

UE : Système neurosensoriel

ENSEIGNANT : M. Seizeur

DATE : 10/ 09/ 24

GROUPE : Classe inversé groupe 1

REMARQUES : "Pas mal !" Bien retenir que les trois lobes fonctionnels fonctionnent en synergie : correspond plus à la réalité. Dire que les hémisphères cérébelleux contrôlent la cinétique et vernis la statique c'est faux.

Anatomie fonctionnelle du cervelet

Table des matières

I. Introduction	2
II. Phylogenèse	2
III. Anatomie descriptive	3
A. Les lobes fonctionnels	3
B. Les lobules	4
C. Configuration interne	5
D. Vascularisation du cervelet	6
IV. Boucles et organisation supra-segmentaire	7
A. Archicervelet ou archéocervelet	7
B. Paléocervelet = lobe ANT, en AV fissure primaire	8
C. Néocervelet = néocerebellum = néocérébellum	10
V. Conclusion	12
VI. QCMs	13
VII. Remarques Seizeur (2024)	14
VIII. Remarques Seizeur (2023)	15

Anatomie fonctionnelle du cervelet

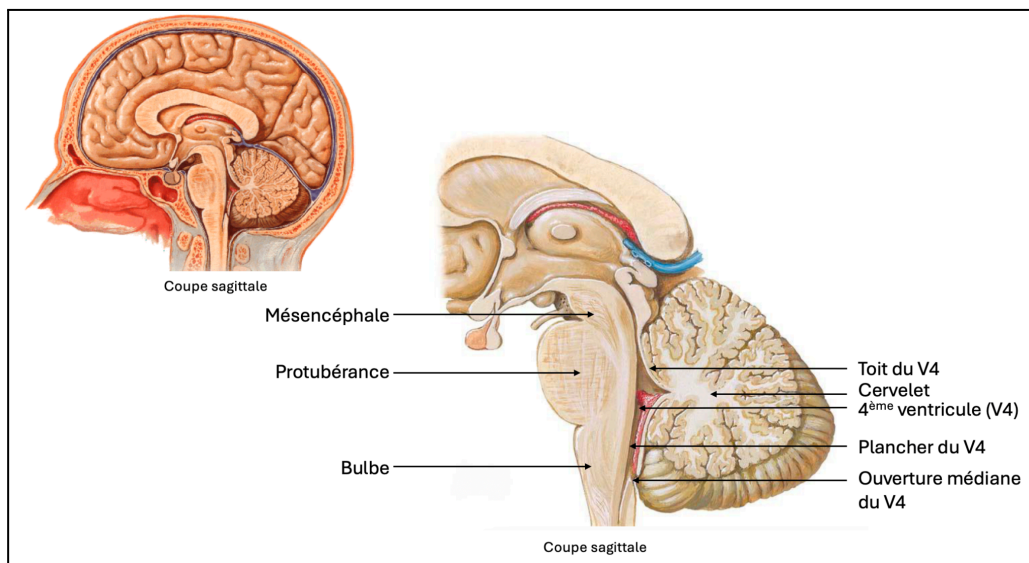
I. Introduction

Le cervelet est considéré comme un “petit cerveau” car il s’organise comme celui-ci avec des hémisphères, des lobes et des substances blanche et grise. Le cervelet est développé aux dépens du **rhombencéphale** et est situé dans la fosse postérieure, en arrière du 4^{ème} ventricule. Il répond au toit du 4^{ème} ventricule.

Son rôle principal est la **régulation et la coordination inconsciente du mouvement** (régulation de l’équilibre, du tonus musculaire et la coordination du mouvement volontaire). (Le cervelet n’est généralement pas à l’origine des mouvements, il régule la fonction motrice, ainsi des dommages au cervelet ne provoquent pas la paralysie, mais des troubles dans la précision des mouvements, l’équilibre, la posture ou l’apprentissage moteur.) Le cervelet régule le mouvement automatique **dans le temps**, là où les noyaux gris permettent une régulation dans l’espace.

Le cervelet est généralement décrit par **2 hémisphères réunis par le vermis** (description anatomique) **ou par 3 lobes** (description fonctionnelle). La description peut également se baser sur d’autres caractéristiques comme :

- Ses 3 faces
- Ses 3 couches corticales
- Ses 3 paires de pédoncules cérébelleux le reliant au tronc cérébral
- Ses 3 boucles de contrôle
- Ses 3 fonctions



II. Phylogénèse

Au cours de l'évolution des lignées animales, trois parties distinctes du cervelet sont apparues successivement : l'archécervelet, le palécervelet et le néocervelet.

- **Archécervelet** : (vert)

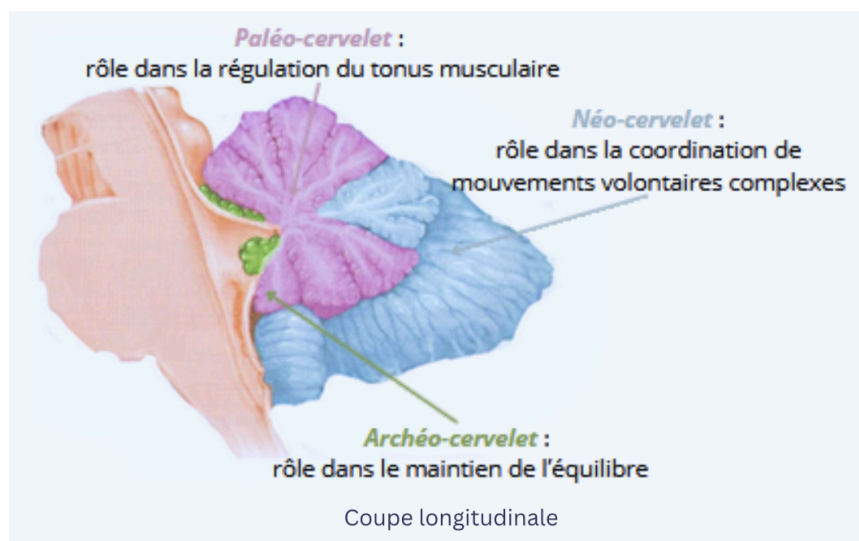
L'archécervelet s'est développé progressivement au cours de l'évolution. Il comprend le **lobe flocculo-nodulaire et la lingula ainsi que les noyaux du faîte**. Il est fonctionnellement associé aux voies nerveuses responsables de l'**équilibration**.

- **Paléocervelet** : (rose)

Il se superpose progressivement à l'archéocervelet chez les amphibiens, les reptiles et les oiseaux. Il comprend **le vermis** (à l'exception de la lingula), **le lobe antérieur**, ainsi que **les noyaux globuleux et emboliformes (= noyaux interposés)**. Fonctionnellement, il joue un rôle dans la régulation du **tonus statique**.

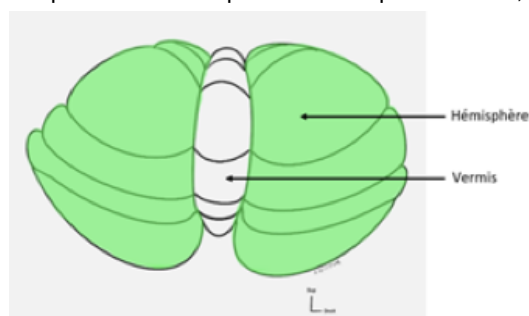
- **Néocervelet** : (bleu)

Il se développe progressivement par rapport aux structures précédentes chez les mammifères. Il est constitué **du lobe postérieur, des hémisphères et des noyaux dentelés**. Son évolution phylogénique (et non phylogénétique) est relativement récente, puisqu'il est impliqué dans **le contrôle des mouvements fins, c'est-à-dire la coordination de mouvements volontaires complexes**, particulièrement chez l'Homme et les primates.



III. Anatomie descriptive

Le cervelet pèse entre 130 et 150 g, à la taille d'une pomme (10x5x5 cm) et comprend 3 faces (ventrale, supérieure, et inférieure). Il est composé de 2 hémisphères réunis par le vermis, qui est l'élément central.



Cervelet composé de 2 hémisphères et du vermis

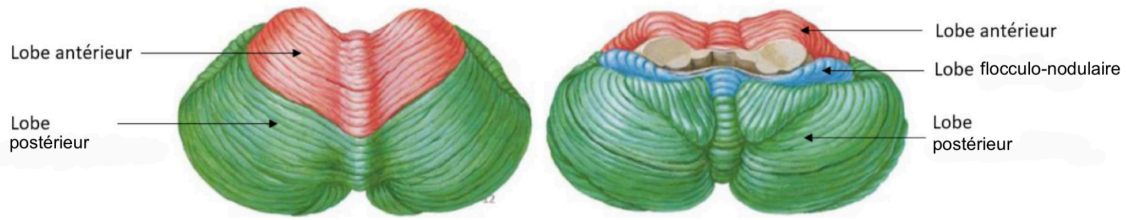
A. Les lobes fonctionnels

Cette structure est décomposée en lobes, lobules, lames et lamelles, séparés par des fissures et des sillons.

En effet, le cervelet est constitué de **3 lobes fonctionnels**, séparés par des fissures :

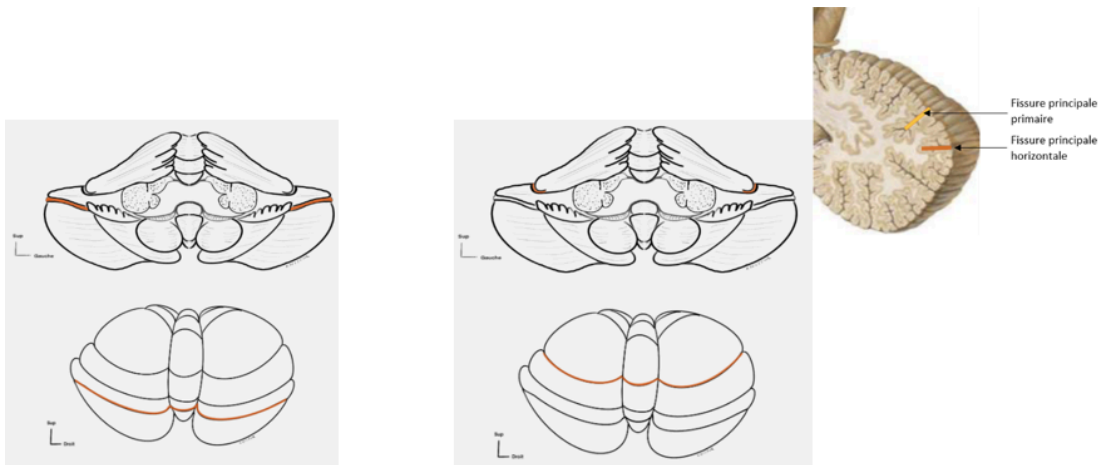
- Le lobe antérieur (paléocervelet) (en rouge)
- Le lobe postérieur (néocervelet) (en vert)
- Le lobe flocculo-nodulaire (archéocervelet) (en bleu)

En réalité, les différentes parties (néo/archéo/paléo) sont **intriquées** les unes avec les autres sur le plan fonctionnel.



Vues dorsale et ventrale des 3 lobes fonctionnels du cervelet

On décrit ainsi 2 fissures principales au sein du cervelet, à savoir : la fissure horizontale et la fissure primaire.

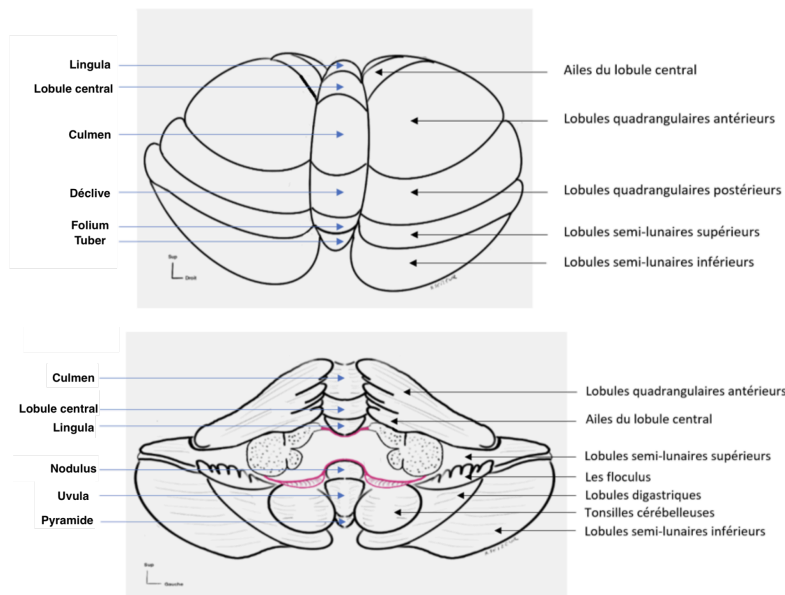


Fissure horizontale

Fissure primaire

Vues dorsale et ventrale des fissures du cervelet

B. Les lobules



Vues dorsale et ventrale des lobules du cervelet

D'autre part, les lobes fonctionnels du cervelet sont divisés en **lobules** (classification de Larsell, de I à X lobules), eux-mêmes séparés par des sillons moins profonds.

Cette division en lobules concerne soit le vermis, soit les hémisphères. **Il est important de comprendre qu'à chaque lobule vermien correspond un lobule hémisphérique +++.**

Parmi ces lobules, le **culmen** est le point le plus haut. Celui-ci a un engagement dit "**engagement culminal**", c'est-à-dire que cette partie du cervelet peut, en cas de pression dans la fosse postérieure, essayer de passer au travers de l'incisure tentorielle, et entraîner le coma voire le décès.

Les **tonsilles cérébelleuses** (parties les plus proches du foramen magnum) sont également importantes à retenir : en cas de **syndrome de masse (hyperpression)** au niveau de la fosse postérieure, elles peuvent passer au travers du foramen magnum, et entraîner le coma voire le décès. On parle alors **d'engagement tonsillaire**.

Au niveau de l'anatomie morphologique, il y a trois portions du cervelet qui ne correspondent pas aux vermis et aux hémisphères.

- Le **lobe flocculo-nodulaire** affecté à l'équilibration (archécervelet)
- Le cervelet intérieur (**antérieur**) (limite pas très nette) avec une partie des hémisphères et une partie du vermis : il correspond au paléo-cervelet
- La partie la plus **postérieure** et la plus grande du cervelet est représentée par le néocervelet qui comprend également du vermis et des hémisphères

Il s'agit d'UNE façon de voir la morphologie.

Mais il en existe d'autres :

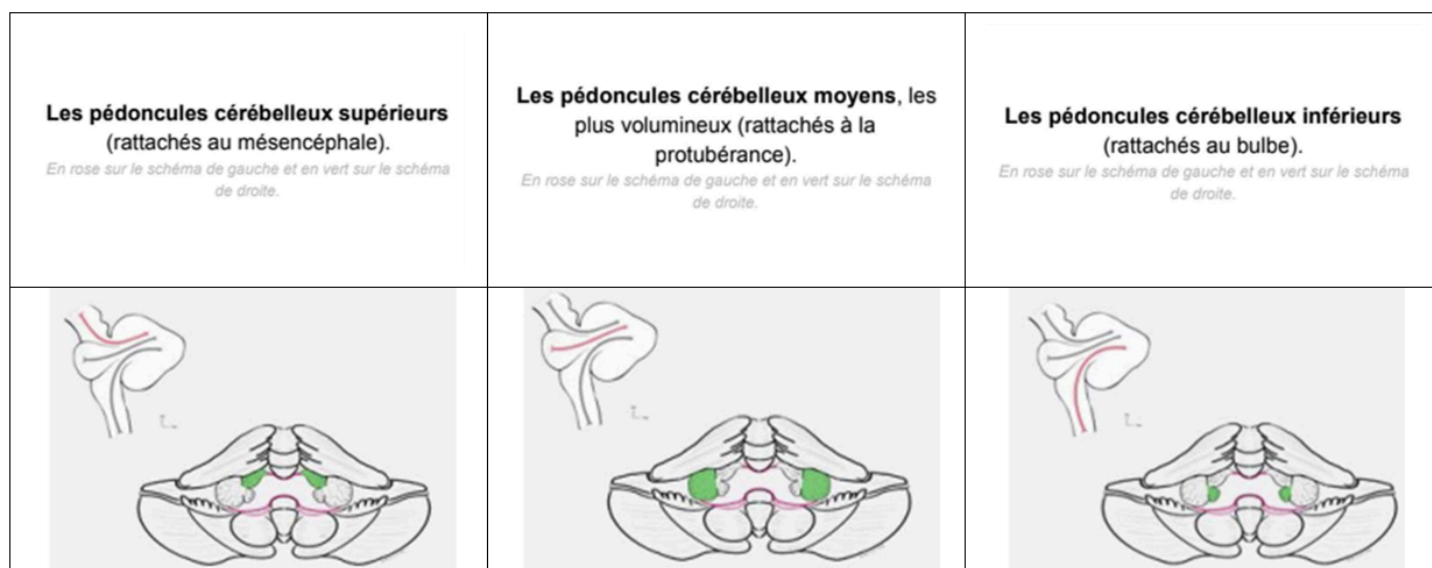
ex avec des hémisphères qui seraient pour tout ce qui est latéralité et le vermis pour ce qui est statique. Cette description a été **démentie dans la littérature** où l'on montre que justement chaque partie du vermis est liée à une partie des hémisphères à droite comme à gauche. Il n'y a pas dans le cervelet une partie latérale droite qui gère le côté droit et une gauche qui gère le gauche → Pas de pb à ce niveau-là quand on retire une partie du cervelet.

C. Configuration interne

Le cervelet est constitué à la fois de substance blanche (l'arbre de vie en imagerie) et de substance grise.

Ainsi, il est relié aux différentes parties du tronc cérébral et communique avec celles-ci, par **3 paires de pédoncules cérébelleux**, constituées de substance blanche :

- Les **pédoncules cérébelleux supérieurs**, liant le cervelet au mésencéphale
- Les **pédoncules cérébelleux moyens**, liant le cervelet à la protubérance. Ce sont les plus volumineux car ils contiennent énormément de neurones qui participent à la régulation de la motricité.
- Les **pédoncules cérébelleux inférieurs**, liant le cervelet et moelle allongée (bulbe)



Les pédoncules cérébelleux du cervelet

La **substance grise**, quant à elle, est répartie en :

- Substance grise **superficielle** : Le **cortex cérébelleux**, 3 couches.
- Substance grise **profonde** : Les **noyaux cérébelleux**, divisés en 3 groupes répondant aux 3 cervelets fonctionnels :

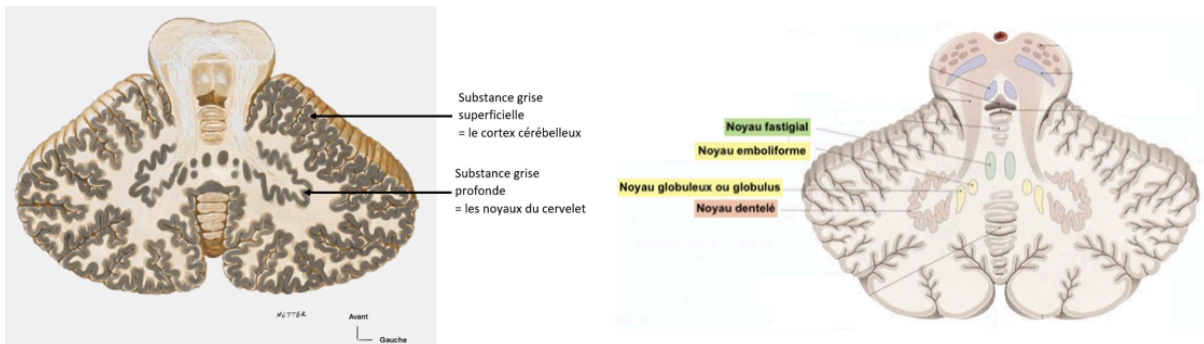
- Les noyaux du **faîte** (fastigial) → correspond à l'Archéocervelet

!!\ Là tout le monde n'est pas d'accord car le noyau vestibulaire serait plus un noyau cérébelleux qu'un noyau du tronc cérébral = il est entre les 2.

- Les noyaux **interposés** (globulus et emboliforme) → correspond au Paléocervelet

!!\ mais ceux qui pensent que le noyau vestibulaire est le principal noyau de l'archéocervelet disent que noyaux du faîte est plus un noyau interposé = spino-cérébelleux

- Les noyaux **dentelés** (ou dentés), → correspond au Néocervelet (comme pour les noyaux rouges). *Ainsi deux voies y passent même si l'information transmise n'est pas tout à fait la même.*



Coupe transversale en vue inférieure : La substance grise superficielle et profonde du cervelet

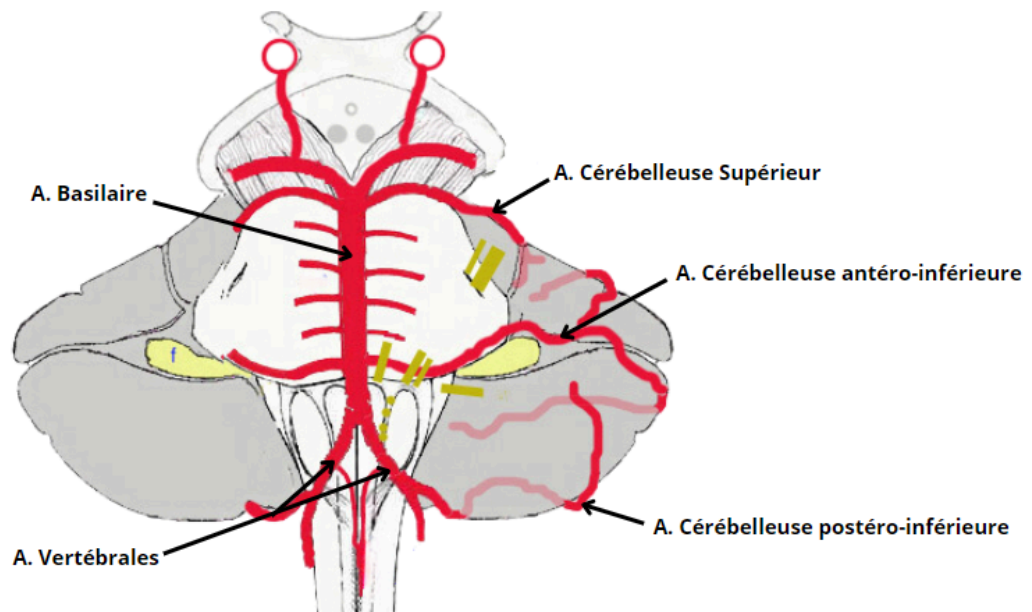
Les noyaux profonds du cervelet sont variables : il y a des variations entre l'Homme et les animaux donc on ne peut pas tout extrapoler !

D. Vascularisation du cervelet

Au niveau de la vascularisation **artérielle** du cervelet on peut citer trois artères cérébelleuses. En théorie elles vont plutôt vers un des trois systèmes mais attention c'est un schéma général et ce n'est pas toujours aussi simple :

- L'artère cérébelleuse supérieure : Elle est la plus volumineuse des artères cérébelleuses, elle naît du tronc basilaire, près de sa bifurcation. Elle longe le bord supérieur de la protubérance, contourne le pédoncule cérébral et aborde la face dorsale du cervelet sur laquelle elle se ramifie en éventail. Elle se distribue principalement à la face supérieure du cervelet, au vermis supérieur, à la valvule de Vieussens. Mais son trajet reste très variable.
- L'artère cérébelleuse antéro-inférieure : Elle se détache du tronc basilaire. Elle chemine sur la face ventrale du pont parallèlement au sillon bulbo-protubérantiel. Elle se termine par des rameaux le long du sillon circonférentiel de chaque hémisphère. Cette artère vascularise la partie de l'hémisphère du cervelet qui est située en dessous de la fissure horizontale
- L'artère cérébelleuse postéro-inférieure : Elle est la plus grêle des artères cérébelleuses, elle naît de la vertébrale à la hauteur du relief olivaire, elle s'engage entre l'amygdale et le bulbe qu'elle contourne, longe le bord du vermis inférieur et se termine sur la face inférieure de l'hémisphère cérébelleux. Les rameaux qui s'en détachent, sinueux, se distribuent à ce territoire, principalement au noyau dentelé,

ainsi qu'au complexe flocculo-nodulaire, au bulbe, au corps restiforme et aux plexus choroïdes dont ils constituent la principale source vasculaire.



Vue ventrale de la vascularisation artérielle

Au niveau de la vascularisation **veineuse**, on peut dire que réseau veineux ne se superpose pas à celui des artères. Les troncs veineux constitués à partir de la superficie du cervelet aboutissent aux sinus dure-mériens et à la veine de Galien.

IV. Boucles et organisation supra-segmentaire

La transmission au niveau des noyaux du tronc cérébral va entraîner une information supérieure pour l'intégration (avec la motricité...). Mais il y a également des éléments descendants qui permettent de lutter contre les déséquilibres.

- Sur l'archécervelet : la voie vestibulo-spinale.
- Sur le paléo et le néocervelet : L'olive bulbaire.

Ce sont différentes voies mais avec le même objectif : rattraper les déséquilibres en permanence (ex : quand on marche nous sommes en permanent déséquilibre).

A. Archicervelet ou archécervelet

C'est la voie vestibulo-cérébelleuse qui contrôle l'**équilibre** (muscle s'opposant à la pesanteur).

C'est la voie la plus primitive (on la retrouve chez le poisson).

1. Point de départ sensoriel : L'oreille interne (utricle et saccule) qui donne des informations d'équilibration (sensorielle). *Rappel* : Le cortex cérébelleux n'est pas conscient !
2. Un premier neurone périphérique va vers le **noyau vestibulaire (de Scarpa)** dans le tronc cérébral.
3. L'information se poursuit dans le cortex de l'archécervelet (lobe flocculo-nodulaire). Le cortex est fait de substance grise et constitue donc le lieu d'intégration de l'information, permettant de déterminer s'il faut aller plus loin ou non.
4. De là, l'information rejoint le **noyau fastigial** (noyau du faite) qui est le noyau gris de l'archécervelet.
5. Puis, elle se projette aux structures du tronc cérébral vers la bandelette longitudinale dorsale (directement ou via l'intermédiaire du noyau vestibulaire).

Il y a alors intégration au niveau de la bandelette longitudinale dorsale où sont reliés les noyaux des nerfs oculomoteurs (III, IV, VI) et le noyau du nerf accessoire XI (céphalogyre). Ils permettent les mouvements conjoints de la tête et des yeux en fonction de l'oreille interne pour l'équilibration (vestibule).

- **Trouble de l'équilibre :**

Si cette voie vestibulo-cérébelleuse subit des lésions, on aura des troubles de l'équilibre, avec élargissement du polygone de sustentation (= écartement des membres inférieurs pour augmenter la stabilité).

Le polygone de sustentation peut survenir avec une atteinte de l'archécervelet (déséquilibre au niveau de la tête (capteurs oreille interne)) mais aussi du paléo-cervelet (problème au niveau de la proprioception). Il est donc difficile de différencier les deux.

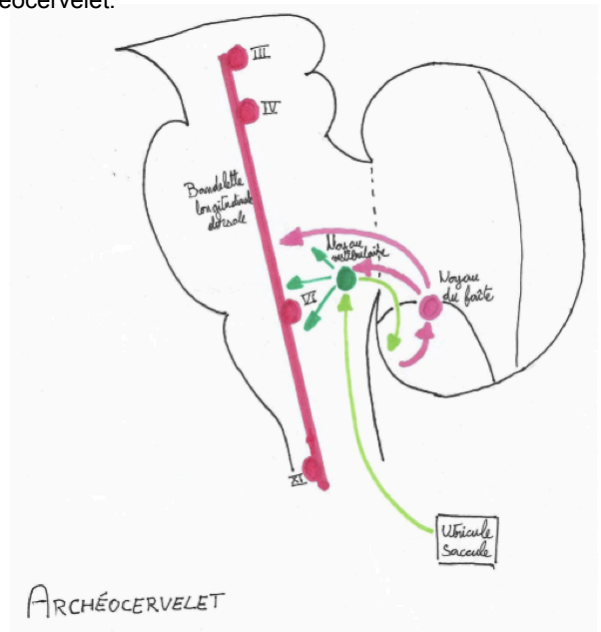
En revanche, la danse des tendons existe bien avec une atteinte du palécervelet.

- **Trouble de la marche :**

Démarche ébrieuse avec élargissement du polygone de sustentation.

- **Trouble de l'équilibre et de la marche :**

- Ataxie cérébelleuse
- Syndrôme cérébelleux statique



B. Palécervelet = lobe ANT, en AV fissure primaire

C'est la voie spino-cérébelleuse qui maintient le tonus musculaire pour maintenir le tonus de posture (ex : être debout). Le palécervelet est assez ancien (existe chez les amphibiens comme la grenouille).

Version simplifiée du trajet:

1. Le point de départ sensoriel est périphérique : la **sensibilité proprioceptive inconsciente** (SPI) a 2 origines : (rappel : proprioception = sensibilité profonde interne, perception interne du corps)
 - Une axiale (tronc) qui provient de la colonne vertébrale;
 - Une périphérique qui provient des membres.
2. L'information est alors transmise au cortex cérébelleux du palécervelet (=lobe antérieur = 2e relais) (le 1e relais se fait dans le ganglion de la moelle spinale et le noyau trigéminal du V).
 - Elle emprunte différentes voies pour se rendre dans des endroits spécifiques du palécervelet.
3. L'information va aux **noyaux interposés** (correspondent aux noyaux globuleux et emboliformes ou noyaux gris).
4. De là, des informations vont être données aux structures du tronc cérébral (substance réticulée et olive bulbaire par intermédiaire ou non).
 - En fonction de la qualité de l'information, elle va :
 - Soit directement vers la moelle spinale, si besoin d'une régulation réflexe (= urgence donc rapide);
 - Soit vers le noyau rouge pour être transmise au diencéphale, si besoin d'une intégration supérieure.

Version complète du trajet:

1) Les afférences : ce sont les afférences **proprioceptives inconscientes** véhiculées par :

- le faisceau spino-cérébelleux dorsal de Flechsig (direct) pour les membres inférieurs et la partie inférieure du tronc,

- le faisceau cunéo-cérébelleux, équivalent du précédent pour les membres supérieurs et la partie supérieure du tronc,
- le faisceau spino-cérébelleux ventral de Gowers (croisé) pour renseigner sur le niveau d'activité des systèmes contenus dans les réseaux interneuronaux de la moelle épinière.

Les faisceaux spino-cérébelleux dorsal et cunéo-cérébelleux parviennent au lobe antérieur du cervelet du même côté par l'intermédiaire du pédoncule cérébelleux *inférieur*.

Le faisceau spino-cérébelleux ventral croisé au niveau de la moelle épinière parvient au lobe antérieur du cervelet toujours du même côté après avoir croisé la ligne médiane une deuxième fois dans le mésencéphale. Cette voie gagne le cervelet par le pédoncule cérébelleux *supérieur* dont les fibres croisent toujours.

Ainsi les afférences spino-cérébelleuses sont **homolatérales**, soit directes, soit après avoir croisé deux fois la ligne médiane (une fois dans la moelle épinière et une fois dans le mésencéphale).

2) Le relais intermédiaire : à partir du cortex du lobe antérieur un relais vers les noyaux cérébelleux profonds se fait : noyau fastigial et noyau interposé (noyau globuleux et emboliforme) homolatéraux.

3) Les voies efférentes : elles sont de deux types :

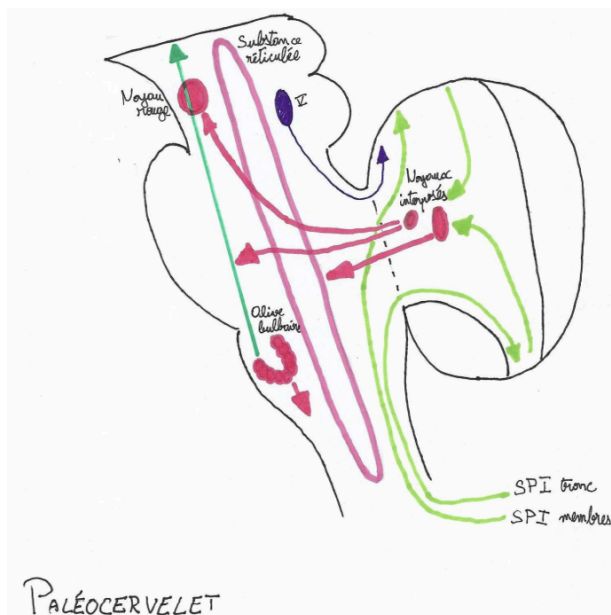
- A partir du noyau *fastigial*, on retrouve les voies efférentes de l'archo-cerebellum : faisceau vestibulo-spinal, faisceau réticulo-spinal à destination des muscles du tronc et extenseurs.

- A partir du noyau *interposé*, un axone se destine au noyau rouge du mésencéphale controlatéral par l'intermédiaire du pédoncule cérébelleux supérieur qui croise (décussation de Wernekinck). Le noyau rouge mésencéphalique contient des neurones dont les axones constituent la voie efférente rubro-spinale à destination de la moelle épinière (un relais par la rétillée réalise la voie rubro-réticulo-spinale). Cette voie croise à nouveau la ligne médiane par le pédoncule cérébelleux supérieur et gagne la moelle épinière : influence les motoneurons de la corne antérieure de la substance grise de la moelle épinière correspondant aux muscles fléchisseurs. Ainsi il existe de nombreux croisements mais au total les afférences et les efférences restent **homolatérales**.

L'atteinte de ce système réflexe spino-cérébello-spinal entraîne des troubles de **l'équilibre**, de la **marche** et une **hypotonie** à prédominance *axiale* par défaut du tonus de posture du même côté de la lésion.

Ataxie cérébelleuse => danse des tendons

Hypo hyper tonie



→ : entrées d'informations

→ : réponses émises

Paléocervelet = Voie spino- cérébelleuse	Tonus de posture (Hypotonie cérébelleuse)	Sensibilité proprioceptive du tronc, des membres et de la tête	Moelle spinale et noyau trigéminal du V	Paléocérébelleux (lobe ventral)	Noyaux globuleux et emboliforme (interposés)	Substance réticulée, noyaux rouges du mésencéphale, olive bulbaire, puis, cortex cérébral si besoin de conscience ou moelle spinale pour posture.
---	---	--	---	------------------------------------	--	--

Il faut comprendre que d'un côté il y a ce qui est physiologique (normal), et ce qui est pathologique. Quand on décrit ces voies, il faut décrire la voie normale puis se dire quand il y a une pathologie, où est-ce que ça dysfonctionne ?

Le point de départ du paléocervelet c'est la **proprioception**, comme on est au niveau du cervelet, que c'est une partie qui est inconsciente, on va avoir une proprioception inconsciente. La proprioception sert à connaître la position des membres dans l'espace, c'est l'interface entre notre corps et l'environnement et si on regarde nos pieds (parce qu'en général on a les pieds par terre) c'est le fait d'avoir cette sensation du sol. Quand on a un problème proprioceptif, conscient ou inconscient, on va justement avoir des difficultés à sentir le sol (stabilité, matière...). Donc il faut qu'il régule en permanence. ==> Physiologie (anatomie fonctionnelle)

Si ça dysfonctionne, c'est qu'il y a une mauvaise interface, une mauvaise récupération des données extérieures par les capteurs neurosensoriels (qu'ils soient au niveau de la peau, des tendons, des muscles).

- **Le trouble de tonus :**

Hypotonie cérébelleuse (on retrouve aussi des tremblements d'action inconstants parmi les symptômes, caractérisant la maladie de Parkinson mais !\ pas de lien entre hypotonie cérébelleuse et maladie de Parkinson donc retenir que des tremblements ne sont pas forcément synonyme de maladie de Parkinson !).

!\ **Tremblement** plutôt **néocérébelleux** que **paléocérébelleux**

Pas confusion avec la maladie de Parkinson, **ça n'a rien à voir** (le tremblement et le tonus n'ont rien avoir). → c'est complètement différent

Remarque : Si on a un manque de tonus on va avoir logiquement un déséquilibre. Il va alors y avoir une lutte contre le déséquilibre organisée par l'olive bulbaire qui donne une impulsion directement sur le système moteur (par l'intermédiaire du faisceau olivo-spinal), ainsi la lutte est dans un premier temps automatique. Si on attendait d'avoir conscience du déséquilibre, on serait déjà au sol.

Danse des tendons : (contraction-décontraction dysharmonieuses des tendons des jambiers antérieurs) : Le cervelet (origine spino-cérébelleuse → paléocervelet) permet la contraction et décontraction harmonieuse des différents groupes de muscles permettant l'équilibre, particulièrement le muscle tibial antérieur. En cas de lésion, ce jeu de contraction n'est plus harmonieux.

Inadaptation entre ce qui est reçu sur le plan sensoriel (la proprioception) et le rendu moteur. Mauvaise info sur la sensibilité du sol = mauvaises infos données pour la contraction ==> les tendons extenseurs des orteils qui bougent en permanence à cause d'une mauvaise régulation des données dysfonctionnelles.

L'**alcoolisme**, éthylisme chronique qui abîme les petites fibres du paléocervelet, en particulier les fibres proprioceptives de manière irréversible, ce qui engendre une danse des tendons.

Alors que l'éthylisme aigu va plutôt abîmer l'archéocervelet de manière transitoire (si pas de chronicité) donc il donne un syndrome archéocervelet qui est réversible.

C. **Néocervelet = néocerebellum = néocérébellum**

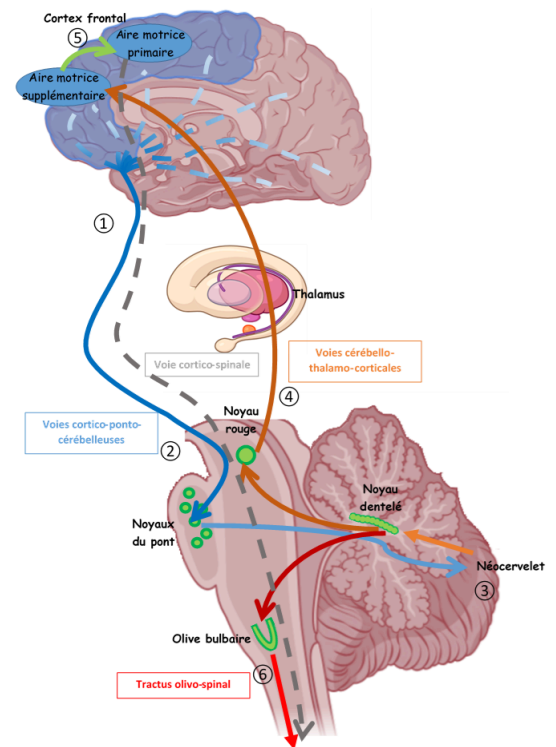
Les fonctions du néocervelet sont encore mal connues, cependant, nous pouvons dire qu'il est un élément central de la boucle de régulation cortico-cérébello-corticale. C'est cette voie cortico-cérébelleuse qui contrôle la **coordination**. Le néocervelet est donc impliqué dans le contrôle de la coordination (**contrôle temporo-spatial + régulation du geste**), c'est-à-dire qu'il contrôle les **mouvements volontaires** (régulateur du mouvement) et implique des **mouvements fins/précis** (en terme d'agoniste et d'antagoniste dans le temps) (il est donc présent chez les mammifères supérieurs mais aussi chez les oiseaux, par exemple, pour la coordination de leurs ailes). Ainsi, le paléo et l'archéo-cervelet vont participer à la locomotion (tenir debout, garder la tête droite, ne pas avoir de sensation de vertige) en synergie avec le néocervelet.

→ Reçoit des afférences : proprioceptives, somesthésiques, sensorielles et corticales.

Trajet de la boucle de régulation cortico-cérébello-corticale, permettant la coordination du mouvement

Lorsque l'on décide de faire un mouvement, volontaire, l'information motrice est véhiculée par le faisceau principal moteur volontaire = **faisceau pyramidal**. En parallèle, un contrôle de la motricité est assuré par la voie néo-cérébelleuse.

1. Lors de l'initiation d'un mouvement volontaire, cette boucle de régulation est initiée au niveau du **cortex cérébral moteur** (où se trouve le corps cellulaire) depuis le lobe frontal au niveau de l'aire motrice supplémentaire. L'information peut également provenir des lobes pariétaux, temporaux et occipitaux.
2. L'information est véhiculée dans les **voies cortico-ponto-cérébelleuses**, passant par les noyaux du pont qui séparent la motricité volontaire en séparant les fibres fronto-temporo-pariéto-occipito pontine du faisceau pyramidal, avant de rejoindre le néocervelet.
3. Le **cortex du néocervelet** intègre ces informations et affine les informations motrices de coordination transmises au **noyau dentelé**.
4. L'information emprunte ensuite les **voies cérébello-thalamo-corticales** passant par le noyau rouge, puis le thalamus avant de rejoindre l'aire motrice supplémentaire, où l'information sera réajustée.
5. Si le mouvement est accepté, l'indication de coordination du mouvement est projetée à l'**aire motrice primaire**, signant alors sa sortie de la boucle de régulation cortico-cérébello-corticale. L'instruction de mouvement peut alors être délivrée en empruntant la voie cortico-spinale. (Boucle fermée → contrôle motricité)
6. Si l'intégration de l'information dans le néocervelet identifie la nécessité d'une **motricité d'urgence** et non d'une simple coordination, alors l'information sera transmise directement du noyau dentelé à l'**olive bulbaire** pour emprunter le **tractus olivo-spinal**, comme pour le paléocervelet. A titre d'exemple, cette motricité d'urgence peut être sollicitée pour se rattraper lorsque l'on trébuche en marchant. (Boucle ouverte → voie de la motricité d'urgence)



Toutes les voies ascendantes remontent vers le cortex passent dans le **thalamus** car à chaque fois qu'il y a une information, si c'est nécessaire que ce soit **conscient** ça va « remonter ». Ainsi, le thalamus est un relais de beaucoup de voies (pas uniquement sensibles et sensorielles).

Il est important de noter que la voie cortico-spinale (qui correspond au faisceau pyramidal) est différente de la voie néo-cérébelleuse.

Le faisceau pyramidal est le faisceau principal moteur volontaire qui va véhiculer l'information aux motoneurones. Mais avant cela on a besoin d'une régulation effectuée par la voie néo-cérébelleuse de la boucle de régulation.

Ainsi même si ces 2 voies sont proches anatomiquement parlant, elles n'ont pas les mêmes fibres et n'ont pas les mêmes fonctions.

Les troubles du néocervelet expliquent les troubles de la coordination motrice suivants qui entrent dans le cadre du syndrome cérébelleux cinétique :

Troubles dans l'espace :

- **Hypermétrie** : impossibilité de faire un geste précis en termes de distance, il sera trop ample, il ira trop loin (on peut aussi avoir une hypométrie) (dysmétrie = incapacité de faire un mouvement précis, mouvement manque son but)
- **Asynergie** : difficulté à l'exécution des mouvements élémentaires (le mouvement est décomposé)

Troubles dans le temps :

- **Adiadococinésie** : impossibilité de faire des mouvements répétés opposés, difficulté à exécuter des mouvements rapides alternatifs (épreuve des marionnettes)
- **Dyschronométrie** : difficulté d'organisation des mouvements volontaires dans le temps avec un retard à la mise en route et à l'arrêt du mouvement

Autres :

- **Dysarthrie cérébelleuse** : incoordination (= problème de régulation dans le temps) des muscles agonistes/antagonistes gérant la phonation provoquant des tremblements dits cérébelleux = difficulté à articuler (= tremblement de la voix).
- **Hypotonie cérébelleuse**

NB : Une atteinte des pédoncules cérébelleux moyens (les plus volumineux) aura un impact sur les voies ponto-cérébelleuses du néocerevet pouvant être à l'origine d'une dysmétrie.

V. Conclusion

En réalité, on ne sait pas vraiment comment le cervelet fonctionne, on retrouve 2 conceptions différentes :

- L'une **morphologique** → 3 lobes : antérieur, flocculo-nodulaire et postérieur,
- L'autre **fonctionnelle** → paléocerevet, archéocerevet et néocerevet.

Il faut finalement comprendre que malgré toutes ces différentes conceptions, **l'ensemble des zones du cervelet fonctionne en synergie, tout est intriqué de manière à effectuer des mouvements précis, fluides et coordonnés, à maintenir notre équilibre et notre tonus musculaire.**

	Archéocervelet = voie vestibulo-cérébelleuse	Paléocervelet = voie spino-cérébelleuse	Néocervelet = voie cortico-cérébelleuse
Rôle (conséquences lésionnelles)	Équilibration (élargissement du polygone de sustentation, marche comme un homme ivre, danse des tendons des jambiers antérieurs)	Tonus de posture (hypotonie cérébelleuse, hypermétrie, asynergie et tremblements d'action sont inconstants (intentionnels ou non))	Coordination (adiadococinésie, asynergie, hypermétrie, dysarthrie cérébelleuse, nystagmus et tremblements d'action sont inconstants (intentionnel ou non))
Origine	Oreille interne (utricle / sacculé)	Sensibilité proprioceptive du tronc, des membres et de la tête	Cortex cérébral
1er relais	Noyau vestibulaire (du VIII)	Moelle spinale et noyau trigéminal du V	Noyaux propres du pont
Cortex d'intégration	Archéocérébelleux (lobe flocculo-nodulaire)	Paléocérébelleux (lobe ventral)	Lobe dorsal du cervelet
Noyau gris	Noyau fastigial (du faîte)	Noyaux globuleux et emboliformes (interposés)	Noyau dentelé
Destination	Bandelette longitudinale (relie les nerfs oculogyres III, IV, VI et le XI) → parfois via le noyau vestibulaire	Substance réticulée, noyaux rouges du mésencéphale, olive bulbaire → puis cortex cérébral si besoin de conscience ou moelle spinale pour posture	Noyaux rouges (vers thalamus puis cerveau) Ou olive bulbaire (vers moelle spinale)

VI. QCMs

1. A propos du cervelet :
 - A. Le cervelet est développé aux dépens du rhombencéphale.
 - B. Son rôle principal est la régulation et la coordination consciente du mouvement.
 - C. L'anatomie morphologique est calquée sur l'anatomie fonctionnelle.
 - D. Selon l'ordre phylogénique, les trois parties du cervelet arrivées successivement sont : le paléocervelet, l'archéocervelet et le néocervelet.
 - E. Toutes les propositions précédentes sont fausses.

Réponses : A

- B. Son rôle principal est la régulation et la coordination **IN**consciente du mouvement
- C. L'anatomie morphologique est différente de l'anatomie fonctionnelle.
- D. Selon l'ordre phylogénique, les trois parties du cervelet arrivées successivement sont : l'archéocervelet, le paléocervelet et le néocervelet.

2. A propos du cervelet :

- A. L'archéocervelet, le paléocervelet et le cervelet ont des fonctionnements indépendants.
- B. Toutes les voies ascendantes ne passent pas par le thalamus.
- C. La fonction principale du noyau rouge est de relever la tête, afin de redresser le corps.
- D. La motricité d'urgence emprunte le faisceau olivo-spinal.
- E. Toutes les propositions précédentes sont fausses.

Réponses : C, D

- A. Faux. Leur fonctionnement est synergique.
- B. Faux. Toutes les voies ascendantes passent par le thalamus

3. A propos du Paléocervelet et de l'archéocervelet:

- A. L'information partant de l'archéocervelet va jusqu'aux noyaux interposés via la voie vestibulo-cérébelleuse.
- B. Le paléocervelet a pour principal rôle l'équilibration.
- C. En cas de lésion du paléocervelet, on peut retrouver une danse des tendons
- D. Le polygone de sustentation peut survenir suite à une atteinte de l'archéocervelet
- E. Toutes les propositions précédentes sont fausses.

Réponse: C

- A: Faux. Les noyaux interposés appartenant au paléocervelet, on aurait dû ici parler des noyaux du faîte (=fastigiaux), relatifs à l'archéocervelet.
- B: Faux. C'est l'archéocervelet
- D: Faux. Il peut survenir également suite à une atteinte du paléocervelet

VII. Remarques Seizeur (2024)

Il y a un fonctionnement synergique dans tous les éléments du cervelet. Il est faux de dire que les hémisphères cérébelleux s'occupent du côté cinétique et le vermis du côté statique.

Schématiquement, il y a paléo, archéo et néo-cervelet qui fonctionnent ensemble.

L'anatomie fonctionnelle du cervelet est très importante pour la statique et le mouvement volontaire.

Les conséquences d'une maladie du cervelet montre à quel point c'est important. Il y a des vidéos sur le site des enseignants du collège de neurologie sur les dysfonctionnements (dyschronométrie chez une femme ayant une SEP entraîne un dysfonctionnement majeur de la motricité).

Phylogénèse: on est dans le phylogénique ici (pas phylogénétique).

Quand on décrit le cervelet, on doit parler de cortex à 3 couches et inconscient, noyaux gris du cervelet. Le cervelet est le petit cerveau de la motricité automatique avec une régulation dans le temps.

Noyaux gris centraux: régulation dans l'espace et cervelet: régulation dans le temps.

La connaissance de tous les lobules n'est pas importante à part culminale et tonsillaire pour leurs intérêts cliniques.

Quand on parle de vascularisation, les territoires vasculaires sont importants à connaître car ils sont à la base anatomique des AVC et de leurs signes neurologiques.

Il est faux de dire que le vermis ne sert qu'au statique et que les hémisphères ne servent qu'au cinétique.

Pour les 3 voies principales du cervelet, on a un rapport entre voies anatomiques et plan sémiologique.

L'oreille interne est bien le point de départ de l'archéocervelet. L'élargissement du polygone de sustentation est commun aux paléo et archéo cervelets.

Voie proprioceptive: inconsciente et régulée par le cervelet. Le néocervelet régule la motricité.

Il y a une comparaison permanente des informations initiales physiologiques par ces boucles.

Le point central de l'archéocervelet est le noyau vestibulaire qui reçoit les afférences et distribue les efférences. Il y a une synergie entre l'oculomotricité et la tête qui tourne.

Chez le caméléon l'œil fonctionne avec la langue et les yeux sont dans un plan sagittal. Il y a une évolution au cours du temps mais les faisceaux fonctionnent ensemble.

Le seul des trois cervelets qui a sa propre voie vestibulo-spinal avec la régulation d'urgence est l'archéocervelet. Le nystagmus (déviation conjuguée des yeux qui saccadent) est entraîné par le dysfonctionnement de l'archéocervelet.

Bien connaître le point d'entrée, le noyau vestibulaire et ses efférences pour les différentes fonctions.

Le paléocervelet a le même rôle: donner les éléments de l'environnement et la position dans l'espace. Il y a deux voies. Il part du lobe antérieur du cervelet vers les noyaux interposés. Dans cette voie, il y a une partie du noyaux dentelé (qui a une partie néo et paléo cervelet "*mais on s'en fiche*").

La réticulée sert à propager des informations à des vitesses différentes à chaque étage (informations douloureuses, s'endormir et se réveiller). Ce qui est ascendant va vers le noyau rouge et l'olive bulbaire pour la motricité d'urgence. S'il y a un dysfonctionnement du paléocervelet il y a un risque de chute donc la motricité d'urgence est nécessaire pour rétablir l'équilibre.

Il y a aussi une comparaison de la motricité fine par la main: ce sont des voies communes.

La danse des tendons concerne aussi les extenseurs des orteils (face dorsale des pieds): il y a une information sur la structure de l'environnement (le sol): plus c'est instable, plus il y a une danse des tendons car l'information n'est pas très nette. La régulation dans le temps est le temps de contraction musculaire: il y a en permanence contraction/ décontraction dans la danse des tendons où la régulation ne se fait pas correctement.

La fonction principale du noyau rouge est de relever la tête; le faisceau rubro-spinal permet de redresser la tête avec une impulsion sur le noyau rouge avec redressement général du corps.

Le néocervelet régule la motricité (motricité volontaire: faisceau cortico-spinal).

L'aire motrice supplémentaire est le point de départ des noyaux gris centraux mais pas du néocervelet: c'est l'ensemble du cerveau. Il y a un relais dans les noyaux du pont. Le noyau rouge permet l'automatisme du relevé de la tête.

Toutes les voies ascendantes passent par le thalamus. Quand il y a un dysfonctionnement on a des consciences même si les deux premières voies sont inconscientes. Il y a une motricité d'urgence avec le faisceau olivo-spinal.

La dyschronométrie concerne les mouvements bimanuels (marionnettes: dans un syndrome cérébelleux, une main ne fonctionne plus comme l'autre). La dysarthrie cérébelleuse est une voie tremblotante avec une difficulté de régulation antagoniste/ agoniste pour un mouvement parfait.

VIII. Remarques Seizeur (2023)

« Pas mal!!! »

Pas confusion avec la maladie de Parkinson, **ça n'a rien à voir** (le tremblement et le tonus n'ont rien avoir). → c'est complètement différent

/!\ Notion de **Supra-segmentaire** (au-dessus du cervelet ici) c'est relatif à de quoi on parle

Archéocervelet :

La boucle part de l'oreille interne et va gérer les mouvements de la tête qui, ensuite, auront une influence sur l'ensemble du corps.

A chaque fois qu'il va y avoir un relais = un **noyau** (vestibulaire et pas d'autres noyaux mais simplification), cela signifie qu'il va y avoir une intégration de plusieurs données. Ces données peuvent avoir la même origine de stimulation afin d'effectuer une synthèse.

Dans le cervelet, des noyaux profonds et du cortex sont décrits et plusieurs théories affirment qu'au niveau de l'archéo-cervelet, le noyau vestibulaire est l'unique noyau.

On remarque que si on supprime une grande partie du cervelet, (après un accident vasculaire par exemple) il ne se passe rien ou alors il y a une très bonne récupération. En revanche, si on retrouve quelques petites plaques de sclérose en plaque dans la substance blanche qui permet la connexion entre les noyaux, il va y avoir une perte de fonction majeure. Probablement que les connexions entre les noyaux sont plus importantes que les boucles qui passent par le cortex cérébelleux ou alors elles sont très bien compensées.

Les boucles ont toujours le même trajet : ça part du cortex et ça va aux noyaux profonds du cervelet et aller jusqu'à des éléments du tronc cérébral où elles vont être redispachées. Cette bandelette/tractus longitudinale

dorsale (attention aux noms donnés en fonction de la nomenclature) va servir de liens entre le III, IV, VI et le XI qui servent aux mouvements des yeux et de la tête grâce aux informations fournies par l'oreille interne. Au niveau des yeux, les muscles travaillent de manière inverse pour regarder au même endroit (pas comme le caméléon : « l'œil, la langue, CLAC, la mouche »).

La boucle d'urgence est la **voie vestibulo-spinale**.

Un **élargissement du polygone de supplantation** consiste à un écartement des jambes pour gagner en stabilité. On retrouve ce mécanisme aussi bien dans le paléo- que l'archéo-cervelet (≠ danse des tendons, uniquement dans le paléocervelet).

C'est ce qui arrive dans l'alcoolisme **aigue** qui abîme la micro-vascularisation des nerfs de manière **réversible**.

Nystagmus : mouvement conjugué des yeux dû à un dysfonctionnement de la voie cérébelleuse des nerfs oculomoteurs (peut-être physiologique)

Paléocervelet :

La **danse des tendons** apparaît suite une analyse cérébelleuse qui descelle un problème de proprioception inconsciente au niveau des extenseurs des pieds et les jambiers antérieurs. En conséquence, les orteils bougent en permanence car le système de régulation essaye de trouver le point d'équilibre qu'il ne trouve pas comme le système est pathologique (la voie dysfonctionne). En conséquence, il peut y avoir un **élargissement du polygone de supplantation**.

Lorsque l'alcoolisme est **chronique**, tout est abîmé de manière **irréversible** ce qui provoque une danse des tendons.

Néocervelet :

N'apparaît pas la voie cortico-spinale qui est indépendante du reste même si elle est à côté anatomiquement parlant. Elle est régulée par d'un côté par les noyaux centraux et par le cervelet de l'autre.

Idem, La voie d'urgence faisceau bulbo-spinal à côté du faisceau pyramidal mais indépendante. Pour la voie de l'urgence bulbo-spinale est valable pour le paléo- et le néo-cervelet, en revanche pour l'archéocervelet, la voie d'urgence correspond au faisceau vestibulo-spinal. Cela peut s'expliquer par le fait que l'archéocervelet est le plus vieux, le plus primitif, et fonctionne donc de manière totalement différente.

Il est très important d'avoir toujours des boucles d'urgence puisque les **boucles** servent à l'analyse pour que le mouvement soit fluide. Les boucles d'urgences servent en cas de dysfonctionnement pour tenter de le corriger.

Exemple : trébucher en marchant, on se rattrape la plupart du temps

Dysmétrie cérébelleuse ≠ dysmétrie d'origine proprioceptive

Les noms des lobules « on s'en fiche un petit peu »

Sur le plan sémiologique : description d'un système central et un autre hémisphérique avec ce qui est statique et ce qui est dynamique donnant par exemple un syndrome cérébelleux cinétique et un autre statique.

La réalité est entre les deux systèmes : l'anatomie descriptive a prouvé qu'il y a des liens entre des éléments du vermis et des éléments des hémisphères donc la description en 3 cervelets fonctionnels à un sens.

Néanmoins, sur le plan sémiologique, on va souvent rechercher ce qui va être d'origine **statique** : comment est-ce que je fais pour me tenir debout → il y a un peu d'archéo, de paléo et (si je bouge) de néo-cervelet

Ce qui va être d'origine **dynamique/cinétique** nécessite du statisme (il faut pouvoir tenir debout pour marcher) ce qui nécessite l'ensemble du cervelet même si le mouvement est attribuable au néocervelet. **L'ensemble fonctionne en synergie (intriqué)**.

Le point de départ n'est pas au niveau du système sensorielle mais du système **moteur** : part du cortex prémoteur (air VI-VIII). En parallèle, le **faisceau cortico-spinal** qui part de l'air IV puis va descendre dans le pont où ses fibres vont être écartées par le noyau pour finir dans la moelle spinale sans avoir de synapses. Anatomiquement, les 2 voies sont proches mais aucun lien entre elles n'a été démontré pour le moment. La motricité volontaire est une voie bi-neuronale : 1 neurone central et un autre périphérique. Une boucle fermée : le pont, le cervelet, le noyau rouge et comme toutes les voies qui remontent au cortex, va au thalamus pour revenir au cortex. Son rôle est d'indiqué que « le mouvement souhaité va être fait correctement » à la fois bi-manuel/bi-latéral et dans l'organisation de la contraction musculaire. En parallèle, il y a la voie ouverte d'urgence qui **bulbo-spinale**.

Elements principaux de l'examen du néo-cervelet :

Dysmétrie ou **dyschronométrie** (chronos = temps, temps de contraction des muscles pour faire l'action correctement)

Adiadococinésie : incoordination entre le côté droite et le gauche visible (Marionette : un main finit par « faiblir »)

