

Cahier de TP de Neuroanatomie

N°1 : Morphologie générale du SNC

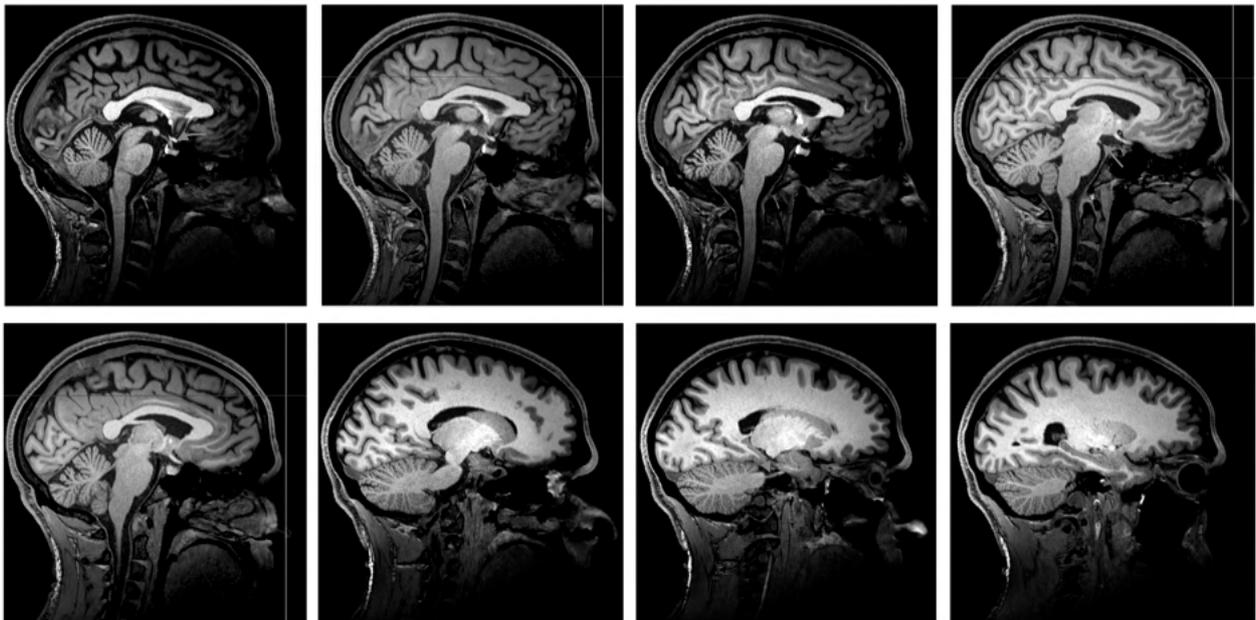


Table des matières

Mode d'emploi des TP	3
Ressources utiles	4
Remerciements	5
A. Introduction	6
1. Constituants généraux du système nerveux central (SNC)	6
2. Grandes subdivisions anatomiques	7
3. Plans et axes d'orientation	9
B. Méninges et couches de protection	10
1. Généralités	10
2. Méninges	11
3. Hématomes	12
4. Replis de la dure-mère	13
C. Espaces liquidiens	14
1. Formation embryologique	14
2. Espace liquidien interne - système ventriculaire	14
3. Espace liquidien externe - espace sous-arachnoïdien	15
D. Morphologie générale de l'encéphale	17
1. Embryologie des régions majeures du SNC	17
2. Cerebrum ou cerveau antérieur	18
3. Tronc cérébral - vue d'ensemble	21
4. Tronc cérébral - anatomie de surface, face ventrale	22
5. Tronc cérébral - anatomie de surface, face dorsale	24
6. Cervelet (détaillé dans le TP4)	25
7. Moelle épinière (ME)	26
8. Vascolarisation de la moelle épinière (ME)	30
D. Histologie	33
1. Introduction et rappels	33
2. Coupe SN1 - moelle épinière	35
3. Coupe SN8 - moelle épinière lombaire	38
E. Annexes (obligatoires)	39
1. Types d'imagerie	39
2. Boîte crânienne	42

Mode d'emploi des TP

Bienvenu.e.s à l'unité des Neurosciences ! Cette unité a la particularité d'être dense en informations théoriques, mais aussi exigeante d'un point de vue anatomique. L'anatomie est en effet essentielle pour la compréhension des neurosciences. Au cours de cette unité, des travaux pratiques de neuro-anatomie sont organisés pour vous permettre d'appliquer votre savoir à l'aide de pièces anatomiques et d'images radiologiques.

Il est essentiel que vous veniez préparé.e.s à ces TP pour pouvoir en bénéficier au maximum. De plus, l'interactivité rend les TP de 4 heures moins longs et plus enrichissants. N'hésitez donc pas à participer, manipuler les pièces, poser vos questions, et participer aux dissections... À la fin de l'unité, vous devriez être à l'aise en naviguant dans le SNC et capables de mettre en lien l'anatomie et la fonction des structures.

Ces cahiers de TP contiennent beaucoup d'informations. Ne soyez cependant pas effrayé.e.s par leur longueur, tout n'est pas à apprendre par coeur ! Il y a suffisamment d'informations pour vous dispenser de prendre des notes pendant les séances TP. Malgré tout le soin qu'il leur a été apporté, ils ne sont ni exhaustifs, ni exempts d'erreurs !

Les TP seront donnés tout au cours de l'unité en plusieurs séances :

1. Morphologie générale du SNC
2. Cerveau antérieur
3. Nerfs crâniens
4. Ganglions de la base, cervelet et système limbique
5. Pathologie en collaboration avec l'hôpital de Belle-Idée
6. Révisions

Les séances seront toujours organisées selon cette ordre :

1. Présentation d'introduction
2. Travail en groupe sur les préparations macroscopiques et les radiographies
3. Discussion en groupe des coupes histologiques de la séance
4. Intervention de la neuro-radiologie

Les supports de TP sont divisés en 5 cahiers différents :

1. Morphologie générale du SNC
2. Cerveau antérieur
3. Nerfs crâniens
4. Ganglions de la base, cervelet et système limbique
5. Vascularisation

Ressources utiles

De nombreuses ressources existent pour vous aider à l'apprentissage. Ces ressources sont complémentaires et peuvent parfois contenir des informations différentes. Voici une liste des ressources sélectionnées pour vous aider à faire la part des choses. Cependant, elles ne sont ni obligatoires, ni exhaustives.

Ressources facultaires

- Cahiers de TP
- Forums de l'unité Neurosciences
- Moniteurs de neuroanatomie
- Enseignant.e.s d'APP

Livres de référence

- Baehr, Duus' Topical Diagnosis in Neurology, 2005 Thieme
- Purves, et al. Neurosciences. 6e éd., 2019.
- Martin, John Harry, et al. Neuroanatomy Text and Atlas. McGraw-Hill Medical, 2012.
- Netter, Frank H. Atlas d'anatomie humaine. 2019.
- Paulsen, Friedrich, et al. éditeurs. Sobotta Atlas of Human Anatomy. 3: Head, Neck and Neuroanatomy. 15th edition, Elsevier/Urban & Fischer, 2011.

Sites

- www.headneckbrainspine.com
- www.kenhub.com
- Neuroanatomy Video Lab: Brain Dissections : <https://library.med.utah.edu/publishing/collection/neuroanatomy-video-lab-brain-dissections/#tab-media>
- <https://www.neuroanatomy.ca/>
- Chaîne youtube de l'Université de la Colombie-Britannique (UBC) sur la neuroanatomie
- Neuroanatomie du cervelet (animation 3D): <https://www.youtube.com/watch?v=T6KB0bVvmjQ&list=PLD7CiWwo6xnDC4FggK4ZXSoxcAl5De0Lb&index=12>
- Ninja Med (super explications mais très long et en anglais) : <https://www.youtube.com/watch?v=ADAOsuaOSCk&list=PLTF9h-T1TcJgx3OFachdjHPMX6VE4VDS1>
- IMAIOS : <https://www.imaios.com/fr>
- Radiologie. ch : https://www.info-radiologie.ch/atlas_tdm_cerveau.php
- Embryologie du SNC : <http://embryology.ch/francais/vcns/planmodcns.html>
- Configuration de l'hippocampe : <https://sites.uclouvain.be/braininteratlas/fr/chapitre/configuration-interne-hippocampe>

Remerciements

Les cinq cahiers dédiés à chaque TP ont été refaits dans l'année académique 2021-2022, et sont révisés durant l'année académique en cours par la nouvelle team de moniteurs.

La rédaction de ces cahiers et l'enseignement de la neuro-anatomie ne seraient pas possibles sans la contribution de :

Les professeurs

Jozsef Kiss

Charles Quairiaux

Les co-secrétaires

Aléna Rubbia et Vincent Sibut-Pinote (année 2021-2022)

Francesca Brigatti et Elisabeth Galantay (année 2022-2023)

TP 1

Francesca Brigatti et Lisa Simioni

Révision 2022 par Paul Murger et Lisa Montero

TP 2

Eva Cochard, Ramzi Farchoukh et Nicolas Favre

Révision 2022 par Mahaut Pache et Tiago Guedes Almeida

TP 3

Elias Benguettat et Nefeli Stefanidou

Révision 2022 par Adrien Kristiansen et Alexandre Ventouras

TP 4

Azra Dziho

Révision 2022 par Burçe Göksu et Lea Teigeler

TP 5

Alexandra Rhally, Timéa Szalai et Nawel Tounsi

Révision 2022 par Elisabeth Galantay

Et tous les autres membres du Neuroclub (anciens ou actuels) ayant participé à la rédaction et au peaufinement des TPs !

A. Introduction

1. Constituants généraux du système nerveux central (SNC)

- **Substance grise** : présente au niveau du cortex, noyaux gris centraux et sous-corticaux. Elle se compose, entre autres, des **corps cellulaires** des neurones et du **neuropile**.

Le **neuropile** est la partie du tissu nerveux située entre les principales cellules constituant la substance grise du SNC. Il s'agit donc d'un enchevêtrement des protrusions cytoplasmiques issues des neurones (axones et dendrites) et des cellules gliales (oligodendrocytes et astrocytes).

- **Substance blanche** : composée principalement des **axones des neurones** ainsi que de cellules gliales qui nourrissent et protègent les cellules nerveuses. L'aspect blanchâtre de cette structure vient des gaines de **myéline** entourant les axones myélinisés. La gaine de myéline dans le **SNP** est constituée par les **cellules de Schwann**, tandis que dans le **SNC** la gaine est formée par les **oligodendrocytes**.
- **Espaces liquidiens** : composés des **ventricules** et des **citernes**, ils contiennent le **liquide céphalo-rachidien (LCR)** produit par le plexus choroïde (Cf. TP1, 2 et 3)
- **Vaisseaux** : la vascularisation artérielle et le drainage veineux du SNC sont articulés et complexes; ces vaisseaux permettent l'apport d'O₂ et nutriments au cerveau et l'élimination des déchets et des substances toxiques. Le drainage veineux est en relation étroite avec la circulation du LCR. La vascularisation du SN sera abordée au fur et à mesure durant les différents TPs et est détaillée dans le cahier de TP5.

Un peu de clarté sur la terminologie employée en neuro-anatomie :

- **Encéphale (cerveau)** : partie du système nerveux central logée dans la boîte crânienne. Elle comprend, d'une part **le tronc cérébral et le cervelet** et d'autre part **le cerebrum**. Pour résumer, toutes les structures dérivées de 3 vésicules primaires (prosencephale, mésencéphale et rhombencéphale) constituent l'encéphale.
- **Cerebrum** ou **cerveau antérieur** : constitué du **télencéphale** et du **diencephale**. Le télencéphale donne les hémisphères, le bulbe olfactif, les ganglions basaux (corps striés). Le diencephale donne les ébauches oculaires, le thalamus, l'épithalamus, l'hypothalamus, l'épiphyse, le lobe nerveux de l'hypophyse.
- **Névraxe** ou SNC : ces synonymes rappellent que le SNC ou "névraxe" est situé dans l'axe de symétrie du corps. Certaines structures du SNC sont paires, de part et d'autre de la ligne médiane du névraxe. D'autres sont en un seul exemplaire, impaires, et centrées sur cette ligne.

2. Grandes subdivisions anatomiques

Le SN peut-être séparé en 2 grandes subdivisions :

- I. **Le Système Nerveux Central (SNC)**, ou **névraxe**, est composé de :
 1. **L'encéphale**, comprenant les structures contenues dans la boîte crânienne, soit :
 - a. **Tronc cérébral** : divisé en 3 parties (**bulbe**, **pont** et **mésencéphale**) et point de départ de la majorité des **nerfs crâniens** (III-XII) (Cf. TP3)
 - b. **Cervelet** (*cerebellum* en latin) : postérieur au tronc cérébral
 - c. **Diencéphale** : structures accolées autour du 3ème ventricule
 - d. **Téleencéphale** : composé de 2 hémisphères cérébraux

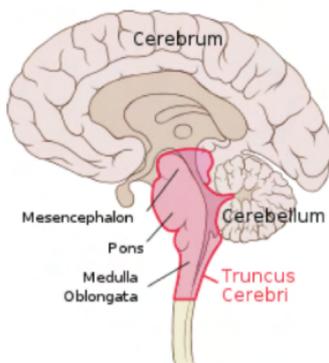


Fig. 1 : Vue d'ensemble de l'encéphale, avec les subdivisions principales; tronc cérébral, cervelet et cerebrum (diencéphale et téleencéphale) https://fr.wikibooks.org/wiki/Neurosciences/Le_tronc_c%C3%A9r%C3%A9bral

2. **La moelle épinière (ME)** se trouve dans la colonne vertébrale et conduit les informations du cerveau vers les organes et, inversement, des organes vers le cerveau via les 31 paires de nerfs rachidiens (ou spinaux).

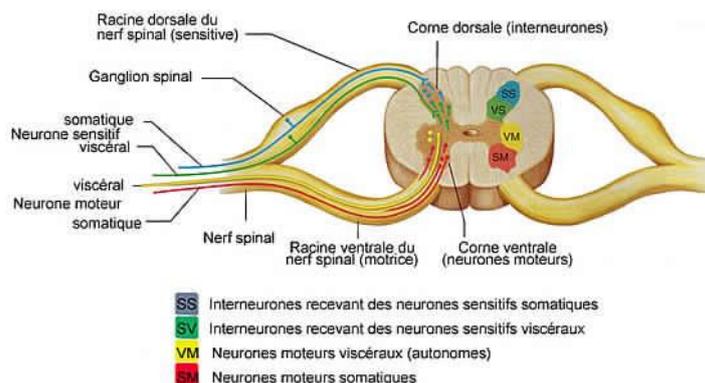


Fig. 2 : Représentation d'une section de ME avec la racine sensitive et motrice du nerf spinal correspondant. http://www.corpshumain.ca/Moelle_epi.php

Les corps cellulaires de la **racine motrice** des nerfs spinaux sont localisés dans la corne ventrale de la moelle épinière (VM = motoneurones viscéraux et SM = motoneurones somatiques dans la figure 2). Les **ganglions rachidiens** (SNP) contiennent les corps cellulaires de la **racine sensitive** des nerfs spinaux.

II. **Le Système Nerveux Périphérique (SNP)** désigne les voies nerveuses externes au SNC mais qui véhiculent des informations **afférentes au SNC** et **efférentes du SNC**. Le SNP est constitué des **nerfs spinaux**, des **nerfs crâniens** et des **ganglions périphériques somatiques et autonomes**. Son développement se fait à partir des cellules de la **crête neurale**. Le SNP englobe différents types de voies nerveuses :

Afférentes sensibles	Efférentes motrices	
Fibres somatiques et viscérales . Elles apportent au SNC l'information reçue des récepteurs 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 ou dans des ganglions du crâne pour ceux qui sont liés aux nerfs crâniens.	Motrice somatique ou volontaire	Motrice Autonome (SNA)
	Motoneurones inférieurs, dont le corps cellulaire est situé dans la corne ventrale de la moelle (nerfs spinaux) ou dans les noyaux moteurs du tronc cérébral (nerf crânien).	Motoneurones autonomes pré et post-ganglionnaires , innervant les muscles lisses des viscères et des vaisseaux sanguins, le cœur et les glandes. 2 entités fonctionnelles du système nerveux autonome : SN sympathique et parasymphatique

Système nerveux sympathique	Système nerveux parasymphatique
Les neurones préganglionnaires ont leurs corps cellulaires dans la moelle du niveau Th1 à L2 . Ces neurones vont ensuite faire synapse dans la chaîne ganglionnaire 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 via les ramifications des nerfs spinaux.	Les neurones préganglionnaires ont leurs corps cellulaires soit dans des noyaux parasymphatiques du tronc cérébral (nerfs crâniens III, VII, IX et X, voir TP3), soit dans la moelle aux niveaux S2-S4 . Ces neurones vont ensuite faire synapse dans des ganglions se trouvant à proximité des organes cibles (ganglions intra-muraux).

Remarque :

- Il n'existe **pas de composante sympathique dans les nerfs crâniens**. Ainsi, l'innervation sympathique de la tête doit se faire via des neurones préganglionnaires qui remontent la **chaîne paravertébrale** vers les ganglions cervicaux d'où les neurones sympathiques postganglionnaires rejoignent les organes de la tête.
- Au contraire, **il n'existe pas d'efférences parasymphatiques aux niveaux lombaire et thoracique**. L'innervation parasymphatique viscérale se fait via les **nerfs crâniens (nerfs vagues) ou sacrés**.

3. Plans et axes d'orientation

Le SNC peut être affiché selon 3 plans. Leur compréhension est essentielle pour une bonne interprétation de l'imagerie ainsi que des coupes anatomiques et histologiques :

1. le plan **coronal** ou frontal
2. le plan **horizontal** ou transversal
3. le plan **sagittal**

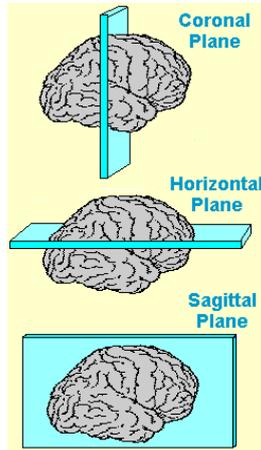


Fig. 3 : Les trois plans de section du cerveau <https://faculty.washington.edu/chudler/slice.html>

L'orientation dans le SNC se fait selon 3 axes, comme pour toute structure anatomique :

1. **Ventro-dorsal** selon le **plan coronal** (*astuce : considérer un humain qui marche à 4 pattes, le cerveau en vue inférieure est alors réellement ventral !*)
2. **Rostro-caudal** ou crânio-caudal selon le **plan horizontal**
3. **Médio-latéral** selon le **plan sagittal**

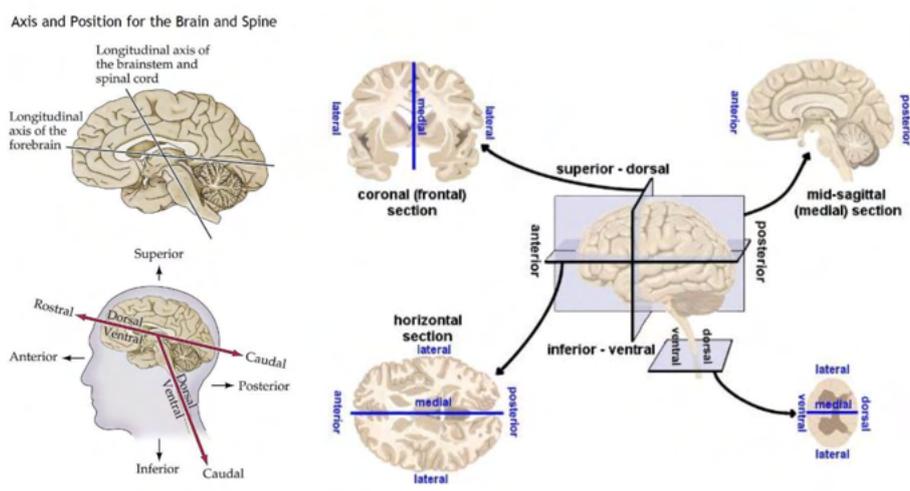


Fig. 4 : Axes et points de repères pour s'orienter dans le SNC https://my-ms.org/mri_sections.htm

Remarque : 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 celui du cerveau antérieur coïncide avec l'axe antéro-postérieur de la tête.

B. Méninges et couches de protection

1. Généralités

Plusieurs couches successives recouvrent l'encéphale et le protègent :

- 1) La **peau** : épiderme, derme, hypoderme
- 2) La **galéa aponévrotique** ou aponévrose épicroânienne
- 3) Le **péricrâne** : équivalent du périoste externe
- 4) L'os spongieux (**diploë**) : formant la boîte crânienne
- 5) Le **périoste interne**
- 6) Les **méninges**, qui entourent le système nerveux central
 - 1) **Dure-mère** : composée de 2 feuillets, un dural externe (périosté) et un dural interne (méningé). Forme l'unique méninge dure ou **pachyméninge**.
 - 2) **Arachnoïde**
 - 3) **Pie-mère**

} = le **scalp**

} = les méninges molles ou **leptoméninges**

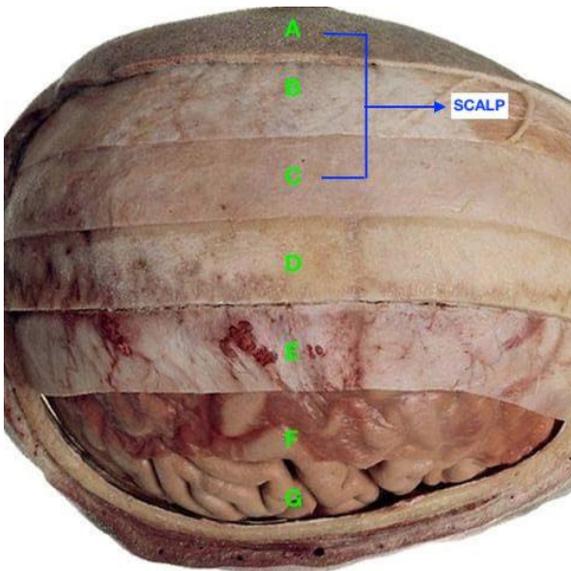
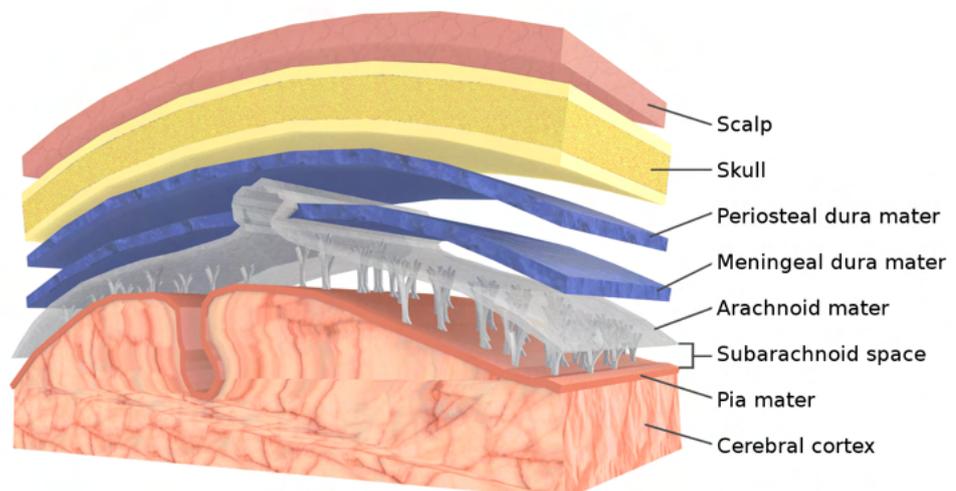


Fig. 5 : Vue d'ensemble des différentes couches
<https://medicina247.altervista.org/cuoio-capelluto-o-scalpo/>

- A= peau
- B= aponévrose épicroânienne
- C= périoste
- D= os
- E= dure-mère
- F= arachnoïde
- G= cortex + pie-mère

Fig. 6 :
Représentation schématique des méninges
<https://www.thoughtco.com/brain-anatomy-meninges-4018883>



2. Méninges

Il s'agit de 3 enveloppes successives, d'externe à interne :

	Dure-mère	Arachnoïde	Pie-mère
Aspect	<p>Résistante, fibreuse</p> <p>2 feuillets : périosté (externe) et méningé (interne). Entre les deux feuillets on retrouve les sinus veineux (Cf. TP vascularisation).</p> <p>Forment des expansions divisant les volumes intracrâniens : faux du cerveau, faux du cervelet, tente du cervelet, diaphragme sellaire (entoure la tige pituitaire).</p> <p>Il existe des bridging veins qui relie le parenchyme cérébral aux sinus veineux.</p>	<p>Molle, conjonctive</p> <p>Trabécules émises rejoignant la pie-mère et traversant l'espace sous-arachnoïdien.</p> <p>Granulations arachnoïdiennes de Pacchioni, granulations de l'arachnoïde qui passent à travers le feuillet interne de la dure-mère pour permettre la résorption du LCR vers les sinus veineux depuis l'espace sous arachnoïdien.</p>	<p>Molle</p>
Fonction	<p>Protection</p>	<p>Glissement</p> <p>Résorption du LCR dans les sinus veineux Elle délimite l'espace sous-arachnoïdien dans lequel circule le LCR.</p>	<p>Nourricière</p> <p>Accompagnent les vx pénétrant dans le parenchyme cérébral et forment les espaces périvasculaires de Virchow-Robin</p>
Topographie	<p>Adhésion forte à la base et aux sutures du crâne, moins à la voûte et pas du tout aux vertèbres. Ce qui explique un espace épidual virtuel au niveau de la voûte crânienne mais bien présent au niveau des vertèbres.</p>	<p>S'applique sur le feuillet méningé de la dure-mère (entre les deux, l'espace "sous-dural" virtuel). Ne s'enfonce pas dans les scissures et sillons.</p>	<p>Adhésion forte au SNC, s'enfonce dans les scissures et sillons. Espace sous-arachnoïdien rempli de LCR.</p>
Particularité	<p>Seule méninge vascularisée par les aa. méningées et innervée par les nerfs crâniens trijumeau (V) et vague (X).</p>	<p>Pas de vascularisation, ni d'innervation. La nutrition se fait par le LCR.</p>	<p>Pas de vascularisation ni d'innervation</p>

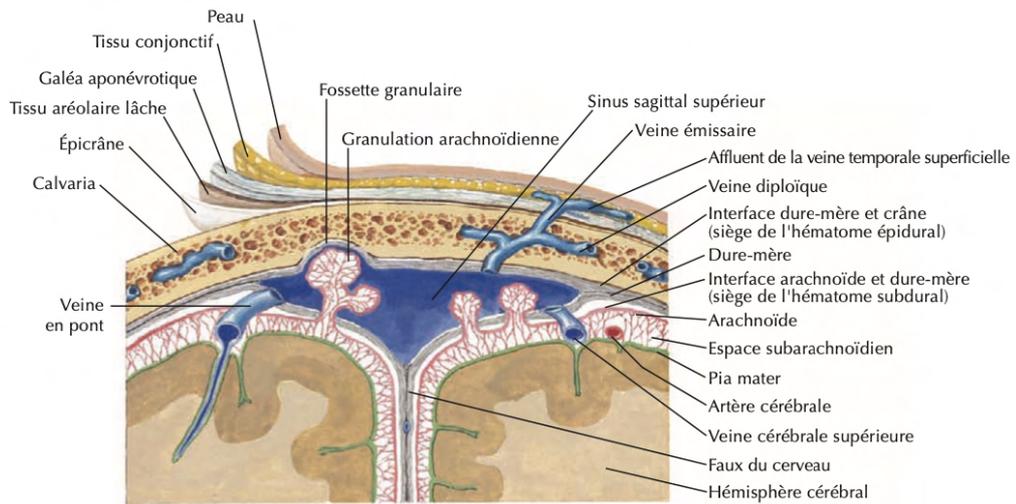


Fig. 7 : Représentation des méninges et des différents espaces. Netter 5ème édition, planche 101.

Remarque :

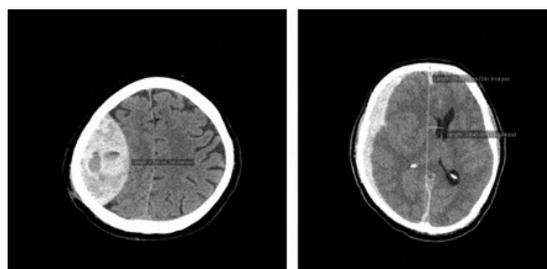
Un groupe d'artères à la surface du cortex est appelé **réseau collatéral leptoméninge**. Ce réseau forme des anastomoses entre les branches distales des différentes artères cérébrales (antérieure, moyenne et postérieure), permettant une légère compensation en cas d'insuffisance d'une de ces artères, notamment la moyenne. Malgré cette terminologie, ce réseau d'artères vascularise le cortex et non pas les méninges. Les leptoméninges sont avascularisées.

3. Hématomes

Au niveau du crâne, l'espace épidural (entre l'os et le feuillet périosté de la dure mère) et l'espace sous-dural (entre le feuillet méningé et l'arachnoïde) sont **normalement virtuels**. Cependant, en clinique, lors de traumatismes ou de lésions vasculaires, on peut observer une accumulation du sang dans ces espaces. On parle d'**hématomes intracrâniens**.

- **Hématome épidural** : rupture des artères méningées particulièrement fragiles qui voyagent entre le feuillet périosté et l'os (empruntes visibles dans la voûte crânienne) menant à la séparation de la dure mère et du périoste.
- **Hématome sous dural** : rupture des *bridging veins* drainant le sang depuis le cortex vers les sinus veineux. Ce type d'hématome est fréquemment observé lors de maltraitance infantile (syndrome du bébé secoué). Il mène à la séparation de la dure mère et de l'arachnoïde.

Exercice : sur les IRM suivantes, identifiez et caractérissez les deux hématomes.



4. Replis de la dure-mère

- **Faux du cerveau** : cloison médio-sagittale séparant les 2 hémisphères cérébraux.
- **Faux du cervelet** : cloison médio-sagittale séparant les hémisphères du cervelet, dans la fosse postérieure de la base du crâne.
- **Tente du cervelet** : cloison transversale passant sous la face ventrale et postérieure du cerveau, tout en recouvrant le cervelet. Celle-ci clive en deux étages le volume intracrânien :
 - **Loge supratentorielle** : contient les deux hémisphères cérébraux.
 - **Loge infratentorielle** ou fosse crânienne postérieure : contient le cervelet et le tronc cérébral. Ce dernier s'appuie sur le **clivus** (éminence osseuse antérieure et continue au foramen magnum). (Cf. Annexe « boîte crânienne » à la fin du TP1)

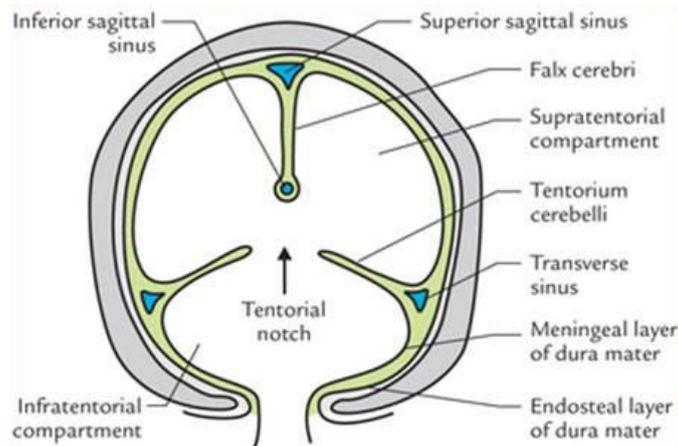


Fig. 8 : Représentation schématique de la faux du cerveau et de la tente du cervelet avec la loge supratentorielle et infratentorielle <https://doctorlib.info/anatomy/textbook-clinical-neuroanatomy/16.html>

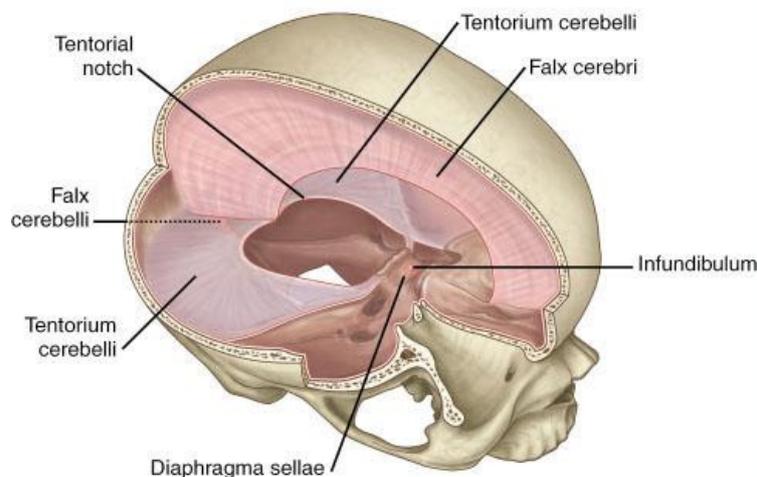


Fig. 9 : Représentation 3D de la faux du cerveau, de la faux du cervelet et de la tente du cervelet <https://thefuturedentistry.com/neuroanatomy/>

C. Espaces liquidiens

1. Formation embryologique

Le **canal neural** aboutit à la formation du **système ventriculaire**. Au niveau de l'encéphale, il forme des cavités nommées les **ventricules**, qui ensemble forment le **compartiment interne**. Autour, à l'extérieur de l'encéphale, l'**espace sous arachnoïdien** entoure la totalité du SNC. Cet espace représente donc le **compartiment externe**. Grâce à des **communications**, ces deux compartiments permettent la libre circulation du liquide céphalorachidien (LCR) dans lequel baigne l'entièreté du SNC. Le SNP quant à lui ne baigne pas dans le LCR (hormis les racines nerveuses.)

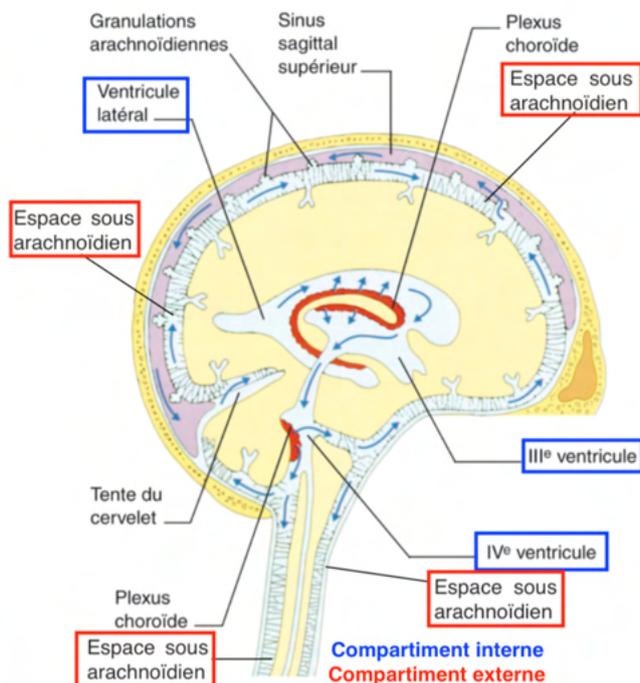


Fig. 10 : Représentation des compartiments interne et externe du cerveau en coupe sagittale ainsi que du drainage du LCR à travers ces compartiments

<https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/etudes-de-medecine/neurophysiologie,-dans-une-optique-clinique>

2. Espace liquidien interne - système ventriculaire

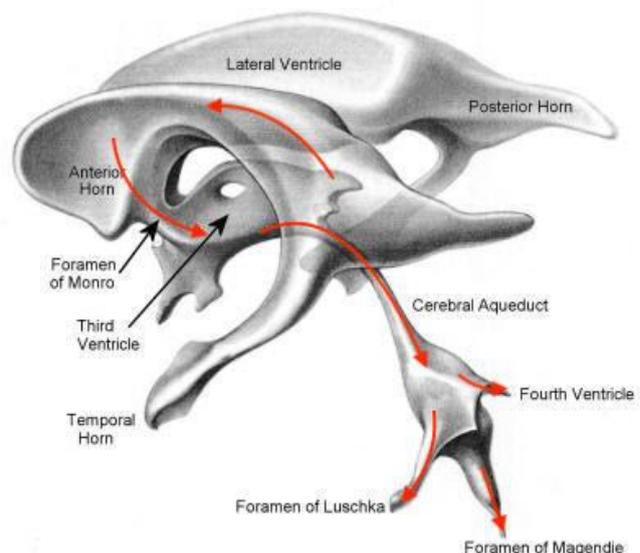


Fig. 11 : Représentation des ventricules du compartiment liquidien interne avec visualisation du drainage du LCR

https://operativeneurosurgery.com/doku.php?id=fourth_ventricle_outlet_obstruction

	Ventricules latéraux	3ème ventricule (V3)	4ème ventricule (V4)	Canal de l'épendyme
<i>Situation</i>	Deux ventricules latéraux, un dans chaque hémisphère cérébral.	Entre les deux thalamus et l'hypothalamus	Dans le tronc cérébral , au niveau bulbo-pontique.	Dans la moelle épinière
<i>Dilatation</i>	Paires et symétriques, en forme de fer à cheval	Impaire, unique mais symétrique et médian	Unique et médian	Partiellement virtuel (oblitération à l'adolescence).
<i>Drainage</i>	Dans V3 par les foramina de Monro ou foramina interventriculaires droit et gauche.	Dans V4 par l'aqueduc de Sylvius ou du mésencéphale	Dans l'espace sous-arachnoïdien, par le foramen de Magendie qui est dorso-caudal à V4 et par les deux foramina latéraux de Luschka	Absent

Remarque : Les différentes parties des ventricules latéraux sont des points de repère dans le plan coronal pour situer les coupes sur l'axe rostro-caudal.

3. Espace liquidien externe - espace sous-arachnoïdien

L'espace liquidien externe comprend l'ensemble de l'espace sous-arachnoïdien qui entoure l'encéphale et le SNP au niveau des racines nerveuses. L'arachnoïde, accolée à la dure mère, ne suit pas parfaitement tous les reliefs du cerveau, ce qui crée par endroits des espaces plus vastes nommés les citernes (Cf. TP3).

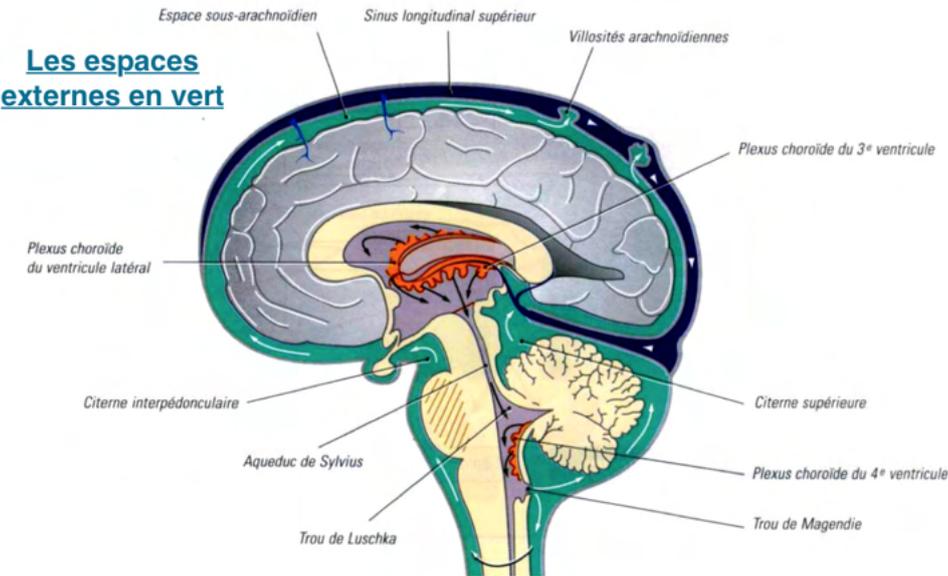


Fig. 12 : Représentation des compartiments liquidiens externes avec visualisation du drainage du LCR <https://natyinfirmiere.files.wordpress.com/2010/10/systeme-nerveux-central.pdf>

Exercice : sur les IRM suivantes, identifiez ces structures : les couches de protection (scalp, os), les méninges et les espaces. Ces structures sont-elles toutes visibles en IRM ?

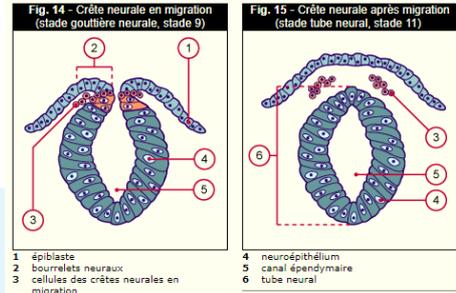


D. Morphologie générale de l'encéphale

1. Embryologie des régions majeures du SNC

Pour bien comprendre l'anatomie de l'encéphale, il faut comprendre son développement. En effet, il s'agit d'un organe qui se développe en série à partir d'une structure embryologique creuse, le **tube neural**. Ainsi, la partie creuse donnera les ventricules et le tube en lui-même les différentes structures du **système nerveux central**.

Fig. 13 : Rappel sur origine des cellules de la crête neurale
<http://www.embryology.ch/francais/vcns/tubecrete04.html>



Le tube neural se forme entre les 19 et 28ème jours du développement embryonnaire, lors de l'étape de la **neurulation**. Sa croissance n'est pas homogène, aboutissant du côté rostral à la délimitation de **vésicules** juxtaposées qui donneront ensuite les grandes subdivisions du SNC :

3 vésicules primaires (25ème jour)	5 vésicules secondaires (32ème jour)	Subdivisions du SNC (Définitif)
Prosencéphale	Télencéphale	Télencéphale
	Diencephale	Diencephale
Mésencéphale	Mésencéphale	Mésencéphale
Rhombencéphale	Métencéphale	Pont
		Cervelet
	Myélocéphale	Bulbe

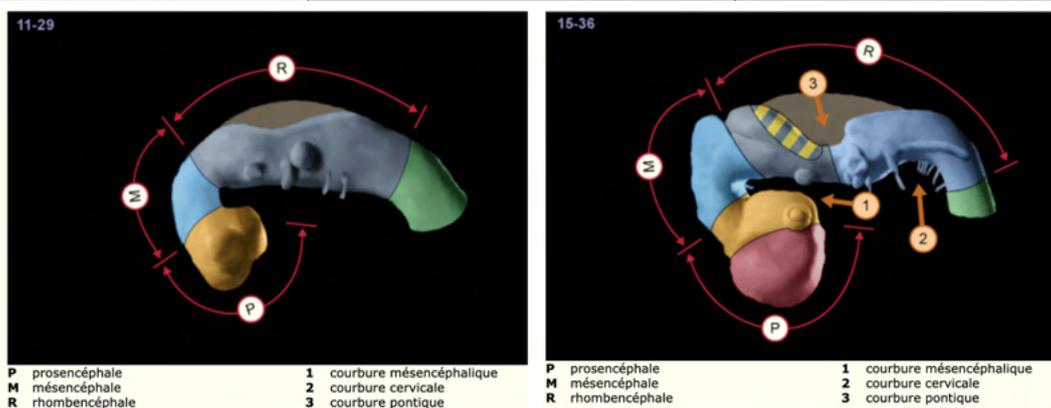


Fig. 14 : Développement et subdivision des vésicules primaires et secondaires et de leurs courbures (mésencéphalique, cervicale et pontique).
<https://www.embryology.ch/francais/vcns/vesicule01.html>

Dès le 49ème jour : la croissance rapide du néocortex va provoquer un **enroulement des vésicules télencéphaliques autour du diencephale**. Lors de ce développement intense, le télencéphale subit une **rotation en fer à cheval**. C'est le phénomène de **temporalisation** (développement du lobe temporal, propre aux espèces les plus évoluées). Le point de pivot de cet enroulement est le **cortex insulaire** ①, qui au cours de ce développement va être recouvert par les régions adjacentes du cortex cérébral, formant les **opercules**.

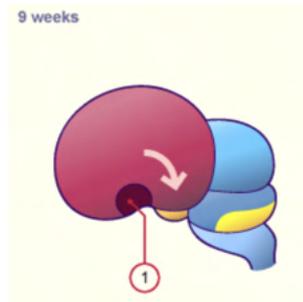


Fig. 15 : Rotation en fer à cheval des vésicules télencéphaliques autour du diencephale.

<http://www.embryology.ch/francais/vcns/telenceph01.html>

2. Cerebrum ou cerveau antérieur

Le cerebrum comprend :

Télencéphale	Diencephale
Structure paire (deux hémisphères), dans l'étage supratentoriel . Les deux hémisphères sont reliés par les commissures et sont séparés par la faux du cerveau . Au sein de chaque hémisphère se situe un ventricule latéral. Composition : - En superficie : le cortex	Structure impaire. Seules quelques composantes sont visibles en anatomie externe, sur les faces inférieures et médianes du cerveau. (Cf. TP suivants)

Chaque hémisphère peut être visualisé selon 3 faces :

Latérale/externe	Médiale/interne	Inférieure
------------------	-----------------	------------



Fig. 16 : Hémisphères en vue latérale, médiale et inférieure (coupes d'anatomie depuis différents cours)

Il existe 3 moyens de délimiter et subdiviser le cortex cérébral :

1. **Selon l'anatomie structurelle**, en fonction des sillons (*sulci*) et circonvolutions (*gyri*)
2. **Selon leur fonction** (Cf. TP2)
3. **Selon leur cytoarchitecture**, classifié en 52 aires de Brodmann

Dans ce TP, nous allons décrire les généralités de l'anatomie superficielle du cortex, à savoir les **sillons primaires** et les **lobes**. La connaissance de ces principaux sillons est nécessaire pour l'identification des différents lobes. Ces derniers constituent le premier degré de subdivision de l'anatomie externe du cerveau. Au sein des différentes lobes, **d'autres sillons peuvent être déterminés, en obtenant une subdivision plus détaillée** des lobes avec les différentes gyri, qui sera illustrée en détail et complétée avec les fonctions dans le TP2.

Les sillons primaires

Il s'agit des sillons principaux délimitant les lobes, et servant de points de repère.

Central , <i>sulcus centralis</i> , ou scissure de Rolando	Vertical, sépare le lobe frontal du lobe pariétal.
Latéral , <i>sulcus lateralis</i> , ou scissure de Sylvius	Trajectoire diagonale, allant de rostral à caudal et de ventral à dorsal, sépare le lobe temporal des lobes frontal et pariétal.
Pariéto-occipital , <i>sulcus parietooccipitalis</i> (SPO)	Est vertical, et uniquement visible sur la face médiale . Sépare le lobe pariétal et occipital. Sur la face latérale, il est nécessaire d'imaginer une ligne virtuelle, entre l'incisure pré-occipitale et ce sillon, pour obtenir la même séparation.
Cingulaire	Forme un « C », sur la face médiale et sépare les lobes frontal et limbique.
Collatéral	Étendu rostro-caudalement sur la face ventrale (également visible en vue médiale) Il délimite le lobe temporal du lobe limbique.

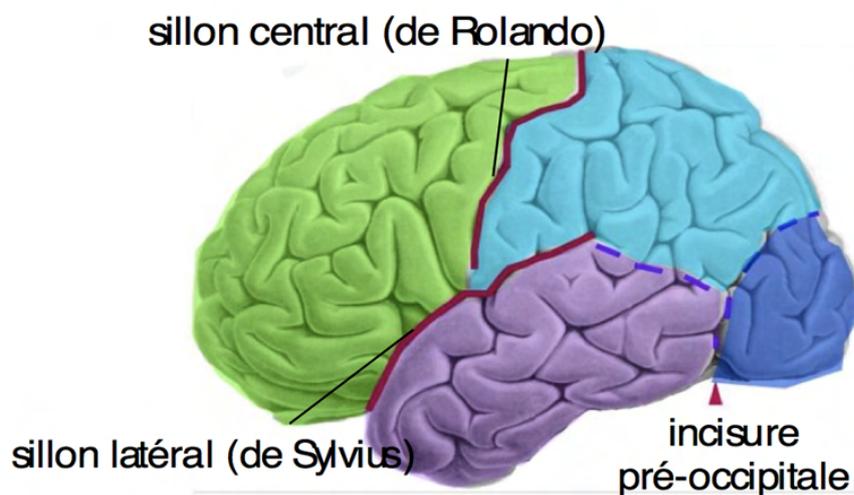
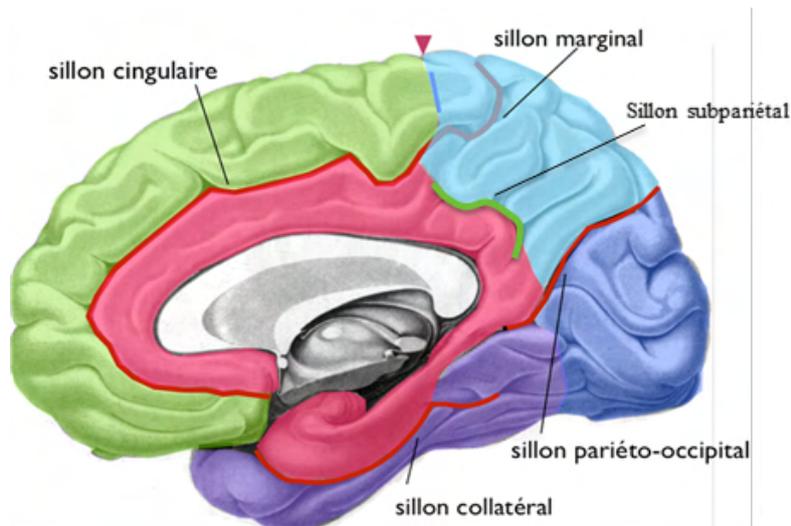


Fig. 17 : Face latérale :
sillons principaux et
délimitations des lobes

Les couleurs
correspondent aux sillons
et aux lobes des tableaux.

Fig. 18 : Face médiale : sillons principaux et délimitations des lobes

Les couleurs correspondent aux sillons et aux lobes des tableaux.



Les 6 lobes

Frontal	Sillons central, latéral et cingulaire
Pariétal	Sillons pariéto-occipital, latéral, central et subpariétal
Temporal	Sillons latéral, collatéral et ligne imaginaire pariéto-occipitale
Occipital	Sillon pariéto-occipital et ligne imaginaire pariéto-occipitale
Insula	« 5ème lobe » en profondeur du sillon latéral. On la trouve en réséquant les opercules (les parties des lobes frontal, temporal et pariétal, adjacentes au sillon latéral)
Limbique	« Sixième lobe » en forme de « C » ; sillon cingulaire, subpariétal et collatéral

Remarque :

Dans certains textbooks et atlas d'anatomie, le cortex est divisé en cinq et non pas six lobes. En effet, certains ne considèrent pas le **lobe limbique** comme un lobe en soi. Cependant, cette entité présente une anatomie bien délimitée et des fonctions qui lui sont propres (Cf. TP2). **Nous le considérons donc comme formant un 6ème lobe**, comme Broca le faisant déjà au XIXe siècle.

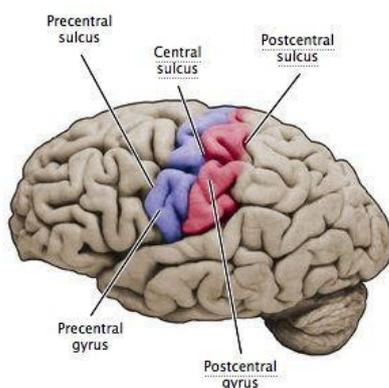


Fig. 19 : Face latérale centrée sur le sillon central, TP 2020

A côté du sillon **central** (ou de Rolando) existent deux autres sillons (les sillons **précentral** et **postcentral**) qui délimitent avec ce dernier deux autres gyri :

- le **gyrus précentral** (lobe frontal)
- le **gyrus postcentral** (lobe pariétal)

Ces deux gyri sont importants parce qu'ils correspondent au cortex **moteur primaire** et au cortex **somatosensoriel primaire** (Cf. TP2)

3. Tronc cérébral - vue d'ensemble

Localisation :

Le **tronc cérébral** est la partie de l'encéphale située entre le **diencephale** (rostralement) et la **moelle épinière** (caudalement). Il est contenu dans la **fosse crânienne postérieure**, à l'**étage sous-tentoriel**. Ses délimitations anatomiques sont :

- Limite rostrale : jonction méso-diencephalique
- Limite caudale : jonction médullo-spinale (bulbo-médullaire) (de manière moins précise, au niveau du *foramen magnum*)

Subdivisions :

De rostral à caudal	De ventral à dorsal
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mésencéphale 2. Pont = protubérance ou pont de Varole 3. Bulbe = moelle allongée = <i>medulla oblongata</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Base 2. Tegmentum 3. Tectum (important au niveau du mésencéphale, il s'affine ensuite et se limite à un voile médullaire au-dessus du 4ème ventricule)

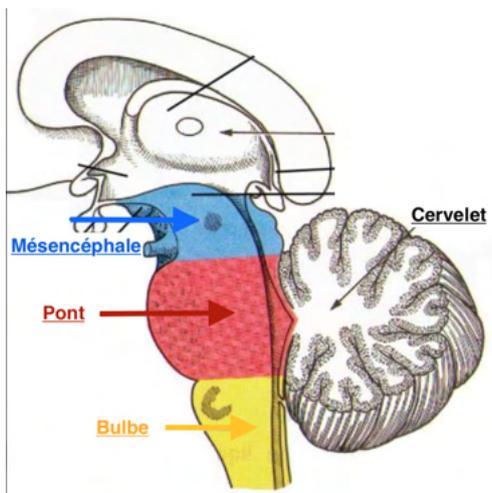


Fig. 20 : Délimitation rostro-caudale du tronc cérébral en coupe sagittale

http://olivier.lm.free.fr/themes_lab0/frame1.htm

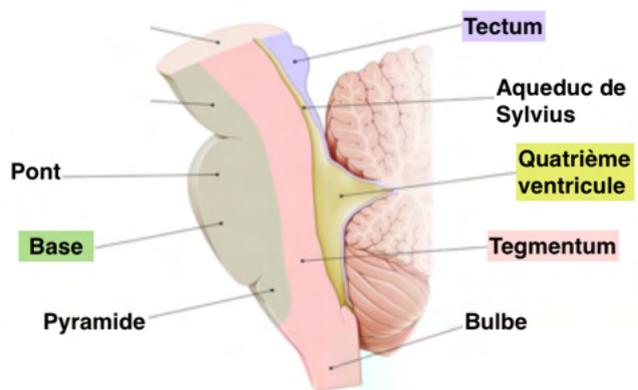


Fig. 21 : Délimitation ventro-dorsale du tronc cérébral en coupe sagittale, TP 2020

Fonctions :

- **Relais** dans la transmission des informations entre les hémisphères cérébraux et les structures sous-corticales telles que le cervelet ou la moelle épinière.
- **Fonctions propres** pour la régulation, conjointement avec le cerveau antérieur, de fonctions importantes telles que l'attention, les rythmes cardiaques et respiratoires, les nerfs crâniens, l'équilibre, etc.

Contenu :

- **Voies motrices et sensibles** : passage de tous les circuits montants et descendants impliqués dans la transmission des stimuli sensitifs au cerveau et dans les commandes motrices au départ du cerveau
- Tous les **noyaux des nerfs crâniens** à l'exception du NC I et NCII
- **Centres** qui participent au contrôle de la respiration, de la fréquence cardiaque et de la pression sanguine
- Centre du réflexe vomitif (*area postrema*)
- Siège de structures, comme la **formation réticulée mésencéphalique** ou les **noyaux réticulés bulbaires**, qui sont impliqués dans la régulation de l'éveil ou du sommeil (Cf. cours)

Espaces liquidiens :

- Espace interne : **Aqueduc de Sylvius** (ou mésencéphalique) qui se dilate pour devenir le 4ème ventricule entre le pont et le bulbe. Le plancher du 4ème ventricule (paroi ventrale) se nomme la **fosse rhomboïde** en raison de sa forme de losange (*rhombo* en grec) et sera important pour localiser les noyaux des nerfs crâniens (Cf. TP3).
- Espace externe : L'espace sous-arachnoïdien situé autour du tronc cérébral se divise en plusieurs **citernes** qui seront abordées en détails lors des prochains TP (Cf. TP3).

4. Tronc cérébral - anatomie de surface, face ventrale

Mésencéphale

Délimitations :

- rostralement par la **jonction méso-diencephalique**, au niveau des tractus optiques
- caudalement par le **sillon ponto-mésencéphalique**

Forme : en coupe transversale, tête de Mickey



Fig. 22 : IRM du mésencéphale en coupe transversale. IRM de la faculté

Structures :

- **Les pédoncules cérébraux = crus cerebri (≠ pédoncules cérébelleux)** : 2 faisceaux volumineux de fibres blanches reliant certaines aires du cortex moteur à différentes structures sous-corticales situées dans le tronc et la ME.
- **La fosse inter-pédonculaire** : entre les pédoncules cérébraux et recouvre la **substance perforée postérieure**. Sortie des nerfs crâniens oculomoteurs (NC III).
- Région diencephalique : **corps mamillaires et tige pituitaire**. Lieu d'entrée de branches profondes de la circulation postérieure. Rostrale aux pédoncules.

Pont

Délimitations :

- Rostralement par le **sillon ponto-mésencéphalique**
- Caudalement par le **sillon bulbo-pontique**. Le **sillon bulbo-pontique** devient plus profond latéralement, formant un angle entre le pont, le bulbe et le cervelet, appelé **angle ponto-cérébelleux**.

Structures :

- La **protubérance du pont**, où on distingue les fibres en direction du cervelet
- Le **sillon basilaire** : dépression longitudinale médiane de la face antérieure du pont. S'y trouve le **tronc basilaire**, origine de la **circulation postérieure** du cercle de Willis.

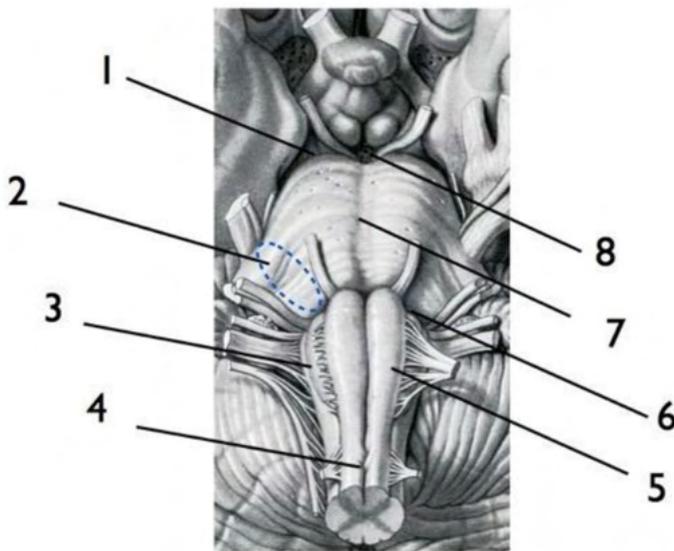


Fig. 23 : Vue de la face ventrale du tronc cérébral, issu du TP 2020

1. Pédoncules cérébraux (*crus cerebri*)
2. Pédoncules cérébelleux moyens
3. Olives inférieures
4. Décussation pyramidale
5. Pyramides bulbaires
6. Sillon bulbo-pontique
7. Sillon basilaire
8. Substance perforée postérieure

Bulbe

Délimitations :

- Rostralement par le **sillon bulbo-pontique**
- Caudalement par la **décussation des pyramides** (correspondant au *foramen magnum*)

Structures :

- **Les deux pyramides bulbaires** : ces bourrelets allongés dans l'axe rostro-caudal, en prolongement des cordons antérieurs de la ME, contiennent les fibres du tractus cortico-spinal et lui donnent son autre nom: le **tractus pyramidal**.
- **La fissure médiane ventrale ou sillon médian antérieur** : entre les pyramides, prolongement de la **fissure médiane ventrale de la ME**, qui est interrompu au niveau du bulbe caudal par la voussure que forme la **décussation pyramidale** (croisement des tractus cortico-spinaux).
- **Olives inférieures** : au niveau du bulbe rostral (ventro-latéral), impliquées dans les circuits cérébelleux.
- **Sillons pré et rétro-olivaires** : ventralement et dorsalement aux olives inférieures, puis fusion caudale pour former le **sillon collatéral ventral**, qui se prolonge dans la ME.

5. Tronc cérébral - anatomie de surface, face dorsale

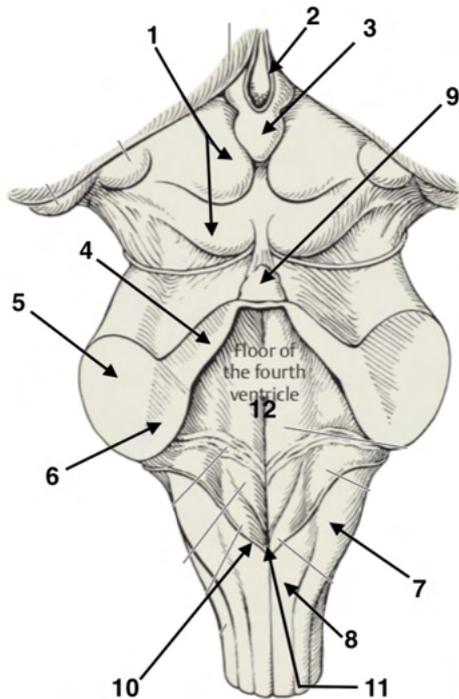


Fig. 24 : Vue de la face dorsale du tronc cérébral, Figure 4.1.b du chapitre 4 du "Baehr, Duus' Topical Diagnosis in Neurology © 2005 Thieme"

1. Collicules quadrigéminaux
2. Troisième ventricule
3. Glande pinéale
4. Pédoncule cérébelleux supérieur
5. Pédoncule cérébelleux moyen
6. Pédoncule cérébelleux inférieur
7. Tubercule et faisceau cunéiforme
8. Tubercule et faisceau gracile
9. Voile médullaire supérieur
10. Voile médullaire inférieur
11. Obex
12. Plancher du quatrième ventricule

De caudal à rostral :

- **Colonnes dorsales** : informations somesthésiques, et non pas thermo-algésiques de la ME arrivant dorsalement au niveau du bulbe. Elles forment deux paires symétriques de faisceaux : les faisceaux graciles et cunéiformes.
- **Faisceaux graciles** : transmettent les informations somesthésiques des membres inférieurs et se projettent dans les noyaux graciles.
- **Faisceaux cunéiformes** : transmettent les informations somesthésiques des membres supérieurs et se projettent dans les noyaux cunéiformes.
- **Fosse rhomboïde** : située rostralement aux tubercules graciles et cunéiformes contenant les noyaux du même nom, cette dernière n'est visible qu'après résection du cervelet. Elle constitue le plancher du 4^e ventricule; le toit étant le cervelet.
- **Obex** : récessus caudal au ventricule, région de *l'area postrema* (centre du vomissement)
- **Voiles médullaires** supérieurs et inférieurs : forment le toit du 4^e ventricule. Ils relient le cervelet respectivement au mésencéphale (sup) et au bulbe (inf).
- **Collicules quadrigéminaux** : au nombre de quatre, au niveau du mésencéphale.
 - **Collicules supérieurs** : rôle dans la vision
 - **Collicules inférieurs** : rôle dans l'audition

Remarque : dans cette partie nous parlons de l'anatomie au sens strict du tronc cérébral, la sortie et le trajet des nerfs crâniens seront plus amplement détaillés dans les prochains TP3 (Cf. TP3)

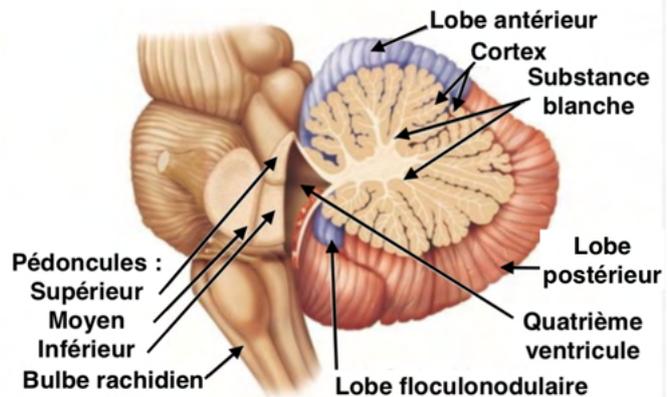
6. Cervelet (détaillé dans le TP4)

Localisation :

Accroché au tronc cérébral, dorsalement et dans la fosse crânienne postérieure.

Fig. 25 : Image sagittale latérale permettant de visualiser les trois différents lobes du cervelet ainsi que ses pédoncules

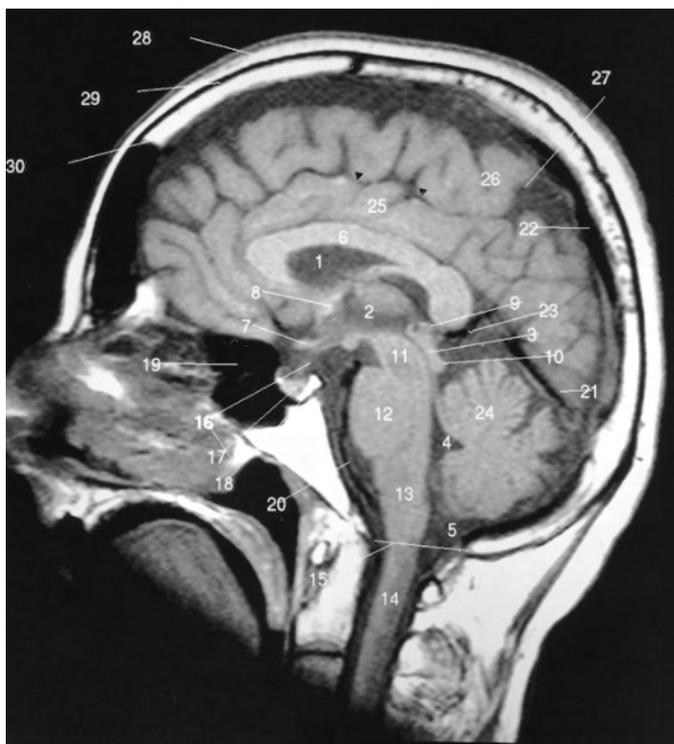
<https://www.neuromedia.ca/cervelet-anatomie-fonctions-et-troubles/>



Contenu :

- **Hémisphères cérébelleux**
- **Vermis**
- **Noyaux profonds**
- **Pédoncules cérébelleux** : 3 paires (**supérieur, moyen et inférieur**) qui le rattachent respectivement au mésencéphale, au pont et au bulbe. Forment les parois du 4ème ventricule.

Exercice : À quels chiffres correspondent les structures suivantes?



- *mésencéphale*
- *pont*
- *bulbe*
- *cervelet*
- *moelle épinière*
- *cortex cérébral*
- *ventricule latéral*
- *3ème ventricule*
- *4ème ventricule*
- *Aqueduc de Sylvius*

Et toutes les autres structures pour s'entraîner !

7. Moelle épinière (ME)

Localisation :

La moelle épinière représente la partie inférieure du névraxe. Il s'agit d'un long cordon cylindrique aplati d'avant en arrière de 45 cm de long et de 1.5 cm de large situé entièrement dans le canal vertébral.

Subdivisions :

- **Segments** : portion de ME correspondant à une paire de **nerfs rachidiens**, autrement dit à la sortie de deux paires de racines ventrales et dorsales qui vont innerver un **dermatome** propre. Il existe 31 **segments médullaires**. La hauteur d'un segment est de ~1.5 cm, tout comme le diamètre de la moelle. Le diamètre subit deux renflements, correspondant à une plus grande densité de corps neuronaux destinés aux **membres** :
 - Un **cervical (C5 – T1)** pour les membres **supérieurs**
 - Un **lombaire (T10 – L2)** pour les membres **inférieurs**

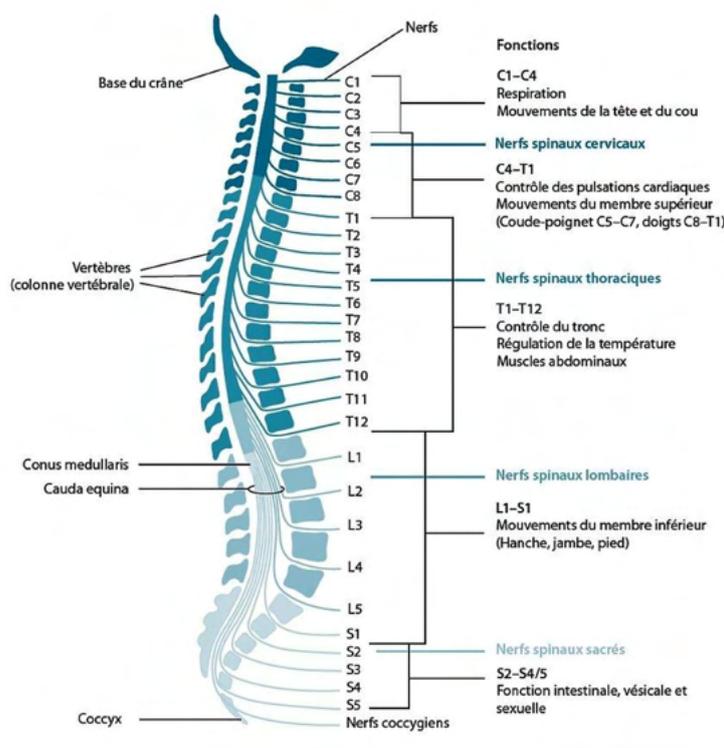


Fig. 26 : IRM T2 de la moelle épinière en coupe sagittale légendée, de la faculté de médecine de l'UNIGE

Fig. 27 : Organisation ME avec segments cervicaux, thoraciques, lombaires et sacrés.

https://www.researchgate.net/figure/Organisation-longitudinale-de-la-moelle-epiniere-avec-segments-cervicaux-thoraciques_fig1_334730563

- **Niveaux** : regroupements de segments
 - **Niveau cervical** : 8 segments médullaires cervicaux
 - **Niveau thoracique (ou dorsal)** : 12 segments médullaires thoraciques
 - **Niveau lombaire** : 5 segments médullaires lombaires
 - **Niveau sacré** : 5 segments médullaires sacrés + 1 segment médullaire coccygien

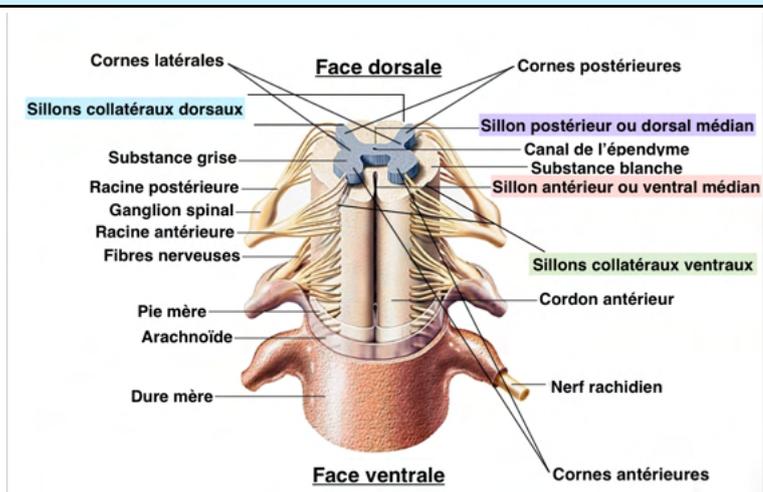
Définitions :

- **Racine** : ensemble des filaments nerveux ventraux et dorsaux qui émergent de la ME pour ensuite fusionner et donner un nerf spinal au même segment. Les racines ventrales contiennent les composantes motrices tandis que les racines dorsales contiennent les composantes sensibles.
- **Ganglions rachidiens ou spinaux** : contiennent les corps cellulaires de tous les neurones sensoriels des nerfs rachidiens. Ils se situent sur la racine dorsale, juste avant la fusion avec la racine ventrale et aident à la distinction entre les racines ventrales et dorsales.
- **Nerfs spinaux ou rachidiens** : nerfs qui émergent de la moelle spinale et non du cerveau. Ils transmettent une **information mixte, à la fois sensitive et motrice**. Ils sortent de chaque segment par le **foramen intervertébral** (ou trou de conjugaison) juste après la fusion des racines ventrales et dorsales. Anatomiquement, le trou de conjugaison correspond grossièrement à la limite entre SNC et SNP. Leur nomenclature suit une règle anatomique importante :
 - **C1 – C7** émergent **au dessus** du pédicule de la vertèbre qui leur correspond.
 - **C8** émerge **entre C7 et T1**.
 - **T1 – Co1** émergent **en dessous** du pédicule de la vertèbre du même nom.

Sillons :

Sillon antérieur ou ventral médian	Prolongation caudale du sillon médian du bulbe du tronc cérébral. Lieu de cheminement de l' artère et de la veine spinale antérieure .
Sillons collatéraux ventraux	Prolongation des sillons pré et rétro-olivaire du bulbe du tronc cérébral. Lieu de sortie des racines ventrales droite et gauche .
Sillon postérieur ou dorsal médian	Lieu de cheminement de la veine spinale postérieure . Sépare les colonnes dorsales droite et gauche .
Sillons collatéraux dorsaux	Séparent les faisceaux graciles et cunéiformes des colonnes latérales. Lieu de sortie des racines dorsales droite et gauche . Lieu de cheminement de l' artère spinale postérieure .

Fig. 28 : Schéma des sillons de la ME
https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/moelle_epiniere/70845



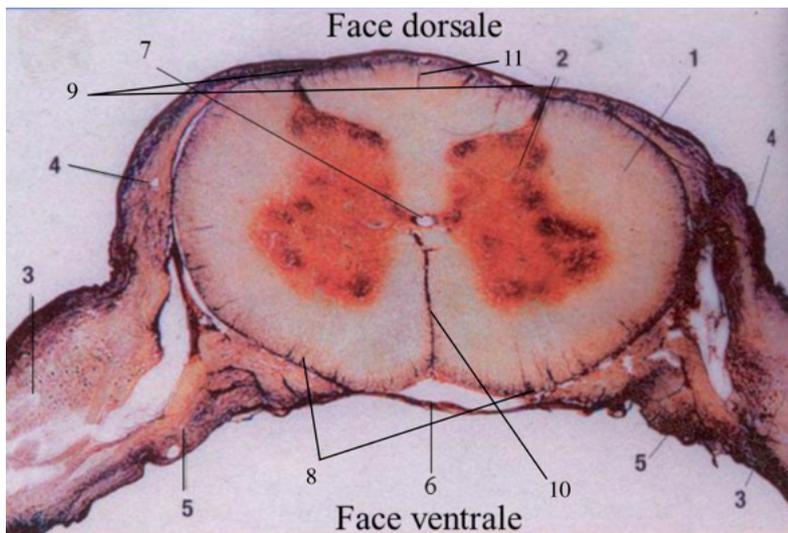


Fig. 29 : Coupe anatomique de la ME
<https://slideplayer.fr/amp/1481197/>

1. Substance blanche
2. Substance grise
3. Ganglion rachidien ou spinal
4. Racine dorsale
5. Racine ventrale
6. Méninges
7. Canal de l'épendyme
8. Sillons collatéraux ventraux
9. Sillons collatéraux dorsaux
10. Sillon antérieur
11. Sillon postérieur

Configuration interne :

- **Substance blanche** : en périphérie, divisée en 3 cordons (ou colonnes) de chaque côté: ventral, antéro-latéral et dorsal. Ceci correspond à l'inverse de ce qui se trouve communément dans l'encéphale où la substance grise se situe en périphérie et la blanche est plus centrale.
- **Substance grise** : centrale, entourant le **canal épendymaire** (ou central). Vue en coupe horizontale (ou axiale) elle prend une forme de papillon, avec :

2 cornes antérieures	2 cornes postérieures	2 cornes latérales
<p>Fonction motrice, comprenant 2 parties</p> <p>Partie médiale : somas des motoneurones inférieurs dédiés aux muscles axiaux et reçoit des projections du tractus corticospinal médial bilatéralement.</p> <p>Partie latérale : somas des motoneurones inférieurs innervant les muscles des membres et reçoit des projections du tractus corticospinal latéral.</p>	<p>Fonction sensitive, d'apparence plus fine.</p> <p>Contiennent notamment les somas des neurones spino-thalamiques.</p>	<p>Uniquement au niveau thoracique.</p> <p>Contiennent les corps cellulaires des neurones pré-ganglionnaires du SNA sympathique.</p>

Extrémité caudale :

La ME est plus courte que l'enveloppe méningée et le canal vertébral, ce qui donne :

- **Cône médullaire** : fin de la substance grise environ au niveau de **L1-L2**
- **Queue de cheval** : racines **L2-Co1** baignant dans la citerne lombaire avant de sortir du canal vertébral par le trou de conjugaison sous le corps vertébral qui leur correspond.
- **Filum terminal interne** : ruban vestigial de la **pie-mère**, à côté de la queue de cheval. Commence au niveau du **cône médullaire** et se termine à la fin du sac dural (S2).
- **Filum terminal externe** : ruban vestigial de la **dure-mère** qui a pour origine la fin du sac dural (S2) et se terminant dans le ligament coccygien.

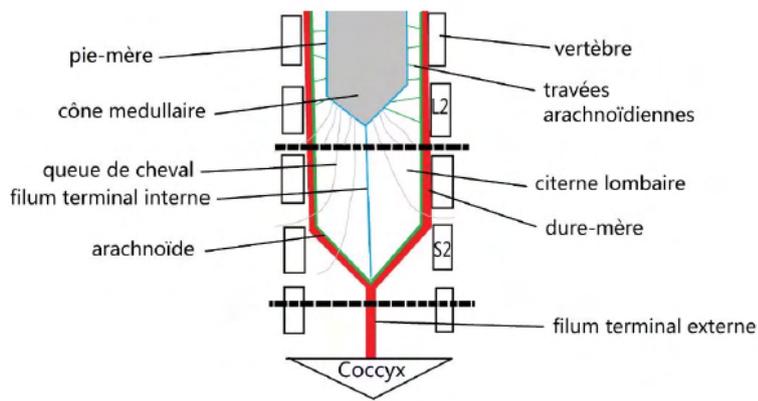


Fig. 30 : Schéma de l'extrémité caudale de la ME détaillant ses parties, Issue du TP 2020

Espaces et méninges

Tout comme l'encéphale, la ME est entourée par de l'os (le corps vertébral, ses pédicules et ses lames formant autour d'elle le canal vertébral), ainsi que par les 3 méninges, en continuité avec celles du cerveau :

Dure-mère	Composée uniquement du feuillet méningé au niveau de la moelle
Arachnoïde	Pas rattaché à mais plaquée contre la dure-mère par la pression du LCR dans l'espace sous-arachnoïdien. Maintenu à la pie-mère via des trabécules arachnoïdiennes
Pie-mère	Recouvre toute la surface externe de la moelle spinale, accolée à celle-ci. Prolongements latéraux (ligaments dentelés) sortant à mi-chemin entre les racines postérieures et antérieures, s'accrochant sur l'arachnoïde et la dure-mère

À nouveau, on peut délimiter des espaces :

Épidural spinal ou péri-dural	Entre la dure-mère et l'os	Véritable espace anatomique contenant de la graisse et le plexus veineux externe . Lieu d'injection des péridurales .
Sous-arachnoïdien	Entre l'arachnoïde et la pie-mère	Rempli de LCR (pas de granulations de Pacchioni, pas de réabsorption) Citerne lombaire : partie terminale du sac dural entre les vertèbres L2 et S2. Site de prélèvement du LCR lors des ponctions lombaires.

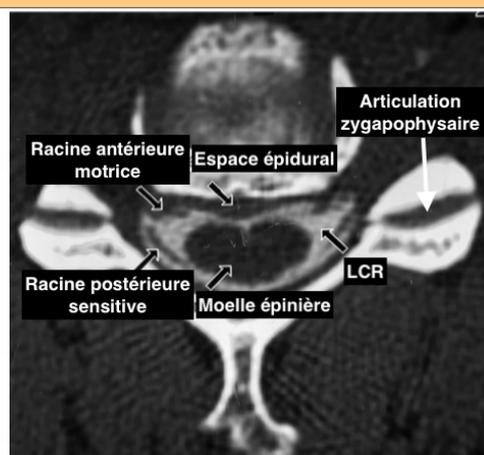
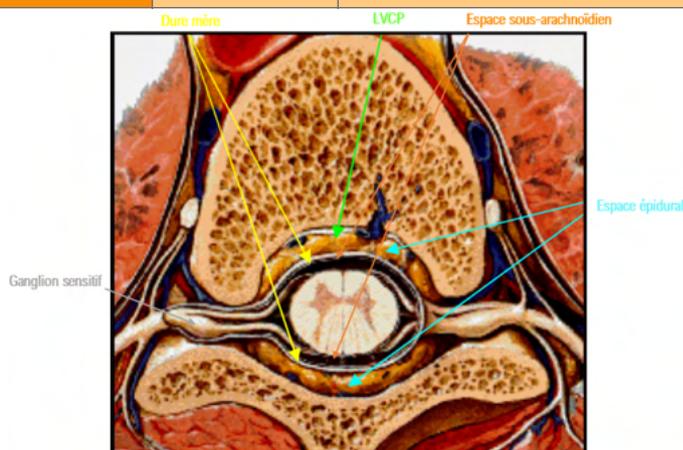


Fig. 31 : Schéma des espaces de la ME et des méninges (LVCP = Ligament vertébral collatéral postérieur)

Fig. 32 : IRM T2 d'une coupe axiale de la moelle épinière légendée, Faculté de médecine UNIGE

8. Vascularisation de la moelle épinière (ME)

Approvisionnement artériel :

La ME reçoit le sang d'un **réseau anastomotique d'artères à sa surface**. Il y a **3 artères longitudinales interconnectées** tout au long de la ME :

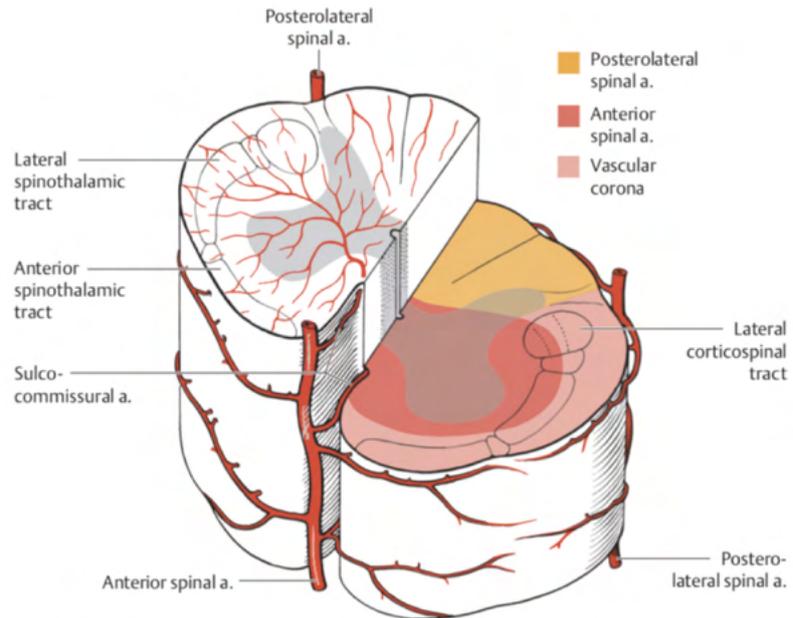


Fig. 33 : Schéma de l'irrigation artérielle de la ME.

Beahr, Duus 'Topical Diagnosis in Neurology 2005, Blood supply and vascular disorders of central nervous system, p.440, fig 11.18

Fig. 11.18 Arterial network of the spinal cord

- **Artère spinale antérieure** : descend le long de la **surface ventrale** de la ME dans la **fissure médiane antérieure**. Elle alimente la partie ventrale de la matière grise spinale par des vaisseaux perforants appelés **artères sulco-commissurales**. Elles alimentent donc **les colonnes ventrales et antéro-latérales, les racines ventrales et les cornes ventrales**.
- **2 artères spinales postéro-latérales** : descendent entre les racines postérieures et les colonnes latérales de chaque côté. Elles proviennent aussi d'une confluence d'artères segmentaires qui peut être incomplète par endroits. Elles alimentent **les colonnes postérieures, les racines postérieures et les cornes dorsales**.

Remarque :

Les artères de la ME font beaucoup d'anastomoses; s'il y a une sténose proximale ou occlusion d'une artère, elle pourra parfois être asymptomatique. En périphérie, les artères de la ME sont des artères terminales fonctionnelles; l'occlusion embolique intramédullaire d'une artère sulco-commissurale provoque donc un infarctus de la ME.

Artères contribuant au réseau artériel :

La ME reçoit des contributions constantes à chaque niveaux segmentaires par une **artère segmentaire principale** qui alimente les **trois artères longitudinales** décrites ci-dessus.

Région cervicale supérieure	Le sang vient en majeure partie de l' artère vertébrale . Une des deux artères vertébrales est généralement dominante.
Entre la région cervicale supérieure et T3	Le sang vient en majeure partie soit de l' artère vertébrale , soit des branches cervicales de l'artère sous-clavière , ou des deux. Les artères qui viennent de l'artère sous-clavière proviennent du tronc costocervical ou thyrocervical et deviennent des artères radiculaires antérieures.
De T3 vers le bas	L'artère spinale antérieure est alimentée par des branches aortiques qui donnent des artères intercostales postérieures puis des artères radiculo-médullaires antérieures et postérieures .

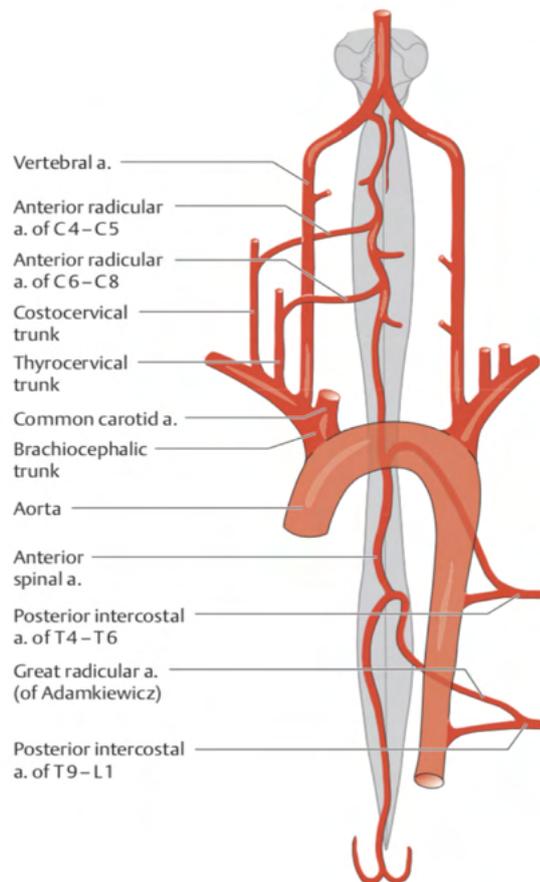


Fig. 11.19 Contributions of the segmental arteries to the arterial network of the spinal cord. After Thron A in Poeck K and Hacke W: Neurologie, 11th ed., Springer, Berlin/Heidelberg, 2001.

Fig. 34 : Schéma de l'irrigation artérielle de la moelle épinière

Beahr, Duus 'Topical Diagnosis in Neurology 2005, Blood supply and vascular disorders of central nervous system, p.441, fig 11.19

Remarque :

Pendant le développement la ME s'allonge dans une moindre mesure par rapport à la colonne vertébrale, ainsi **chaque artère radulaire pénètre dans la ME à une certaine distance au-dessus de son niveau d'origine**. Il y a généralement une artère segmentaire particulièrement grande alimentant la ME inférieure, qui est appelée **la grande artère radulaire ou l'artère d'Adamkiewicz**. La «remontée» développementale de la ME fait que cette artère rejoint l'artère spinale antérieure en un angle aigu (épingle à cheveux).

Drainage veineux :

Le drainage veineux se fait à partir du **plexus veineux spinal interne (réseau veineux épidémédullaire)** qui est situé dans l'espace sous-arachnoïdien. Ces vaisseaux communiquent par des **veines radiculaires** avec le **plexus veineux épidual** qui est constitué des **plexus veineux externe antérieur et postérieur**. Le sang veineux s'écoule ensuite du plexus veineux épidual dans les grosses veines du corps.

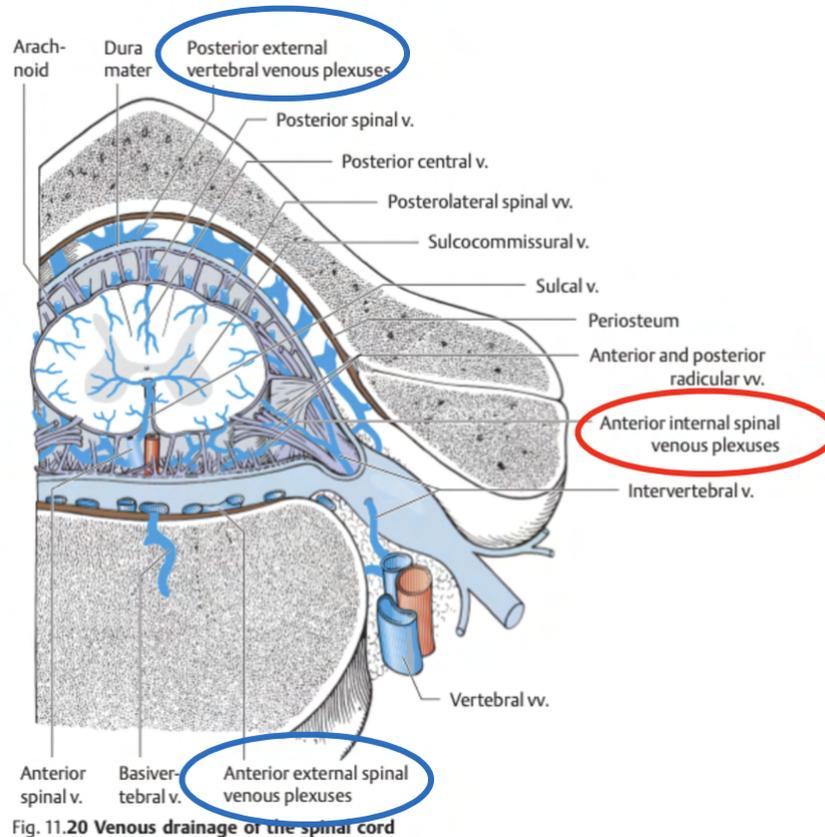


Fig. 35 : Schéma du drainage veineux

Beahr, Duus 'Topical Diagnosis in Neurology 2005, Blood supply and vascular disorders of central nervous system, p.442, fig 11.20

Remarque :

Même des petites augmentations de pression au sein du système veineux (p. ex. suite à des malformations) peuvent endommager le tissu de la moelle épinière.

D. Histologie

1. Introduction et rappels

Les nerfs :

Les **nerfs** présents dans le tissu conjonctif des organes sont en général de petite taille, et sont formés principalement **d'axones** (prolongements cellulaires de neurones), et de **cellules de Schwann** (cellules gliales), entourées d'une fine couche de tissu conjonctif, **l'endoneurium**. Les nerfs présentent toujours un pourtour très bien délimité de par la présence d'une enveloppe de tissu conjonctif, **l'épineurium**, d'où partent, dans les nerfs de grande taille, des travées ou cloisons de tissu conjonctif qui subdivisent le nerf et qu'on appelle **périneurium**.

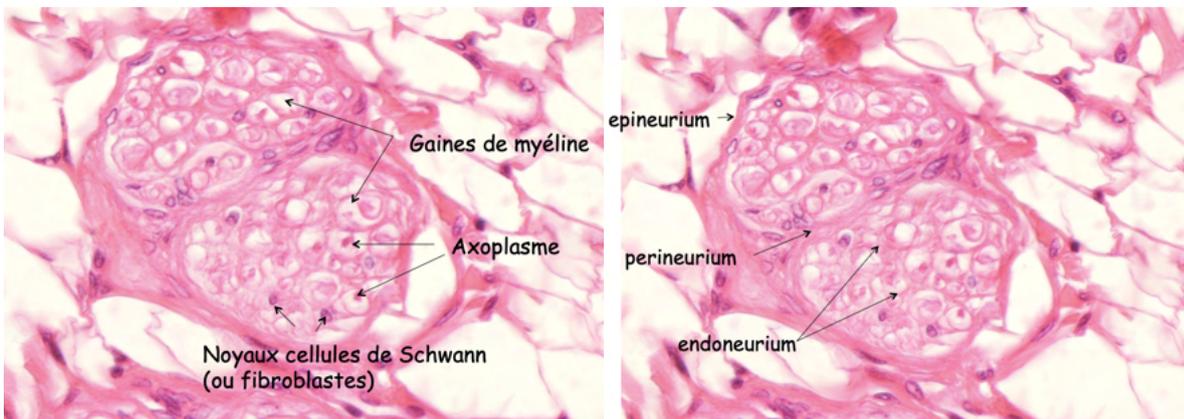


Fig. 36 : Coupes transversales de nerfs, dans la première image sont mis en évidence l'épineurium, le périneurium et l'endoneurium; dans la deuxième image sont mis en évidence l'axoplasme, les gaines de myéline et les noyaux des cellules de Schwann (Hématoxyline/Eosine)

Cours d'Histologie de 1er année. Prof. P. Soulie

Les noyaux visibles sur une coupe histologique de nerf peuvent par conséquent appartenir non seulement aux **cellules de Schwann**, mais aussi aux **cellules du tissu conjonctif** ou aux **cellules endothéliales** des vaisseaux sanguins pouvant être présents dans les cloisons conjonctives. Les noyaux visibles ne sont pas a priori les noyaux des neurones, qui ne se retrouvent pas dans les nerfs, mais dans la substance grise du SN.

Les **neurones** sont, d'une manière générale, des cellules d'assez grande taille, avec un grand **noyau clair**, bien délimité et contenant en général un **nucléole bien visible** ; leur cytoplasme est abondant, **très éosinophile**, avec le plus souvent une teinte violacée témoignant de l'abondance du réticulum endoplasmique rugueux (**ARN basophile**).

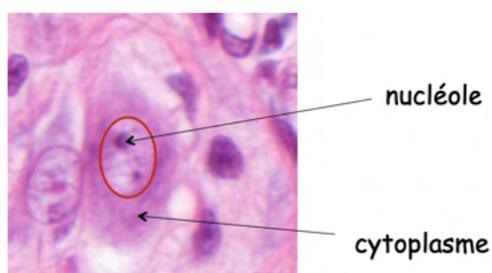


Fig. 37 : Corps cellulaire d'un neurone vu en coupe histologique (Hématoxyline/Eosine), le cercle rouge entoure le noyau du neurone

Cours d'Histologie de 1er année. Prof. P. Soulie

Les **axones** sont, sur la base de leur structure, groupés en deux classes :

- **Les axones myélinisés**, entourés individuellement d'une couche épaisse, la gaine de myéline, formée par l'enroulement concentrique de la membrane plasmique d'une cellule de Schwann. En histologie classique (coupes en paraffine), la gaine de myéline, très riche en lipides puisque formée essentiellement de membrane plasmique, n'est pas préservée et apparaît comme un **anneau "vide"** autour de l'axone.

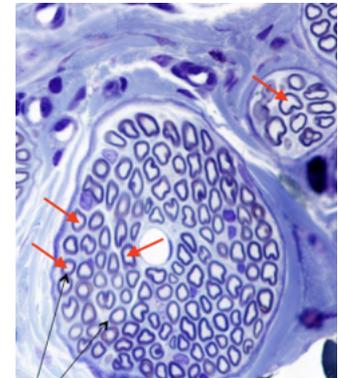
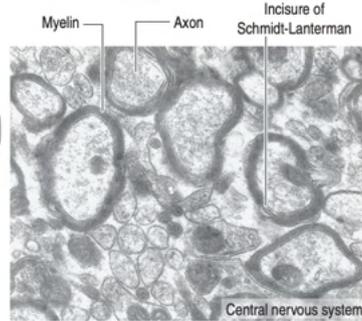
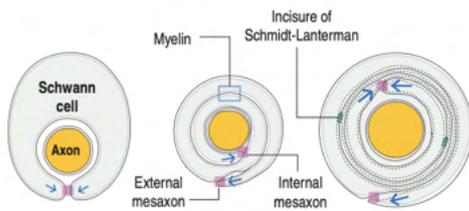


Fig. 38 : Schéma représentant un axone myélinisé et coupe histologique correspondante
Histology and Cell Biology, L. Kierszenbaum, 4th edition, page 251

Fig. 39 : Coupe transversale d'un nerfs (bleu de Toluidine), les anneaux "vides" illustrés par les flèches rouges correspondent à la gaine de myéline
Cours d'Histologie de 1er année. Prof. P. Soulie

- **Les axones non myélinisés**, entourés de cellules de Schwann, elles-mêmes entourées de tissu conjonctif. En microscopie optique, il est difficile de distinguer les axones non myélinisés des cytoplasmes des cellules de Schwann ou des fibres de collagène, toutes ces structures étant **éosinophiles**.

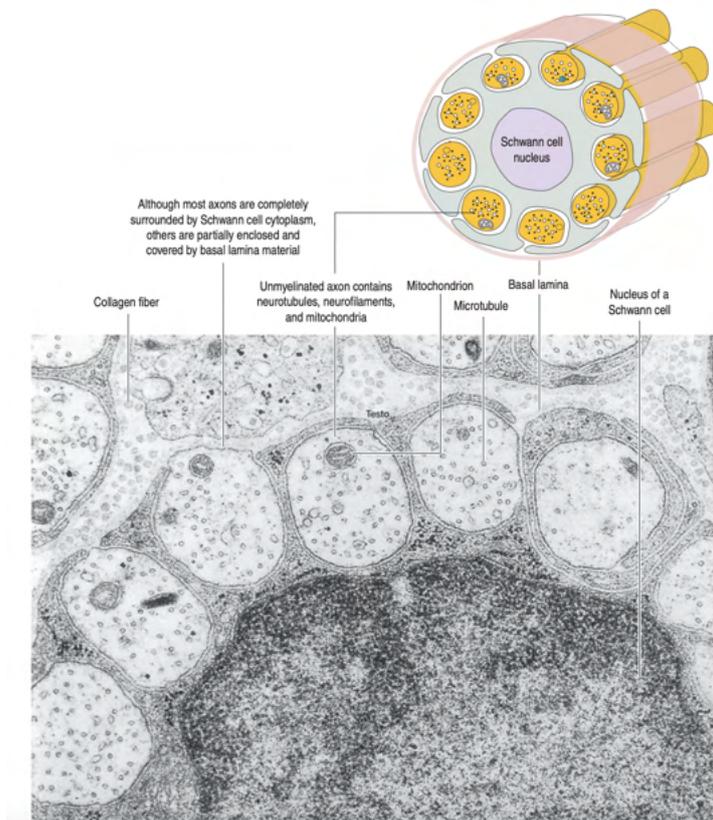


Fig. 40 : Schéma représentant un axone non myélinisé et coupe histologique correspondante
Histology and Cell Biology, L. Kierszenbaum, 4th edition, page 253

Les colorations en neuro-histologie :

Type de coloration	Caractéristiques
Hématoxyline	Acides nucléiques/noyaux → VIOLET
Eosine	Cytoplasme, collagène → ROSE
Luxol Fast Blue	Substance blanche → BLEU/VERT
Van Gieson	Cytoplasme → JAUNE + Collagène → ROUGE
Crésyl Violet	Noyaux avec corps de Nissl → VIOLET
Hématoxyline ferrique	Met en évidence les Strie de Gennari dans le cortex cérébral (V1)
Bielschowsky	Fibres neuronales → MARRON

2. Coupe SN1 - moelle épinière

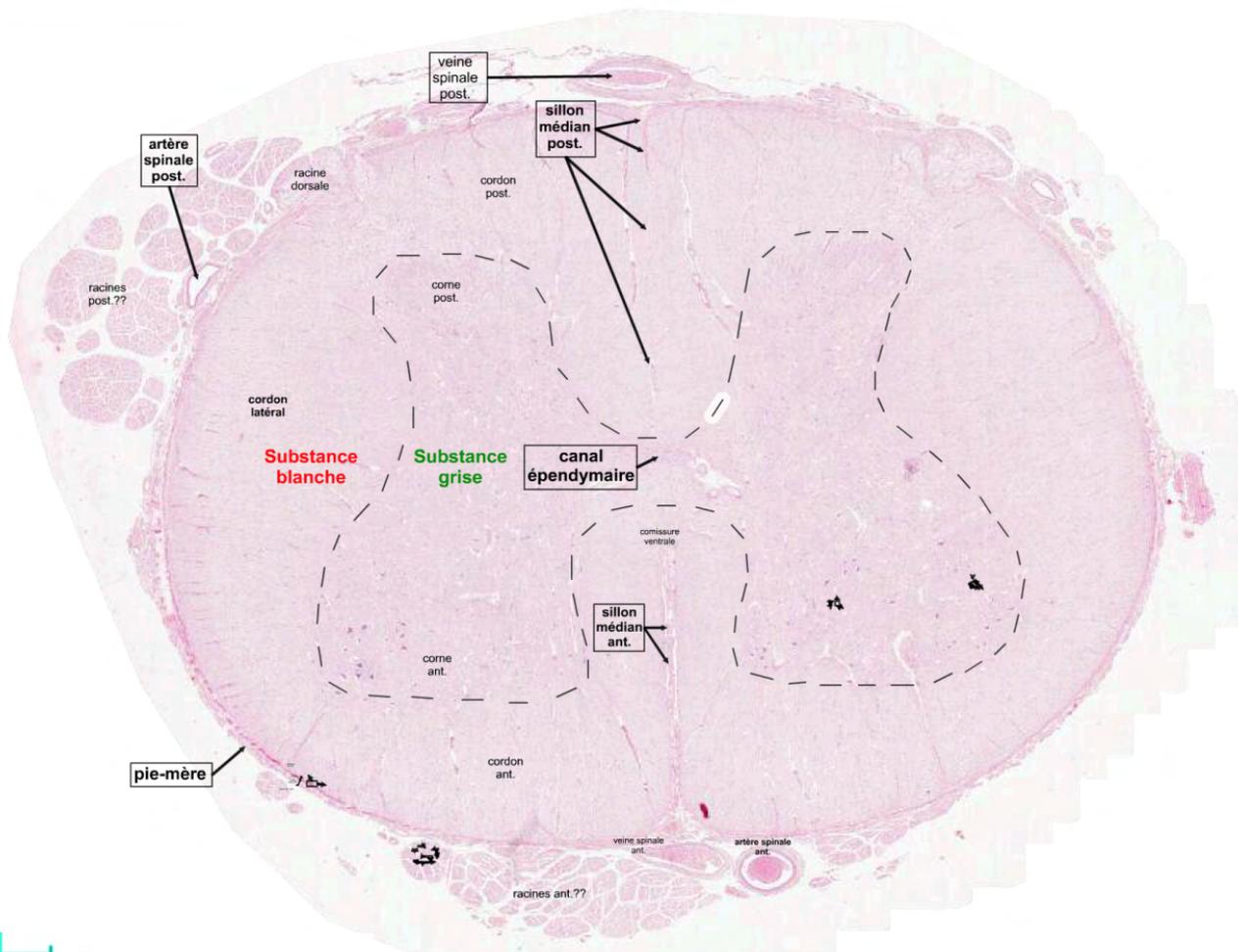


Fig. 41 : Vue de la coupe SN1 de la ME à faible grossissement.
Cytomine coupe SN1 avec annotation

Coloration : Hématoxyline-Eosine (HE)

Hématoxyline	Acides nucléiques/noyaux → VIOLET
Eosine	Cytoplasme, collagène → ROSE

À faible grossissement :

L'organe est bien délimité et son pourtour plus rose signifie qu'il est entouré d'une structure plus fibreuse. On peut délimiter 2 régions dans cet organe :

- Le « papillon » central plus foncé → substance grise
- Le reste plus clair → substance blanche

En haut à gauche, on voit des petites structures coupées transversalement. En haut et en bas, médialement, on voit des structures ovalaires qui semblent posséder une lumière, ce sont des vaisseaux.

À plus fort grossissement :

En périphérie, on retrouve une couche fine composée de fibres de collagène et des fibroblastes. Il s'agit du tissu conjonctif lâche de la pie-mère. Plus à l'extérieur, on retrouve un tissu mêlé aux vaisseaux. Ce sont l'arachnoïde et l'espace sous-arachnoïdien. La substance blanche comporte :

- Quelques fibres de collagène = extension de la pie-mère
- Structures coupées transversalement avec un rond vide avec un point rose au centre = axone avec myéline perdue
- Quelques noyaux de petites tailles, certains sont denses d'autre un peu moins = microglie (astrocytes et oligodendrocytes)

On distingue 2 sillons : la fissure médiane antérieure et le sillon médian postérieur.

La substance grise comporte 2 paires de cornes :

- Une paire plus large vers le bas de l'image = corne antérieure
- Une paire plus étroite vers le haut de l'image = corne postérieure

Dans ces cornes on retrouve :

- A moyen grossissement : des structures foncées dans la partie basse de cette corne
- A plus fort grossissement : un corps cellulaire pyramidal avec un gros nucléole = corps cellulaire des motoneurones inférieurs. On peut voir des amas plus foncés sur le pourtour du corps cellulaire = corps de Nissl ①

Fig. 42 : Image schématique d'un neurone

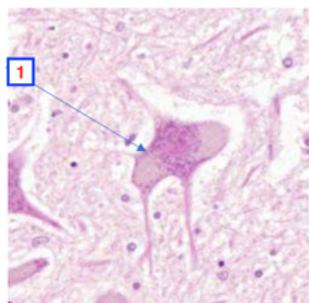
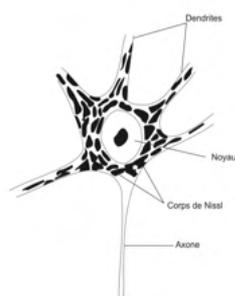


Fig. 43 : Image histologique de la coupe SN1 montrant un corps de Nissl
Cytomine

Toujours dans la matière grise, on retrouve :

- Quelques noyaux de petites tailles, certains sont denses (oligodendrocytes) d'autres un peu plus clairs (astrocytes).
- Autour des motoneurones, on retrouve le neuropile = tout ce qui se trouve dans la substance grise entre deux noyaux.
- Au centre de la substance grise on retrouve un amas de petites cellules avec une toute petite lumière au centre = canal épendymaire.

En périphérie de la ME :

- Des vaisseaux sont identifiables. Ce sont des structures avec lumière recouvert par un épithélium simple aplati et composées de 3 couches (endothélium, musculaire et adventice). On distingue :
 - Artères : il n'y a qu'une seule artère spinale antérieure dans la fissure médiane antérieure alors qu'il y a deux artères spinales postérieures dans les sillons collatéraux postérieurs.
 - Veines : plexus veineux internes antérieur et postérieur
- Des structures circulaires bien délimitées, latéralement à la corne postérieure de la ME = racine dorsale des nerfs spinaux. On peut repérer les tissus conjonctifs de l'extérieur vers l'intérieur : épineurium (2) - périneurium (3) - endoneurium (4).
- Axones myélinisés (point rose central entouré d'un halo large et clair car myéline perdue), entourés de cellules avec un noyau allongé et basophile = cellule de Schwann.

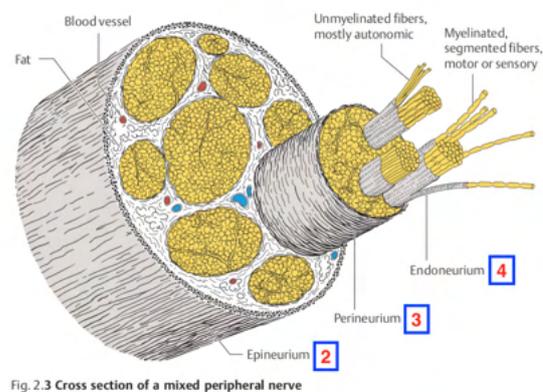
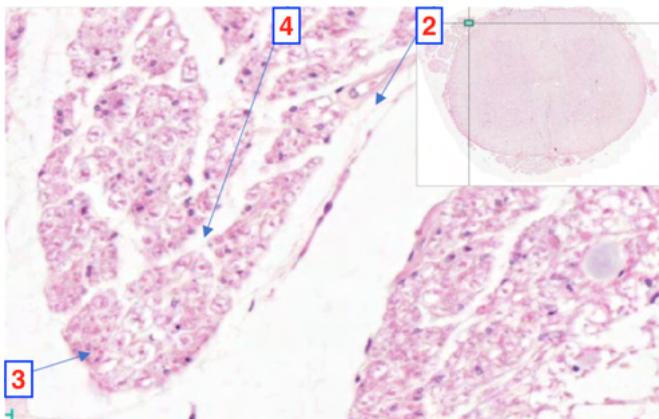


Fig. 43 : Image histologique de l'épineurium, du périneurium et de l'endoneurium, Cytomine

Fig. 44 : Image schématique de l'épineurium, du périneurium et de l'endoneurium, Image de la figure 2.3, p. 22 du chapitre 2 du Baehr, Duus' Topical Diagnosis in Neurology © 2005 Thieme

3. Coupe SN8 - moelle épinière lombaire

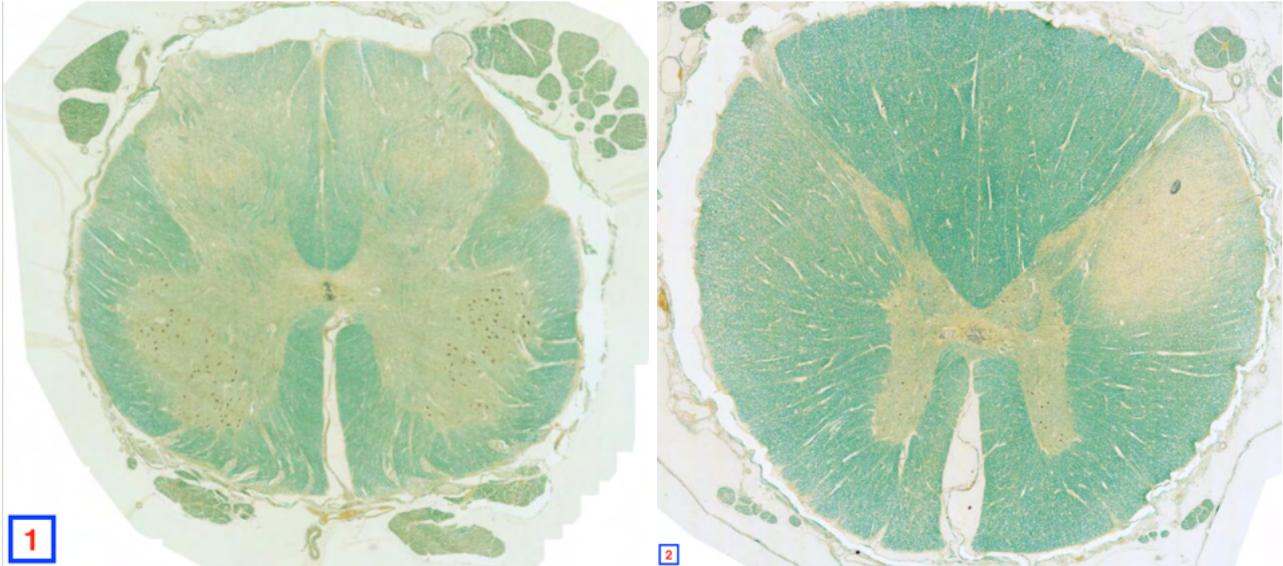


Fig. 45 : Coupes histologiques SN8 de Cytomine

1 : coupe de ME caudale (lombaire)

2 : coupe de ME rostrale (thoracique) → reconnaissable grâce à la corne intermédiaire qui va de T1 à L2

Coloration :

Luxol Fast Blue	Substance blanche → BLEU/VERT
Van Gieson	Cytoplasme → JAUNE + Collagène → ROUGE

Pour mieux comprendre cette coupe il faut reprendre tous les points discutés pour la coupe SN1 et les retrouver dans cette coloration différente.

On se retrouve ici à une hauteur différente de la ME : comment savoir si on est plutôt cervical, thoracique, lombaire ? La proportion de substance blanche change :

- ME rostrale : Substance blanche >> Substance grise
- ME caudale : Substance blanche << Substance grise

Remarque : Utiliser le rapport entre substance blanche et substance grise pour vous orienter sur les coupes transversales de la moelle épinière.

De plus, les différents niveaux de la ME ont des particularités propres :

- ME thoracique : corne latérale (T1-L2) du système sympathique.
- ME cervicale et lombaire : renflement (de matière grise) cervical (C4-T1) et lombaire (T10-L1) correspondant à la naissance des plexus brachial et lombo-sacré, respectivement (il existe une certaine variabilité individuelle, c'est pourquoi leur délimitation peut varier un peu selon les sources).

E. Annexes (obligatoires)

1. Types d'imagerie

Rappel sur la différence entre CT scan et IRM :

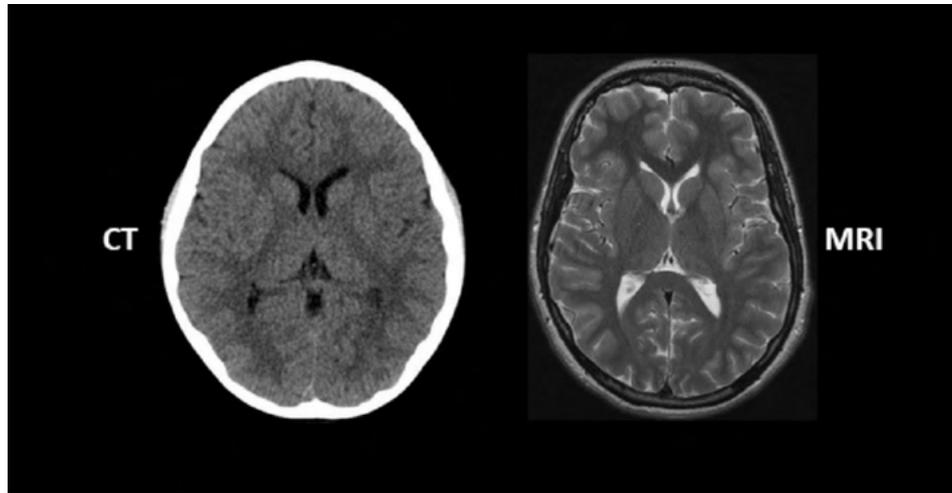


Fig. 46 : Différence entre le CT et l'IRM, <https://www.omegapds.com/comparing-mri-and-ct-scan/>

- **Fonctionnement du CT-scan** : Le CT-Scan est une machine en forme de tube par lequel passent des rayons X. Ce tube tourne autour du patient en envoyant des rayons X qui sont recaptés de l'autre côté du tube par des détecteurs après avoir traversé le patient. Les rayons X sont absorbés par le patient, ainsi plus la matière est dense moins les détecteurs vont en recapter. Donc : moins il y a de rayons X qui arrivent sur le détecteur, plus l'image est blanche. Pour améliorer l'image, on injecte un produit iodé au patient, qui modifie l'absorption des rayons X. En neurologie, le CT-scan permet la détection d'AVC par exemple.
- **Fonctionnement de l'IRM** : L'IRM permet de détecter le signal qu'émettent les atomes d'hydrogène qui se trouvent dans notre corps lorsqu'ils sont placés dans un même champ magnétique. Ce champ magnétique doit être soumis à une impulsion de radiofréquence qui permet de faire résonner les atomes d'hydrogène. Ainsi le patient est placé dans l'appareil dans lequel règne un champ magnétique qui va permettre aux atomes d'hydrogène de se placer en résonance. Puis lorsque les atomes retourneront dans leur état initial, ils émettront un signal capturé par l'IRM et permettant de former une image.

Distinction entre les séquences IRM T1 et T2 :

La séquence IRM est un ensemble d'impulsions excitatrices et différentes séquences IRM sont possibles selon l'ajustement de paramètres choisis.

- Le temps de répétition (TR) est l'intervalle de temps entre deux excitations.
 - Le temps d'écho est l'intervalle de temps entre l'excitation et la survenue du signal IRM.
- Le but est d'obtenir des images ayant un contraste donné, notamment T1 ou T2.

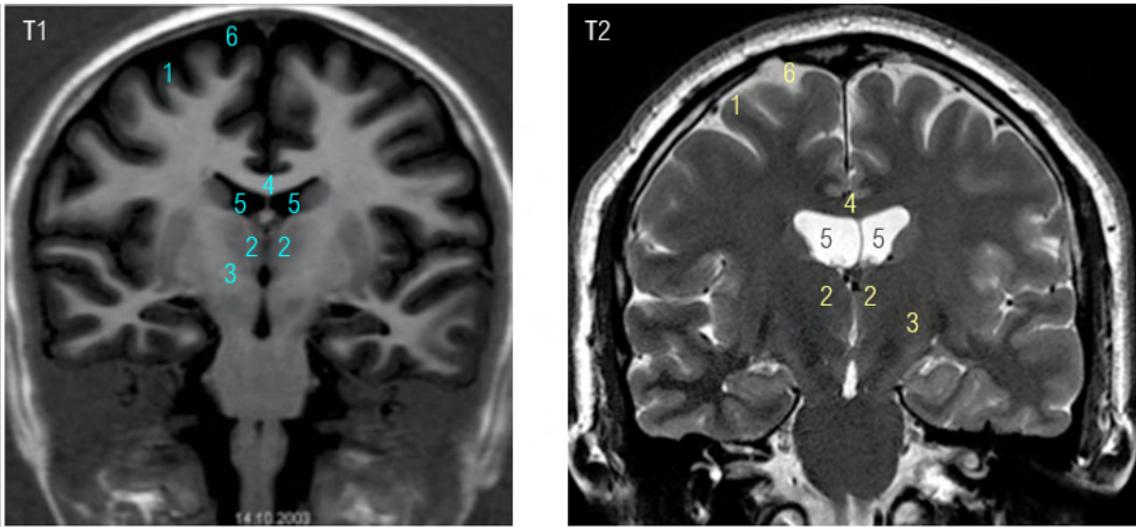


Fig. 47 : IRM T1 et T2, tirées du TP 2020

1. le cortex
2. le thalamus
3. la substance blanche comme la capsule interne
4. le corps calleux
5. les espaces liquidiens comme les ventricules latéraux
6. l'espace sous-arachnoïdien

	Séquence T1 « IRM anatomique »	Séquence T2 Inversion des couleurs
Graisse		
Substance blanche		
Substance grise		
LCR		
Eau et sang		

Comparaison avec une coupe anatomique :

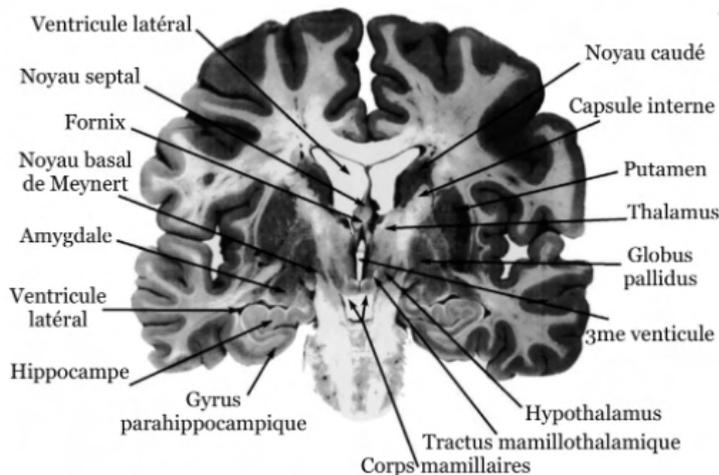
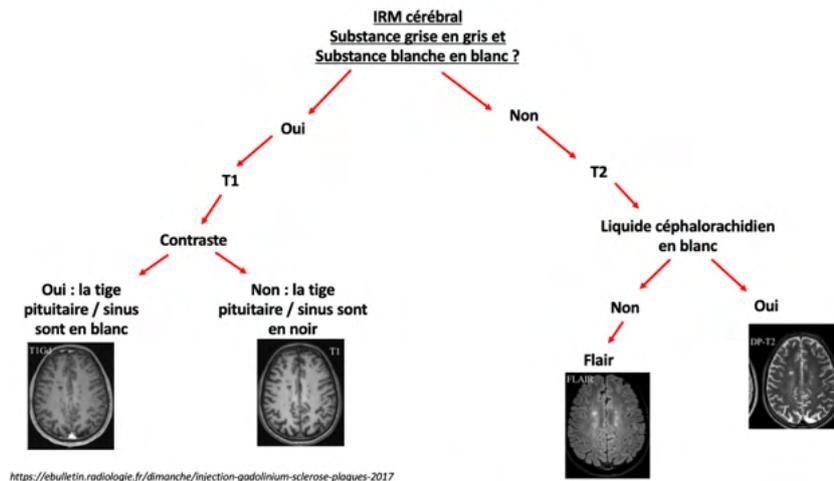


Fig. 48 : Coupe anatomique coronale de l'encéphale à titre comparatif des coupe d'IRM. De nombreuses structures sont désignées et feront l'objet d'autres TPs.

<https://www.neuromedia.ca/le-systeme-limbique/>

Schéma de réflexion pour trouver la séquence IRM :



Fluid Attenuated Inversion Recovery (FLAIR) en T2 :

- Fonctionnement : Le signal du LCR est supprimé et un long TE (temps d'écho) est utilisé afin de donner une forte pondération T2.
- Utilité : ceci permet de supprimer le signal provenant du LCR ce qui améliore la détection des lésions surtout proche de l'interface entre le LCR et le parenchyme. Les pathologies de la substance blanche apparaissent en hyper-intense.

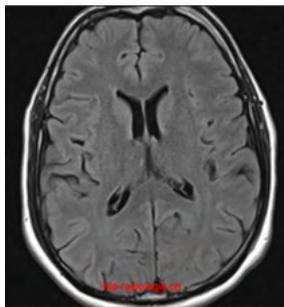


Fig. 49 : IRM T2 FLAIR

<https://www.info-radiologie.ch/flair.php>

Diffusion tensor imaging (DTI)

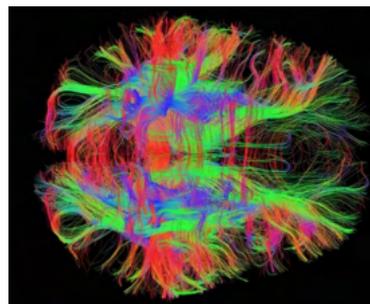
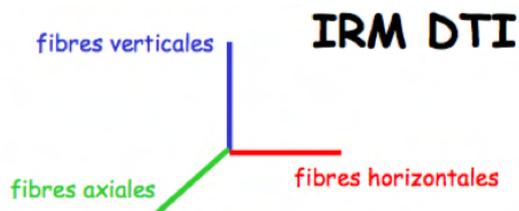


Fig. 50 : Image DTI

[https://www.news-medical.net/health/Diffusion-Tensor-Imaging-\(DTI\)-Explained-\(French\).aspx](https://www.news-medical.net/health/Diffusion-Tensor-Imaging-(DTI)-Explained-(French).aspx)

- Fonctionnement : détection des mouvements spontanés des molécules d'eau.
- Principe : contrairement à dans un liquide pur (diffusion isotropique), l'eau dans les axones se diffusent de manière anisotropique, c'est-à-dire que dans une direction prédominante à cause de la contrainte spatiale des membranes (d'où le mot tenseur).
- Utilisation : visualiser les faisceaux d'axones et le sens du flux d'information, notamment pour les éviter lors d'une opération ou résection (ex : tumeur)

2. Boîte crânienne

Voici un petit rappel des bases de l'ostéologie vu pendant les TP d'anatomie de première année plus des autres notions fondamentales pour le bon apprentissage de cette unité.

Os :

Le cerveau repose sur la base du crâne et est surplombé par la voûte crânienne. Ensemble, la base et la voûte forment la boîte crânienne. Les anatomistes divisent le crâne en deux parties différentes non seulement morphologiquement, mais aussi du point de vue de l'origine embryonnaire. Ces deux parties portent le nom de **neurocranium** et de **splanchnocranium**. En bref, le **neurocrâne** est la partie supérieure du crâne, celle qui contient l'**encéphale** et certains des principaux organes du sens. Le **splanchnocrâne** (ou massif facial ou viscérocrâne) est la partie antéro-postérieure du crâne, partie qui constitue le **visage**.

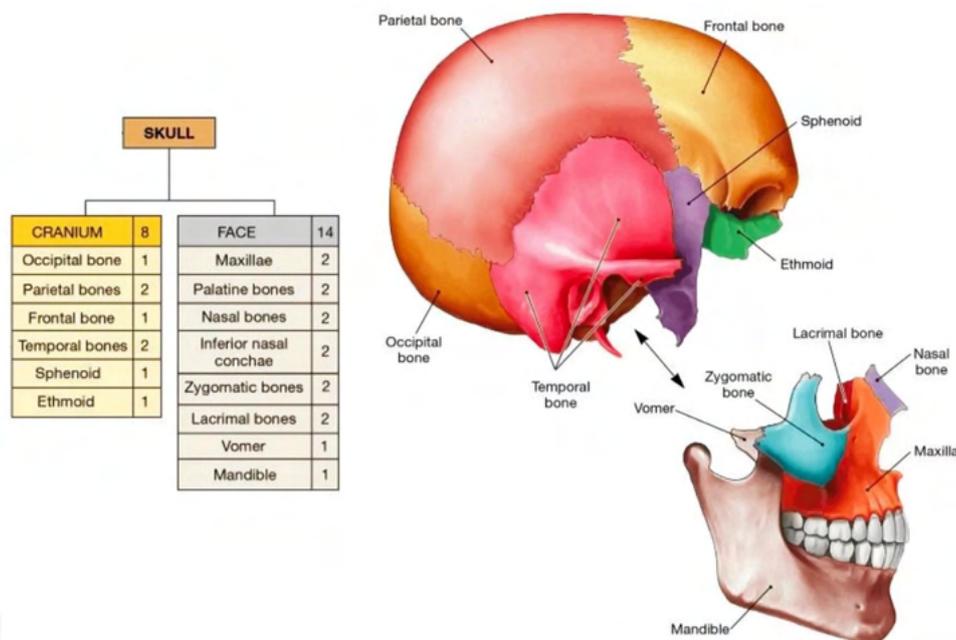


Fig. 51 : Les 8 os du neurocrâne et les 14 os du splanchnocrâne

<https://medicinaonline.co/2017/12/19/differenza-tra-neurocranio-e-splanchnocranio/>

Neurocrâne

- **1 os frontal** : en avant du crâne, formant le front et la voûte orbitaire
- **1 os occipital** : formant l'arrière et la base du crâne, joignant la colonne vertébrale
- **2 os pariétaux** : formant la calotte crânienne et les parties latérales hautes du crâne, et situés en arrière de l'os frontal
- **2 os temporaux** : sous les os pariétaux, les os les plus minces et fragiles du crâne
- **1 os sphénoïde** : médian, partie de la base du crâne et des cavités orbitaires et nasales
- **1 os ethmoïde** : entre les orbites, participe à la fosse crânienne antérieure par sa lame criblée et la *crista gali*, qui s'encastrent dans l'incisure ethmoïdale de l'os frontal.

Splanchnocrâne

- **2 os maxillaires** : forment la mâchoire supérieure.
- **2 os lacrymaux** : à l'intérieur des orbites.
- **2 os nasaux** (ou os propres du nez)
- **2 cornets nasaux inférieurs** : lamelles osseuses de la paroi latérale de la cavité nasale.
- **Vomer** : plat, formant la partie postéro-inférieure de la cavité nasale.
- **2 os palatins** : forment la voûte du palais osseux.
- **2 os zygomatiques** : en extérieur et sous les orbites.
- **1 mandibule** : forme la mâchoire inférieure.

Les sutures principales :

- **Suture coronale** : entre l'os frontal et les os pariétaux.
- **Suture métopique ou frontal** : entre les deux composants de l'os frontal, se ossifie habituellement vers l'âge de 6 ans.
- **Suture sagittale ou interpariétale** : relie les deux os pariétaux.
- **Suture lambdoïde** : entre les os pariétaux et l'os occipital.
- **Suture temporo-pariétale** (squamosal) : entre l'os pariétal et l'os temporal.

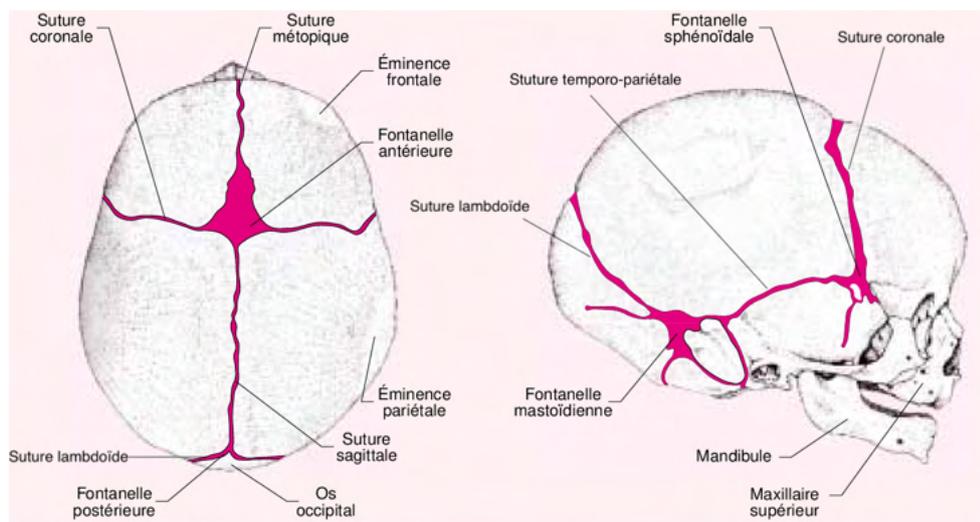


Fig. 52 : Sutures et fontanelles du crâne
<https://www.semanticscholar>

Les fontanelles principales présentes chez le nouveau-né → fermées chez l'adulte :

- **Fontanelle antérieure → bregma** : entre sutures coronale et sagittale (sommet de la tête)
- **Fontanelle postérieure → lambda** : au sommet de l'os occipital, entre suture lambdoïde et suture sagittale
- **Fontanelle latérale ou sphénoïdale → ptériorion** : unissant os frontal, pariétal, sphénoïde et temporal.
- **Fontanelle postéro-latérale ou mastoïdienne ou astériorion** : jonction entre l'os temporal-occipital-pariétal.

Fosses :

Il existe **3 fosses** de la base du crâne :

- A. Antérieure** : composée de la partie orbito-nasale de l'os frontal, de la lame criblée de l'ethmoïde et des petites ailes du sphénoïde.
- B. Moyenne** : composée majoritairement du corps et des grandes ailes de l'os sphénoïdal, ainsi que de la majeure partie de l'os temporal.
- C. Postérieure** : composée en majorité de l'os occipital, ainsi que de la face postéro-supérieure de la portion pétreuse de l'os temporal.

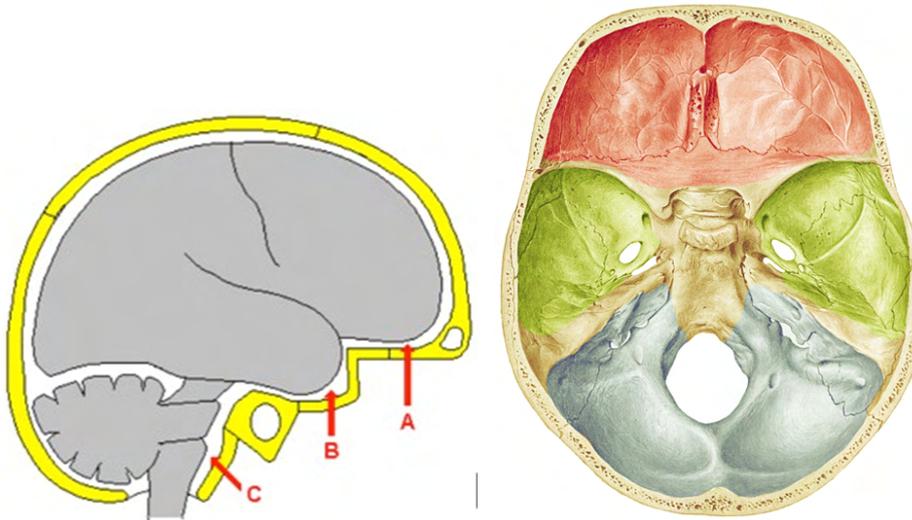


Fig. 53 : Fosses crâniennes, TP 2020

Foramina :

Les os du crâne ont différents trous, ou *foramina*, permettant notamment le passage de fibres nerveuses des nerfs crâniens et de divers vaisseaux sanguins, qui seront étudiés lors de prochains TPs.

- **Lame criblée** : os ethmoïde, lame osseuse horizontale, située juste au-dessus de la cavité nasale.
- **Canal optique** : conduit qui perce l'os sphénoïde à l'arrière de chaque orbite.
- **Fissure orbitaire supérieure** : déhiscence entre les ailes du sphénoïde faisant communiquer l'orbite avec l'étage moyen du crâne.
- **Foramen rond** : situé sur la face endocrânienne de la grande aile de l'os sphénoïde.
- **Foramen ovale** : situé sur la face endocrânienne de la grande aile de l'os sphénoïde.
- **Méat acoustique interne** → est situé dans la partie pétreuse de l'os temporal.
- **Foramen jugulaire** : appelé aussi trou déchiré postérieur, ouverture dans le crâne située entre le rocher en avant et l'os occipital. Son nom dérive du passage de la veine jugulaire interne par ce foramen.
- **Canal hypoglosse** : situé dans l'os occipital.

Les foramina ont une importance primordiale dans le cadre de l'étude des nerfs crâniens (Cf. TP3). Voici un résumé axé sur la sortie de ces nerfs, en n'oubliant pas que des structures vasculaires y cheminent aussi (important dans le cadre de pathologies !)

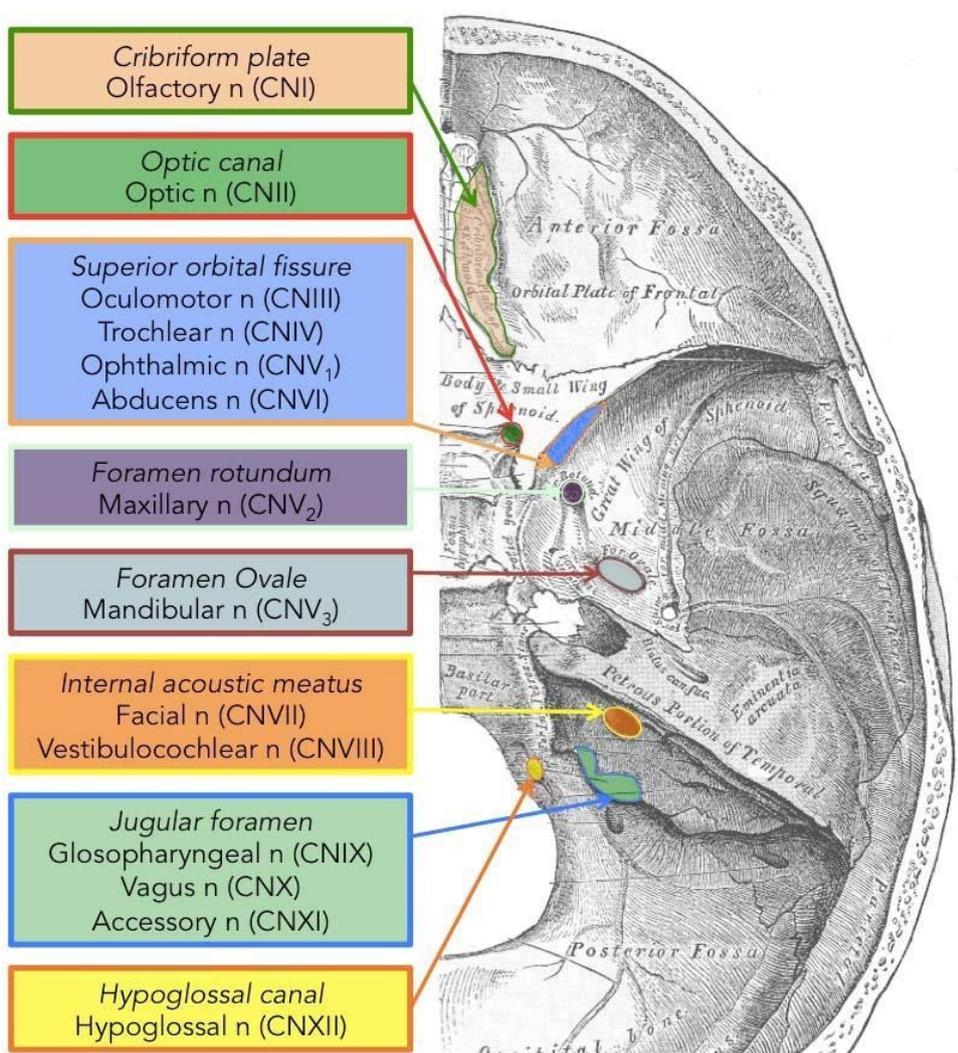


Fig. 54 : Foramina et nerfs crâniens, TP 2020