

Les bases anatomiques et neurobiologiques du comportement

الأسس التشريحية والعصبية-بيولوجية للسلوك

Abdellatif IZEMRANE
URNOP - Université d'Alger 2

Ceci est un cours assuré en langue arabe aux étudiants en Licence LMD d'Orthophonie de l'UMMTO, Tizi-Ouzou.

En médecine (فَنُ الْعِلَاجِ) الطَّبِّ, on ne peut soigner un patient sans prendre en considération sa dimension psychologique, depuis la première consultation jusqu'à son éventuelle hospitalisation, d'où le module de psychologie médicale عِلْمُ النَّفْسِ الطَّبِيِّ, qu'on dispense aux étudiants en médecine, sans oublier l'éthique عِلْمُ الْأَخْلَاقِ et la déontologie أَخْلَاقِيَّاتُ الْمِهْنَةِ.

De même et en parallèle, les étudiants en sciences humaines الْعُلُومُ الْإِنْسَانِيَّةُ et en neurosciences الْعُلُومُ الْعَصَبِيَّةُ, qui veulent étudier le comportement humain السُّلُوكُ الْإِنْسَانِي, doivent, à leur tour, s'imprégner de quelques notions d'anatomie عِلْمُ التَّشْرِيحِ, plus exactement, de neuro-anatomie الْعَصَبِيَّةُ وَعِلْمُ وَظَائِفِ الْأَعْضَاءِ et de neuro-physiologie عِلْمُ الْأَحْيَاءِ الْعَصَبِيَّةِ et de neuro-biologie عِلْمُ التَّشْرِيحِ الْعَصَبِيِّ.

On ne doit pas douter de l'intérêt de l'enseignement des sciences morphologiques, si l'anatomie est considérée comme le support pédagogique de toutes les sciences médicales. En sciences humaines et en neurosciences elle est aussi indispensable et permet la connaissance du corps humain dans toute sa splendeur et sa complexité. L'étude des structures anatomiques doit être corrélée à leurs fonctions. Ainsi, l'anatomie fonctionnelle عِلْمُ التَّشْرِيحِ الْوَضَائِفِيِّ de prend de plus en plus place et d'importance dans cet enseignement; elle rend la discipline plus vivante, plus attrayante et permet à l'étudiant de comprendre les mécanismes physiologiques de l'organisme et de les corréler aux différentes applications cliniques.

Les objectifs de la neuro-anatomie c'est d'acquérir des connaissances précises concernant la morphologie (extérieure et intérieure) du Système Nerveux Central, ses rapports avec le reste du corps, connaître la cellule nerveuse, en l'occurrence, le neurone الْعَصْبُونُ considéré comme unité structurelle, fonctionnelle et anatomique de base du système nerveux الْجِهَازُ الْعَصَبِيُّ.

L'étudiant doit connaître les grandes voies الْمَسَارَاتُ الْعَصَبِيَّةُ de conduction nerveuses et les aires fonctionnelles cérébrales الْمَسَاحَاتُ الْمُخَيَّةُ الْوَضَائِفِيَّةُ. Ces notions sont indispensables à la compréhension du comportement humain et des principaux aspects neurophysiologiques enseignés.

L'imagerie fonctionnelle permet d'excellentes corrélations anatomo-fonctionnelles et, ainsi, une meilleure approche des maladies du système nerveux.

Ainsi, toutes ces disciplines, l'anatomie عِلْمُ التَّشْرِيحِ, la physiologie عِلْمُ وَظَائِفِ الْأَعْضَاءِ, la neurobiologie عِلْمُ الْأَحْيَاءِ الْعَصَبِيِّ, la biologie moléculaire عِلْمُ الْأَحْيَاءِ الْجُزْئِيَّةِ et l'imagerie médicale عِلْمُ التَّصَوِيرِ الْإِشْعَاعِيِّ ont su s'adapter au progrès technologique, afin de préparer l'étudiant en neurosciences à entrer de plain-pied, dans les mécanismes physiopathologiques, du comportement, d'en comprendre les manifestations cliniques et de maîtriser les méthodes d'exploration, qui sont devenues de plus en plus sophistiquées.

Donc, avant d'étudier le comportement humain il faut au préalable avoir des notions de.

- Neuroanatomie
- Neurophysiologie
- Neurobiologie

1. Neuroanatomie العَصَبِي التَّشْرِيحُ

1.1 Anatomie topographique du Système Nerveux Central تَشْرِيحُ تَفْصِيلِي الْجِهَازِ الْعَصَبِيِّ الْمَرْكَزِيِّ

A- l'Encéphale الدِّمَاغُ : Partie du système nerveux située dans la boîte crânienne عِظَامُ الْجُمُجْمَةِ , contenant les centres supra segmentaires المَرَاكِزُ فَوْقَ شَدَفِيهِ et les centres supérieures المَرَاكِزُ الْعُلْيَا , support des grandes fonctions nerveuses, assurant la vie de relation entre l'organisme et son environnement. On doit acquérir des notions simples mais précises, sur son anatomie topographique.

Le Télencéphale الكُرَيْتَيْنِ الدِّمَاغِيَّةِ Il est composé des deux hémisphères cérébraux droit et gauche et du **Diencephale** الدِّمَاغُ الْأَوْسَطُ La morphologie extérieure et intérieure comprend l'étude des différents lobes cérébraux ainsi que la disposition de la substance blanche et grise et les noyaux gris centraux. Des notions sur les localisations des principaux centres fonctionnels corticaux seront également abordées. Les **Hémisphères Cérébraux** droit et gauche نِصْفُ الْكُرَةِ الْمُخَيَّةِ الْيُمْنَى وَ الْيُسْرَى

Le Diencephale الدِّمَاغُ الْأَوْسَطُ : il faut noter son aspect fonctionnel ou centre supérieur du système neurovégétatif et carrefour des voies sensitivo-sensorielles et motrices, sa subdivision et sa constitution par le **Thalamus** المِهَادُ et l'**Hypothalamus** تَحْتَ الْمِهَادِ , sans oublier **La Glande**.

L'Hypophyse الغُدَّةُ النُّخَامِيَّةُ sa constitution, ses rapports, son rôle dans les sécrétions hormonales. Elle est le lieu de pathologies fréquentes (les adénomes). Voici la description de l'axe hypothalamo-hypophysaire :

Le Tronc Cérébral المَخِجُ et le **Cervelet** المُخَيَّخُ comprennent les configurations extérieures et intérieures du tronc cérébral. On insistera particulièrement sur l'étude des nerfs crâniens, des fonctions et des territoires d'innervation, vu leur importance en sémiologie et la valeur localisatrice des lésions.

B- La Moelle Epinière الْحَبْلُ الشُّوْكِي أَوْ النُّخَاعُ الشُّوْكِي acquérir des notions précises et simples sur ces configurations extérieures et intérieures. Ce sont des données indispensables à la compréhension et à l'apprentissage de la neuro-anatomie fonctionnelles en générale. La situation et la place de la moelle épinière dans le système nerveux comme organe interposé entre l'encéphale et les différentes parties du corps. l'organisation en segment médullaire, lieu d'émergence des paires de nerfs rachidiens assurant l'innervation de dermatomes et de myotomes correspondants est à la base de l'acquisition des principes de l'examen neurologique.

C- Le Neurone الْعَصْبُونُ connaître sa structure anatomique, la classification de ses différents types, son mode d'action, ...

D- le Système Limbique ou cerceau émotionnel الْجِهَازُ الْحَوْفِيُّ à un rôle très important dans le comportement الْعُدْوَانِيَّةُ et en particulier, dans diverses émotions الْإِنْفِعَالَاتِ comme l'agressivité الْعُدْوَانِيَّةُ la peur الْخَوْفُ , le plaisir اللَّذَّةُ ainsi que la formation de la mémoire الذَّاكِرَةُ. les principales composantes du système limbique sont: l'hippocampe حِصَانُ الْبَحْرِ أَوْ الْخَصَيْنِ : impliqué dans la formation de la mémoire à long terme ; l'amygdale اللَّوْزَةُ : impliquée dans l'agressivité et la peur ; la circonvolution cingulaire التَّفَيِّفُ الْحَزَامِي ; fornix الْقَبْوُ ; l'hypothalamus تَحْتَ الْمِهَادِ .

E- les ganglions de la base ou noyaux gris centraux عَقْدُ الْقَاعَةِ : sont constitués par des noyaux pairs, interconnectés au niveau des hémisphères et diencephalique. Ils comprennent le striatum ou corps striés الْأَجْسَامُ الْمُخْطَّطَةُ composée du noyau caudé النُّوَاةُ الْمَذْنَبَةُ et du putamen الْبُطَامَةُ. le pallidum الْمَادَّةُ السُّودَاءُ , les noyaux sous thalamique, le locus niger

Ce chapitre doit être complété par des planches et des illustrations d'imagerie normale

1.2 La systématisation du système nerveux central تنسيق الجهاز العصبي المركزي

Après avoir assimilé les notions morphologiques, l'étudiant doit acquérir des notions de neuro-anatomie fonctionnelle علم التشريح العصبي الوظيفي, qui lui faciliteront la compréhension de la neuro-physiologie علم وظائف الأعضاء العصبي, de la séméiologie neurologique علم العلامات العصبية et de la neuro-imagerie التصوير الإشعاعي العصبي. On doit connaître :

- **les bases de la neuroanatomie fonctionnelle** : l'organisation fonctionnelle générale du SNC et les aires fonctionnelles corticales (aires motrices المناطق الحركية, aires sensorielles الحواسية و الحواسيات, aires d'associations, الساعات المشتركة, aires gnosiologiques, en fonction de l'hémisphère, aires praxiques. Lobe temporal : fonction mnésique. Rôle du lobe préfrontal :
- **Les voies de la sensibilité générale** : المسالك الحسية العامة
- **Les voies sensitives des nerfs crâniens** : المسالك الحسية للأعصاب الدماغية : en particulier celle du nerf auditif (VIII, cochléo-vestibulaire) العصب السمعي.
- **Les nerfs crâniens** : الأعصاب الدماغية du I au XII :

le nerf olfactif العصب الشمي

le nerf optique العصب البصري

le nerf moteur oculaire commun العصب المحرك المشترك للعين

le nerf pathétique العصب الاشتياقي أو الاستعطاقي

le nerf trijumeau العصب الثلاثي التوائم

le nerf oculomoteur externe العصب المبعد للعين

le nerf facial العصب الوجهي

le nerf auditif العصب السمعي والقوقعي دهليري

le nerf glossopharyngien العصب اللساني البلعوي

le nerf vague ou pneumogastrique العصب الثاني أو الرنوي معدي

le nerf spinal العصب الشوكي أو الإضافي

le nerf grand hypoglosse العصب التحت لساني

1.3 Anatomie des glandes endocrines تشريح الغدد الصماء أو الإفرازية الداخلية

L'étude morphologique et histologique des glandes endocrines permet aux étudiants de localiser ces différentes glandes et d'en comprendre les mécanismes

- **La glande épiphysaire** الغدة الصنوبرية
- **La glande hypophysaire** الغدة النخامية
- **La glande thyroïde** الغدة الدرقية
- **La glande parathyroïde** الغدة الدرقية
- **Le thymus** الغدة الصغرية أو الزعترية
- **La glande surrénale** الغدة الكظرية
- **Le pancréas endocrine** غدة المعنكة
- **L'ovaire** المبيض
- **Le testicule** الخصية.

2. La neurophysiologie علم وظائف الأعضاء العصبي

En quelques années les progrès fantastiques de la biologie moléculaire, de la génétique et de l'imagerie médicale ont créé une révolution dans la façon d'appréhender le comportement du vivant en général et de l'être humain en particulier aussi bien normal que pathologique. La description uniquement anatomique des organes n'est plus de mise. En effet, les neurosciences ont su s'adapter aux avancées de la biologie moléculaire et cellulaire et ont su intégrer les techniques les plus

sophistiquées. Par conséquent, l'objectif pédagogique en sciences humaines, si l'on veut étudier le comportement d'une manière exhaustive, ne doit pas négliger les aspects suivants:

- La régulation et les différentes interactions entre le système nerveux **الجهاز العصبي** et le système endocrinien **جهاز الغدد الصماء**.
- La compréhension des phénomènes physiologiques, des différents **Neuromédiateurs** **الوسائط الكيميائية** et **Neurotransmetteurs** **النواقل العصبية** et des différentes **Hormones** **الهormones**.
- La localisation au niveau des cellules et des organes.
- La régulation et les interactions entre le système nerveux et le système endocrinien **جهاز الغدد الصماء** sachant que le comportement est soumis au contrôle de ces derniers.
- Les bases moléculaires **الأسس الجزيئية** et cellulaires de la pathologie et la recherche du substratum lésionnel des maladies, la nature des molécules (gène, synthèse, forme spatiale,...)
- L'action des différentes drogues et médicaments **الأدوية والعقاقير** sur le comportement.

2.1 Physiologie du Neurone **وظائفية العصبون**

- **Le neurone** **العصبون**: connaître la connaissance de l'anatomophysiologie de cette unité structurelle anatomique et fonctionnelle du système nerveux et primordiale. Connaître l'origine de la polarité cellulaire, de l'excitabilité, de la conductibilité dans l'axone amyélinique et myélinisé.
- **La synapse** **المشبك**: connaître les différents types de synapses. Maîtriser la synapse chimique : différence entre neurotransmission et neuromodulation, récepteurs à action rapide et ceux à action lentes.
- **Les récepteurs sensoriels** **المستقبلات الحسية** : connaître les mécanismes généraux du codage de l'information par les récepteurs sensoriels. Connaître les spécificités de récepteurs particuliers : nocicepteurs, fuseaux neuromusculaires, récepteurs vestibulaires.
- **Les nerfs** **الأعصاب** : connaître le rôle et le cheminement des 12 paires de nerfs crâniens.

2.2 Physiologie des hormones et des glandes endocrines **وظائفية الغدد الصماء أو الإفرازية الداخلية**

- **L'axe hypothalamo-hypophysaire** **المحور المهادي-النخامي**

La coordination des différentes fonctions de notre organisme est sous le contrôle de deux systèmes le **système nerveux central** **الجهاز العصبي المركزي** et le **système endocrinien** **جهاز الغدد الصماء**, qui utilise des messages chimiques, **les hormones** **الهormones**, véhiculées par le courant circulatoire et qui agissent à distance sur le(s) tissu(s) cible(s). Ces deux systèmes ne sont pas tout à fait indépendants puisque le système nerveux peut communiquer avec certains organes, endocriniens ou non, par l'intermédiaire d'hormones. C'est l'hypothalamus qui contient les neurones responsables de la production de ces **neurohormones** **الهormones العصبية**.

Nous insistons sur la **glande hypophysaire** **النخامية** qualifiée de glande maîtresse sur ses différentes hormones qui sont sous contrôle hypothalamique. Elles agissent sur divers organes et fonctions. Nous démontrons son importance sur la croissance, la reproduction, la lactation,... et les conséquences de sa déficience.

- **La glande thyroïde** **الغدة الدرقية**

C'est la glande endocrine la plus volumineuse. La glande thyroïde sécrète, d'une part, les hormones thyroïdiennes, dont l'élément essentiel est **l'iode**, qui agit sur la plupart des fonctions et des organes. Elle sécrète aussi, **la calcitonine**, hypocalcémiant.

Il existe en pathologie humaine deux importants syndromes liés à cette glande :

Hypothyroïdie: soit congénitale (nanisme, arriération mentale) soit due à un défaut d'apport alimentaire en iode (goitre endémique).

Hyperthyroïdie : connue sous le nom clinique de thyrotoxicose ou maladie de Basedow, qui est la plus fréquente.

- La glande parathyroïde الغدة الصغرى أو الزغرىة

Les nodules parathyroïdiens sont situés à proximité ou même à l'intérieur de la glande thyroïde. La **parathormone** qui est hypercalcémiant agit sur l'os, le rein et l'intestin.

- La glande surrénalienne الغدة الكظرية

La glande surrénale présente une partie périphérique, la corticosurrénale qui est le siège de la production **des hormones stéroïdes** et dont une partie centrale, la médullosurrénale, est le lieu de synthèse de l'**adrénaline** et de la **noradrénaline**. Ces deux parties traduisent une dualité d'origine et fonctionnelle. L'importance du rôle des hormones surrénaliennes sur les différents métabolismes indique les conséquences de leur insuffisance : maladie d'Addison et de leur hypersécrétion : syndrome de Cushing.

3. La Neurobiologie علم الأحياء العصبي

Elle s'intéresse à la cellule de base, le neurone et à son mode de fonctionnement, à la notion d'entrée et d'intégration et de sortie, aux circuits de bases, à la relation entre les différentes cellules par le biais des synapses et au mode d'action des neurotransmetteurs et des hormones au niveau neuronale et, enfin, à l'étude de la plasticité synaptique المرونة المشبكية .

Généralités sur l'organisation fonctionnelle du SN عُموميات حول التنظيم الوظيفي للجهاز العصبي

- Organisation tripartite : entrées / intégrations / sorties.
- Les 5 grands circuits de base.

Propriétés fonctionnelles des neurones الخصائص الوظيفية للصبونات

- Rôle d'assistance des cellules gliales, physiologie "métabolique" : synthèses et flux axoniques,
- Communication intercellulaire : comparaison neurones / cellules endocrines.

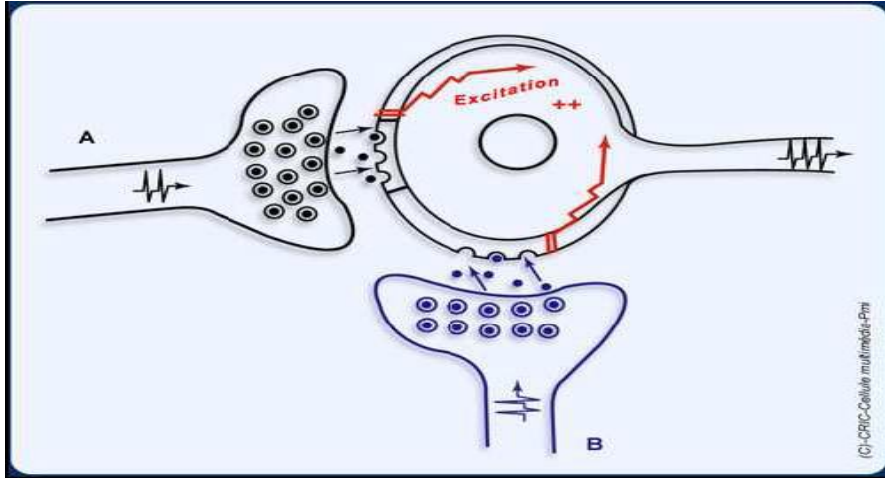
Propriétés fonctionnelles des synapses الخصائص الوظيفية للمشابك

- Synapses metabotropiques et plasticité synaptique (marquage)
- Plasticité synaptique au cours du développement
- Plasticité synaptique à l'état adulte : apprentissage post-lésionnel.

4. Synapses metabotropiques et plasticité synaptique (marquage)

La plasticité fonctionnelle المرونة الوظيفية dans le système nerveux est essentiellement basée sur la plasticité synaptique et les propriétés metabotropiques des synapses neurochimiques. Le fonctionnement synaptique peut, ainsi, être profondément et durablement modifié (facilitation تسهيل et/ou "répression" كبت :

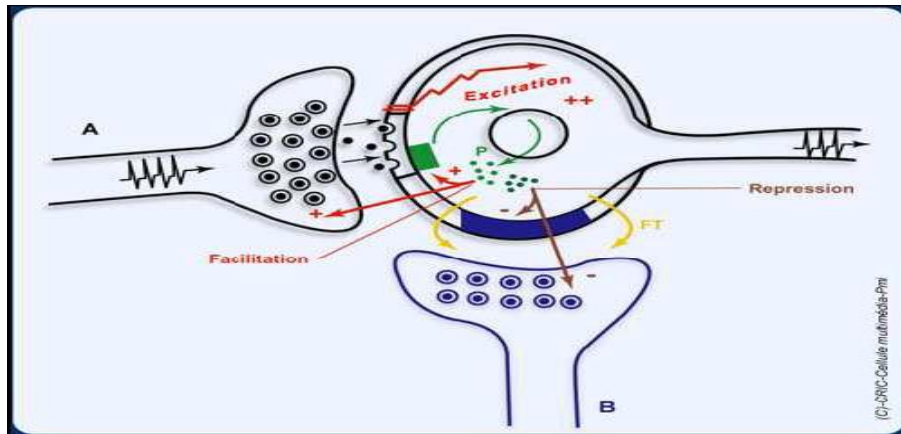
عصبون C عصبون A



عصبون B

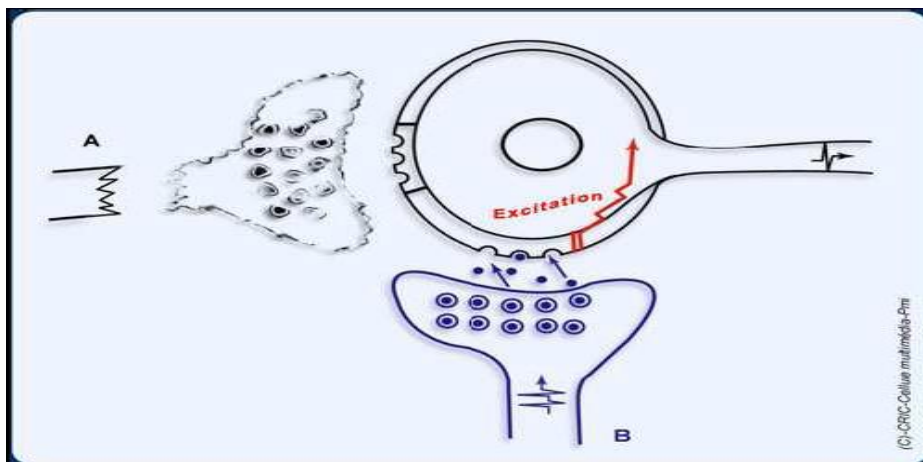
في البداية كل من العصبونين A و B يقومان بالاتصال بالعصبون C و تكوين مشبك

Deux neurones A et B font une synapse neurochimique avec le même partenaire. Chacun des neurotransmetteurs A et B a une action ionotrope (ouverture de canaux Na^+) excitatrice



استلاء العصبون A على العمل في المشبك و كبت العصبون B الذي يوجد في حالة راحة

Grâce à ses propriétés métabotropiques, la synapse A (facilite) son propre fonctionnement et exerce une « répression » sur la synapse B, qui devient inactive. Des échanges trophiques maintiennent cependant B au contact de son partenaire.



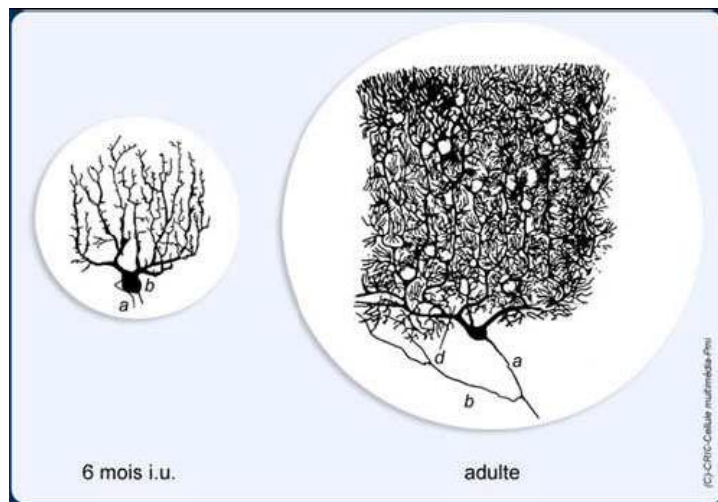
في حالة ضمور و اضمحلال العصبون A يدخل العصبون B في العمل

S'il arrive un problème à A, sa synapse, qui a cessé de fonctionner, ne peut plus produire la protéine « répressive » sur B, qui redevient actif. Ces mécanismes de facilitation et de répression jouent un rôle capital, notamment dans l'apprentissage et la mémoire **التَّعْلَمُ وَالذَّاكِرَةُ**.

5. Plasticité synaptique au cours du développement **المُرُونَةُ المَشْبِكِيَّةُ فِي مَرَاجِلِ النُّمُو**

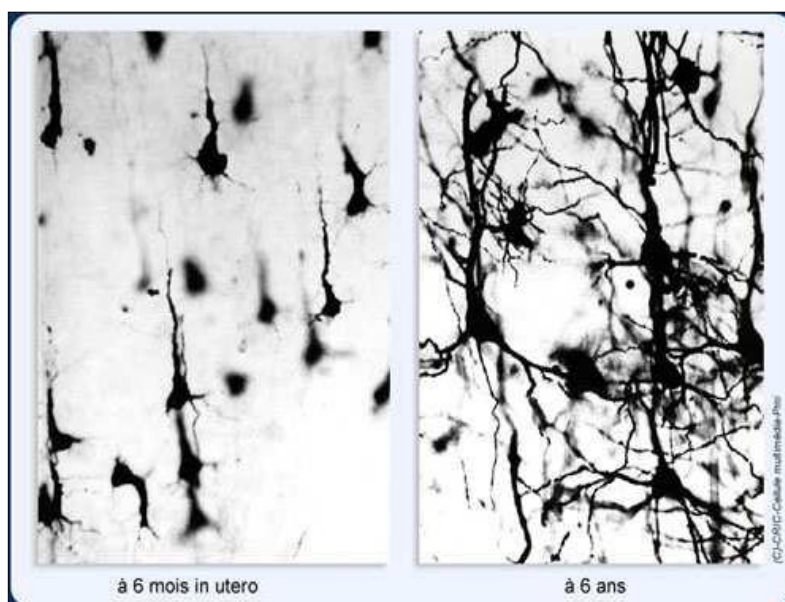
Principe fondamental : au cours du développement le nombre, la stabilisation et le marquage (apprentissage, mémoire) des synapses, dépendent des stimulations appropriées. Ce principe est valable pour les systèmes sensoriels, comme pour les systèmes moteurs.

Ex. 1 : cellule de Purkinje (cervelet) **مَثَلُ خَلَايَا "بُورْكِينْجِي" فِي المَخْيَخِ (cervelet)**



Entre ces 2 schémas de l'arborisation dendritique d'une cellule de Purkinje (d'après Ramon y Cajal) il y a plusieurs mois et années de fonctionnement normal de toutes les nombreuses afférences. Des dizaines de milliers de synapses se forment sur la même cellule, multipliant ses propriétés d'intégration sensori-motrice.

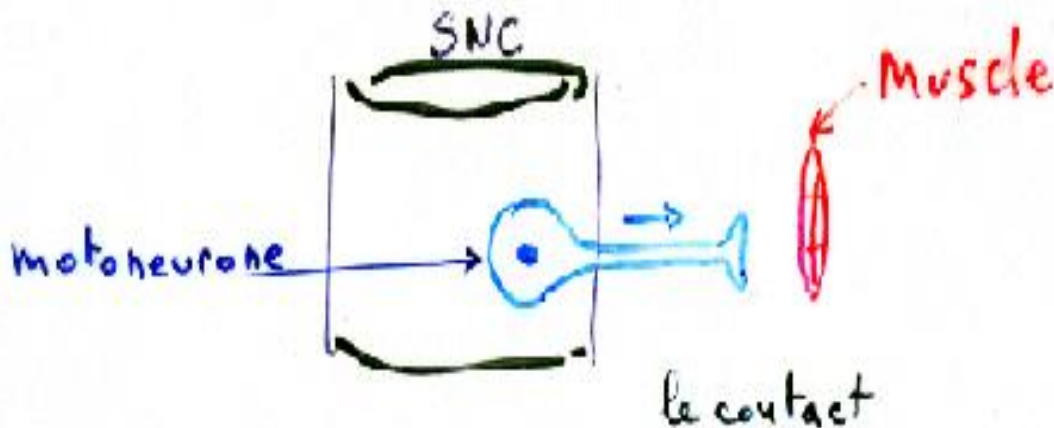
Ex 2 : neurones du cortex auditif **مَثَلُ عُصْبُونَاتِ القِشْرَةِ السَّمْعِيَّةِ**



Entre ces deux photographies (R. Pujol) de neurones pyramidaux du cortex auditif, on remarque une différence essentielle : le nombre de dendrites (= synapses) considérablement plus nombreuses à droite (6 ans). Entre les deux , la cochlée a parfaitement fonctionné et les stimulations ont construit ce cortex sensoriel avec des propriétés d'intégration optimales. D'une manière générale, les cortex sensoriels ou associatifs développent leurs dendrites et leurs synapses, en fonction des stimulations et de l'apprentissage.

Ex. 3 : motoneurone médullaire الشُّوْكِي العَصْبُون الحَرَكِي المَدُلَّائِي

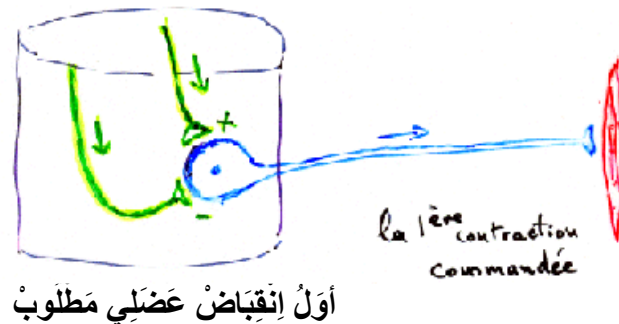
a- Le programme génétique fait rencontrer, au début du développement, un motoneurone et la fibre musculaire العضلة و الألياف العضلية qu'il va commander.



العصبون الحركي الجهاز العصبي المركزي الاحتكاك

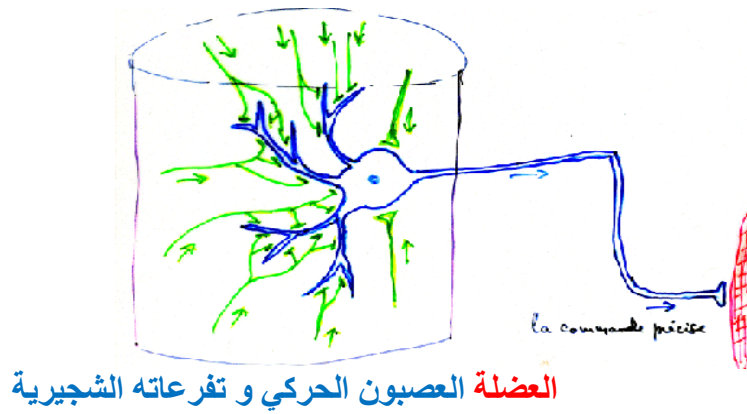
b- Le motoneurone, qui fait maintenant synapse avec la fibre musculaire, reçoit les premières commandes centrales (+ et -).

العضلة العصبون الحركي التعليمات الأولية من المراكز العليا (+) محفزة و (-) مثبطة



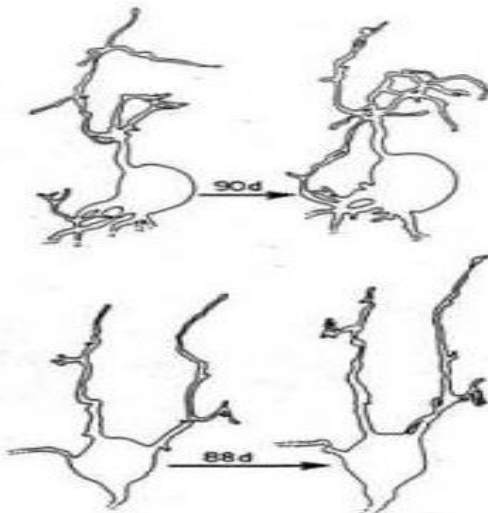
c- Pour aboutir à une commande très précise de la contraction de la fibre musculaire, le motoneuron reçoit de très nombreuses afférences : noyaux moteurs cérébraux, cortex, cervelet, motoneurons adjacents, etc. En réponse à ces stimulations il fabrique et stabilise de nouvelles synapses (en développant son arborisation dendritique).

تعليمات المراكز العليا المختلفة (المخ، القشرة المخية، المخيخ، الانوية الحركية....



6. Plasticité liée au fonctionnement المرونة و وظيفّة العُصبون

Ex. : neurones du ganglion sympathique Deux neurones du ganglion sympathique de rat adulte, marqués par un colorant vital, sont observés in vivo, à 3 mois d'intervalle.

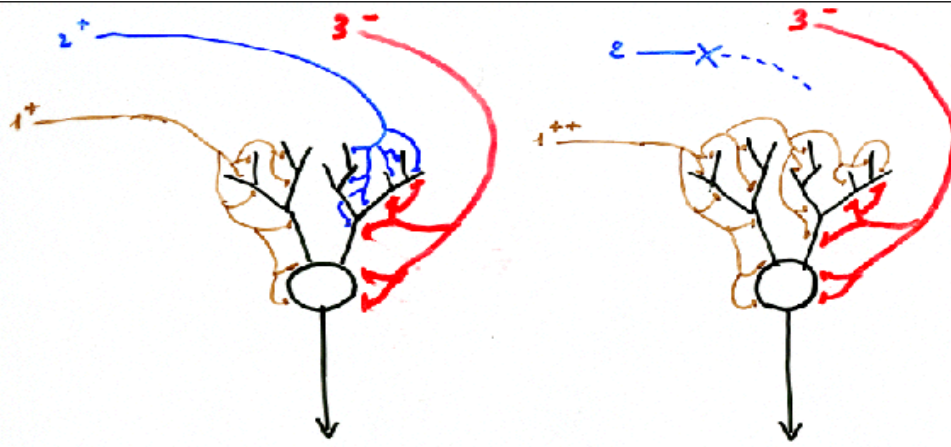


العُصبونات في الأعلى و التي كانت أكثر عملاً طوّرت تفرّعات شجيرية جديدة كثيفة . العُصبونات في الأسفل التي لم تُوظف بانتظام تفرّعاتها الشجيرية لم تتطور. إذن هناك علاقة بين الوظيفة و تطور التفرّعات الشجيرية و المشابك أي المرونة.

Le neurone du haut (qui a du beaucoup fonctionner) a développé de nouvelles dendrites (donc de nouvelles synapses). Le neurone du bas (qui a du beaucoup moins fonctionner) n'a pratiquement pas changé.

7. Plasticité synaptique post-lésionnelle المرونة المشبكية بعد الإصابات الدماغية

Après une lésion, la récupération fonctionnelle va étroitement dépendre des capacités de plasticité des circuits non lésés et de leurs synapses.

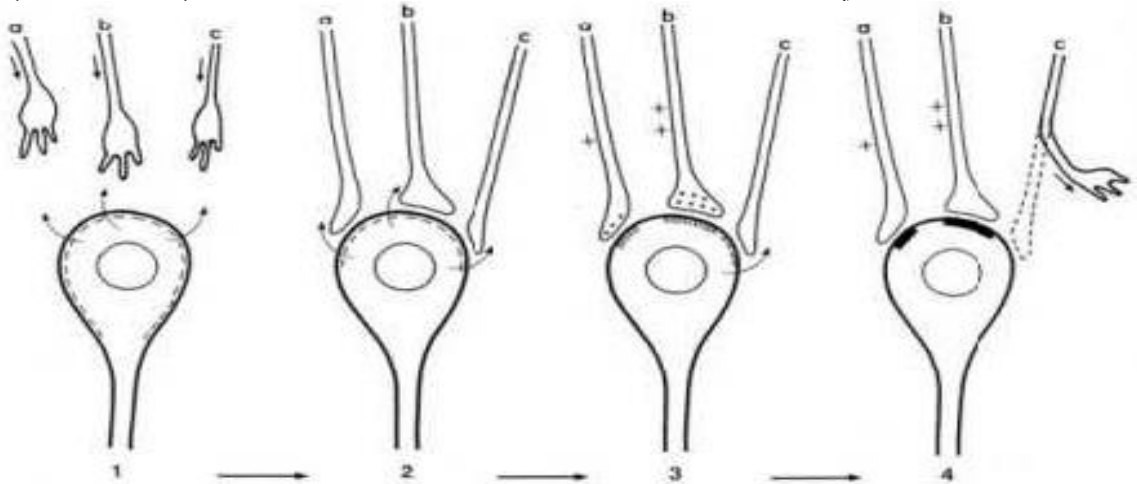


يَتَّصِلُ العُصْبُونُ الْأَسْوَدُ بِثَلَاثَةِ عُصْبُونَاتِ الْبُنْيِ (+) الْأَزْرَقِ (+) وَالْأَحْمَرِ (-) عَنْ طَرِيقِ ثَلَاثَةِ مَشَابِكٍ . فِي حَالَةٍ تَلَفَ عُصْبُونٌ مَا مِثْلًا الْأَزْرَقِ يُعَوِّضُ بِالعُصْبُونَاتِ الْمُتَبَقِيَةِ . فِي هَذَا الْمِثَالِ العُصْبُونُ الْبُنْيِ (+) عَوِّضَ العُصْبُونُ الْأَزْرَقِ (+) . فَالْوُضُفَةُ الْمُحْفَرَّةُ (+) وَ الْمُثَبِّطَةُ مُتَوَاصِلَةٌ بَعْدَ الْإِصَابَةِ الدِّمَاغِيَّةِ وَ تَلَفَ العُصْبُونَاتِ الْمُصَابَةِ بِفَضْلِ الْمُرُونَةِ مَرَّةً أُخْرَى .

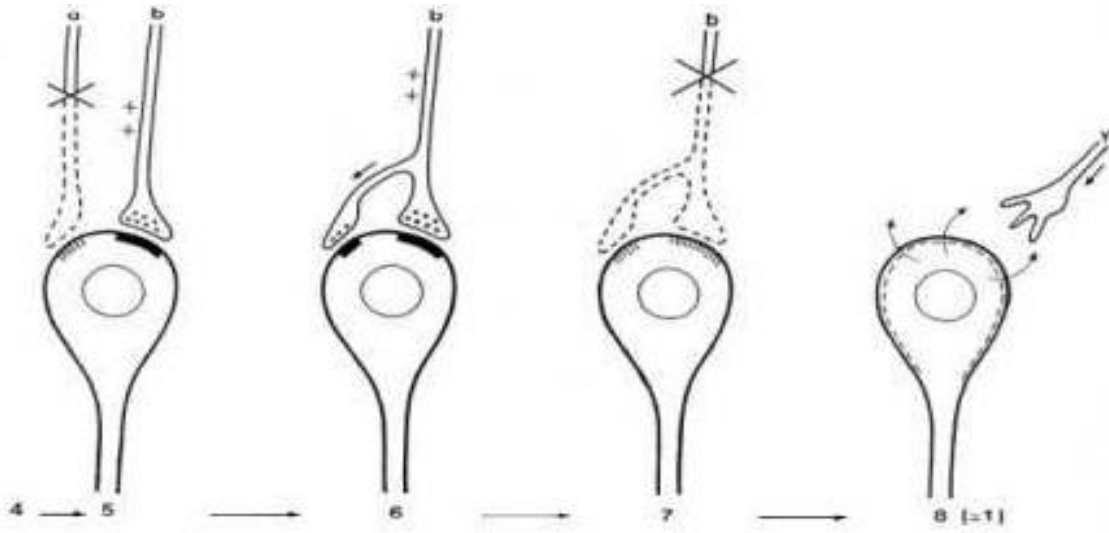
Soit un neurone (noir) recevant 3 sortes de synapses, venant de 3 autres neurones (brun, bleu et rouge) qui se partagent l'espace synaptique. S'il arrive un problème à l'un de ces trois partenaires, son espace synaptique est réoccupé par les partenaires restants : ici, les synapses du partenaire bleu ont été réoccupées par le partenaire brun, comme lui, excitateur. La balance excitation (+) / inhibition (-) du neurone cible n'est donc pas affectée et il peut récupérer un fonctionnement normal.

8. ملخص شامل للمرونة المشبكية

خِلَالُ مَرَاكِجِ النُّمُو لِلْعُصْبُونَاتِ ، يَقُومُ العُصْبُونُ الْمُسْتَقْبَلُ بِإِفْرَازِ مَوَادِّ غِذَائِيَّةٍ جَادِبَةٍ حَسَبَ الْبَرْمَجَةِ الْجِينِيَّةِ لِلْخَلَايَا فِي هَذَا الْمِثَالِ العُصْبُونُ الْمُسْتَقْبَلُ يَجْذِبُ ثَلَاثَةَ عُصْبُونَاتٍ a ، b ، c ، فِي الْمَرَحَلَةِ (1 وَ 2) . الْعُصْبُونَاتِ a ، b تَبْدَأُ فِي الْعَمَلِ بَيْنَمَا الْعُصْبُونُ c ، لَا يُوظَّفُ وَ يُغَادِرُ الْمَشْبِكَ (الْمَرَحَلَةُ 3 وَ 4)



1- Au cours du développement, le neurone cible attire (facteurs trophiques) 3 partenaires (a,b,c) que le programme génétique fait arriver à proximité (1 et 2). Deux de ces partenaires (a,b) commencent à fonctionner et stabilisent leur synapses, alors que le troisième (c) ne fonctionne pas et quitte le terrain



في سن الرشد في حالة إصابة العصبون a وَ تَلْفَهُ، يَقُومُ الْعُصْبُونُ الْمُجَاوِرُ b بِتَغْطِيَةِ الْفَرَاغِ الْمَشْبُكِيِّ لِتَوَلِيدِ تَفَرُّعٍ جَدِيدٍ (المرحلة 5 وَ 6). فِي حَالَةِ تَلْفِ الْعُصْبُونِ b فِي إِصَابَةٍ جَدِيدَةٍ (المرحلة 7). يَصْبِحُ الْعُصْبُونُ الْمُسْتَقْبَلُ بَدُونِ وَ ضِيفَةٍ وَ يَسْتَعِينُ فِي هَذِهِ الْحَالَةِ (8) بِعُصْبُونَاتٍ مُجَاوِرَةٍ كَمَا سَبَقَ فِي الْمَرَحَلَةِ 1 وَ 2 وَلَكِنْ يَسْتَعْرِقُ زَمَنٌ أَطْوَلَ لِتَشْكِيلِ مَشَابِكٍ جَدِيدٍ.

2- À l'âge adulte, une lésion affecte le partenaire a (5) : aussitôt b bourgeonne et occupe l'espace synaptique libéré (6) ; le neurone récupère fonctionnellement. Un peu plus tard, une lésion affecte b (7) ; il ne reste plus alors au neurone qu'à "faire appel" à d'autres partenaires (8) qui peuvent se trouver à proximité. Il est temporairement non fonctionnel.

Comme pendant le développement (phases 1, 2, 3), mais beaucoup plus lentement, de nouvelles synapses peuvent se former et l'activité du neurone reprendra alors