

UE 20 SYSTÈME NEUROSENSORIEL ET PSYCHIATRIE**ENSEIGNANT : Mme LE BON-JEGO****DATE : 16/09/2024****GROUPE : Léa ANSALDI, Alexis LE ROUX, Youn TANGUY****REMARQUES : Prof différent, cependant quasi aucune modif.**

NEUROPHYSIOLOGIE CENTRALE (PARTIE 1)

Table des matières

PARTIE I : SYSTÈME NERVEUX

I) Définition et fonctions	4
II) Organisation générale	4
III) Le système nerveux central (SNC)	5
A) La moelle épinière (spinale)	
B) Le cervelet	
C) Le tronc cérébral	
D) Le diencephale	
1) Le thalamus = 80% du diencephale	7
2) L'hypothalamus (régulation du SNA)	8
E) Le télencéphale et ses hémisphères cérébraux	
IV) Le cortex	8
A) Généralités	
B) Exploration fonctionnelle du cortex : électroencéphalogramme	
C) Anomalies de l'EEG	
1) Coma	
2) Epilepsie	

PARTIE II : TRAITEMENT SENSORIEL

I) Système et cortex somesthésiques	16
A) Le système somesthésique	
B) Le cortex somesthésique	
1) Généralités : somatotopie	

- 2) Plasticité des aires
- 3) Transmission de l'information
- 4) Troubles lésionnels

Partie 1 : Système nerveux

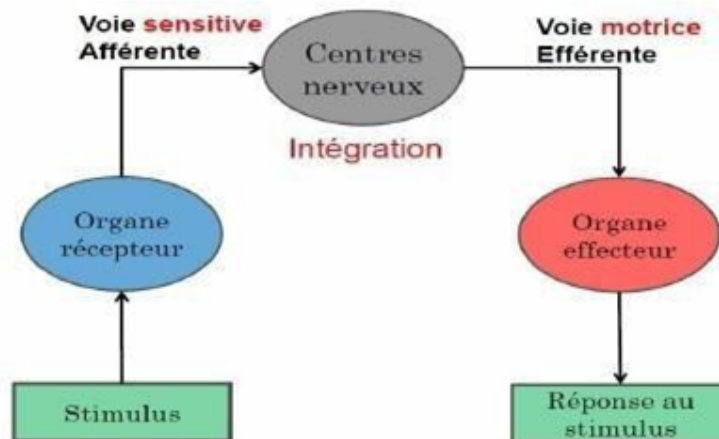
I – Définition et fonctions

Le système nerveux est le centre de régulation et de communication de l'organisme. Il régule notamment le système endocrinien.

Il possède trois fonctions :

- **sensitive** : détection de l'information par des récepteurs (spécifiques à un type de stimulus)
- **intégration** : traitement des informations reçues au niveau central
- **motrice** : réponses réflexes ou volontaires, adaptées

Parfois il y a un mélange avec des automatismes ne relevant pas des réflexes mais associables à des commandes volontaires ; c'est l'exemple des doubles tâches motrices : marcher et parler en même temps ☐ dans ce cas le système nerveux central en régule l'efficacité



Un stimulus de départ (physique, mécanique, chimique) est détecté par des récepteurs spécialisés : il y a déjà une conversion du message en signal électrique par le moyen de potentiels d'action (PA = seul moyen pour transcrire ces messages). C'est donc un premier niveau de transduction. Puis le message est véhiculé par les voies afférentes jusqu'au centre nerveux pour l'intégration, avec pour conséquence l'émission d'une commande motrice efférente jusqu'à l'organe effecteur (ex. : muscle strié squelettique dans le cas d'une unité motrice). Enfin, il y a une réponse au stimulus. Il existe donc plusieurs niveaux de transduction.

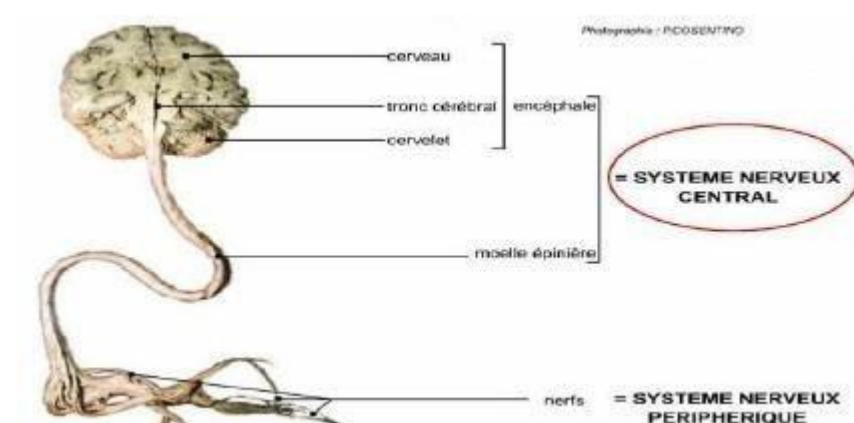
L'intégration permet d'avoir la réponse la plus adaptée possible à chaque fois.

△ Il y a des réflexes qui peuvent nous paraître inadaptés, mais qui sont cependant adaptés.

II – Organisation générale

Le système nerveux est divisé en deux grandes parties :

- le **système nerveux central** (SNC = névraxe), composé de la moelle épinière (spinale), et de l'encéphale, lui-même composé de trois parties : cerveau (télencéphale + diencephale), tronc cérébral et cervelet.
- le **système nerveux périphérique** (SNP) qui comprend le système nerveux autonome et le système nerveux somatique dans lesquels on va retrouver les nerfs sensitifs, moteurs, mixtes ou triples (sensitif, moteur, somatique). On a des racines nerveuses qui sortent de la moelle spinale pour donner des troncs nerveux, puis des nerfs et enfin des radicelles. Les atteintes du SNC et SNP vont provoquer des symptômes différents.



III – Le système nerveux central (SNC)

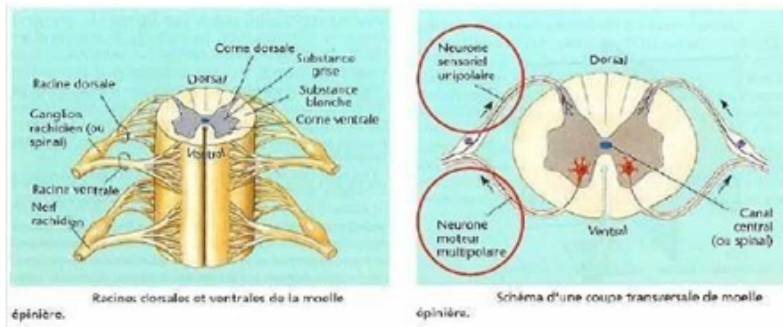
Le système nerveux central est le siège de noyaux et de faisceaux.

- **Noyau** = ensemble fonctionnel de neurones anatomiquement distincts, relais d'un certain nombre de voies se distribuant en faisceaux. Ils ont en général une fonction particulière.
- **Faisceau** : rassemblement de prolongements nerveux (axones) ayant un trajet commun (origine et destination commune) même s'ils n'ont pas de fonctions communes. Faisceau moteur principal = faisceau pyramidal. Noyaux et faisceaux peuvent être moteurs ou sensitifs.

A) La moelle épinière (spinale)

La moelle épinière est protégée par le rachis. On dénombre **31 paires** de nerfs spinaux, avec la présence de noyaux sensitifs et moteurs.

- **noyaux sensitifs** pour les voies ascendantes sensorielles (passant par la racine dorsale) depuis les muscles, tendons, articulation et la peau.
- **noyaux moteurs** pour les voies descendantes motrices (passant par la racine ventrale) via des motoneurones et interneurones, pour rejoindre les muscles et les viscères. Elle innerve l'ensemble des muscles striés squelettiques et des viscères.

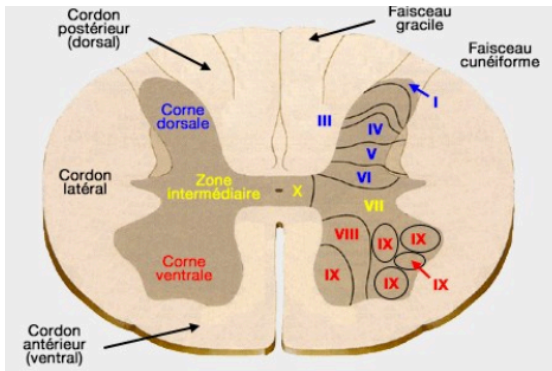


Elle a un rôle essentiellement **réflexe** : premier niveau de modulation de la réponse.

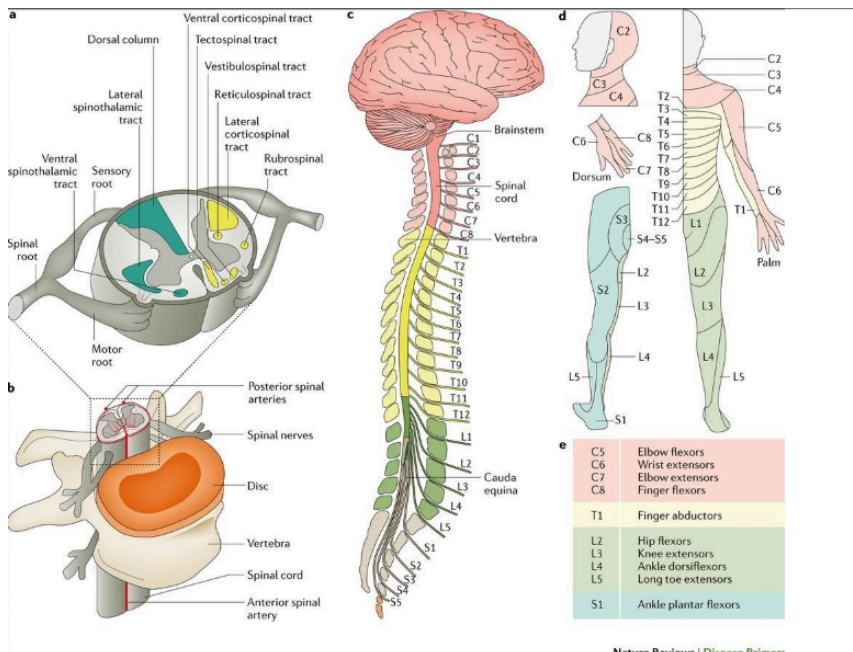
☒ cf Neurophysiologie de la motricité

⚠ Attention, un nerf moteur ne produit pas forcément une action de motricité (action motrice) !

Racines dorsales sensibles et racine ventrales motrices.

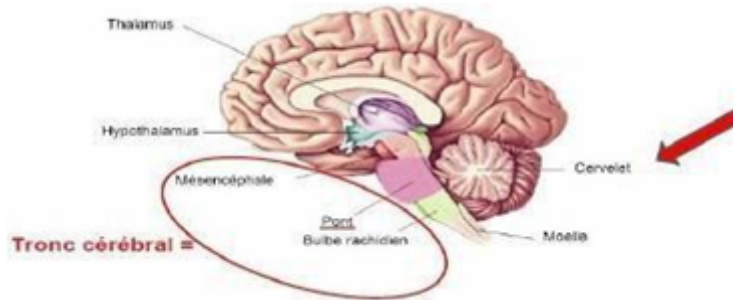


Noyaux et couches (laminae) de la substance grise de la ME		
REGION	NOYAUX	LAMINAE DE REXED
Corne dorsale	Zone marginale	I
Corne dorsale	Substantia gelatinosa	II
Corne dorsale	Nucleus proprius	III, IV
Corne dorsale	Base de la corne dorsale	V, VI
Zone intermédiaire	Noyau de Clarke, noyau intermédial	VII
Corne ventrale	Noyau commissural	VIII
Corne ventrale	Noyaux moteurs	IX
Substance grise péri-canaire	Grisea centralis	X



B) Le cervelet

Au-dessus de la moelle spinale se trouve l'encéphale. En arrière du pont et de la moelle allongée (bulbe rachidien), le cervelet joue un rôle majeur dans le **contrôle** de la motricité volontaire, sa répartition en temporalité et l'**équilibre**. Il joue également un rôle prédominant dans la **coordination**. Il est difficile à examiner au scanner, il est donc difficile de diagnostiquer des AVC du cervelet. Une petite tumeur à cet endroit du système nerveux aura des répercussions sur toutes les voies sensibles et motrices passant par là.



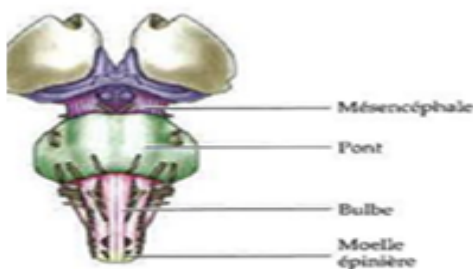
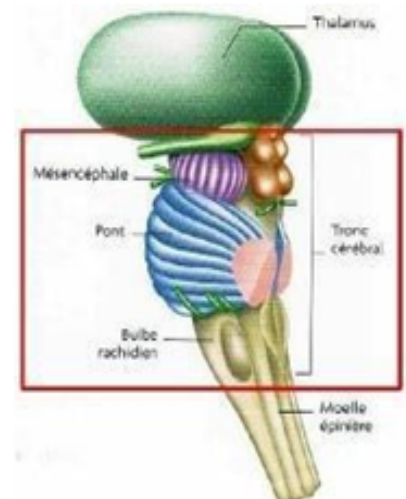
C) Le tronc cérébral (TC)

Le tronc cérébral est constitué du mésencéphale, du pont et du bulbe rachidien (moelle allongée). Il a un rôle important de **relai**. +++

(lieu où circule du LCR qui peut causer des hydrocéphalie. Les tumeurs localisées à cet endroit peuvent comprimer les neurones)

Il contient de nombreux noyaux et faisceaux des voies sensibles et motrices :

- noyaux de relais des voies sensitives : noyau gracile et noyau cunéiforme
- noyaux d'origine des voies motrices extrapyramidales (motricité de suppléance par rapport à la voie pyramidale qui est volontaire au niveau du cortex) : voies rubro-spinale, vestibulo-spinale, réticulo-spinale, tecto-spinale et, olivo-spinale.
- noyaux des paires crâniennes sensitifs et moteurs (sauf pour les nerfs I et II)



Vue ventrale du tronc cérébral



coupe sagittale du tronc cérébral et du cervelet

D) Le diencephale

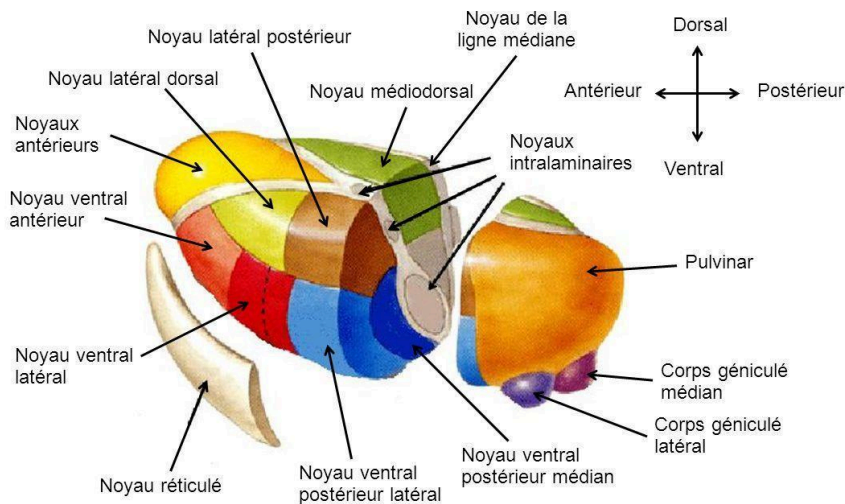
Il est surtout constitué du thalamus et de l'hypothalamus.

1) Le thalamus = 80% du diencephale

C'est au niveau du thalamus qu'il existe un **relai +++** de presque toutes les informations, qu'elles soient ascendantes ou descendantes. Il joue un rôle essentiel dans la sensibilité, la motricité, la vigilance, l'humeur et la mémoire (pas l'olfaction !). Il a donc un rôle plexiforme. Les atteintes du thalamus sont en général gravissimes.

On retrouve dans le thalamus sept groupes de **noyaux** (*ne pas les savoir par cœur*) :

- antérieur : noyaux antérieurs
- médial (dorso-médial)
- latéral :
 - noyaux dorsaux : latéral, postérieur
 - noyaux ventraux : antérieur, latéral, postéro-latéral, postéro-médian
- pulvinar : noyau associatif, corps géniculé latéral et médial
- complexe postérieur (noyaux intra-laminaires)
- noyau de la ligne médiane
- noyau réticulé



⚠ Attention, les orientations ventrale et dorsale dépendent de l'organe et non de l'individu ; ici dorsal est en haut et ventral est en bas.

À retenir : **le thalamus est presque constitué uniquement de noyaux**. Il a un rôle essentiel de relais ++

2) L'hypothalamus (régulation du SNA)

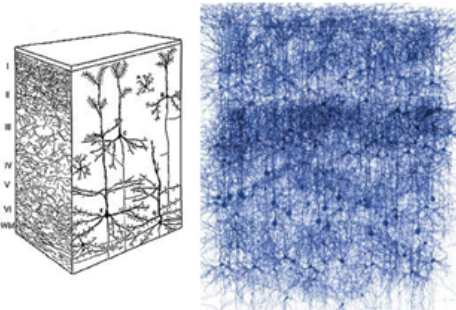
L'hypothalamus est le centre intégrateur du système nerveux autonome (SNA).

- régulation majeure des fonctions végétatives : **homéostasie** du corps (respiration, circulation, sécrétions glandulaires, digestion, thermorégulation...)
- connecté à une partie du cortex cérébral et au **système limbique** : mémoire, régulation des émotions, comportements complexes : comportements moteurs ou stimulations sensorielles dont la perception va être modulée par notre vécu, mémoire, émotions
- centre de régulation du **stress**

E) Le télencéphale et ses hémisphères cérébraux

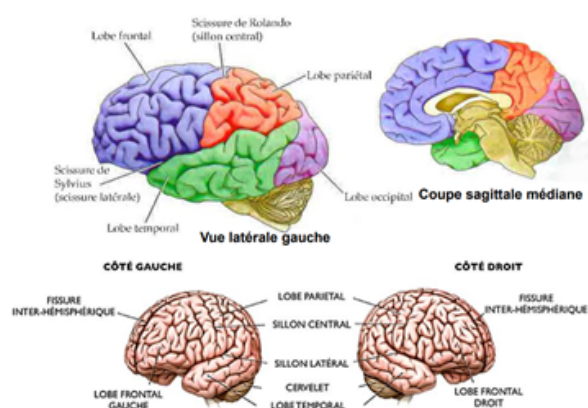
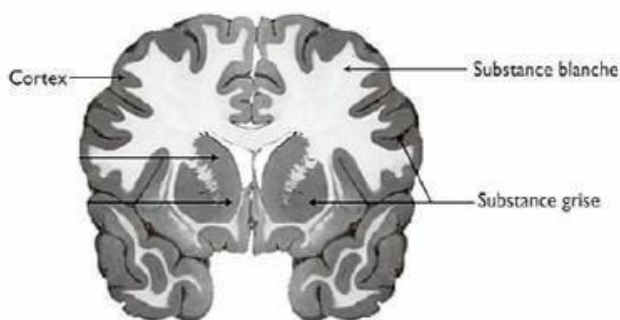
Le télencéphale est constitué de deux hémisphères volumineux séparés par le sillon inter-hémisphérique et dont les circonvolutions ne sont pas exactement symétriques.

Il est constitué de **quatre lobes externes** et d'un **cinquième lobe profond**, l'insula (représentation de la douleur et composantes émotionnelles de la douleur pour l'individu, observable en écartant les lobes frontaux et pariétaux).



IV – Le cortex

A) Généralités



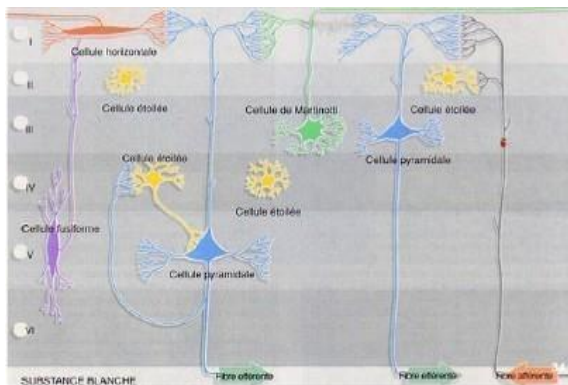
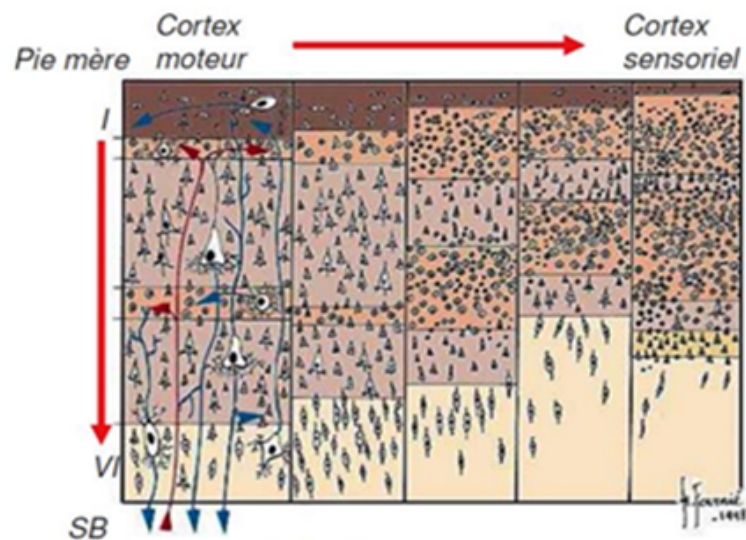
Le cortex est un manteau de substance grise qui enveloppe les hémisphères, d'une épaisseur de 2 à 4 mm. Des ponts de substance blanche permettant la liaison entre les hémisphères, dont le **corps calleux**, permettant une coordination entre la droite et la gauche.

Le cortex est constitué d'une multitude d'enchaînements de cellules.

Il s'agit de cellules spécialisées, réparties dans les six couches variables selon la zone corticale, mais toujours dans le même sens. Ces couches permettent d'amplifier les connexions entre les neurones.

On dénombre six couches de la surface à la profondeur : *(ne pas apprendre)*

- 1. Couche moléculaire : cellules horizontales de Cajal
- 2. **Couche étoilée** ou granulaire **externe** : cellules étoilées (réception) +++
- 3. **Couche pyramidale externe** (voies effectrices motrices) : cellules pyramidales (motricité) +++
- 4. **Couche étoilée** ou granulaire **interne** : cellules étoilées
- 5. **Couche pyramidale interne** (ganglionnaire) : très grandes cellules pyramidales
- 6. Couche fusiforme polymorphe (différents types cellulaires)



-Les neurones du cortex sont donc interconnectés et organisés en colonnes. Les cellules du cortex se prolonge par des axones qui vont constituer la substance blanche et se diriger vers :

- ° d'autres aires cérébrales
- ° vers les noyaux gris centraux
- ° ou vers le tronc cérébral

Dans le cortex il existe de très nombreux interneurones → multiples connexions à très courtes distances entre les cellules

Cortex = $27 \cdot 10^9$ neurones et $400 \cdot 10^6$ synapses /mm³

Il n'y a pas la même proportion de cellules pyramidales dans une zone motrice par rapport à une zone somesthésique. Les **cellules étoilées** sont des cellules **réceptrices** de l'information (sensitives, voies afférentes) et principalement **reliées au cortex sensoriel** tandis que les **cellules pyramidales** sont des **effectrices** (zones motrices, voies efférentes) principalement **reliées au cortex moteur**. Ces six couches dépendent donc de leur composition en cellules qui donne leur fonction.

Les cellules ne sont pas identiquement réparties en nombre et en épaisseur sur l'ensemble du cortex. C'est ainsi que l'on a pu distinguer les **aires corticales** différentes entre elles par leur composition **cyto-architecturale (c'est-à-dire en cellule)**.

⚠ Attention, il y a tout de même des cellules pyramidales dans le cortex sensitif ; ce qui est variable c'est bien l'épaisseur des couches et la densité en cellule de celles-ci.

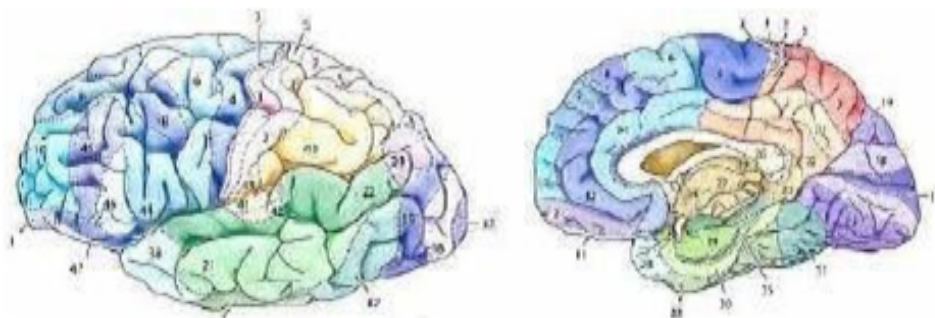
Il existe un réseau très dense de neurones et une organisation **en colonne** perpendiculaire à la surface. Les cellules des six couches sont **interconnectées** et permettent une transmission verticale de l'information. On peut parler de cortex moteur et sensitif (et non de couche) car les six couches ne sont pas identiques sur tout le cortex : cela dépendra de la fonction motrice ou sensitive du cortex. C'est donc un ensemble de couches qui détermine la fonction motrice ou sensitive du cortex.

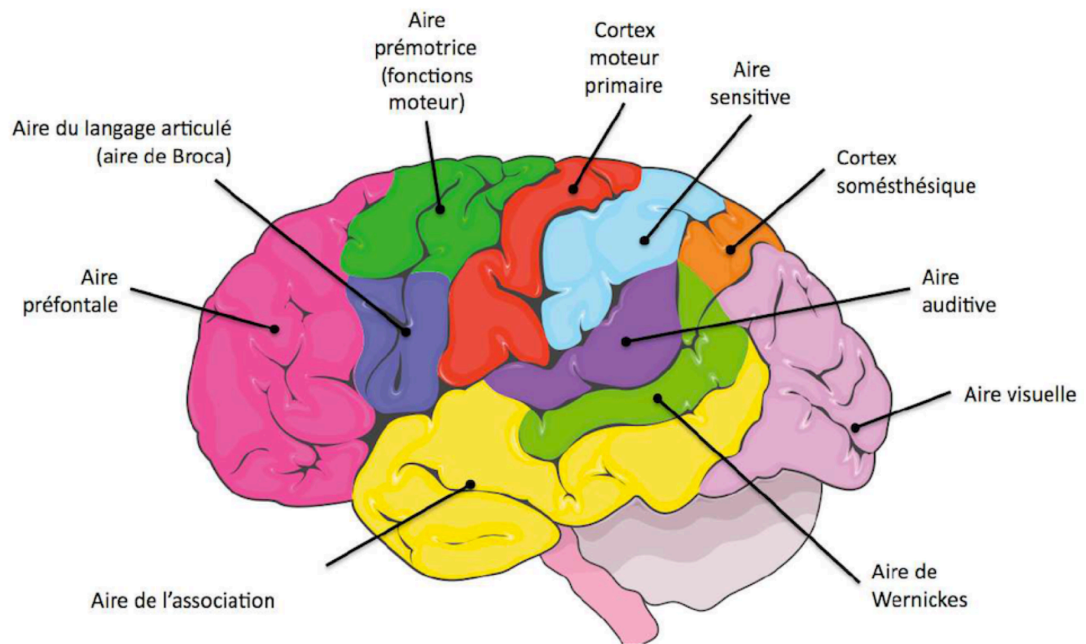
Les neurones du cortex sont prolongés par des axones (substance blanche) et dirigés vers d'autres zones cérébrales, vers les noyaux gris centraux et le tronc cérébral.

Dans le cortex (comme dans la moelle spinale), il existe de nombreux interneurones permettant des **connexions de proximité ultra-courte** et donc un mécanisme de régulation à tous les niveaux. Ces interneurones assurent le traitement et la sélection de l'information ;

On recense un nombre phénoménal de neurones et de synapses. Dans 1 mm³ il y a plus de 1 milliard de synapses.

Schéma à apprendre





Il existe de nombreuses aires fonctionnelles correspondant aux grandes fonctions de l'organisme. On parle d'aires de projection corticale, dont on a pu établir une cartographie. Elles sont disposées de façon identique chez l'humain (mais malgré ces constantes il existe une certaine plasticité).

- Lobe **occipital** : vision
- Lobe **temporal** : audition
- Lobe **pariétal** : toucher
- Creux du lobe **pariétal** et **proche temporal** : goût
- Creux du **lobe temporal** : odorat

Ces aires sont en relation les unes avec les autres et sont plus ou moins développées selon l'histoire du sujet. Elles sont en relation mais diffèrent parfois chez les sujets en fonction de leur vécu.

On distingue principalement :

- Les **aires sensorielles primaires**, recevant du thalamus des informations visuelles, auditives et sensitives (pas olfactives) = 1^{er} niveau de réception de l'info ☐ **pas d'intégration**
- Les **aires sensorielles associatives (ou secondaires)**, aires responsables des processus élaborés et complexes des fonctions cérébrales ☐ **intégration** et connexion avec les aires primaires

À côté de ces aires sensorielles se trouvent les aires motrices qui envoient des réponses post-intégration sur plan moteur, efférentes.

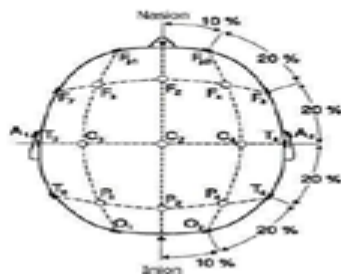
Le cortex fonctionne en sous-systèmes spécifiques traitant des informations spécifiques. Ces sous-systèmes sont reliés entre eux, permettant de traiter les informations en parallèle (intégration plus importante). Les interneurons servent de relai pour filtrer et affiner l'information ; ils sont par exemple activateurs ou inhibiteurs.

Le transfert d'informations entre les hémisphères se fait via le corps calleux. On a une organisation en **boucles** (rétro-actions) et en **réseaux**. Pour une même action, plusieurs structures du cerveau coopèrent afin de permettre un mouvement complexe, coordonné et adapté à la situation.

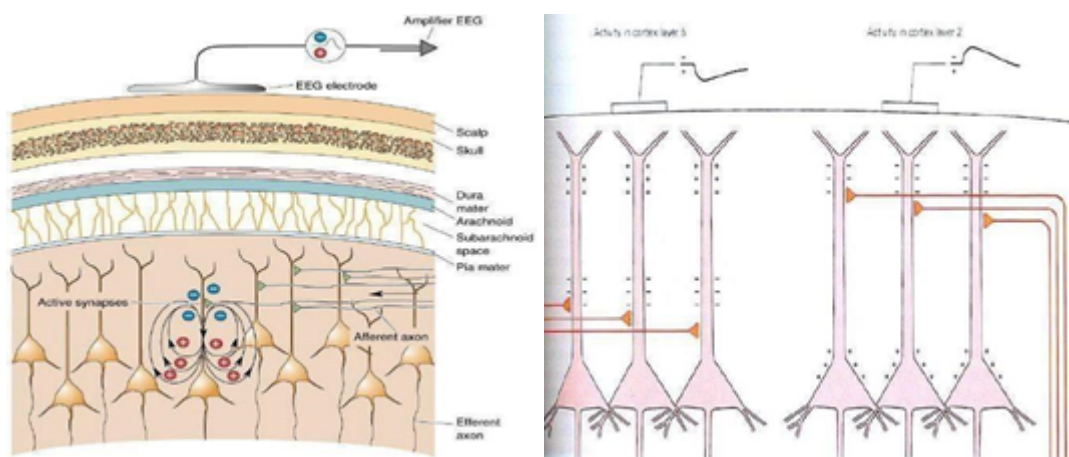
B) Exploration fonctionnelle du cortex : électroencéphalogramme

L'électroencéphalogramme (EEG) est une technique non invasive qui fonctionne très bien chez l'Homme, mise au point en 1930 et appliquée à la médecine depuis 1950. Il s'agit de poser 21 électrodes sur le cuir chevelu à des zones précisément délimitées et d'appliquer un gel de contact. Cela permet l'enregistrement et l'amplification de l'**activité électrique spontanée** du cerveau .

Sites d'enregistrement



Lors d'un EEG, on enregistre l'**électrogénèse cérébrale** principalement due au courant électrique produit par l'activité des **connexions synaptiques** +++ mais aussi par les potentiels d'action et les contacts neuronaux intrinsèques. Les signaux captés proviennent surtout des cellules pyramidales. +++



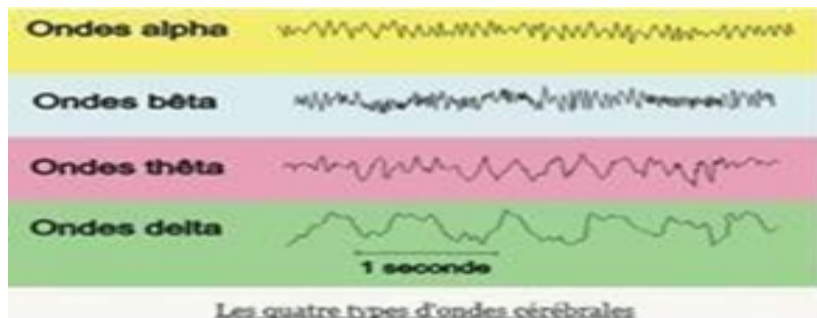
On observe alors :

- Une **onde positive** à la surface du cortex correspond à une **dépolarisation** dans la profondeur
- Une **onde négative** en surface correspond soit à une hyperpolarisation profonde.

Le cortex produit des ondes électromagnétiques de faible amplitude. Une fois **amplifiés** et filtrés, les signaux de l'EEG sont convertis en signal numérique.

Il existe quatre types d'ondes enregistrées ; à chacune correspond un état d'éveil du sujet :

- **Alpha** : fréquences entre 8 et 12 Hz = adulte au repos les **yeux fermés** (vigilance conservée)
 - **Bêta** : fréquences > 12 Hz = yeux ouverts, **tâches quotidiennes** (les plus fréquentes)
 - **Thêta** : fréquences entre 4 et 8 Hz = **sommeil léger**, effets de l'hypnose ou de certaines drogues
 - **Delta** : fréquences < 4 Hz = **sommeil profond** et paradoxal (rêves), ou jeune enfant éveillé
- +++



Ces ondes différentes en termes d'amplitude et de fréquence (nombre de déflexions positives et négatives par seconde en Hz). Elles ne sont pas réparties identiquement sur tout le cortex, il y a une **prédominance** selon le type pour certaines **topographies**. Les ondes émises dépendent donc de l'état du sujet (éveil/sommeil) et de son **activité**. Plus le niveau de vigilance est élevé, plus la fréquence des PA est élevée est l'amplitude est basse. Les rythmes cérébraux varient avec l'âge, ils sont définitifs vers 9-10 ans.

Rythme	Fréquence	Amplitude	Localisation	Corrélat
Delta	< 4Hz	>30 uV	Antérieur, diffus	Sommeil lent profond
Theta	4 – 7 Hz	20 uV	Centro-temporal	Sommeil léger
Alpha	8 – 12 Hz	30 uV	Postérieur	Veille calme
Beta	15-30 Hz	<20 uV	Antérieur et moyen	Veille active

Ne pas connaître par cœur les situations topographiques, savoir que ce n'est pas uniforme sur l'ensemble du cerveau, qu'il y a une répartition sur l'ensemble du cortex.

L'amplitude est inversement proportionnelle à la fréquence. Les ondes delta sont caractéristiques du sommeil profond. ++ Si on observe des ondes delta en dehors du sommeil profond, c'est qu'il y a une souffrance quelque part.

L'enregistrement se fait dans des conditions standardisées, pendant 20 à 30 minutes dans une pièce calme et climatisée (sans variation de température). Le sujet est éveillé, au repos et détendu, les yeux fermés. Cela permet l'obtention d'un tracé de base. Après cela, on modifie ce tracé grâce à des **perturbations du rythme de base**.

Deux types d'activation sont utilisées systématiquement pour modifier le milieu :

- L'**hyperpnée** qui sensibilise l'EEG : son objectif est de rechercher une modification du rythme de base, une accentuation d'anomalies préexistantes (activité plus importante sous une électrode qu'une autre) ou de nouvelles anomalies.

☒ permet de révéler un rythme qui n'arriverait pas en temps normal

- La **stimulation lumineuse intermittente** : son objectif est de rechercher une photosensibilité caractéristique de certains syndromes épileptiques.

Comme sur Netflix « attention certaines scènes peuvent avoir un effet stroboscopique » // stimulation nerveuse intermittente

Intérêt : détecter des signes de souffrance corticale ou cérébrale

Entouré en rouge : foyer épileptique

C) Anomalies de l'EEG

Elles sont **permanentes ou transitoires**, et/ou présence de figures anormales d'où le besoin de les faire apparaître par stimulation. Elles concernent :

- des modifications de fréquence permanentes (sur le tracé de base) ou transitoires du tracé et/ou présence de figures anormales

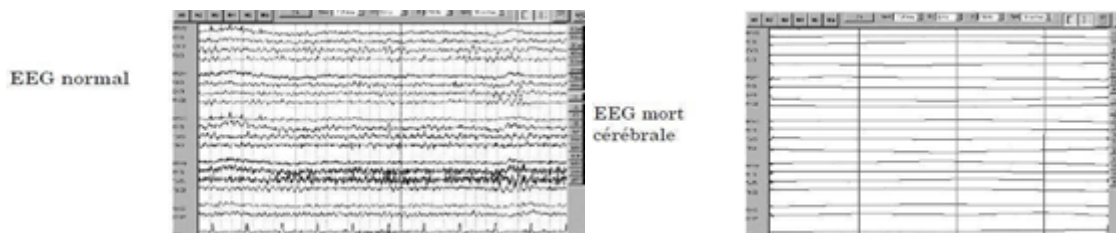
Les rythmes delta sont pathologiques chez l'adulte éveillé et permettent de suivre l'évolution d'une souffrance cérébrale.

- des modifications de l'amplitude permanentes (sur le tracé de base) ou transitoires
- des figures anormales
- des ondes lentes traduisant le plus souvent une « souffrance cérébrale » (générale ou localisée type tumeur)

Les rythmes delta sont pathologiques chez le sujet adulte éveillé et permettent de suivre l'évolution d'une souffrance cérébrale. +++

L'absence d'activité électrique décelable ou « **silence électrique** » signe l'arrêt des processus biologiques des neurones. Un tel aspect généralisé et persistant se constate dans la **mort encéphalique** avec un tracé horizontal (cellules mortes).

⚠ En temps normal, l'activité électrique est toujours présente alors que pour l'EMG il faut la stimuler (car c'est pathologique si elle est présente tout le temps)



1) Coma

Lors d'un **coma**, le rythme alpha, élément dominant du tracé de veille, disparaît au cours de la somnolence ou du pré coma : comme d'ailleurs lors des réactions d'attention ou d'orientation (vigilance accrue). On a donc une diminution des rythmes normaux, c'est-à-dire une diminution de l'activité électrique des neurones du cortex.

La mort encéphalique est un prérequis pour le prélèvement d'organes (greffe/transplantation).

Les états de coma sont divisés en 4 stades : (au fur et à mesure, disparition des rythmes typiques de l'état de veille

- **1 = coma léger ou coma vigile** → le rythme alpha disparaît mais se réorganise facilement lors de stimulations du sujet, état d'éveil diminué mais qu'on peut remobiliser lors de stimulations.
- **2 = coma réactif** → le tracé est occupé par des rythmes lents delta et les ondes thêta sont modifiées.
- **3** → **les rythmes lents persistent (ondes delta)**, ils sont plus lents et sont non sensibles aux stimulations.
- **4 = tracé nul** → on ne recueille plus d'activité électrique, mort cérébrale.

Cliniquement, on utilise le score de Glasgow qui s'appuie sur les réponses verbales, motrices et l'ouverture des yeux et va de 3 à 15.

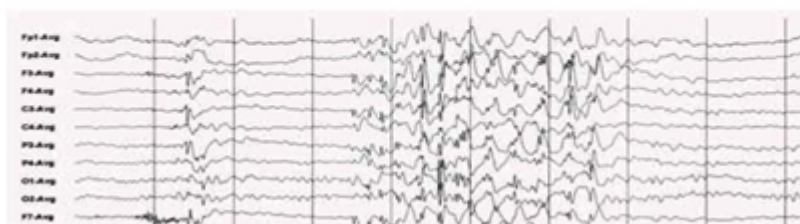
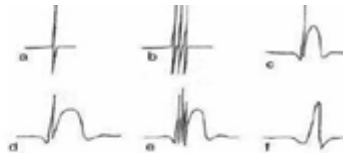
2) Tumeurs

Modifications localisées de l'activité qui est en général ralentie de façon plus ou moins importante au niveau de la lésion.

3) Épilepsie

L'épilepsie est recherchée par la stimulation lumineuse intermittente.

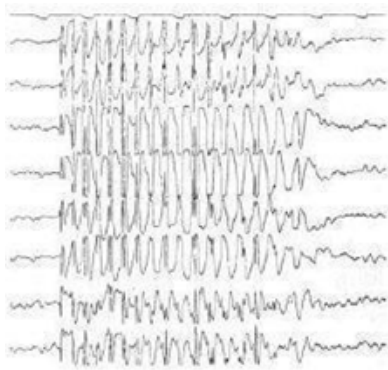
- a) Pointe diphasique
- b) Polypointes
- c et d) Pointe onde
- e) Polypointe-onde
- f) Pointe lente



EEG d'une crise d'épilepsie généralisée

- **épilepsie généralisée tonico-clonique** : **activité rapide, de bas voltage et d'amplitude croissante** lors de la phase tonique. (Crise de grand mal, convulsion et chute puis phase de relâchement, absence de mémorisation de la crise. Il y a des contractions musculaires si puissantes qu'elles peuvent provoquer des luxations). Puis surviennent des **polypointes-ondes** progressivement ralenties pendant la phase clonique en grande partie masquées par des artéfacts musculaires. En phase post-critique, les ondes lentes s'installent progressivement et peuvent persister plusieurs heures voire plusieurs jours. Même un EEG à distance de la crise peut donc révéler des signes évocateurs.

1^{er} rythme : normal puis BROUILLON : diagnostic



- **épilepsie généralisée type absence** : il y a une **décharge bilatérale**, synchrone et symétrique de pointes-ondes à 3Hz, **de début et fin brusques**, interrompant un tracé normal. Le sujet déconnecte soudainement. Il peut y avoir des activations de zones qui n'ont rien à voir avec des zones motrices, de type sensoriel.

- **épilepsie avec crises focales** : on assiste à une activité rapide de très faible voltage donnant l'apparence d'un aplatissement transitoire plus ou moins focalisé selon l'origine de la décharge. Cela est suivi d'une décharge d'amplitude progressivement croissante de pointes-ondes et d'ondes lentes de terminaison brutale. Touche une zone corticale en particulier.

L'EEG est un examen de routine, de diagnostic et de suivi.

PARTIE II : Traitement sensoriel

I – Système et cortex somesthésiques

Le schéma général est toujours le même, il est à comprendre +++

A) Le système somesthésique

Au départ, on a un stimulus dont les caractéristiques sont reconnues par un type de récepteur spécifique donnant une réponse stéréotypée à cette stimulation. Ce récepteur réagit à partir d'un certain degré d'excitation (pas une réponse en tout ou rien comme

l'axone : **seuil d'excitabilité**) puis il répond toujours par la production d'un PA. Il y a un courant de dépolarisation (déplacement des charges électriques donc des électrons. Les déplacements ioniques provoquent des déplacements d'électrons). Le récepteur est soit un canal ionique soit est couplé à un canal ionique.

Ce PA est toujours sous-tendu par un courant de dépolarisation.

Le premier message est toujours le 1^{er} niveau de transduction venant du récepteur, puis il y a une transmission du signal électrique vers les centres.

Le système somesthésique est le plus diversifié des systèmes sensoriels. C'est le système de la sensibilité somatique. Il comprend un grand nombre de stimulus possibles : le toucher, la pression, la vibration, la position des membres, le froid et chaud, la nociception.

△ Nociception : sensation somesthésique. Douleur : perception de cette nociception

NB : La perception de la douleur peut passer par des voies spécifiques ou non spécifiques ; si on la stimule intensément (ex : main dans des glaçons ou au-dessus d'un brasier), on aura la même sensation de douleur, de brûlure.

En pathologie, parfois certains patients ne savent pas où sont placés leurs membres.

Il existe trois sortes de sensibilités :

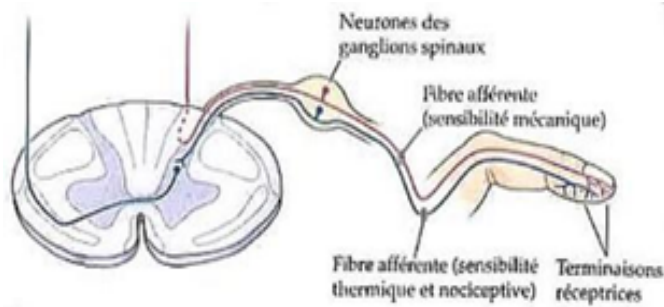
- **extéroceptive** (en contact avec l'extérieur : tact, pression, vibration)
- **proprioceptive** (des muscles, articulations)
- **intéroceptive** (vient de l'ensemble des organes, viscérale, à point de départ surtout du tube digestif, de l'appareil génital, des appareils respiratoire et circulatoire)

☑ On a des informations qui viennent de partout ; il faut donc un système intégrateur car cette somme d'informations ne peut pas être gérée consciemment.

Propriétés des fibres somesthésiques : Les terminaisons des fibres afférentes (récepteur) peuvent être **libres** (nociception et douleur) ou **encapsulées** par des cellules spécialisées, notamment des mécanorécepteurs cutanés pour le tact (pression, vibration, déformation du revêtement cutané), donnant une réponse caractéristique selon la stimulation et l'endroit.

Des caractéristiques conditionnent les propriétés des PA envoyés :

- **diamètre** des axones (conditionnant la vitesse, fréquence des PA. Plus il est grand, plus la vitesse de conduction est élevée)
- **taille des champs récepteurs** (Plus il est large, moins il est précis. Il y a une différence entre la discrimination, la perception somesthésique et le champ cutané du récepteur)
- **adaptation lente ou rapide** (stimulation durable dans le temps ou non)



Le système somesthésique part de la périphérie (**SNP**) :

Le départ est au niveau du récepteur puis les fibres afférentes remontent dans la racine dorsale au niveau du nerf spinal. Le corps cellulaire du premier neurone se trouve dans le ganglion spinal puis la voie monte de façon homolatérale pour un stimulus mécanique et de façon contralatérale pour un stimulus thermoalgique (décussation) ☒ en pathologie, on a un croisement, des hypoesthésies.

- Terminaisons réceptrices : peau, muscles, entourées d'une capsule ou non
- Terminaisons synaptiques à différentes hauteurs de la moelle spinale, même côté ou contralatéral (entrée dans le SNC)

En général **3 neurones conduisent l'influx nerveux +++** :

- Neurone de 1^{ère} ordre (protoneurone) : depuis les récepteurs vers la corne postérieure de la moelle spinale où ils font synapse avec les deutoneurones de la substance grise spinale. Leur corps neuronal est dans le ganglion.
- Neurone de 2^{ème} ordre (deutoneurone) : synapse dans la substance grise de la moelle spinale puis voie ascendante spino-thalamique
- Neurone de 3^{ème} ordre : transmission thalamo-corticale.

Les mécanorécepteurs tactiles (en réalité pas uniquement du tact) sont retrouvés surtout dans la peau glabre de la main (paume + bout des doigts).

Ils permettent une sensibilité complémentaire : on peut reconnaître dans l'obscurité ce qu'on tient dans la main, en pathologie cela n'est pas toujours possible.

(Certains récepteurs répondent de façon discontinue en on/off et d'autres ont une stimulation continue tant que dure la stimulation).

voie lemniscale ++ :

médiation du tact fin (épicritique), de la proprioception (arthrokinésie et pallesthésie) et de la stéréognosie

le protoneurone fait synapse avec le deutoneurone fond les noyaux dédiés à la base du bulbe (gracile et cunéiforme)

décusse au lemnisque médian, dans le bulbe (base du tronc cérébral)

cordons postérieurs

	Merkel	Meissner	Pacini	Ruffini
Proportion	25%	40%	15%	20%
Champ récepteur	Étroit 9mm ²	Étroit 22mm ²	Étendu Doigt entier	Étendu 60mm ²
Stimuli efficaces	Bords, coins, points, courbes	Déplacement de la peau	vibration	Étirement de la peau
Contribution à la sensibilité somatique	Forme et texture des objets	Vibration basse fréquence (3-40Hz). Glissement des objets/saisie	Vibration haute fréquence (250-350Hz) Tenue des outils de précision	Mouvement des doigts et des membres

voie spino-thalamique ++ :

- passe en fait aussi par le lemnisque, mais il n’y décusse pas
- synapse I-II à chaque métamère (apex de la corne dorsale)
- médiation de la sensibilité protopathique (tact grossier et thermoalgique)
- décusse à chaque membrane (commissure grise ventrale)
- cordon antéro latéro

Champ étroit = plus grande précision


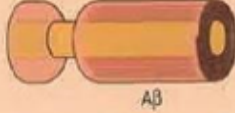


☑ *Retenir qu’il y a différentes terminaisons et qu’elles apprécient des stimuli différents.*

Mécanorécepteurs proprioceptifs : système musculo-squelettique

Ce n’est pas une sensation consciente ; on n’a pas conscience de la longueur de nos muscles mais on sait normalement s’ils sont fléchis, si on est debout, dans quel sens on va diriger notre mouvement.

	Terminaisons primaires; Fibres afférentes du groupe Ia	Terminaisons secondaires: fibres afférentes du groupe II	Mécanorécepteurs de bas seuil:=organes tendineux de Golgi:fibres afférentes du groupe Ib
site	Fibre musculaire intrafusale	Fibre musculaire intrafusale	tendons
stimuli	Changement de longueur du muscle	Émission continue à des longueurs constantes du muscle	Changement de tensions
informations	Dynamique des membres. Vitesse et direction du mouvement	Position statique des membres	

Fibres somesthésiques afférentes :

Fibres somesthésiques afférentes				
Fonction sensorielle	Type de récepteur	Catégorie de fibre*	Diamètre de l'axone	Vitesse de conduction
Proprioception	Fuseau neuromusculaire	 Ia, II	13-20 μm	80-120 m/s
Toucher	Corpuscules de Merkel, Meissner, Pacini et Ruffini	 A β	9-12 μm	35-75 m
Douleur, température	Terminaisons nerveuses libres	 A δ	1-5 μm	5-30 m/s
Douleur, température, démangeaison	Terminaisons nerveuses libres	 C	0,2-1,5 μm	0,5-2 m/s

Dans la proprioception on voit que la vitesse de conduction est la plus rapide (1a et 2 : plus gros diamètre, vitesse de 100 m/s soit 400 km/H) et pour la nociception c'est beaucoup plus long (plus petites fibres en diamètre, A-delta myélinisées et C amyéliniques, vitesse de 15-20 km/h.) On préfère parler en m/s.

À retenir pour les voies ci-dessous : **les voies sensibles passent dans le cordon dorsal de la moelle épinière et il s'agit d'un système à trois neurones +++**

Dermatomes : large recouvrement des dermatomes et pas toujours précisée
sensibilité de la face : trijumeau

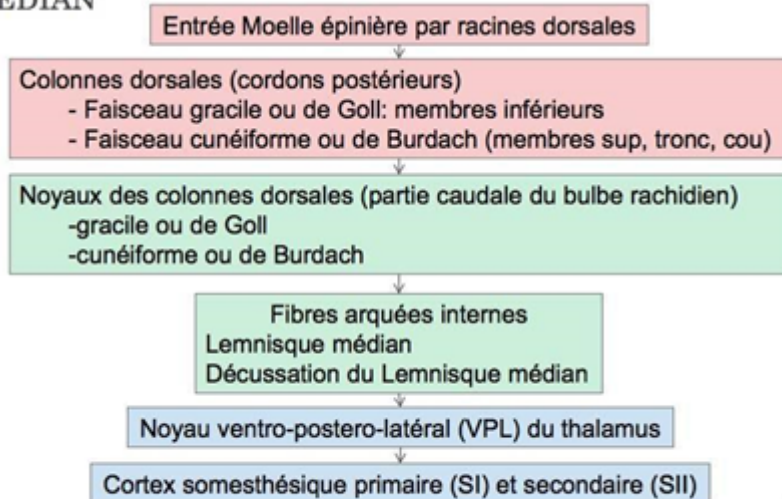
Cette sensibilité somesthésique remonte par les récepteurs, passe par les fibres afférentes somesthésiques (qui ont des diamètres donc des vitesses différentes) qui remontent jusqu'au cortex.

Il existe quatre voies de remontée.

Premier neurone (rouge), **deutoneurone** (vert) et **3^{ème}** neurone (en bleu).

- **Voie de la sensibilité tactile du corps** : système de colonnes dorsales – lemnisque médian
On a une relation topographique entre le récepteur et la voie de conduction.

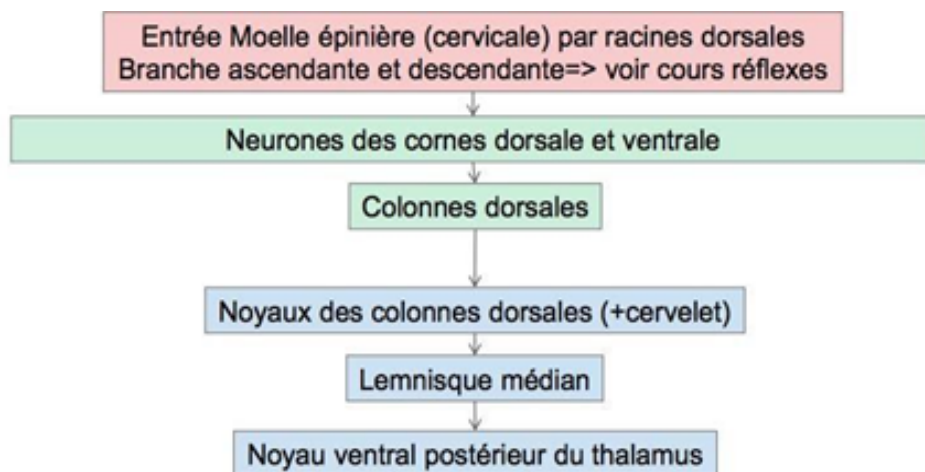
MÉDIAN



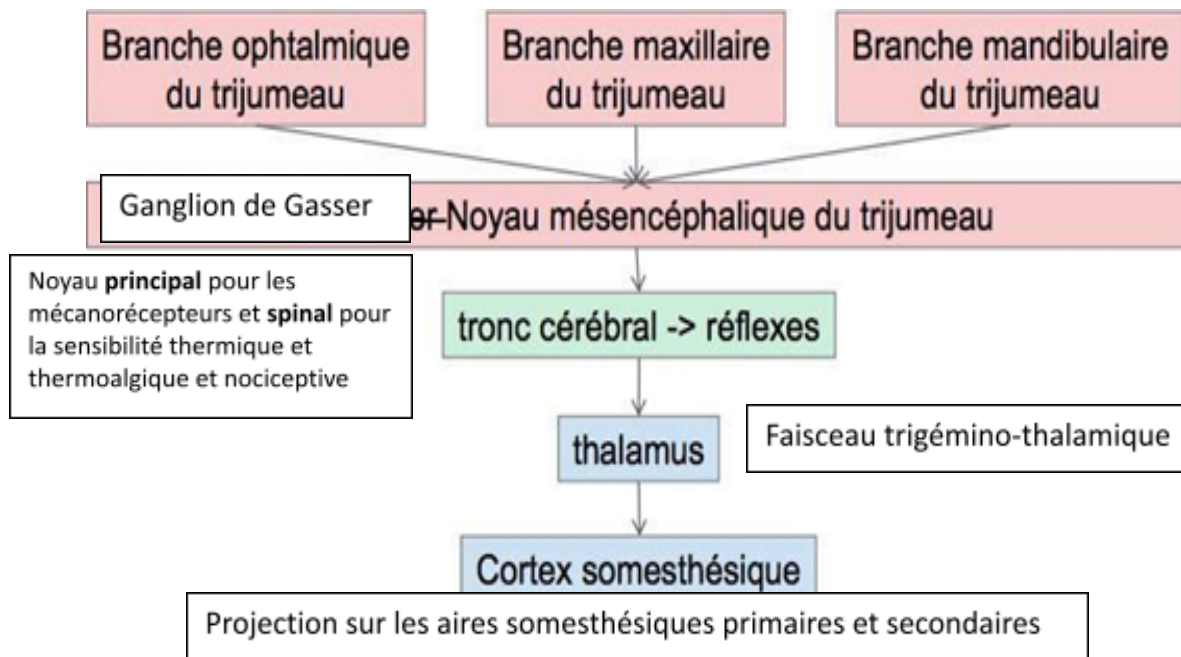
- Voie de la sensibilité proprioceptive du corps (réflexe médullaire mais régulé), partie inférieure (pas conscient, arrêt au thalamus, mais quand même une intégration dans le SNC)



- Voie de la sensibilité proprioceptive du corps, partie supérieure



- Voie de la sensibilité proprioceptive de la face



⚠ Quand on tape un réflexe ostéotendineux, le sujet prend conscience par exemple de la contraction de son quadriceps car on augmente l'intensité du réflexe, de la réponse (donc ça vient à la conscience – le sujet voit sa jambe bouger). Normalement, leur niveau d'intensité est suffisamment faible pour ne pas mettre en jeu le tact.

La sensibilité proprioceptive s'arrête au thalamus ; elle n'est pas consciente.

On marche de façon volontaire mais on peut aussi marcher et faire autre chose même si on a décidé de marcher puis de s'arrêter. Entre les deux ça peut être automatique. On a conscience que l'on marche.

Toutes les voies somesthésiques ascendantes passent par le thalamus ; soit elles s'y arrêtent, soit elles y transitent avant de continuer leur trajet.

La sensibilité tactile est projetée sur les aires corticales.

La sensibilité proprioceptive n'est pas projetée sur les aires corticales mais elle fait partie de la sensibilité somesthésique.

⚠ La somesthésie n'est pas synonyme de conscience. En effet, pour la sensibilité intéroceptive, on ne sent habituellement pas nos organes ! Le niveau de sensibilité est différent selon ce que font les récepteurs. S'il y a beaucoup d'acidité dans l'estomac, on pourra avoir une sensation nociceptive éventuellement douloureuse parce qu'on a activé certains récepteurs.

Le thalamus somesthésique... et après ?

Toutes les voies somesthésiques ascendantes convergent sur le complexe ventral postérieur :

- Le noyau ventro-postéro-latéral (VPL) reçoit les projections du lemnisque médian (corps et arrière de la tête)

- Le noyau ventro-postéro-médian (VPM) reçoit les axones du lemnisque trigéminal (sensibilité mécanique et nociceptive de la face)

Puis il y a une projection sur le cortex somesthésique primaire qui distribue les informations :

- cortex somesthésique secondaire
- aires motrices et pré-motrices
- projections descendantes (modulation de l'information sensorielle ascendante : thalamus, TC)

B) Le cortex somesthésique

1) Généralités : somatotopie

Définition : ce sont les aires corticales traitant les informations sensorielles en provenance de la surface du corps, des tissus sous-cutanés, des muscles et des articulations. Il est situé principalement sur la berge postérieure du sillon central et dans le gyrus post-central.

- **Cortex somesthésique primaire (SI)** : Aires primaires : ce sont les aires 1, 2 et 3 (a et b) en arrière du sillon de Rolando : 1, 2, 3 (scissure centrale), qui délimite en avant les aires motrices.

- **Cortex somesthésique secondaire (SII)** : voie d'intégration de l'information.

Il y a une **spécialisation** des bandes corticales :

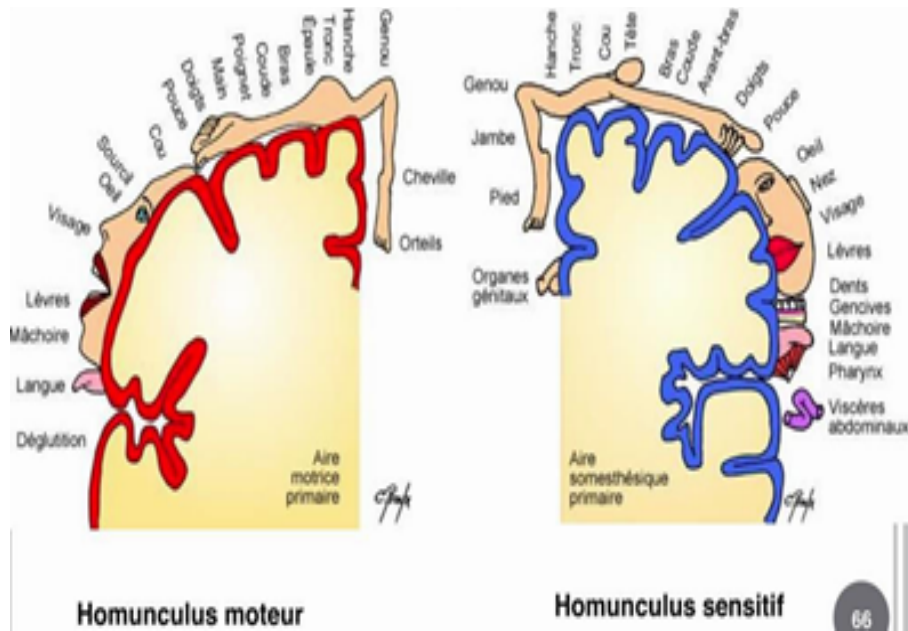
- aire primaire 1 recevant les extéroceptions (adaptation rapide)
- aire primaire 2 recevant l'information des fascias et articulations du système musculo-squelettique)
- aire primaire 3a reçoit l'information sur l'étirement des muscles
- et l'aire 3 b reçoit des informations sur l'extéroception à adaptation **lente** : *attention changement par rapport à l'année dernière*)

Toutes les parties du corps sont projetées sur le cortex somesthésique. Des **cartes somatotopiques** ont pu être établies (disposition des projections sensorielles ou motrices au niveau cortical) et sont très connues aujourd'hui. Il y a de grosses variations entre espèces animales, les cartes somatotopiques n'étant pas les mêmes. Par exemple, chez le chat, la représentation des membres est plus développée que chez l'humain.

Les projections sensorielles ont une disposition bien précise au niveau cortical chez les humains. Il existe une **sur-représentation de la face**, de la bouche, de la langue et des **mains** ; la précision de l'information est supérieure, proportionnelle à leur étendue.

La **superficie** de l'aire corticale est liée à la **densité des récepteurs** dans le champ cutané des récepteurs. L'aire corticale est donc d'autant plus grande qu'il y a de récepteurs au niveau cutané (main > pied).

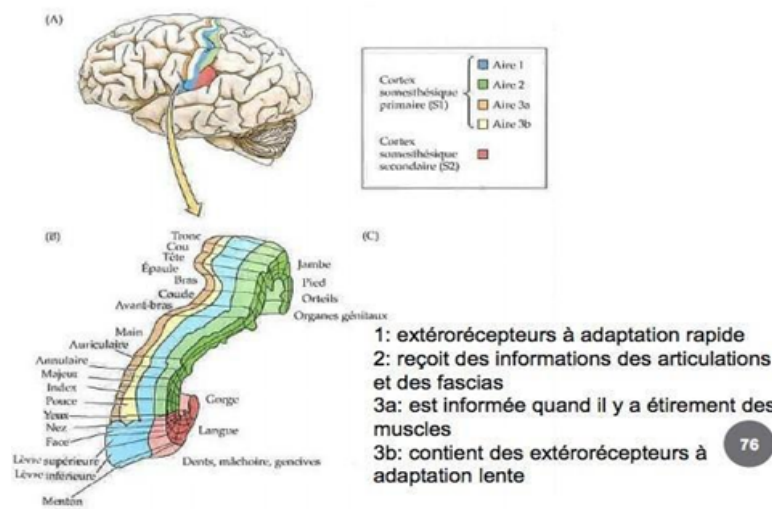
Les différentes régions ne sont **pas contigües** et on ne sait pas l'expliquer. La face se trouve près du pouce par exemple. La topographie des représentations est appelée **homonculus** (de Penfield).



Il existe un homonculus moteur et un homonculus sensitif.

Zone de la motricité du pharynx (pas langage)

2) Plasticité des aires



Ces aires sont bien définies. Elles ont en même temps des capacités d'adaptation, une **plasticité cérébrale** liée à notre capacité à moduler la surface de ces aires somesthésiques. On a donc une certaine plasticité à l'intérieur de cette représentation, une capacité à se désorganiser. Les aires corticales ne sont pas fixes dans le temps.

Expérience chez le singe.

On est dans la situation d'amputation d'un doigt ou de ligature d'un nerf. La projection corticale se réorganise en plusieurs étapes (on « comble » le vide par élargissement somesthésique des voies d'à côté) C'est lié aux récepteurs qui sont au bout et aux voies empruntées (ex : si on ampute un pouce, il faudrait que le faisceau se déplace et tape l'aire d'à côté pour qu'il y ait compensation par la bouche qui est à côté dans l'homonculus)

Ces cartes corticales qu'on pensait complètement figées sont en fait modifiables ; l'**expérience** est susceptible d'**induire des changements permanents** par une expression corticale augmentée sur les doigts contigus. Cela montre un intérêt dans la greffe de doigts et mains : il a fallu récupérer les projections corticales qui avaient disparu (simplification) par la rééducation. Ceci est valable que ce soit pour des lésions périphériques ou centrales. À différents niveaux, il y a un **remodelage immédiat** (en quelques heures), parce que les potentiels inhibiteurs sont généralement régis par des neurotransmetteurs de type GABA et ne sont plus activés donc la stimulation est plus importante par les potentiels excitateurs, les neurones autour venant faire une extension de la représentation et se régulant pour éviter des chevauchements des aires de projection.

Il y a aussi une réorganisation à long terme. Il y a donc une **augmentation de la discrimination des aires** : la représentation devient plus précise (subdivision d'une aire).

Cette plasticité se constate aussi par l'**entraînement**, dans des expériences motrices et sensitives. Il y a une signature neurobiologique individuelle malgré cette représentation somatotopique constante. On peut augmenter, empiéter par des stimulations plus importantes le 1^{er} et 3^e doigts, et augmenter leur représentation corticale. Il y a donc une modification du cortex somesthésique sous l'effet de l'**apprentissage**.

On peut prendre l'exemple d'un déficit visuel où se développent les aires tactiles et auditives, et où s'élargit la représentation du doigt lecteur (Braille). Son expérience de lecture du Braille améliore la discrimination au niveau de la pulpe du doigt ! Quand on est valide et qu'on tente de lire du Braille sur une boîte de médicament, on a du mal à différencier les points car nous n'y sommes pas entraînés !

Un autre exemple de cette plasticité corticale est l'élargissement de l'hippocampe chez les chauffeurs de taxi londoniens pour rechercher des raccourcis et établir de nouvelles liaisons entre des lieux familiers.

Un autre exemple : au téléphone, même si les gens ne se présentent pas, on saura les reconnaître à leur voix.

Un dernier exemple : pour l'exercice de jonglerie, au fur et à mesure de l'apprentissage, il y a un élargissement de la surface des aires corticales.

La sensation du membre fantôme chez les personnes amputées est expliquée par le fait qu'il existe toujours une voie corticale pour le contrôler.

On assiste à une modification du cortex somesthésique sous l'effet de l'entraînement, de l'apprentissage.

3) Transmission de l'information

Concernant la transmission de l'information, elle remonte en **colonnes** (6 couches de cellules) par rapport au champ récepteur. La réponse est spécifique de chaque partie du corps = champ récepteur

Il existe une relation d'inhibition entre les champs récepteurs ; il y a une stimulation d'une zone et une inhibition autour, permettant l'augmentation de contraste et de la précision de la localisation.

On note donc un parallélisme entre l'intensité de la stimulation et la fréquence de décharge des PA (le moyen de coder différemment étant toujours de varier la fréquence des PA). Elle se fait du cortex primaire, puis elle passe au cortex secondaire, on progresse vers l'analyse de la sensibilité.

4) Troubles lésionnels

- Au niveau du **cortex primaire** : problématique car les sensations ne sont pas analysées d'emblée, n'arrivant plus au niveau cortical : **troubles de l'extéroception ou de la proprioception**, plus importants au niveau de la face que des membres
- Au niveau du **cortex secondaire** (aires associatives) : insensibilité à perception, direction du mouvement et déficit dans l'interprétation du message (l'information arrive au cortex mais il n'est pas possible de l'interpréter)
- Au niveau des **noyaux gris centraux** : pathologie **hyperkinétique** (Chorée de Huntington, hémiballisme – « danse de Saint Guy » ; et peut se retrouver à plein de niveaux dont en termes de langage. Perte de contrôle des mouvements) ou **hypokinétique** (Parkinson : diminution des mouvements).

Voici maintenant deux petites questions sur le SNC :

1. Comment le thalamus et le cervelet, bien que tous deux impliqués dans le contrôle des fonctions motrices, se distinguent-ils dans leurs rôles spécifiques au sein du SNC ?

Le thalamus agit principalement comme un relais central pour les informations sensibles et motrices, jouant un rôle clé dans la sensibilité, la vigilance et la coordination des réponses motrices volontaires. En revanche, le cervelet est essentiel dans le contrôle de la motricité volontaire en ajustant la coordination, la temporalité des mouvements, et en maintenant l'équilibre. Le thalamus est donc davantage un centre de relais, tandis que le cervelet se concentre sur la précision et l'harmonie des mouvements.

2. En quoi le rôle des faisceaux pyramidaux diffère-t-il des faisceaux extrapyramidaux dans la régulation de la motricité, et quelles sont les implications d'une lésion dans chacun de ces systèmes ?

Le faisceau pyramidal est principalement responsable de la motricité volontaire, c'est-à-dire des mouvements précis et conscients, via les neurones corticospinaux qui passent par le cortex moteur. En revanche, les faisceaux extrapyramidaux (comme les voies rubro-spinale, vestibulo-spinale) régulent la motricité involontaire ou de suppléance, contrôlant les mouvements réflexes et automatiques. Une lésion du faisceau pyramidal entraînerait des difficultés dans les mouvements volontaires, tandis qu'une lésion des faisceaux

extrapyramidaux affecterait la coordination et l'automatisation des mouvements, provoquant des troubles comme la rigidité ou les tremblements.