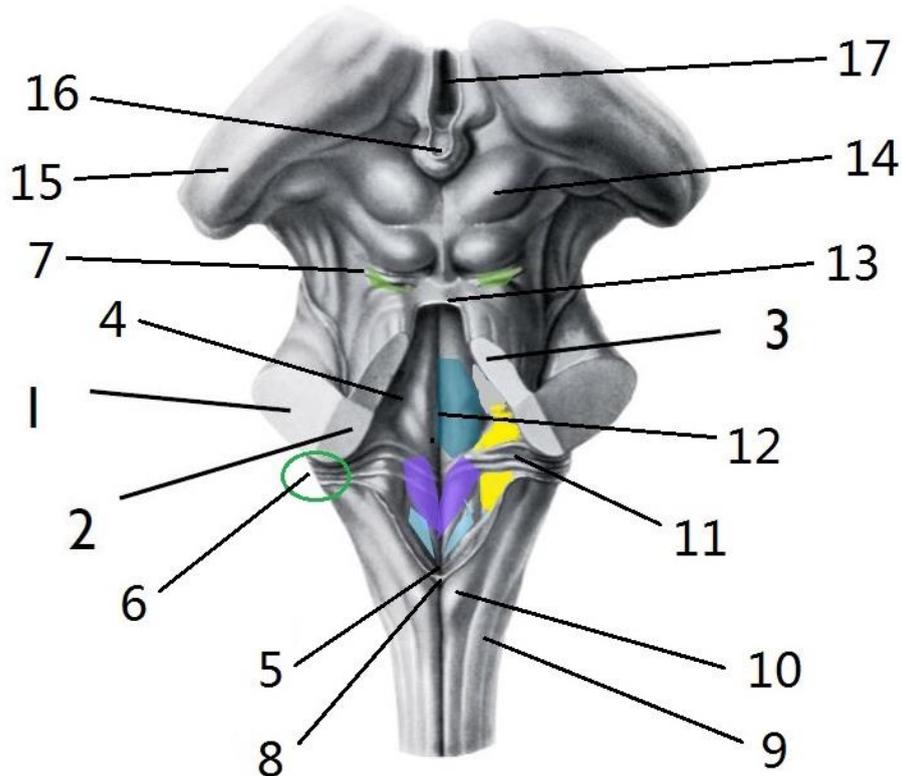
1. Pédoncules cérébraux (ou *crus cerebri*)
2. Pédoncules cérébelleux moyens
3. Olives inférieures
4. Décussation pyramidale
5. Pyramides bulbaires
6. Sillon bulbo-pontique
7. Pont
8. Citerne interpédonculaire

Sur cette image, on peut également voir les nerfs crâniens de la face ventrale du tronc cérébral : oculomoteur III, trijumeau V, abducens VI, facial VII et vestibulo-cochléaire VIII, glossopharyngé IX, vague X et spinal accessoire XI, hypoglosse XII. Le nerf trochléaire IV est le seul à sortir par la face dorsale du tronc. Les nerfs crâniens feront l'objet du TP3.

Face dorsale :

A sa limite caudale, on peut observer l'arrivée des colonnes dorsales (informations somesthésiques, et non pas thermo-algésiques) de la moelle épinière forment deux paires symétriques de faisceaux : les faisceaux gracile (informations somesthésiques du membre inférieur et bas du tronc) et cunéiforme (informations somesthésiques du haut du tronc et membre supérieur). Lorsque ces faisceaux arrivent au niveau du tronc, ils créent des protubérances sur la face dorsale du bulbe. Ces protubérances se nomment tubercules graciles et cunéiformes.

Rostralement aux tubercules graciles et cunéiformes se trouve la fosse rhomboïde, qui n'est visible qu'après résection du cervelet. Elle constitue la paroi ventrale ou "plancher" du 4ème ventricule (le toit étant le cervelet). Au niveau du cervelet, notez les pédoncules cérébelleux, lobes antérieur, lobes postérieurs, et lobes floculo-nodulaires. Plus haut, on peut voir les tubercules quadrijumeaux du mésencéphale (= collicules inférieurs et supérieurs).



Sur l'image ci-dessus (cervelet réséqué) de caudal à rostral, on peut voir :

- 10) Tubercules et faisceaux graciles
- 9) Tubercules et faisceaux cunéiformes
- 12) Sillon dorsal médian
- 5) Obex : petit récessus caudal du 4ème ventricule. Région de *l'area postrema*.
- 8) Voile médullaire inférieure (coupée) : relie le bulbe au cervelet médialement, forme une partie du toit du 4ème ventricule.
- 11) Stries médullaires : bombements formés par des fibres auditives décussantes
- 6) Récessus latéraux (dont la partie latérale est percée par les *foramina* de Luschka)
- 4) *Sulcus limitans* : Région du *locus ceruleus*, centre noradrénergique faisant partie du système de veille.
- 1) Pédoncule cérébelleux moyen : le plus volumineux, latéral aux deux autres.
- 2) Pédoncule cérébelleux inférieur : relie le cervelet au bulbe
- 3) Pédoncule cérébelleux supérieur : relie le cervelet au mésencéphale
- 13) Voile médullaire supérieure (coupée) : relie le mésencéphale au cervelet médialement, forme une partie du toit du 4ème ventricule.
- 7) Nerf trochléaire IV : le seul à sortir dorsalement au tronc
- 14) Collicules quadrigéminaux : ils sont au nombre de quatre, avec deux collicules supérieurs (rôle dans la vision) et deux inférieurs (rôle dans l'audition)

On peut observer également quelques structures diencephaliques :

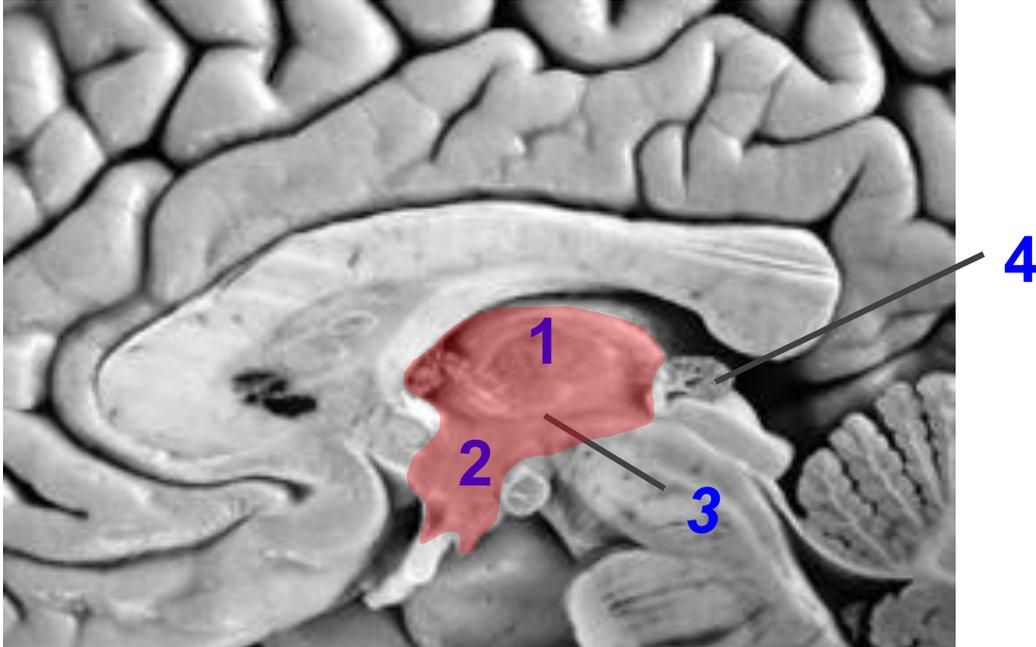
- 15) Thalamus
- 16) Glande pinéale
- 17) 3ème ventricule

Sur le cervelet : distinguez les trois lobes (flocculo-nodulaire, antérieur et postérieur) et les trois paires de pédoncules cérébelleux (inférieurs, moyens et supérieurs) le rattachent, respectivement, au bulbe, au pont et au mésencéphale.

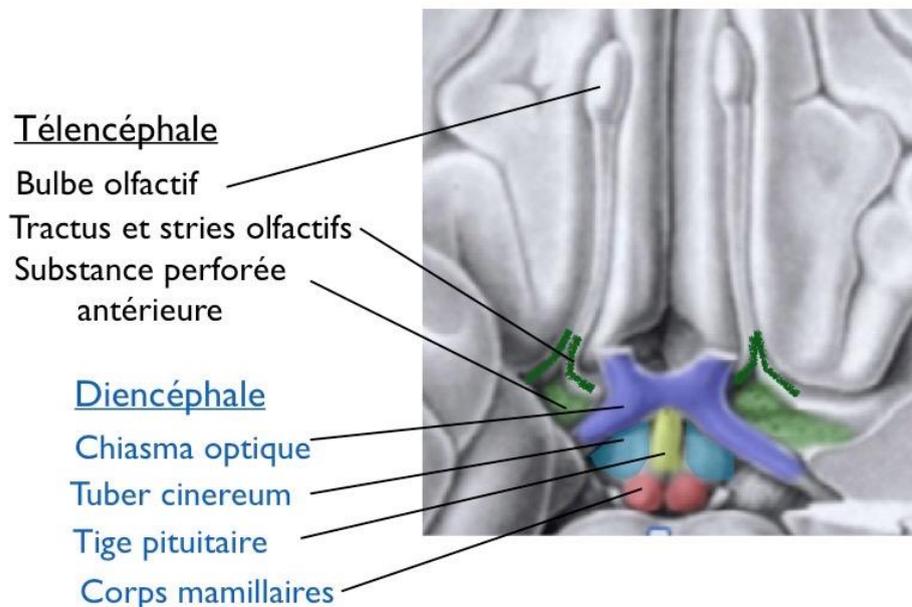
6) Localiser le diencephale

On appelle cerveau antérieur l'ensemble formé par le télencéphale et le diencephale. Le diencephale est une structure impaire située au-dessus du mésencéphale et constitué par : les deux thalamus (1), séparés de l'hypothalamus (2) par le sillon hypothalamique (3), et la glande pinéale (4). Au centre de ces structures, on trouve le troisième ventricule (coloré en rouge).

Coupe médio-sagittale du cerveau :



Liés à l'hypothalamus, on distingue également sur cette coupe un des deux corps mamillaires. En avant du troisième ventricule, observez le foramen de Monroe. Au-dessus du diencephale, retrouvez le septum pellucide, le corps calleux et le gyrus cingulaire. Ventralement, on peut observer une partie du chiasma optique.



Sur la face ventrale, on peut voir quelques composants :

- Chiasma (et naissance du tractus optique)
- Tige pituitaire, qui relie l'hypothalamus à l'hypophyse
- Tuber cinereum, plancher ventral de l'hypothalamus, entre les corps mamillaires et la tige pituitaire
- Corps mamillaires, liés au système limbique, fait partie « anatomiquement » de l'hypothalamus

7) Décrire les lobes et les principaux gyri du néocortex

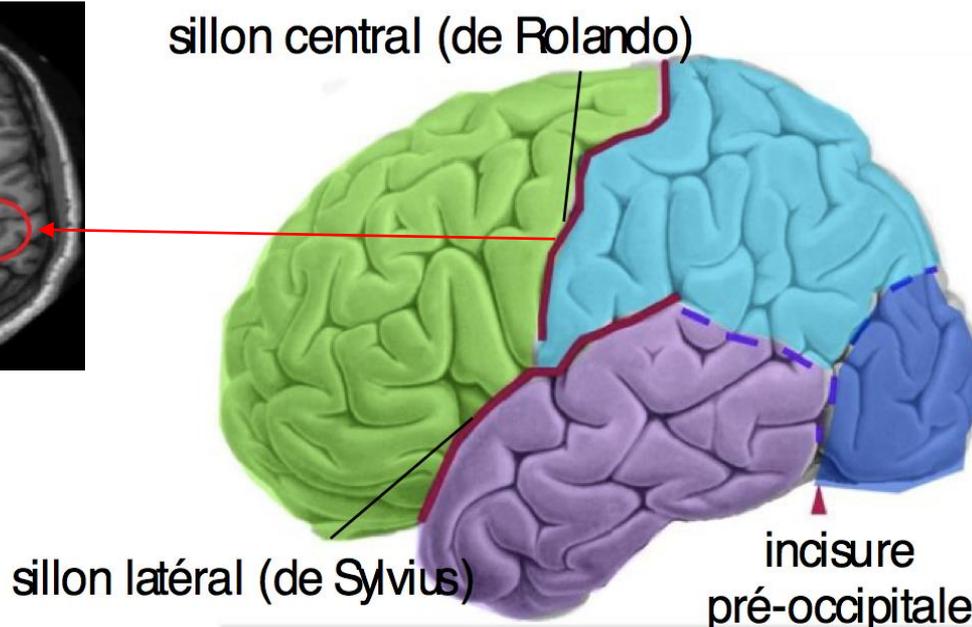
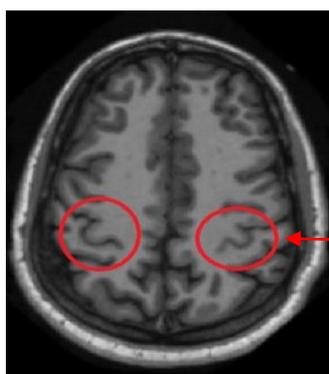
Le néocortex est la partie périphérique du télencéphale. Le télencéphale est une structure paire (deux hémisphères), située dans l'étage supra-tentorial. Les hémisphères sont reliés par les commissures et séparés par la faux du cerveau. Ils contiennent chacun un ventricule latéral et des structures dites « sous-corticales ».

Il existe trois manières de délimiter les zones du cortex :

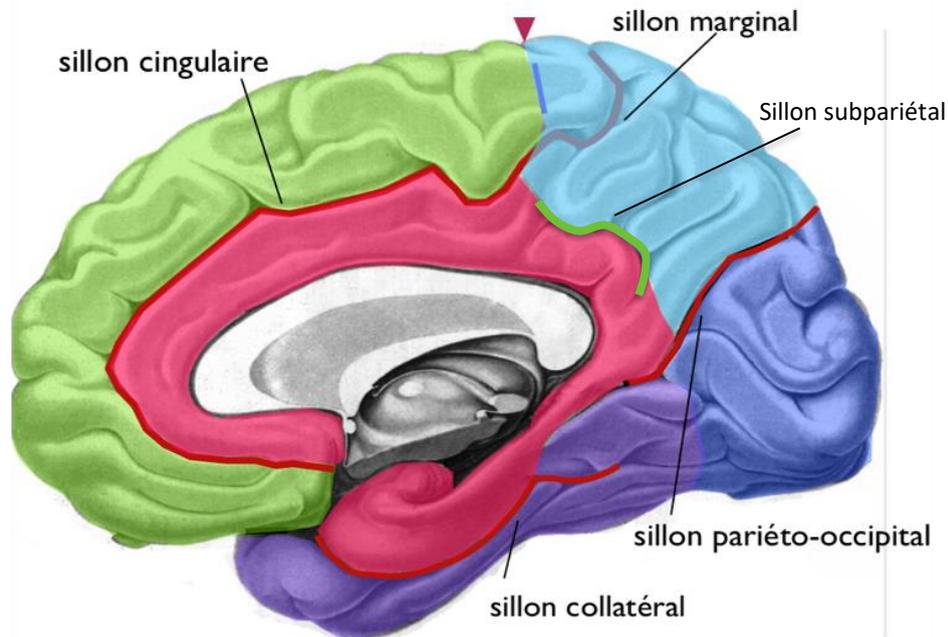
- Selon leur anatomie structurelle
- Selon leur fonction
- Selon leur cytoarchitecture (les 52 aires de Brodmann)

Pour ce TP1, nous nous intéresserons uniquement à la subdivision du cortex selon son anatomie structurelle et nous ne décrirons que les principaux sillons (*sulci*) et circonvolutions (*gyri*) qui forment les repères les plus importants pour délimiter les lobes. On les appelle sillons primaires (ou profonds).

- **Sillon central** (sulcus centralis, ou scissure de Rolando) : vertical, sépare le lobe frontal du lobe pariétal et le cortex moteur primaire (gyrus pré-central) et sensoriel primaire (gyrus post-central). Notez « l'Omega de la main » (cercles rouges).
- **Sillon latéral** (sulcus lateralis, ou scissure de Sylvius) : trajectoire diagonale. Il sépare le lobe temporal des lobes frontal et pariétal.
- **Sillon pariéto-occipital** (sulcus parietooccipitalis, SPO) : vertical, visible uniquement sur la face médiale, il sépare le lobe pariétal du lobe occipital. Afin de séparer le lobe occipital et le lobe pariétal sur la face latérale, on peut tracer une ligne imaginaire entre l'incisure pré-occipitale et ce sillon.



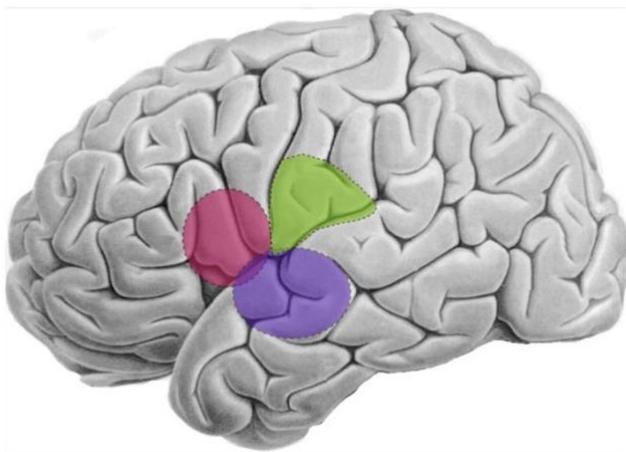
- **Sillon cingulaire** : sur la face médiale, en forme de C. Il délimite le lobe frontal du lobe limbique.
- **Sillon subpariétal** : sur la face médiale. Délimite le lobe pariétal du lobe limbique.
- **Sillon collatéral** : sur la face ventrale, horizontal. Il délimite le lobe temporal du lobe limbique.



Ces sillons délimitent 5 lobes :

- **Frontal** : sillons central, latéral et cingulaire
- **Pariétal** : sillons pariéto-occipital, latéral, central et subpariétal
- **Temporal** : sillons latéral, ligne imaginaire pariéto-occipitale et collatéral
- **Occipital** : sillon pariéto-occipital et ligne imaginaire pariéto-occipitale
- **Limbique** : en forme de « C » ; sillon cingulaire, subpariétal et collatéral (RQ : certains ouvrages ne distinguent pas le lobe limbique comme un lobe indépendant et en répartissent les structures dans les lobes frontaux, pariétaux et temporaux)

Notez l'existence d'un 6ème lobe « caché » : **l'insula**. Lobe en profondeur du sillon latéral. On le trouve en réséquant les opercules (parties des lobes frontal, temporal et pariétal adjacentes au sillon latéral)



Les aires fonctionnelles principales seront décrites dans le TP suivant. Pour le moment, notez seulement la localisation des cortex primaires principaux dans les différents lobes : cortex moteur (frontal),

somatosensoriel (pariétal), auditif (temporal) et visuel (occipital). Expliquez la localisation de « l'omega de la main ».

8) Localiser l'hippocampe, l'amygdale et les noyaux gris centraux

Sur les IRM présentés au cours du TP.