

L'ostéopathe et la main

La main et les sensations manuelles

« Qu'est-ce que la capacité d'apprendre, sinon un aspect de l'éternité ? »

Mircea Eliade

Ils nous semblent que l'un des prérequis utiles pour sentir avec sa main peut être la compréhension fine de ce qu'il se passe neurophysiologiquement lors d'une sensation manuelle.

En préambule, il est important garder à l'esprit que la spécificité de l'individu, son vécu, son état interne, ses interprétations du monde, ses motivations..., influenceront autant les informations qu'il prend que les mots qu'il choisira pour décrire la perception ressentie.

Les récepteurs de l'information tactile

Les récepteurs sensoriels permettent à l'organisme de recueillir les informations sous toutes ses formes et de réagir aux perturbations de l'environnement.

Dans le cas du toucher humain, c'est la peau qui constitue l'interface entre le monde extérieur et le système nerveux central : l'information tactile est entièrement contenue dans la séquence de déformation de la peau induite par le contact entre le doigt et l'objet. Ces déformations cutanées sont converties en signaux nerveux par un ensemble de terminaisons nerveuses mécanosensibles situées de 0.5 à 2 mm sous l'épiderme. Celles-ci sont de plusieurs types : elles se distinguent d'une part par l'étendue de leur champ récepteur qui définit la zone de sensibilité associée en surface [3].

Terminaison	Corpuscule de Meissner	Cellule de Merkel	Organe de Ruffini	Corpuscule de Pacini
Profondeur (mm)	0.3	0.5	1	2
Densité (#/cm ²)	130	70	30	15
Champ récepteur (mm ²)	10	10	60	100

L'existence de canaux tactiles distincts et se chevauchant permet de fournir un éventail de commentaires tactiles ; semblablement à la vision de couleur fournie par les différents photorécepteurs dans la rétine.

Chaque champ réceptif est unique en taille, en forme, en nombre et en localisation de points où la sensibilité est maximale. Ces caractéristiques de champ réceptif résultent de la morphologie et de l'emplacement des terminaisons des mécanorécepteurs.

La perception tactile (capacité à détecter de petits changements dans l'amplitude du stimulus) et l'acuité tactile (capacité à distinguer les points spatialement répartis sur la surface de la peau) sont influencées par la répartition des mécanorécepteurs dans la peau. Les caractéristiques spatiales et temporelles des stimuli tactiles sont représentées par la réaction des afférences cutanées. Les zones de la peau avec une densité élevée des afférences, comme le bout des doigts, auront une forte probabilité que les stimuli multiples se retrouvent dans des champs réceptifs distincts (discrimination élevée en deux points) et pour activer les unités les plus sensibles (seuil de perception faible).

Dans la littérature, l'acuité tactile comparée entre les hommes et les femmes est inversement proportionnelle avec la taille du bout du doigt. En effet, il a été observé que les participants ayant les tailles de doigts plus petites (quel que soit leur sexe) avaient une meilleure acuité [4]. En d'autres termes, la quantité de mécanorécepteurs est similaire entre les personnes, la relation inverse entre l'acuité tactile et la taille du bout du doigt met en évidence l'importance de la densité des afférences dans la mesure de l'acuité tactile. Des estimations de densité des afférences ont été faites pour la peau glabre de la main, en fonction des données provenant d'enregistrements unitaires et d'une analyse histologique du nerf médian.

Dans la main, il y a environ 17 000 afférences cutanées innervant la peau glabre de la main [5]. Les estimations pour la main ont montré que la densité variait dans un gradient proximal distal de la surface ; où une augmentation abrupte de la densité des afférences est observée dans les bouts des doigts par rapport aux phalanges moyennes et à la paume [4]. La densité des mécanorécepteurs dans les bouts des doigts a été estimée à 241 unités/cm². Les estimations pour la paume sont de 58 unités/cm² [6].

Sur la Figure 1, le nombre de fibres nerveuses sensorielles innervant une zone est indiqué par la densité de pointage (RA s'adaptant rapidement, SA s'adaptant lentement). Les corpuscules de Meissner (RA) et les récepteurs de disque de Merkel (SA I) sont les récepteurs les plus nombreux. Ils sont répartis de manière préférentielle sur la moitié distale du bout du doigt. Les corpuscules de Pacini (PC) et de Ruffini (SA II) sont beaucoup moins présents. Ils sont répartis de manière plus uniforme sur la main, montrant peu de différenciation entre les régions distales et proximales [6].

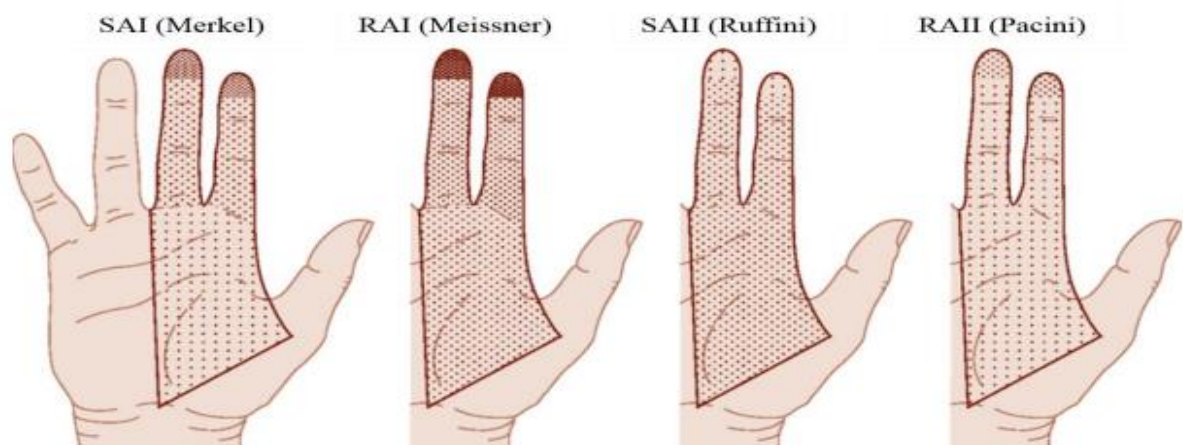


Figure 1 : La répartition des types de récepteurs dans la main humaine [5]

Les corpuscules de Meissner et les corpuscules de Pacini sont des récepteurs phasiques qui réduisent rapidement la fréquence des décharges : leur

adaptation est dite rapide, même très rapide pour les corpuscules de Pacini. Ces récepteurs détectent les propriétés dynamiques du stimulus tactile : vibrations, vitesse, mouvements...

Les disques de Merkel et les corpuscules de Ruffini sont des récepteurs toniques qui déchargent de manière continue ou diminuent lentement leur fréquence : leur adaptation est dite lente. Ces récepteurs détectent les propriétés statiques du stimulus, c'est-à-dire les pressions et les caractéristiques de l'objet : sa forme, ses bords, sa texture...

En ostéopathie nous utilisons donc l'ensemble de ces mécanorécepteurs. Chacun envoyant plusieurs informations qu'il faut premièrement apprendre à décoder puis il nous faut stocker l'information dans notre mémoire pour pouvoir venir comparer les sensations futures.

Intérêts ostéopathiques

- La main possède une immense quantité de mécanorécepteurs polymodaux.
- Ces récepteurs sont tous relativement superficiels (0.5 à 2 mm sous l'épiderme) ce qui implique que pour bien sentir il faut appuyer avec légèreté.
- Chaque touché va entraîner une salve d'informations différentes qu'il va falloir mémoriser, stocker dans la mémoire, comparer aux nouvelles sensations...ce long processus demande du temps et de très nombreuses répétitions pour se fiabiliser...

Les voies neurologiques des sensations manuelles

Dans la zone glabre de la main, les fibres tactiles sont donc stimulées par 4 récepteurs spécialisés.

Toutes les fibres nerveuses issues des différentes structures précédemment décrites sont myélinisées, c'est-à-dire entourées d'une gaine de myéline ce qui leur permet de transmettre très rapidement l'influx nerveux avec des vitesses allant de 90 à 30 m/s.

Les voies issues de corpuscules de Meissner, des disques de Merkel, des corpuscules de Ruffini sont conduites vers le plexus nerveux dermique très superficiel ; il s'articule avec le faisceau nerveux cutané, un peu plus profond, qui reçoit le plus souvent directement les fibres nerveuses des corpuscules de Pacini ; ce faisceau remontera bien entendu via les nerfs sensitifs et mixtes périphériques vers les racines postérieures des nerfs rachidiens cervicaux qui leur permettront, accompagnés par les nerfs issus de la proprioception de former la voie lemniscal; laquelle monte à la partie arrière de la moelle épinière pour rejoindre l'encéphale.

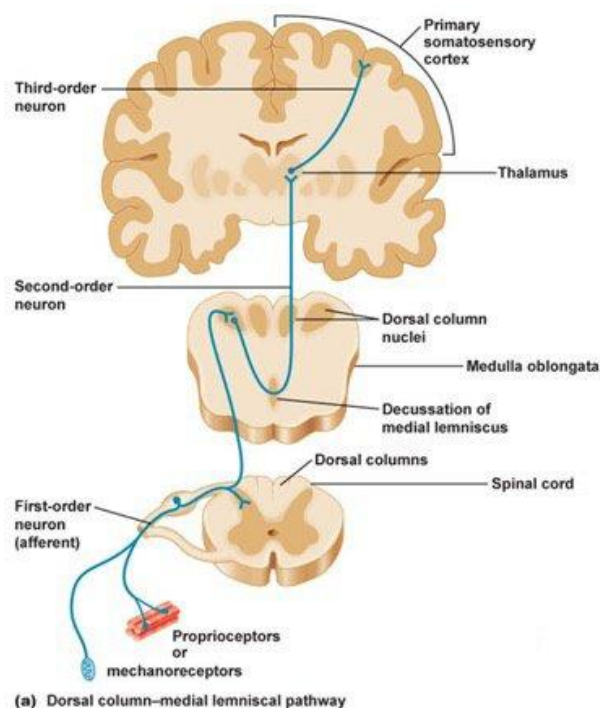


Figure 2 : La voie lemniscale

Pour la sensibilité qui renseigne sur la chaleur, les récepteurs sont des terminaisons nerveuses libres (de même que pour le tact grossier et la douleur).

Les fibres nerveuses qui les conduisent vers les racines postérieures des nerfs rachidiens empruntent les mêmes plexus dermiques et faisceaux nerveux cutanés que ceux vus précédemment, mais elles sont de diamètre beaucoup plus petit et dépourvues de gaine de myéline : elles sont dites amyéliniques: elles conduisent donc l'influx nerveux beaucoup plus lentement (2 à 0,5 m/s) ; quand elles atteignent la corne postérieure de la moelle elles ne suivent pas le parcours

des fibres mécano-réceptrices ; en effet elles font synapse avec un neurone qui conduit l'influx nerveux sur le côté opposé à celui entrant en formant le faisceau spino-thalamique qui, contrairement au faisceau lemniscal circule donc en position antéro-latérale et controlatérale.

La sensibilité proprioceptive consciente, déjà évoquée précédemment, concerne la sensation des mouvements et du positionnement des différentes parties de la main ; en principe cette sensibilité est assurée par des récepteurs musculaires fuseaux neuro-musculaire, des organes tendineux de Golgi et des récepteurs de capsules articulaires extrêmement riches en corpuscules de Ruffini ; les fibres sensibles issues de ces récepteurs sont les plus grosses des fibres myélinisées sensibles, donc capables de transmettre l'influx nerveux à très grande vitesse (120 à 90 m/s) ; elles rejoignent les racines postérieures des nerfs rachidiens pour s'associer aux fibres tactiles de la voie lemniscale et donner ainsi à l'encéphale les renseignements permettant une prise de conscience quasi immédiate des mouvements et de la position des différents segments de votre main, votre poignet et l'ensemble du membre supérieur ; complétant parfaitement les informations tactiles.

Intérêts ostéopathiques

- La main sensitive est un organe d'investigation de la réalité incomparable et irremplaçable. L'information tactile donne à la préhension sa précision et inversement la palpation renforce la sensibilité. la main glisse, frôle, effleure, touche, tâte, presse, comprime, pousse, manipule, soupèse...
- Par le toucher, la palpation et la manipulation, grâce à la synthèse terminale des sensations venues du système récepteur superficiel et du système récepteur profond, la main accède à la connaissance corporelle du patient.
- Le toucher léger fournit une sensation de contact et permet de porter un jugement sur les qualités d'une surface, d'un fascia...
- Le toucher appuyé, la pression, apprécie la résistance, la consistance, ce que nous nommons parfois, à l'origine de nombreux débats sémantiques !!, une densité

Deux derniers éléments sont à garder en mémoire quand on parle de la sensibilité de la main :

- La présence d'une connexion entre fibres sensibles et deux noyaux intramédullaires qui donnent naissance aux voies spino -cérébelleuses ou voies de la proprioception inconsciente ; en effet ces voies qui sont parmi les plus rapides des voies sensibles sont destinées au cervelet lequel fonctionne inconsciemment, mais son rôle est primordial, car c'est lui qui réagit pour positionner au mieux les segments du corps, préalable à la réalisation adéquate d'un mouvement volontaire de la main.

La nécessaire répétition des techniques et une condition obligatoire pour permettre l'enracinement de schémas moteurs automatiques dans le cortex du paléo cervelet grâce aux influx incessants du faisceau de Fleschig. En retour, et par l'activation de noyaux sous-corticaux comme le noyau rouge, un schéma moteur automatique d'accompagnement de la main (par notamment le bon positionnement de l'épaule) viendra placer l'ensemble du membre supérieur en position adéquate pour favoriser la sensibilité manuelle.

Le cortex cérébral : intégration des informations reçues de la main, rôle de la mémoire...

Le cortex cérébral : intégration des informations reçues de la main

Même si l'on présente séparément et séquentiellement les fonctions sensibles, d'intégration et motrices, il est important de les considérer de façon globale, au sein d'une même boucle motricité-intégration-sensation. Lorsque nous touchons, nous recevons des informations sensorielles (tactiles ou proprioceptives). Ces informations sont intégrées en vue d'ajuster la motricité. Mais la captation de ces informations sensorielles dépend en fait de la motricité qui a eu lieu préalablement (par exemple par notre posture prise). Et la motricité qui suivra aura une incidence sur la captation des informations sensorielles qui suivront, et ainsi de suite. Plutôt que des séquences sensation-intégration-motricité, il faut donc considérer une interaction et des ajustements permanents entre sensorialité, intégration et motricité, sans vraiment chercher à savoir ce qui précède quoi. Les sensations influencent la motricité qui elle aussi influence en retour la prise de sensation.

L'ensemble des informations sensibles épicrotiques, proprioceptives conscientes, protopathique issues de la main convergent au thalamus puis les fibres thalamo-corticales du noyau ventral postérieur du thalamus aboutissent :

- au niveau du cortex somesthésique primaire (SI), au niveau de la couche IV corticale. Ce SI comporte quatre aires (aires de Brodmann) : 3a, 3b, 1 et 2.
- au cortex somesthésique secondaire (SII) situé sur la lèvre supérieure de la scissure de Sylvius. Il correspond à des aires associatives du cortex pariétal postérieur (aires de Brodmann : 5 et 7). SII participerait à l'apprentissage et au souvenir tactile (texture, caractéristiques des objets manipulés et émotions qui leur sont liées).

Les aires corticales primaires sensorielles constituent des représentations des organes sensoriels sous forme de mosaïques fonctionnelles, véritables cartes régionalisées qui sont le siège d'un décodage de la localisation et de la spécificité modalitaire des stimuli transcodés par les capteurs des épithéliums sensoriels périphériques.

Au début des années 2000, de nombreux travaux ont conduit à nuancer la conception dogmatique jusqu'alors dominante selon laquelle le réseau de connectivité et les propriétés fonctionnelles des neurones au sein du système nerveux central, très plastique au stade fœtal et durant les périodes critiques du développement postnatal, deviendraient stables et rigides une fois achevée la maturation [7]. En effet, les études sur l'organisation morphologique et fonctionnelle du cortex chez l'adulte démontrent que les aires corticales constituent des entités loin d'être immuables [7]. Les représentations sensorielles, dont ces aires corticales sont le siège, sont actuellement considérées comme des constructions dynamiques d'une grande malléabilité.

Cette malléabilité contribue à l'engrammation neurobiologique de l'expérience. En effet, bien que les cartes somesthésiques soient dotées de propriétés somatotopiques invariantes d'un individu à l'autre, déterminées par des facteurs génétiques et épigénétiques, elles constituent des signatures neurobiologiques individuelles [8].

Chacune des cartes des aires 1 et 3b de SI se présente sous la forme d'une figurine, ou homonculus, représentant l'épithélium sensoriel cutané. Cet homonculus est caractérisé par une représentation anisomorphe des régions

cutanées : celles d'une importance fonctionnelle particulière et notamment les mains chez l'homme qui occupent des territoires corticaux plus vastes. Bien que les propriétés générales d'organisation de ces représentations sensorielles présentent des invariances topographiques d'un sujet à l'autre, les cartes somatosensorielles sont dotées de spécificités d'organisation uniques en fonction de l'environnement extérieur qui ne seraient pas génétiquement déterminées [9].

Intérêts ostéopathiques

- Votre sensation manuelle vous est propre puisqu'elle est intégrée, comparée, analysée par une structure corticale qui vous est propre du fait de vos expériences passées.
- Ce cortex et donc vos facultés d'analyse de la sensation manuelle ne sont pas figés, mais sont en perpétuelles évolutions d'où la nécessité absolue d'apporter un grand soin à l'apprentissage et à la répétition.
- Puisque votre sensation manuelle vous est propre, son expression orale vous l'est tout autant. Ceci objective la difficulté que nous avons à « codifier » l'expression de nos sensations, il faut l'accepter et essayer d'être moteur pour tendre à un langage commun dans le respect de la sensibilité de chaque thérapeute.

La mémoire des informations tactiles

Une définition plus neurobiologique, proposée par le dictionnaire de l'université de Rennes1, définit la mémoire comme un processus dynamique par lequel l'information est :

- encodée brièvement par les diverses mémoires sensorielles,
- traitées temporairement en mémoire à court terme (mémoire de travail) par un système central coordonnant la boucle articulatoire et l'esquisse visuo-spatiale
- finalement transférée en mémoire à long terme pour un stockage plus permanent en mémoires épisodiques, sémantique, prospective et de procédures.

MÉMOIRE SENSORIELLE	MÉMOIRE COURT TERME	MÉMOIRE LONG TERME
< 0,5 secondes	< 90 secondes	> 90 secondes
Organisation temporaire	Capacité limitée	Capacité illimitée

Tableau 1 : les différentes mémoires en fonction de la durée de stockage de l'information (100 idées pour développer la mémoire des enfants, Risso, 2015 :15).

Les perceptions sensorielles subissent un premier encodage que l'on appelle la transduction sensorielle. Comme nous venons de le voir précédemment, les informations ainsi codées suivent des voies spécifiques pour activer certaines zones du cerveau et être interprétées en conséquence. Puis, les traces significatives seront transformées pour passer dans une mémoire plus stable qui est la mémoire à court terme avec d'être stockées dans la mémoire à long terme.

En d'autres termes les informations sensorielles sont prélevées de manière sélective. Il est impossible de tout mémoriser : nous retenons les informations dans notre mémoire que si nous y portons attention.

Il faut garder en mémoire que lorsque nous souhaitons « garder en mémoire » une information tactile nous n'utilisons pas uniquement les informations sensorielles kinesthésiques, mais une myriade d'informations sensorielles. Chaque individu requiert non pas un canal sensoriel unique pour les processus de mémorisation, mais plusieurs. En fait, il y a une combinaison, un croisement des informations sensorielles propres à chaque individu. C'est la combinaison de ces perceptions sensorielles qui permet l'identification de l'information de manière précise et l'implémentation de la mémoire.

La mémoire à court terme des informations tactiles

La mémoire à court terme est une mémoire qui maintient l'information de manière temporaire dans le cerveau.

L'objectif de cette mémoire n'est pas de stocker à long terme, elle ne possède d'ailleurs qu'une très faible capacité limitée de stockage des informations, et au bout de 30 secondes environ, elle commence à se dégrader.

Sa durée d'acquisition est donc très courte. Si l'information contenue dans la mémoire à court terme n'est pas répétée, elle sera progressivement perdue.

L'information contenue dans cette mémoire à court terme peut donc être :

- oubliée
- ou incorporée dans la mémoire à long terme.

Le passage de la mémoire à court terme à la mémoire à long terme n'est pas systématique. Ce processus est actif et s'opère :

- soit si l'encodage est approfondi (visualisation, hiérarchisation),
- soit si l'information est répétée,
- soit si elle a une valeur affective importante pour le sujet [10].

Le passage de la mémoire à court terme à la mémoire à long terme s'appelle la consolidation. Elle est fortement dépendante des interférences [11].

Pour comprendre ces phénomènes de consolidation et de mémoire de nos sensations manuelles, auxquels nous pourrions nous référer ultérieurement, il est utile de regarder comment les concepts de mémoire ont été perçus au cours de l'évolution des connaissances.

Le modèle classique d'Atkinson et Shiffrin (1968) livre quelques réponses facilement compréhensibles :

- 1.** Le stimulus est d'abord capté par les organes des sens dans le registre sensoriel.
- 2.** Les informations sont perdues si elles ne sont pas transférées dans la mémoire à court terme.

La mémoire à court terme contrairement à la mémoire à long terme à une capacité limitée et est sans cesse stimulée par les événements nouveaux de l'environnement qui expulse les représentations plus anciennes.

Si le stimulus est nouveau ou " signifiant ", des processus de contrôle se mettent en place dont l'autorépétition qui permet son maintien dans la mémoire à court terme et inhibe l'entrée des autres représentations.

3. Les informations sont perdues si elles ne sont pas transférées dans la mémoire à long terme.

Lorsque l'information passe dans la mémoire à long terme, elle y est organisée, approfondie et intégrée aux connaissances précédentes.

4. La mémoire à court terme récupère des souvenirs de la mémoire à long terme pour les rafraîchir et pour pouvoir prendre les décisions.

Il est donc intéressant de comprendre ce modèle même s'il est convenu de nos jours qu'il est dépassé, remplacé par le modèle d'Alan Baddeley et Hitch (1974) qui est le modèle classique retenu pour la mémoire de travail ou le modèle de Nelson Cowan qui considère que la mémoire à court terme et la mémoire à long terme font partie d'un même système, et non pas de plusieurs modules différents. Les stimuli sensoriels entrent dans le registre sensoriel et activent directement la mémoire à long terme. Dans le modèle de Cowan, la mémoire à court terme n'est que la partie activée de la mémoire à long terme.

La mémoire à long terme des informations tactiles

La mémoire à long terme est définie comme un système de stockage à capacité indéfinie, théoriquement illimitée et dans lequel l'information est détenue de façon durable.

La mémoire à long terme comprend :

- La mémoire non déclarative est aussi appelée mémoire implicite. Elle fait référence à des apprentissages qui ne peuvent être rappelés par un processus conscient ; on n'aura pas nécessité de se souvenir consciemment pour mettre en jeu cette mémoire. Cette mémoire est stockée dans des régions diffuses plus anciennes phylogénétiquement : ce sont les régions sous-corticales comme les ganglions de la base ou le cervelet. La mémoire non déclarative est subdivisée en mémoire procédurale et mémoire perceptive.
 - La mémoire procédurale découverte par le neurologue Larry Squire concerne l'apprentissage et le stockage des compétences (Eustache

et Desgranges, 2008) qui proviennent de la mémoire immédiate. Le mécanisme essentiel, ici, est la répétition. Cette mémoire permet de piloter " en roue libre ". En effet quand je me positionne en « écoute » d'un rein par exemple je ne pose pas chaque fois la question de la coordination des différents actes effectués qui ont tout de même nécessité un apprentissage, donc une mise en mémoire. En le disant plus simplement, la mémoire consciente va me permettre de me rappeler des sensations de motilité du rein, des sensations de densité du rein, mais tout le reste de la procédure qui me permet d'accéder à la palpation de ce rein se fera grâce à la mémoire non déclarative procédurale.

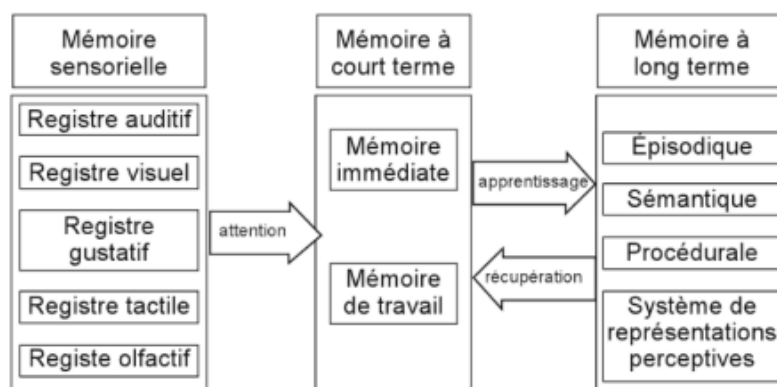
- La mémoire perceptive est la mémoire du percept, avant même qu'il ait une signification. Par exemple, dans le cadre de la perception visuelle, on perçoit d'abord une forme avant de pouvoir l'identifier. Déjà, à ce stade, le cerveau garde une première trace de ce qu'il a perçu.
- Les effets d'amorçage que l'on peut qualifier de mémoire associative est un processus cognitif permettant d'influer sur la performance d'une tâche ultérieure en fonction d'une tâche précédemment effectuée. L'amorçage perceptif permet d'améliorer la perception de stimuli déjà rencontrés pour l'accélérer et la rendre plus efficace...ceci est un véritable cercle vertueux expliquant sans doute que des thérapeutes expérimentés sentent plus vite que les novices qui sont sur au début du chemin de l'engrammation corticale des sensations manuelles.
- La mémoire déclarative appelée mémoire explicite qui concerne tous les souvenirs pour lesquels on va se souvenir du contexte d'apprentissage. C'est un système conscient d'informations qui peuvent être exprimées par le langage. Pour cette mémoire elle est subdivisée en mémoire :
 - sémantique (mémoire du concept, de la théorie, mémoire du langage) qui gère toutes les connaissances acquises pour pouvoir les utiliser en temps opportun.
 - épisodique est une mémoire des événements particuliers et datés (mémoire temporo-spatiale) qui nous ont marqués personnellement. Cette mémoire est sensible à la durée entre le

contexte d'apprentissage et la récupération. Le souvenir va donc être fragilisé entre le moment où on apprend et le moment où on récupère, plus ce moment est long plus il est difficile à récupérer cette information. Cette mémoire est aussi sensible à la quantité d'information d'où la nécessité à répéter les informations qu'on veut stocker.

Cette mémoire épisodique contient les souvenirs des événements vécus avec leur contexte comme la date, le lieu et aussi l'état émotionnel.

La mémoire épisodique va permettre un voyage mental dans le temps. Ce souvenir sera souvent accompagné d'une image mentale et parfois même une émotion accompagnera ce souvenir et donc cette mémoire est propre à chacun en fonction du contexte dans lequel on a enregistré ce souvenir. En anglais on utilise le terme « reconnection » pour exprimer que l'on va être capable de revivre cet événement d'apprentissage.

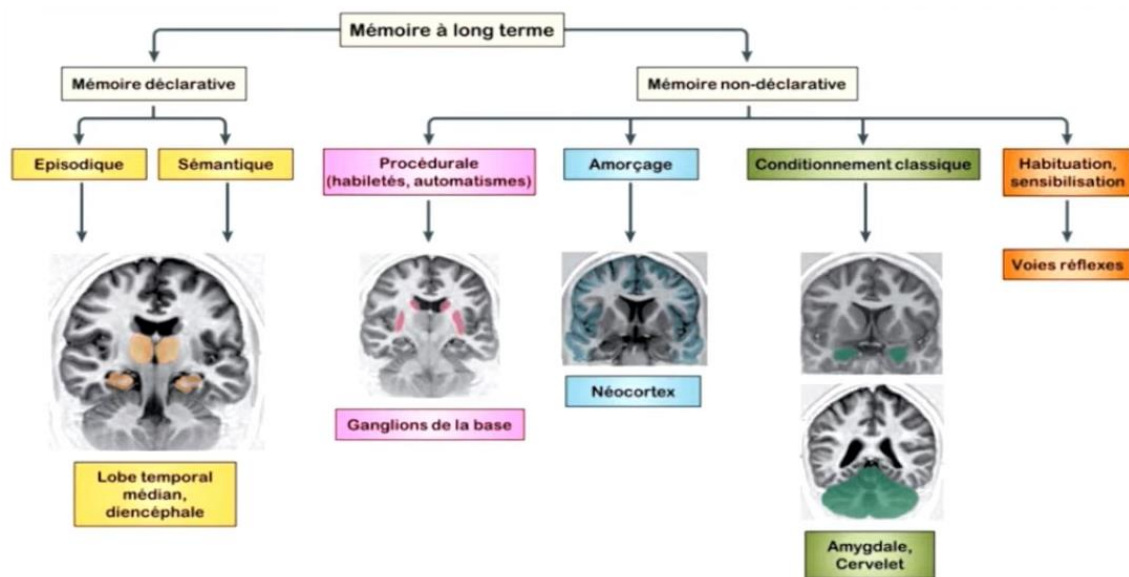
Cette conscience est fondamentale pour le développement de l'enfant afin de pouvoir voyager dans le temps et ainsi construire son identité : le passé, le présent comme le futur. C'est une mémoire autoérotique c'est-à-dire qu'elle permet la connaissance de soi-même.



Organigramme 1 : récapitulatif des différentes mémoires et de leurs interactions (100 idées pour développer la mémoire des enfants, Risso, 2015 :15).

Toutes ces mémoires ne sont pas indépendantes les unes des autres et se complètent. Leurs processus sont communs (ce qui ne veut pas dire identiques) :

- l'encodage
- le stockage
- la récupération
- l'oubli des informations.



Organigramme 2 : Taxonomie des systèmes mnésiques [Squire 1978, Tulving 1972]

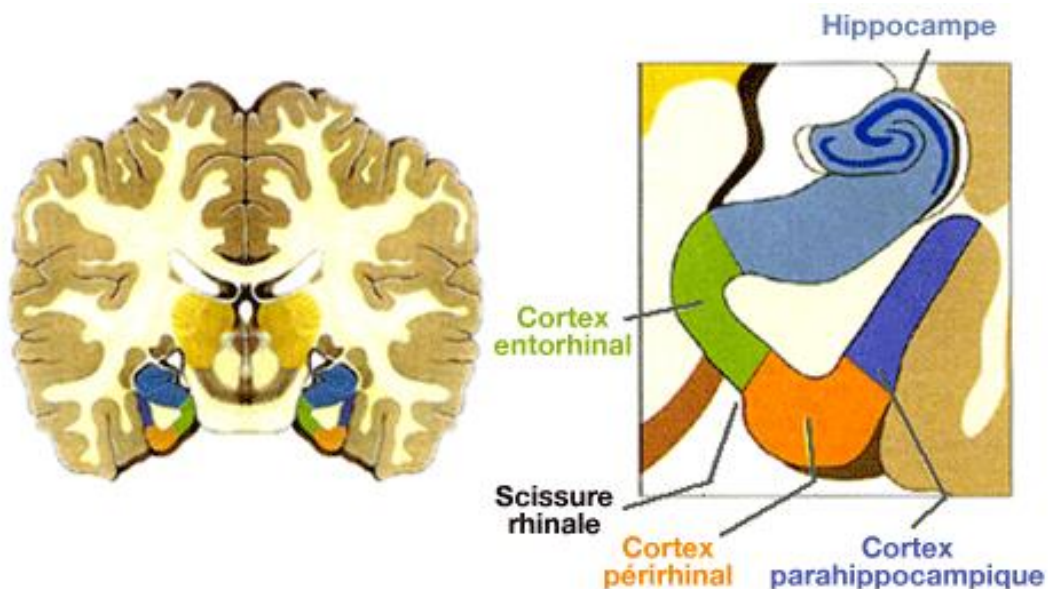
Neurobiologie de la mémoire

Descendre au niveau neurobiologique n'est pas chose aisée et la lecture des propos peut rapidement apparaître fastidieuse avec l'impression de s'écarter du sujet initial. Mais toujours dans un souci de compréhension de nos sensations manuelles et avec comme objectifs de comprendre comment faciliter chez l'étudiant la sensation, la perception et l'engrammation de ces informations, nous vous proposons de partir à la découverte des substrats anatomique et biologique de trace mnémonique.

La boîte de pandore des systèmes mnésiques : l'hippocampe

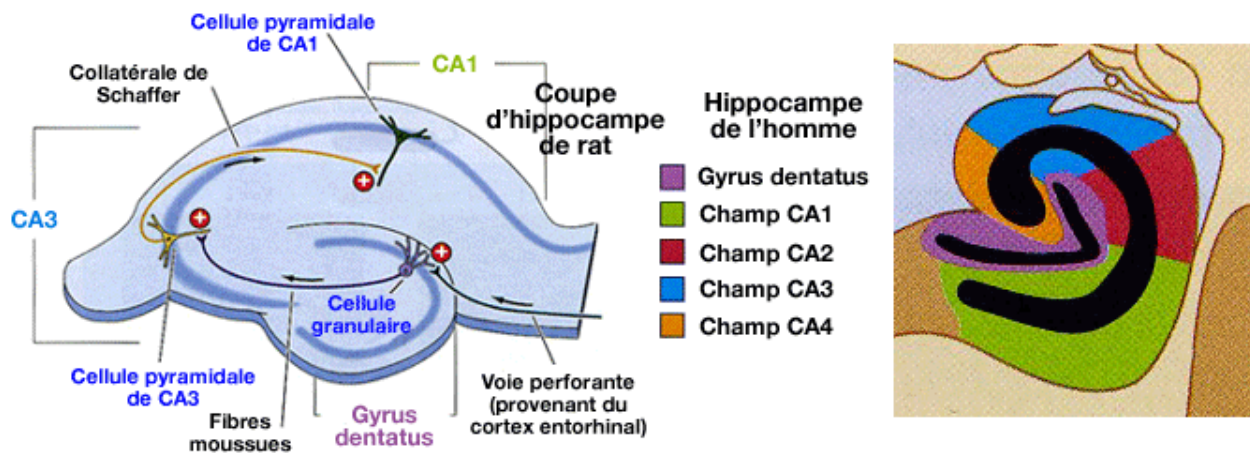
Le lobe temporal interne fait partie d'un vaste système qui joue un rôle important dans les émotions et la mémoire.

- Pour ce qui est de la mémoire, il comprend plusieurs structures dont l'hippocampe en est une des composantes majeures.
- le cortex adjacent (entorhinal, périrhinal, parahippocampique) reçoit et transmet des informations aux autres aires corticales : leur atteinte provoque également des troubles sévères de la mémoire, ce qui laisse penser que certains souvenirs ne sont pas dépendants de l'hippocampe.



Au sein de l'hippocampe, il y a plusieurs régions et présente la particularité d'être connecté à l'amygdale qui va gérer les émotions avant de transmettre ces informations à l'hippocampe.

On peut considérer l'hippocampe comme un véritable ordinateur avec plusieurs cartes en réseau qui correspondent à différentes régions cellulaires qui ont la capacité de communiquer ensemble.



Le fonctionnement de l'hippocampe repose sur un système trisynaptique : c'est un système à voies, une voie d'entrée, une voie de sortie et une voie pour faire le tour à l'intérieur.

Quand l'information arrive (en passant par le cortex entorhinal) elle passe en premier lieu par le gyrus denté.

Puis les cellules granulaires du gyrus denté vont se projeter sur le CA3 (corne d'Amon 3).

Puis les axones des cellules pyramidales du CA3, les collatérales de Schaffer, se connectent aux cellules pyramidales du CA1.

Ces différentes voies sollicitant différentes régions hippocampiques ont comme objet de vérifier si l'information en cours d'acquisition est identique, presque identique ou différente des souvenirs déjà engrammés.

L'hippocampe reçoit des afférences :

- via le cortex entorhinal qui intègre toutes les informations reçues par le cortex périrhinal et parahippocampique en provenance des différentes aires corticales

L'hippocampe transmet les informations par le fornix

- au thalamus
- à l'hypothalamus

À partir de là les informations sont renvoyées aux aires corticales associatives qui recontactent le cortex entorhinal qui de nouveau intègrera ces différentes composantes pour les transmettre à nouveau à l'hippocampe.

Cette boucle neurologique permet ainsi à l'expérience sensorielle de rester active dans le cerveau : elle dure plus longtemps que le stimulus.

Notions de plasticité

Il est entendu, sans toujours savoir pourquoi, que quand on étudie ou qu'on s'entraîne, on modifie l'efficacité de certaines synapses et on sélectionne ainsi des neurones qui vont devenir « habitués de travailler ensemble ».

Dans nos propos cela veut aussi dire que l'habileté manuelle, la dextérité des sensations manuelles n'est pas quelque chose qui est fixé d'avance. On peut tous apprendre et s'améliorer durant toute notre vie parce que notre cerveau se modifie constamment.

Des réorganisations morphologiques, comme le bourgeonnement terminal ou la prolifération de boutons synaptiques, constituent un mécanisme de plasticité impliqué dans le remodelage des réseaux neuronaux.

Ces mécanismes modifient la densité des connexions entre neurones et donc la capacité d'un neurone à influencer l'activité des neurones avec qui il est en relation.[12]

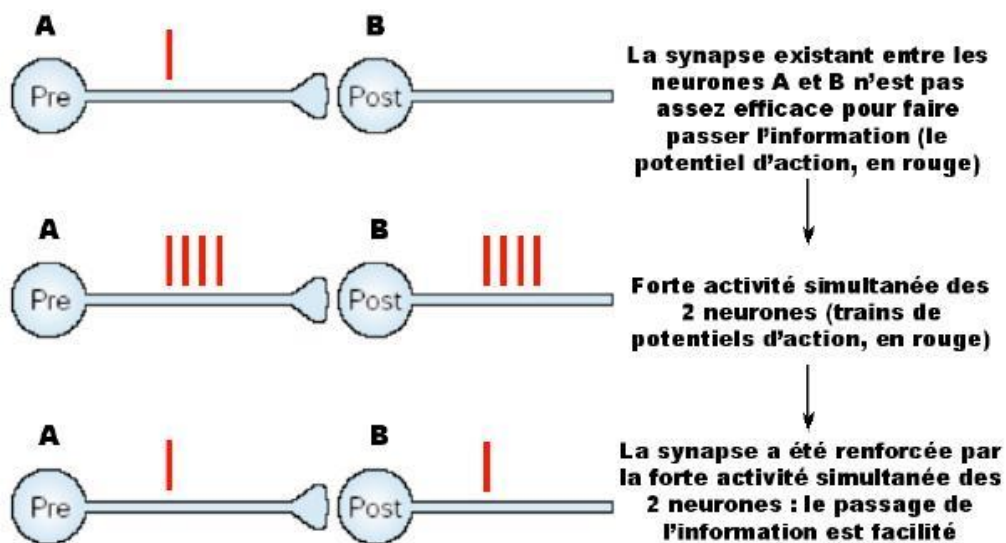
Le monde scientifique s'accorde sur les faits suivants :

- Plus il y a d'apprentissage plus cette plasticité synaptique se développera pour soutenir ces apprentissages
- Plus il y a d'apprentissages plus il y aura d'épines dendritique eux même siège de la connectivité interneuronale

Les nombreuses recherches sur la mémoire ont mis en avant que l'hippocampe est la structure cérébrale qui a la capacité la plus élevée pour créer ces contacts fonctionnels.

Pour ce faire l'hippocampe va appliquer la loi de Hebb [13] qui stipule que :

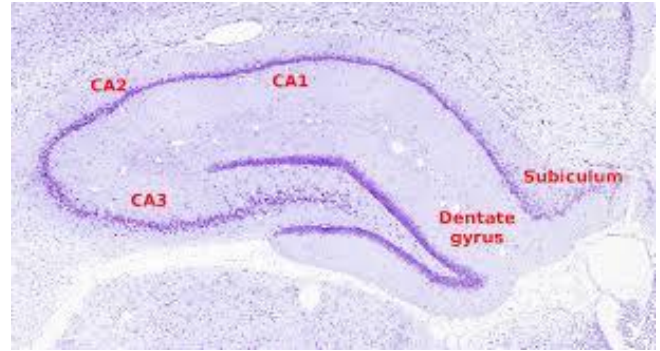
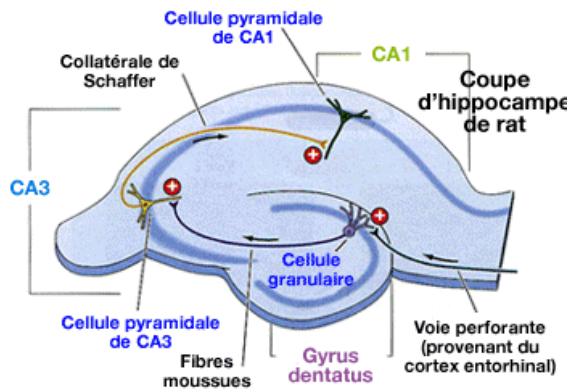
- Partant d'un postulat que quand un neurone A est connecté à un neurone B, le neurone A va stimuler le neurone B
- Puis à force de stimuler le neurone B quand le neurone A aura besoin de stimuler le neurone B, au lieu d'avoir la nécessité de lui envoyer un grand nombre d'informations, il n'aura juste besoin que de lui donner une petite stimulation pour que cette dernière suffise à faire propager le message le long du neurone B.



Organigramme n°3 : Loi de Hebb

Ceci explique que lors de l'apprentissage il faut au départ répéter un grand nombre de fois l'information...à force que ces neurones se connectent aux neurones suivants il suffira d'une toute petite stimulation pour arriver à retrouver l'information dans notre mémoire.

Cette première constatation, très appropriée aux connexions hippocampiques, mettent en avant les grandes possibilités de potentialisation de l'hippocampe siège aussi d'un processus biochimique remarquable : la potentialisation de long terme.



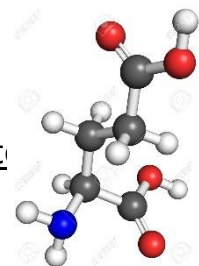
La Potentialisation à Long Terme au niveau de l'hippocampe :

Même si le neurone A n'a pas connecté le neurone B depuis longtemps, le jour où A connecte B il va être capable de récupérer l'information rapidement, et ceci grâce à des phénomènes biochimiques particuliers. Ceci est un des éléments qui permet de comprendre qu'on va être capable de récupérer nos souvenirs, nos connaissances tout au long de notre vie.

En 1973, Bliss et ses collègues ont montré qu'une stimulation à haute fréquence de la voie perforante entraînait une augmentation persistante de l'efficacité de la transmission synaptique dans le gyrus denté. Cette augmentation, qui peut durer plusieurs jours *in vivo*, a été appelée la potentialisation à long terme (LTP) [14].

Ce phénomène a été aussi mis en évidence au niveau des connexions entre les collatérales de Schaffer et les épines dendritiques du CA1 [15].

Mécanismes biochimiques de la LTP et rôle du glutamate

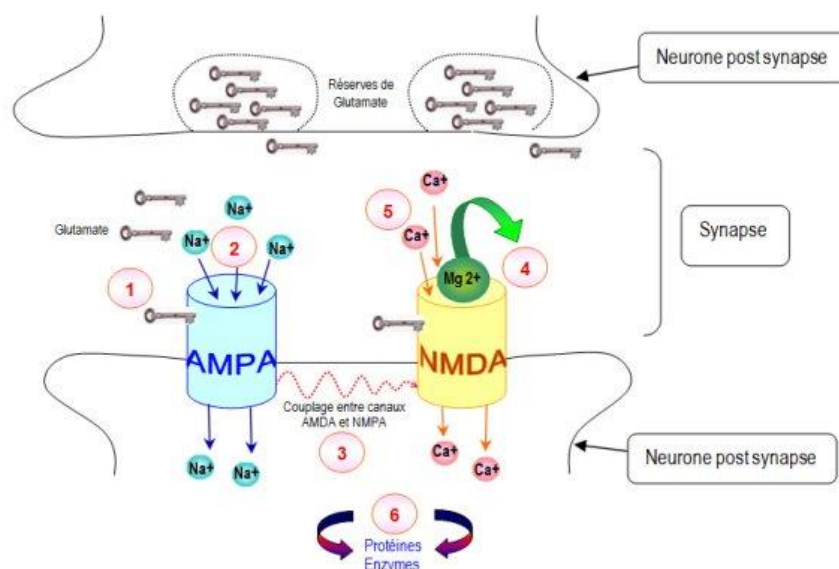


Le glutamate, principal neurotransmetteur excitateur du système nerveux central [16], et ayant une action excitatrice bien connue sur des neurones de la moelle épinière, est aussi responsable, au niveau de l'hippocampe, de la transmission entre les collatérales de Schaffer et les dendrites des cellules pyramidales du CA1 [17].

Le glutamate agit sur 2 groupes de récepteurs : les récepteurs ionotropiques, qui sont des canaux ioniques dont l'ouverture dépend de la liaison neurotransmetteur/récepteur et les récepteurs métabotropiques, qui sont couplés à une protéine G et une cascade de messagers secondaires.

Deux classes principales de récepteurs-canaux sensibles au glutamate ont été décrites et sont colocalisées sur les mêmes synapses :

- les récepteurs NMDA associés à un canal perméable principalement aux ions sodium et potassium et est responsable de la transmission synaptique rapide [18].
- les récepteurs AMPA qui contient un canal perméable aux ions potassium, sodium et surtout pour les ions calcium et est responsable de la phase tardive du potentiel postsynaptique excitateur.



Organigramme 4 : les principaux récepteurs sensibles au glutamate

À l'intérieur du canal du récepteur NMDA un site voltage-dépendant, fixant l'ion magnésium, peut bloquer l'influx ionique.

Au repos, le récepteur NMDA participe peu à la transmission synaptique, le canal étant bloqué par la présence d'ions magnésium.

La dépolarisation membranaire permet d'enlever le bouchon magnésique et d'ouvrir le canal NMDA. Ce mécanisme est suivi par l'augmentation

postsynaptique du calcium et de l'activation importante de messagers secondaires jouant un rôle fondamental dans la plasticité synaptique [19].

Dans le CA1 de l'hippocampe, il semble que les récepteurs AMPA ne soient exprimés que dans 75 % des synapses alors que les récepteurs NMDA le sont dans près de 100 % des synapses [20].

Au vu de ces résultats et bien que différents récepteurs puissent être impliqués dans l'induction de la LTP, il semble que l'augmentation de calcium postsynaptique en soit l'élément primaire et indispensable.

Il a été ainsi observé que les épines dendritiques contiennent une très forte concentration de Calcium\calmoduline kinase II (CamKII), une protéine kinase activée par le calcium.

Suite à l'induction de la LTP, cette enzyme est activée par l'entrée postsynaptique de calcium puis, par auto-phosphorylation (processus catalytique fréquent voyant l'ajout d'un ion phosphate), elle peut s'activer de manière constitutive, indépendamment du calcium, et rester active pendant plusieurs heures [21].

De tels effets pourraient à eux seuls suffire pour provoquer la potentialisation synaptique qui caractérise la LTP.

Toutefois, ces constatations soulèvent deux interrogations :

- comment expliquer le maintien à long terme de la LT, compte tenu du recyclage relativement rapide des protéines ?
- comment expliquer que des éléments biochimiques, dont la durée de vie est de quelques heures voire tout au plus quelques jours, permettent le maintien d'une information pendant plusieurs semaines ?

Une possibilité très intéressante ont été mis en avant par les équipes de Ramon y Cajal déjà, sur le fait que l'activité synaptique modifie la structure des synapses et que ces modifications influencent en retour la fonction synaptique. C'est ainsi que de nombreuses études ont pu mettre en évidence qu'une modification de la structure de l'épine est associée à l'expression de la LTP.

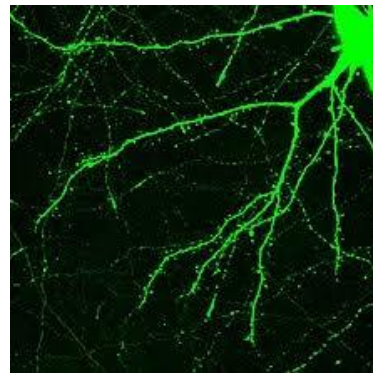
De plus, des modifications de la morphologie de cellules non neuronales ont pu être mises en évidence. En effet à la suite de l'induction de la LTP, il a été observé

une augmentation de la surface de contact que forment les processus astrocytaires avec les synapses.

Il faut garder en mémoire que les cellules gliales peuvent jouer un rôle dans la transmission synaptique et notamment en contrôlant la concentration en neurotransmetteurs dans la fente synaptique.

Dans l'hippocampe, la grande majorité de la transmission excitatrice s'effectue à travers des synapses chimiques, glutamatergiques, entre axones et épines dendritiques, alors que les fibres provenant des interneurons inhibiteurs se terminent directement sur les dendrites des cellules pyramidales ou sur le corps cellulaire. L'élément présynaptique, le terminal axonal, peut soit se trouver au bout d'une ramification de l'axone et s'appelle bouton terminal, soit former une varicosité le long de l'axone non myélinisé ou dans les nœuds de Ranvier des axones myélinisés et s'appeler bouton en passant.

L'élément postsynaptique, l'épine, est une excroissance dendritique terminée par un renflement, qui donne cette apparence de rosier épineux. Une cellule pyramidale adulte reçoit environ entre 15000 et 25000 contacts synaptiques, dont environ 80 à 90 % se font sur des épines dendritiques. Étant donné qu'un neurone du CA3 contacte une cellule du CA1 par environ 3 à 7 synapses, un seul neurone du CA1 sera en contact avec environ 5000 neurones du CA3 [22].



Rôle des épines et de leur diversité :

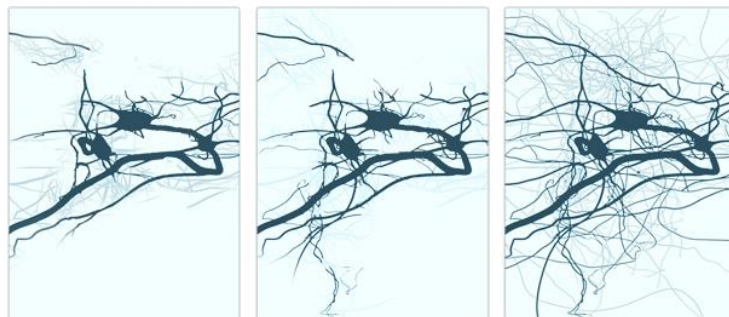
L'épine dendritique, par sa forme, constitue un micro-compartiment relativement isolé de la dendrite, permettant de conserver l'individualité des « inputs » synaptiques et lui permettant de fonctionner comme une unité

intégrative multifonctionnelle. Sa structure ainsi que sa fonction peuvent être modulées selon l'activité synaptique locale, lui donnant ainsi une position clé dans l'expression de mécanismes de plasticité synaptique.

La diversité morphologique des épines pourrait représenter les différentes étapes à travers lesquelles une épine individuelle doit passer avant d'atteindre un état mature ainsi que les différents états dynamiques dépendant de l'historique de vie des épines individuelles et de leur fonction. En effet, il est admis que la forme et le nombre des épines, ainsi que la répartition des récepteurs ou encore de diverses organelles, pourraient influencer l'efficacité de la transmission synaptique.

Ainsi, il semble que non seulement la forme de la synapse et principalement de l'épine dendritique puisse se modifier selon son état fonctionnel, mais également qu'une variation de la morphologie de l'épine puisse induire une modification de sa fonction.

Un grand nombre d'études ont indiqué que des traitements aussi variés que des modifications hormonales, des traitements pharmacologiques, des lésions, différentes formes d'apprentissage et d'acquisition d'expérience et la LTP, sont accompagnés de variations de la structure des synapses, s'exprimant principalement au niveau postsynaptique.



Réseaux de neurones avant entraînement puis après 2 semaines puis 2 mois de stimulation cognitive

Ces différents éléments renforcent l'idée que la structure de la synapse influence sa fonction et que l'utilisation d'une synapse peut, en retour, modifier sa structure...la structure gouverne la fonction qui elle-même influe la structure : un concept holistique bien ostéopathique !!!

Enfin nous concluons nos propos par le fait que des études ont montré que le gyrus denté de l'hippocampe créait de nouveaux neurones tout au long de notre vie et donc nous permettait d'acquérir de nouvelles connaissances [23].

Une caractéristique intéressante de la neurogenèse hippocampique adulte est qu'elle est très sensible aux facteurs environnementaux et expériences vécues par l'individu. Ces manipulations externes peuvent avoir un impact à la fois positif et négatif sur les niveaux de neurogenèse tout au long de la vie. Ces effets environnementaux ont été largement détaillés dans de nombreuses revues [24].

L'effet négatif le plus rapporté sur la neurogenèse est celui lié au stress et à l'anxiété [25]. En revanche, parmi les régulateurs positifs les plus importants de la neurogenèse hippocampique figurent l'environnement enrichi [16], qui fournit des stimulations sensorielles, sociales et motrices fortes.

Ces dernières notions mettent encore plus en lumière, à notre sens, la nécessité pour nous thérapeute, de respecter des notions d'ancrage et de présence.

Plus généralement cela met aussi en avant l'apport de l'ostéopathie envers une population jeune, en cours de développement et d'acquisitions, et ses effets sur les fascias, viscères, système fluidique, eux-mêmes régulateur du système neuro-végétatif, support anatomique et neurobiologique des phénomènes de stress et d'adaptations aux différents stressors.