

MCX : Atelier 18  
« COMPLEXITE DU SON, DE SA PERCEPTION ET DE SON ENTENDEMENT »  
Version illustrée Juin 2009  
Laurent VERGNON

*NDLR - Ce texte reprend le script d'une communication orale présentée par le Dr Laurent Vergnon (Atelier MCX 18) au Colloque 'Musique et Complexité (autour d'Edgar Morin et de Jean-Claude Risset)' organisé par Nicolas Darbon (Atelier MCX 37) les 9 – 11 décembre 2008, au CDMC-Paris. On a préféré conserver sa forme orale : Il nous a semblé en effet que sous cette forme, cette méditation sur la complexité du son et de son entendement pouvait, plus aisément que sous une forme académique, susciter échanges et réflexions qui pourront ainsi se poursuivre. L'émerveillement que suscite l'ineffable mystère de la Musique n'appartient-il pas à la formation de notre intelligence de la Complexité ? (l'exposé était accompagné de divers clichés éclairant la complexité du système auditif humain extraits de l'ouvrage de L Vergnon : 'L'audition dans le chaos', Masson 2008. Les clichés présentés ici sont à mettre au Crédit de la Fondation Siemens.*

« Je voudrais avoir la sensation du Virtuose qui, l'oreille collée au bois du violon, écoute sa propre main et forme un anneau fermé de sens.  
Paul Valéry (Cahier VII, 768)

La complexité permet de mieux concevoir l'état du monde dans lequel nous vivons. Elle laisse apparaître à notre intelligence des périodes dans lesquelles le désordre devient ordre et inversement. Ces périodes ont une durée très variable. Le son, qui est notre manière de percevoir les variations impulsionnelles des pressions qui nous entourent, entre, comme tout le reste, dans cette complexité. Des milliards de molécules se déplacent dans tous les sens, se heurtant les unes les autres, certaines ont une intensité plus importante constituant éventuellement l'information que notre



oreille a pour fonction de capter. Nous sommes convaincus de l'impérieuse nécessité d'accepter de vivre dans ce monde de complexité et de revoir, à l'aune de cette nouvelle approche, tous nos dogmes acquis depuis notre enfance avec des concepts linéaires.

La théorie du chaos, est une approche de la complexité. C'est l'un des meilleurs moyens d'aborder les systèmes dynamiques de manière pratique et congruente. Ce faisant, nous n'allons pas moins prendre un petit *morceau* de cette complexité qu'est l'homme et observer un encore plus petit *morceau* de cette complexité : le monde sonore. Le piège dans lequel il ne faut pas tomber est d'en rester au linéaire sortit de son chaos. C'est pourquoi, vous le verrez, nous reviendrons le plus possible à cette complexité après avoir « décomplexifié » un court instant pour regarder plus finement grâce à ce stratagème que nous qualifierons de fil *semi-conducteur*. Notre pensée, en effet, se sert du linéaire pour exprimer une idée. Mais cette décomplexification ne permet aucune conclusion et nous laisse dans le vide, nous obligeant à recomplexifier pour pouvoir nous représenter le système auditif en état de marche. C'est cette gymnastique à laquelle, il est nécessaire de s'habituer.





Un motocycliste inscrit à un grand prix illustre bien un système dynamique à la fois *déterministe* car la moto ne se changera ni en citrouille, ni en carrosse mais *imprédictible* car il peut tomber, avoir une panne de moteur, rencontrer un obstacle, être accidenté par un autre concurrent ou terminer premier... Ce système est extrêmement sensible aux conditions initiales, une minuscule saleté dans le carburateur ou un petit trou dans un pneu peuvent changer radicalement le résultat de la course.



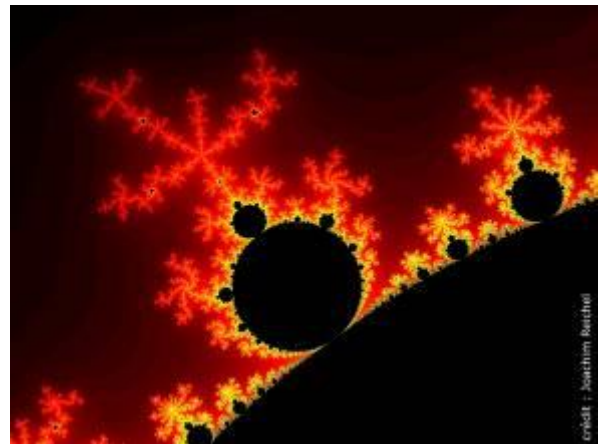
Qu'elle étrange ressemblance !

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

C'est ainsi qu'il nous semble nécessaire d'aborder l'audition. Durant toute la course du temps, des bifurcations vont apparaître. Deux situations identiques vont après un certain temps, appelé temps de Lyapunov, changer totalement de direction et offrant un choix. Ce sont ces choix que notre intelligence doit faire. Rien ne sera parfaitement exact et il faut compter en fractale. Des turbulences, des états intermédiaires, des fractales universelles quelque soit l'échelle, une

irrévocable marche du temps ne revenant jamais en arrière, un monde où règne l'entropie... vont constituer le chaos, la complexité.

L'image fractale de Mandelbrot, la forme générale d'un embryon de 3 mois, la forme d'un pavillon de l'oreille, n'ont pas plus de logique linéaire que la forme des nuages, des vagues ou d'un chou-fleur. Et pourtant, je trouve ces nuages beaux et je les reconnais facilement. La parole, pour être comprise et utile, doit être extraite du magma pressional complexe dans lequel nous vivons. Elle va paraître un instant préférer le linéaire à la complexité pour s'organiser un peu mais au fur et à mesure qu'elle grimpe les étages vers notre conscience elle se complexifie à nouveau. La musique, pour nous toucher, pour nous faire entrer en résonance, devra se présenter, comme les nuages ou l'aspect des fleurs, sous forme d'attracteurs étranges et non sous une forme purement linéaire. Mieux vaut vivre la complexité quitte à utiliser comme fil « semi-conducteur », avons-nous déjà dit, des bribes de linéaire dont notre raisonnement a besoin. Ce linéaire a alors vocation d'heuristique et non plus d'algorithme. L'inverse, c'est-à-dire faire du linéaire et reconstituer le chaos à la fin (ce qui est rarement fait car nous avons tendance à prendre le fragment pour le tout) n'aboutit qu'à une image « incomplète et fautive » à laquelle il peut manquer un détail qui changera tout, du fait de l'extrême sensibilité du système aux conditions initiales.



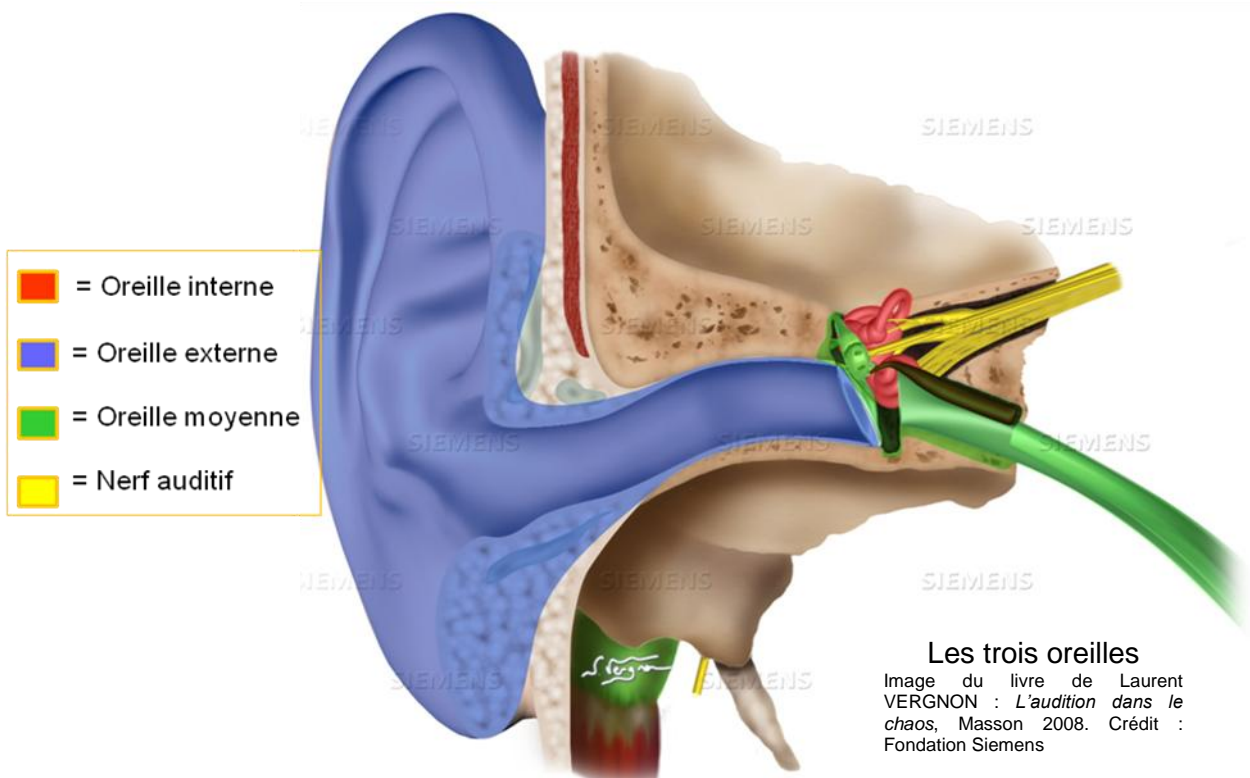
Les molécules de l'air qui nous entourent représentent un imbroglio indescriptible de mouvements vibratoires. Toutes les formes de pressions « impulsionnelles » (JC LAFON) qui vibrent autour de nous, défient notre imagination. Comment l'oreille fait-elle pour faire émerger dans notre conscience des éléments ayant une forme qui nous interpelle, ayant du sens, sens que l'on peut retrouver dans notre mémoire. Pour cela, il faut que l'oreille soit en mouvement. Une fractale de Mandelbrot pourrait représenter un nuage de points susceptible

d'entrer dans notre « champ auditif ». Le problème ! Ce type d'image est fixe et ne veut rien dire. Il faut mettre chaque perception instantanée dans une dynamique, placer cette perception dans un contexte, dans un environnement, lui faire prendre d'étranges formes mouvantes, dont notre mémoire a retenu un aspect plus holistique que la forme présumée additionnable de ses constituants : hologramorphique (interaction TOUT/PARTIE, l'univers est dans mon esprit qui est dans l'univers). Ajoutons que les sons purs n'existent pas. On va donc parler de sons presque purs sans savoir vraiment ce que cela veut dire. Tous les sons sont complexes, tout l'intérêt des sons, c'est d'être complexes.

De cette complexité, quelle qu'elle soit, l'oreille peut extraire un sens minimal bien pauvre (je ne reconnais pas ces signaux) et cette extraction pourrait être plus riche, voire même beaucoup plus intéressante, à condition d'avoir été perçue au moins une fois ou un grand nombre de fois avant. C'est l'itération qui donne de la consistance à la signification. C'est alors que parfois, un sens apparaîtra, brusquement, comme un orgasme... et que la structure de ma mémoire sera agrandie ou, à tout le moins, changée. L'audition n'est pas l'étude d'un son, des sons mais de toutes les perceptions d'un individu et de leur devenir en focalisant sur l'image sonore dans sa globalité. La culture générale est aussi nécessaire que la culture des perceptions auriculaires.

Mais revenons aux pressions acoustiques qui nous entourent. Le pavillon va permettre de diriger le son vers le conduit avec une nette préférence pour les sons dont la source est devant nous. Le conduit auditif externe va exécuter un carottage de l'air autour de nous (à des places différentes, le carottage sera différent).

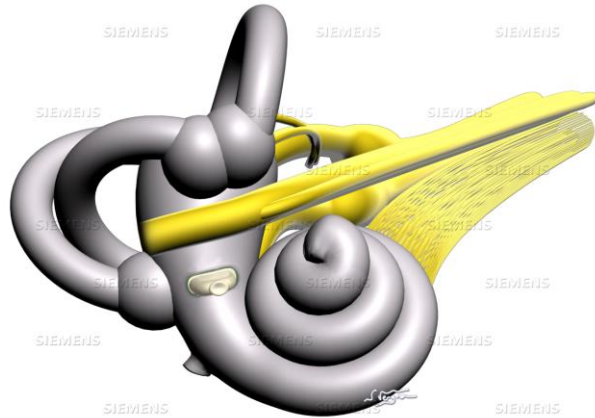
Le conduit amplifie cet échantillon de l'air environnant de 3 à 6 dB, par réflexion sur les



parois. L'échantillon prélevé va ensuite être amplifié par le système tympano-ossiculaire. Le tympan et la chaîne des osselets (marteau, enclume et étrier) vont, du fait de leurs dimensions (rapport étrier/tympan = 1/20) et de leurs formes (levier), amplifier de 60 dB les pressions reçues et les diriger jusqu'à la cochlée par l'intermédiaire de la fenêtre ovale. C'est le début du miracle : un amplificateur qui ne coûte rien, puisqu'il ne demande pas d'énergie.

On remarquera que jusqu'ici ces pressions n'ont aucun sens. Elles n'ont que le mérite d'être captable d'être transcodées plus tard par l'oreille en un courant électrique, ce qui n'est pas le cas des infra et des ultra sons. Il faut donc qu'un homme soit présent pour que les pressions vibratoires aient une chance de devenir des « sons ». La mécanique a cependant introduit sa personnalité dans le mouvement moléculaire sous forme de distorsions liées aux qualités des éléments qui vibrent. Le son est en effet passé de l'air à une membrane puis à de l'os pour aboutir dans de l'eau (liquide périlabyrinthique) ! Chacun entendra donc sa musique ses propres sonorités et ici c'est le début des transformations, des distorsions liés à l'auditeur.

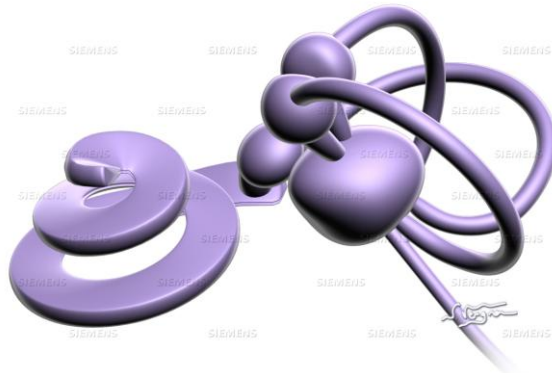
Pourquoi la cochlée s'enroule-t-elle sur elle-même et pourquoi deux cochlées n'ont-elles jamais exactement la même forme, tout en gardant une très grande ressemblance et des propriétés voisines ? Le monde n'admet pas les nombres entiers.  $\pi$  (3,14159265...) en est le meilleur exemple. Toutes les opérations que nous faisons sur un cercle ou une sphère sont donc approximatives puisque P ne sera jamais exact. Si on ne fait qu'une fois l'opération, aucune importance mais si on la répète des milliers de fois, le résultat final peut à la



#### Le labyrinthe osseux

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

longue n'avoir aucun rapport avec les premiers résultats obtenus. Ce système est extrêmement *sensible aux conditions initiales tout en étant imprédictible*. Notre clavier cochléaire va présenter des propriétés anatomiques qui sont propres à chaque personne.



#### Le labyrinthe membraneux

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

labyrinthe antérieur, c'est la cochlée ou appareil auditif proprement dit. Pourquoi ces deux systèmes, apparemment si différents, se trouvent-ils dans la même coque osseuse ? Tout simplement parce que, l'un nous renseigne sur notre situation par rapport à l'environnement où nous sommes (équilibration) et l'autre (l'audition) nous permet de situer l'environnement par rapport à nous. Ces organes sont extrêmement sensibles et utilisent, tous les deux, des cellules ciliées pour augmenter la finesse de la perception grâce au levier que représentent les cils.

L'organe récepteur, le labyrinthe est divisé en deux parties : antérieure et postérieure. Le labyrinthe postérieur ne concerne pas l'audition. Il est consacré à l'équilibre et analyse les pressions liées à la pesanteur. Le

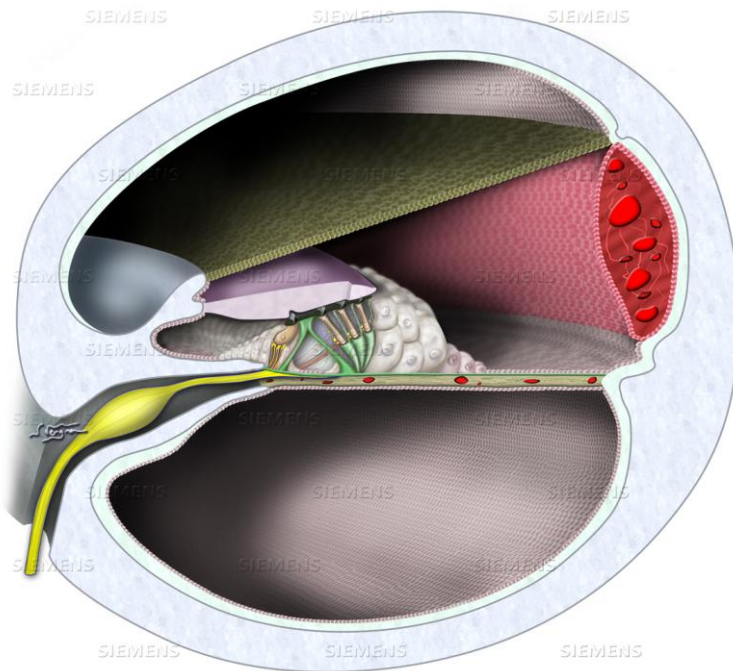


#### Coupe de la cochlée

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

Le labyrinthe osseux contient trois tubes dont le tube central est le labyrinthe membraneux sur lequel nous allons maintenant porter notre attention.

Le labyrinthe membraneux ne remplit pas complètement le canal osseux et laisse donc de la place pour deux autres conduits : une rampe au dessus et une autre rampe en dessous. C'est la rampe du dessus ou rampe vestibulaire qui va recevoir la pression de l'étrier, au niveau de la fenêtre ovale. Ces deux rampes communiquent à l'apex de la cochlée pour ne faire qu'un conduit et permettre aux ondes sonores qui traversent le liquide (incompressible) de revenir vers la caisse du tympan sans exploser la coque osseuse et ceci grâce au déplacement de la membrane qui ferme la fenêtre ronde, inverse de celui de l'étrier qui obture la fenêtre ovale (fenêtre d'entrée).



Coupe d'un tour de spire de la cochlée

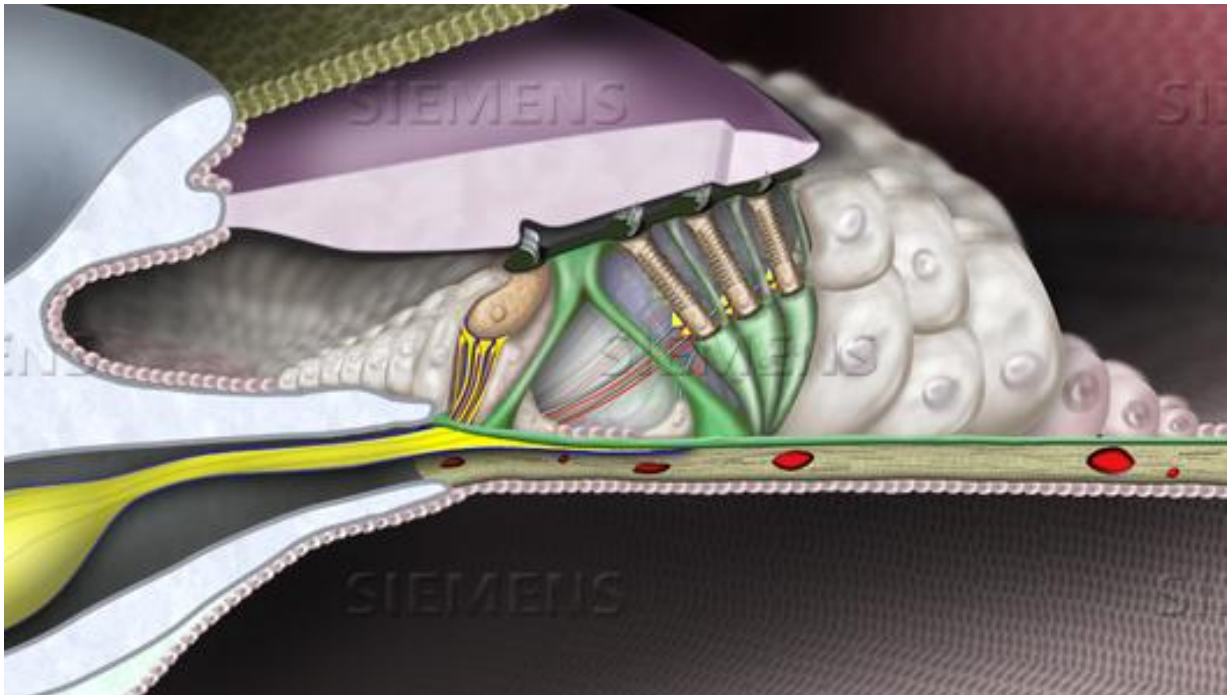
Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

- les deux rampes vestibulaire et tympanique qui contiennent le liquide périlabyrinthique (densité 1 comme l'eau) ;
- le canal spiral qui contient un liquide huileux (densité 2,9) dans lequel baigne l'organe de Corti.

Le canal spiral est triangulaire à la coupe et vibre comme un tout. La membrane basilaire (base du triangle) supporte l'organe de Corti : organe sensoriel de l'audition. Sous chacune des 3500 cellules ciliées internes se trouvent entre 10 et 20 fibres nerveuses qui conduisent l'influx sonore jusqu'aux centres. Les 3 cellules externes (12500) sont le moteur de ce système qui consomme beaucoup d'énergie offerte par la strie vasculaire. Elles vibrent en résonance à l'unisson et

provoquent une amplification sélective qui stimule la vraie cellule sensorielle qui assure la perception : la Cellule Ciliée Interne.

Une coupe de ce tour de spire permet d'observer l'organe de Corti. On y trouve : la strie vasculaire, la membrana tectoria et la membrane basale, les deux piliers du tunnel de Corti, séparant les cellules ciliées interne et externes, la sortie du nerf cochléaire avec son ganglion nerveux... C'est cet ensemble qui résonne à l'unisson avec les fréquences : fondamentale et harmoniques et qui se présentent dans la forme sonore à analyser. On va donc transformer du temps en espace puisque la fréquence de l'onde sonore mécanique se mesure en cycle par seconde et devient une place dans le canal spiral. Cette place lui conserve sa signification temporelle sur toute la chaîne nerveuse jusqu'au cortex cérébral par les cellules réceptrices. La fréquence est donc perçue grâce à ces 3 cellules externes qui vibrent avec une même longueur d'onde offerte par le son complexe qui circule dans la rampe vestibulaire. Par exemple sur le clavier d'un piano le « Do<sub>3</sub> » de la serrure correspond à une *place*. Ce « do de la serrure » correspond au do<sub>3</sub>, il a une *place dans l'espace* alors que la fréquence était un nombre de cycles par seconde (261,6 pour le do<sub>3</sub>).

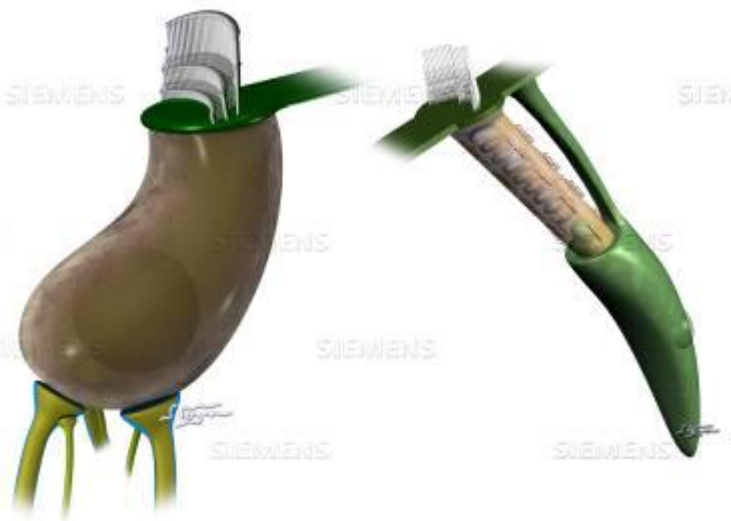


### Le récepteur auditif : l'organe de Corti

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

Les 3 cellules ciliées externes qui sont fichées dans la membrane tectoriale (sorte de « morve » huileuse qui baigne dans l'huile du canal spiral et qui arrête immédiatement le son, avant la fin du premier cycle vibratoire). Ainsi le cliché sonore laisse la place au suivant. Le son est dans une dynamique ou ne représente rien. La cellule ciliée interne n'est contactée que si les cellules externes tirent assez sur la membrane tectoriale. Sous cette cellule ciliée interne 10 à 20 fibres nerveuses reçoivent l'influx sonore devenu courant électrique. De neurones en neurones cet influx nerveux va ensuite atteindre des centres.

La cellule interne avec ses cils en trois rangées ne présente aucun caractère particulier. Les trois cellules ciliées externes présentent certaines propriétés qui lui sont propres, on peut les considérer comme de petits muscles avec deux ressorts : l'un, interne, reproduit les vibrations que lui apporte par résonance le mouvement mécanique lié aux pressions sonores et l'autre sur la membrane de la cellule va par ses contractions rapides



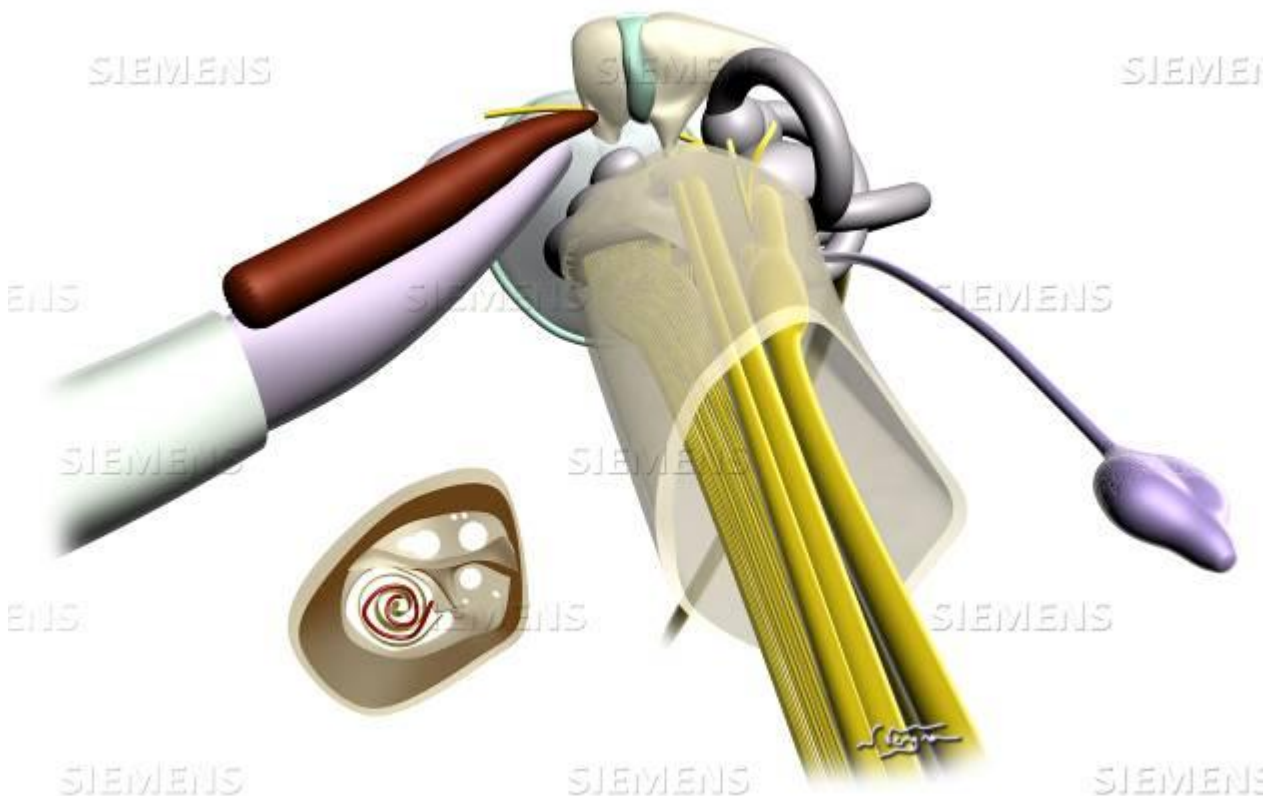
### La cellule ciliée interne et la cellule ciliée externe

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

reproduire des vibrations suffisamment amplifiées pour emmener la membrane tectoriale à toucher les cils de la cellule ciliée interne et ainsi à déclencher son potentiel d'action. Ce dernier ressort est constitué de prestine, une protéine qui est plissée sur elle-même en accordéon et change sa taille grâce à un ion  $Cl^-$  qui s'insinue dans les plis de l'accordéon pour imprimer une force suffisante pour allonger et raccourcir la cellule et tirer sur la membrane tectoriale afin qu'elle couche les cils de la cellule ciliée interne.

Le bloc des cellules ciliées externes qui vibrent, est composé des 3 cellules ciliées externes et de leurs cils, de la cellule de Deiters, de la membrane tectoriale et de la membrane basale. Quant à la cellule interne, ses cils sont libres et ne fonctionnent qu'avec l'aide des cellules externes. Sous la Cellule Ciliée Interne, les 10 à 20 fibres de type I rapides et une fibre de type II lente pour une dizaine de Cellules Ciliées Externes. Toutes ces connexions sont réciproques mais le retour central pour la cellule interne ne revient pas à la cellule mais à l'extrémité synaptique de la dendrite du nerf cochléaire. Ce qui signifie qu'on ne touche pas à ce qui est transcodé par la cellule mais à ce qu'a reçu le nerf qui suit ! Par ailleurs, il ne peut pas y avoir deux entrées dans une cellule sensorielle au point de perdre la sensation venue mécaniquement de l'extérieur au profit d'une excitation électrique interne.

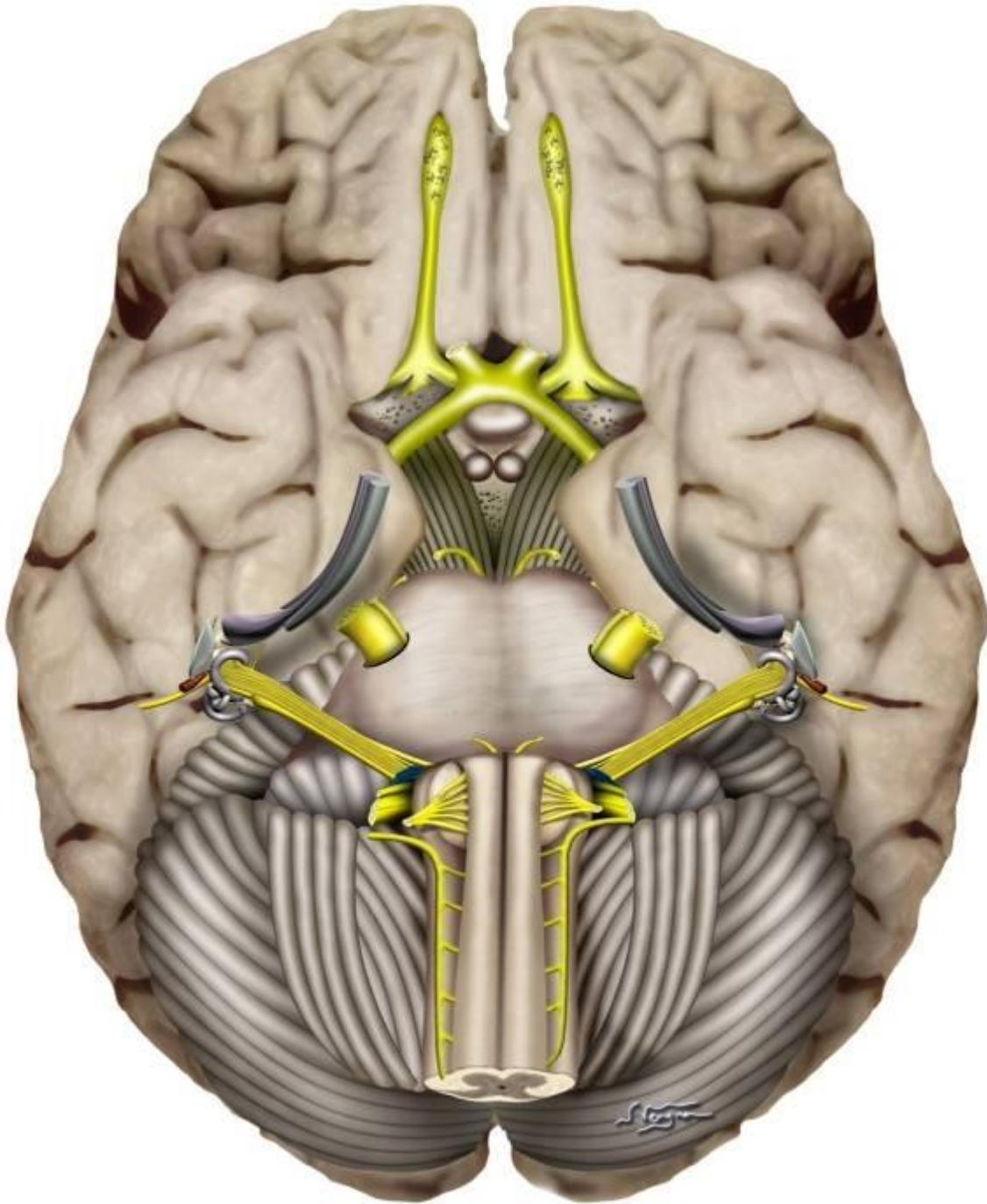
Les 10 ou 20 fibres myélinisées du nerf cochléaire vont prendre en charge l'information auditive devenue courant électrique. L'importance des décharges et le nombre de fibres concernées véhiculent l'intensité, la place sur le clavier cochléaire indique la fréquence. On peut suivre cette réalité tonotopique jusque dans le cortex temporal (cœur). Le nerf



#### Le conduit auditif interne dans lequel passe le paquet nerveux acoustico-faciale

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

cochléaire prend en charge ces informations et transporte les influx jusqu'au noyau cochléaire qui distribue au complexe olivaire supérieur (partie de la substance réticulée dont le rôle est celui d'une gare de triage et de sélection de « l'important ») et au lemnicus latéral pour les colliculi inférieurs et les corps genouillés médians (véritable thalamus auditif). Ces noyaux sont situés à la partie toute inférieure de diencephale dans le métencéphale. Dès lors, on appelle cette voie la radiation auditive. Elle innerve la partie supérieure de la 1<sup>ère</sup> circonvolution temporelle, circonvolution qui est entièrement dévolue à l'audition.



### Les nerfs crâniens

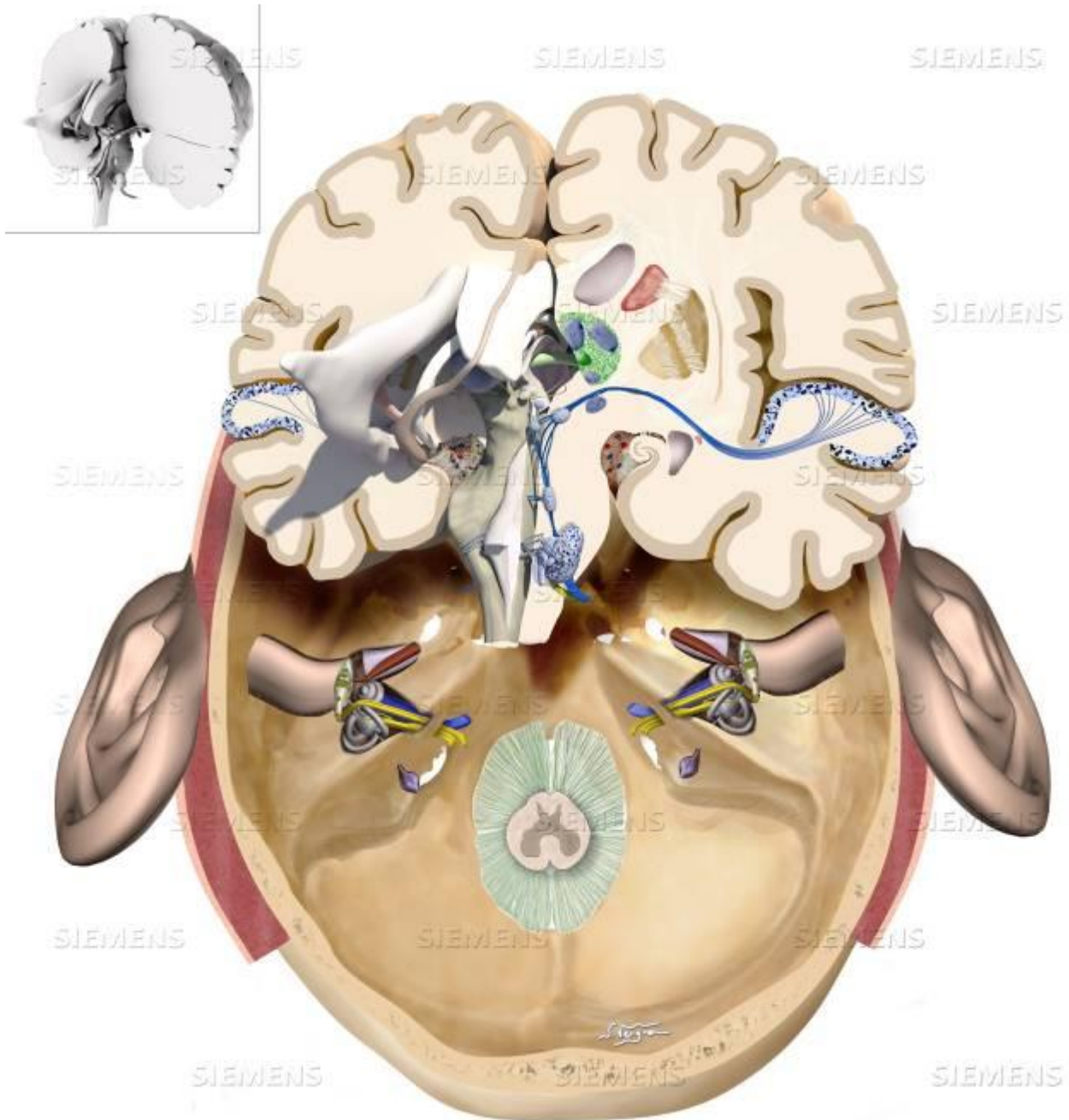
dont le nerf acoustique faisant suite aux éléments des oreilles moyenne et interne

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

C'est la synapse et non le corps cellulaire qui présente le pôle d'intérêt du neurone car de son fonctionnement dépend tout le fonctionnement du système nerveux. D'abord en acceptant ou non de transmettre l'influx la fibre nerveuse commande la suite des événements. Ensuite, chaque synapse présente entre quelques épines dendritiques et 10 000 épines voire plus si le nerf est fonctionnel en permanence. Ces épines se construisent ou se déconstruisent en quelques heures ou jours. Chaque épine dendritique libère -1 mV ou +1 mV et il peut y avoir 10 000 épines dendrites par fibrille nerveuse. Ce qui compte au total, c'est l'addition de ces micro-courants qui s'accumulent au niveau du corps cellulaire. Si l'addition atteint 100 mV, le neurone envoie l'influx, sinon, il ne se passe rien. La encore la loi



du tout ou rien intervient pour donner de « *l'intelligence* ». Autrement dit pour générer par l'artifice d'un « signal symbolique » une forme intelligible par un système capable d'exercer une forme d'intelligence au sein d'un système chaotique Il faut lui donner le temps de faire des choix. Des trains d'ondes électriques se succèdent sans interruption apportant à l'individu un échantillonnage de toutes les *pressions impulsionnelles de son carottage initial*. Un traitement d'une infinie complexité va leur être donné. Ce traitement peut être limité dans le temps et l'espace mais également être fouillé à l'infini sur un détail. Aucun d'entre nous ne lui fera subir le même traitement, aucun d'entre nous n'entend ce qu'entend l'autre.



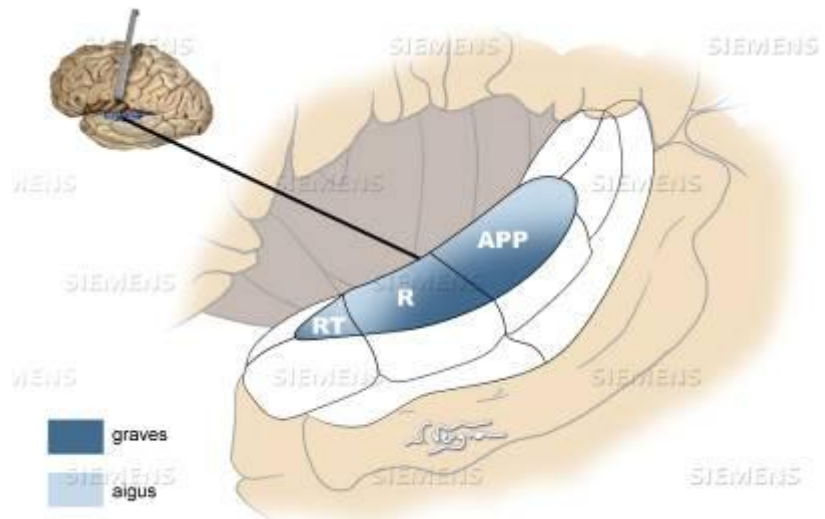
### La voie auditive droite

Une section du tronc cérébral et du nerf auditif permet de soulever la moitié antérieure de l'encéphale et de la basculer de 90° autour d'un axe passant par les 2 oreilles, pour en observer la coupe.

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

Le nerf cochléaire qui véhicule toutes les informations auditives montantes et descendante, entre dans le tronc cérébral en passant par le sillon bulbo-protubérentiel. Les fibres croisent

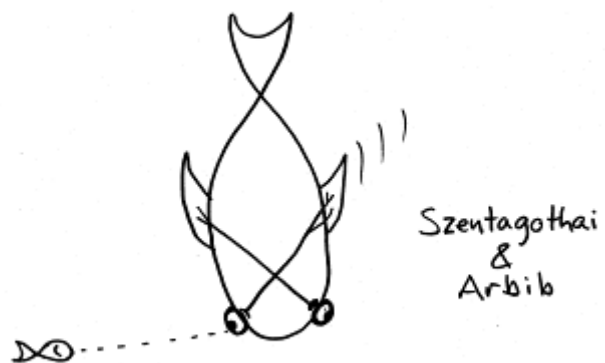
sur la ligne médiane pour les 2/3. Les 2/3 gauches et le 1/3 droit se jettent sur le noyau cochléaire, puis traversent le noyau du lemniscus latéral qui occupe la partie haute de la protubérance pour atteindre le colliculus inférieur et le corps genouillé médian (situé à la partie toute inférieure de diencephale dans le métencéphale). Dès lors, on appelle cette voie la radiation auditive, elle se distribue à la face supérieure de la 1<sup>e</sup> circonvolution temporale. Appelée aire auditive primaire. La première circonvolution temporale est entièrement dédiée à l'audition, l'aire primaire ou cœur étant entourée de l'aire secondaire (ou ceinture) qui surplombe l'aire associative (ou paraceinture).



La première circonvolution temporale le cœur (en bleu), la ceinture sous-jacente et la para-ceinture.

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008.  
Crédit : Fondation Siemens

Il est temps d'aborder le mécanisme de fonctionnement du système nerveux d'une manière plus holistique. Il s'agit d'un réseau tel que celui du Réseau Intelligence de la complexité – MCX-APC. Le système nerveux est constitué de 100 milliards de neurones qui ont tous 10 000 possibilités de jonctions avec les cellules voisines ou à distance (selon la longueur des dendrites et/ou de l'axone). Chez l'embryon, la construction des éléments de l'oreille part toujours de deux cellules voisines ; l'une construira l'organe récepteur et l'autre le système nerveux qui lui est destiné. Le poissonculi de Szentágothai et Arbib montre comment une liaison simpliste mais déjà très efficace d'un modèle de perception suivi d'une action, rend le système « intelligent ». Outre ce croisement sur la ligne médiane et il existe des fibres transversales, l'inhibition latérale (Cellule EE et EI), les divergences et les convergences et la spécialisation. Ce sont les propriétés du réseau que constitue le système nerveux et elles suffisent à nous donner les capacités dont dispose l'homme à la seule condition qu'il câble les neurones pendant sa jeunesse et qu'il s'en serve jusqu'à la fin de sa vie. Nous naissons avec 400 milliards de neurones non câblés. Vers 30 ans, dès que nous avons pratiquement fini le câblage, il n'en reste que 100 milliards dans un réseau formé d'un entrelacs époustoufflant de complexité.

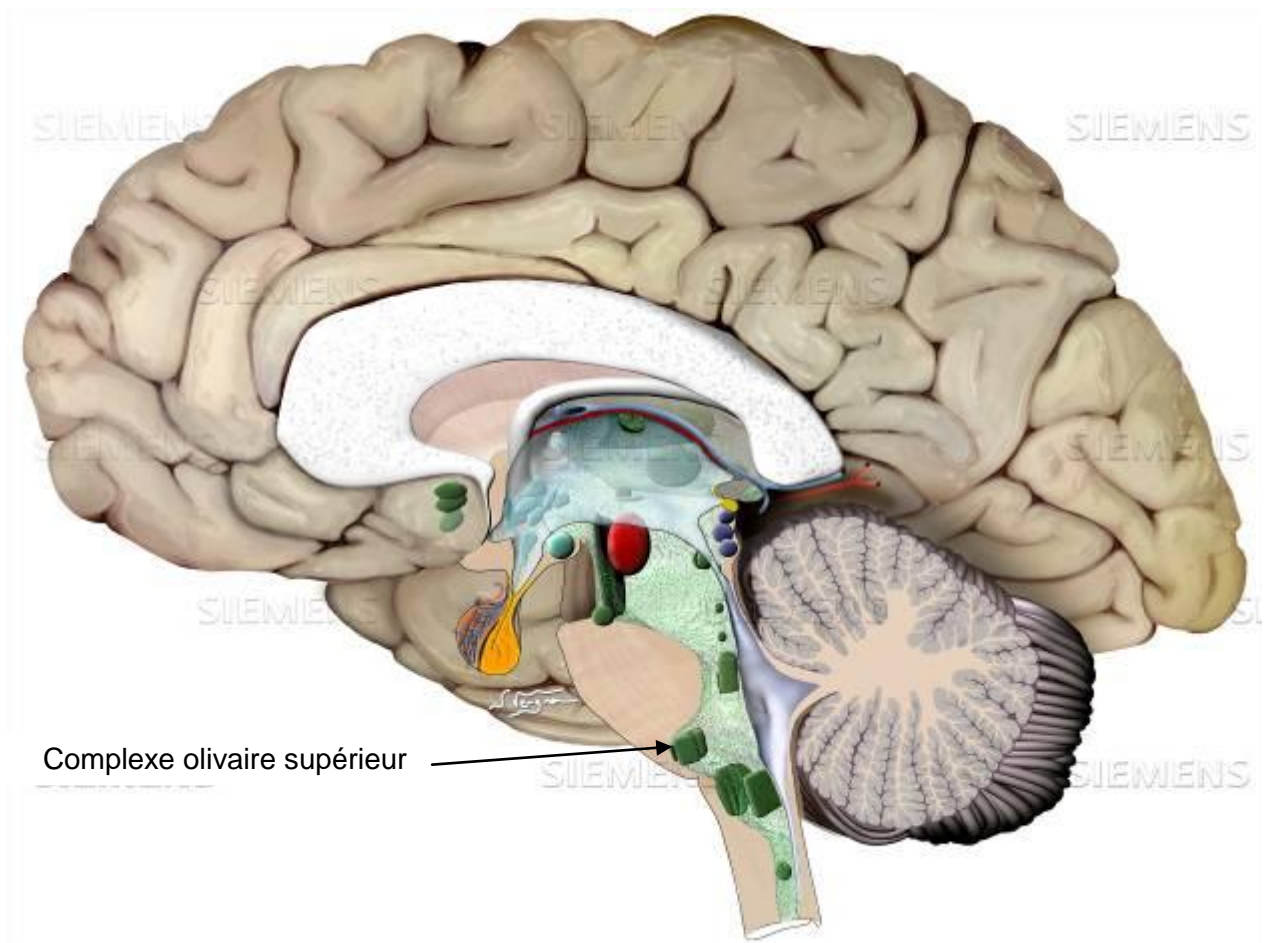


Le poissonculi de Szentágothai et Arbib

La substance réticulée est spécialisée dans « le choix ». C'est un réseau très complexe qui reçoit toutes les informations qui viennent des centres ou qui y entrent. Elle est constituée d'un réseau dense avec peu de cellules. C'est donc le noyau du neurone qui a les premiers 100 mV qui gagne et emporte le marché en excluant les autres puisqu'il est pratiquement tout seul. On peut comparer le système réticulé à une gare de triage. Lorsque le message

arrive et qu'il est multiple, dynamique, anarchique, on le décompose en petites unités distinctes sans pour autant leur donner du sens puis une fois que le cerveau a reconstitué la complexité et envoyé différents avis... La rétillée dégage l'avis prioritaire ou celui qui fait autorité ou qu'on adopte par habitude et cet avis va l'emporter. La substance réticulée ne conserve qu'une action, éliminant tout le reste. C'est magique, le reste du bruit de fond est ainsi éliminé. Cette inhibition, faite de neurones, permet de focaliser l'attention ! Et c'est valable pour toutes les actions ou pensées imaginables. Son rôle est donc essentiel dans notre capacité d'attention. Elle possède des centres (locus cœruleus, partie postérieure du gyrus pariétal) qui participent à cette attention.

Toujours en ce qui concerne l'audition, il existe deux systèmes dépendant du Complexe Olivaire Supérieur (COS) lui-même partie de la substance réticulée. L'un s'occupe essentiellement des réflexes de niveau « animal » et l'autre du contrôle sélectif de l'audition. Voyons le premier : le SEL pour Système Efférent Latéral car il va utiliser le noyau latéral du COS (Complexe Olivaire Supérieur). Il comporte une boucle qui part de la réception d'une cellule ciliée interne et y retourne. Il va contrôler la propre sensibilité de la cellule ciliée uniquement par un réflexe de niveau basal, reptilien. Le réflexe a une action bilatérale. Cette boucle peut recevoir des ordres venus des étages supérieurs qui peuvent changer complètement le résultat.



La substance réticulée (en vert) où se trouve le complexe olivaire supérieur

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

Le second système est appelé SEM car il utilise le noyau médian (et le noyau interne) du COS. Le circuit réflexe qu'il emprunte utilise toujours la perception de la cellule ciliée interne

pour moduler cette fois-ci la réponse de la cellule ciliée externe. C'est-à-dire en amont de ce qui est déjà reçu pour choisir ou modifier sa propre perception. C'est un réflexe très simple à 3 neurones mais il est bien entendu susceptible de recevoir d'autres modulations venant de noyaux supérieurs ou du cortex auditif. L'attention, le choix des informations qui nous intéressent... passent par ce petit circuit.

D'autres réflexes sont possibles, par exemple celui du muscle de l'étrier réflexe stapédien. Il contrôle la chaîne tympano-ossiculaire et permet d'ajuster les qualités de la caisse du tympan aux sons perçus et surtout de protéger l'oreille interne des bruits et sons violents qui risqueraient de l'endommager pour toujours. Le même réflexe est également possible un peu plus loin dans la chaîne de réception, grâce au contrôle des cellules ciliées externes.

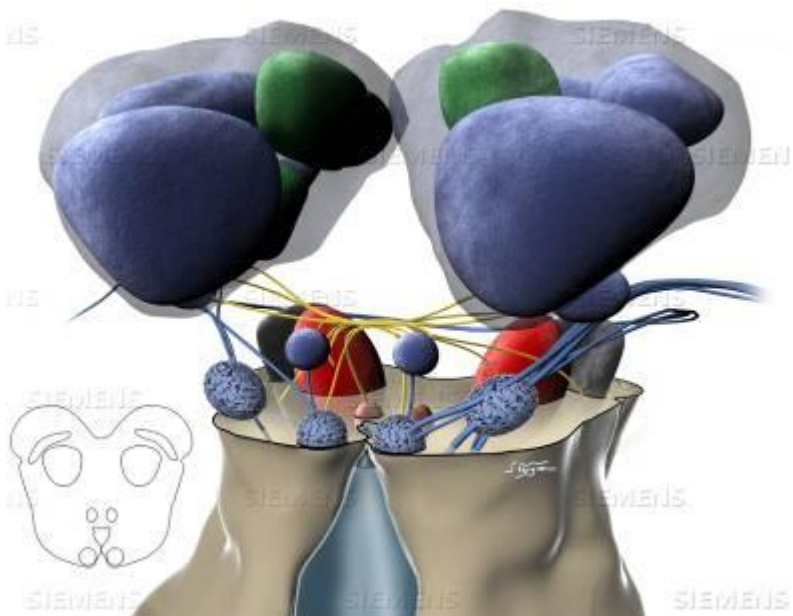
D'autres réflexes comme celui du muscle du marteau, celui de tourner les yeux et la tête voire le corps vers la source sonore vont fonctionner de la même manière. Tous les étages du système nerveux y participent et comme, l'explique Alain de Chevigné, on peut y trouver, à l'identique de ce que montrait le possonculi, trois idées essentielles :

- il y a continuité entre la sensation perçue et l'action ;
- la qualité de la perception peut se juger à la qualité de l'action ;
- l'action elle-même peut participer à la perception et l'enrichir.

Tout ceci est capital pour s'imprégner de ce que peut apporter une pensée se formant en émergeant d'un contexte perçu complexe dans l'analyse d'une situation elle-même complexe.

Revenons un instant sur les circuits de ces contrôles réflexes, pour faire remarquer que ces opérations sont la base de « l'intelligence » de l'audition. Ne pas se laisser noyer dans l'inutile, le gênant, dans le ressenti comme « sans intérêt » pour ne se concentrer que sur ce qui a été reconnu comme utile ou qui fait suite au sujet traité. Tout cela pour donner une congruence à la suite de perceptions. Le mouvement que décrit Paul VALÉRY et cité en exergue, passe par ce circuit : « *la sensation du Virtuose qui, l'oreille collée au bois du violon, écoute sa propre main et forme un anneau fermé de sens* ».

Les noyaux dits « du toit », à savoir les colliculi inférieurs et les noyaux géniculés médians permettent de localiser avec une grande précision (colliculus inférieur surtout) la place de la source sonore et de discriminer très finement sa fréquence exacte. On notera que déjà ces simples noyaux du tronc cérébral permettent d'imaginer « un peu » le son et de commencer à avoir une certaine intelligence consciente de sa nature alors que le cortex est loin d'être atteint. Le colliculus en particulier permet la localisation dans l'espace la plus fine et existe chez tous les mammifères dont certains ont un cortex parfois réduit à presque rien ; les oiseaux par exemple qui tirent parfaitement leur profit de cette localisation presque uniquement réflexe. La radiation auditive va maintenant conduire l'influx au cerveau. Nous



Les 8 noyaux du toit : colliculus et corps genouillés  
Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit :  
Fondation Siemens

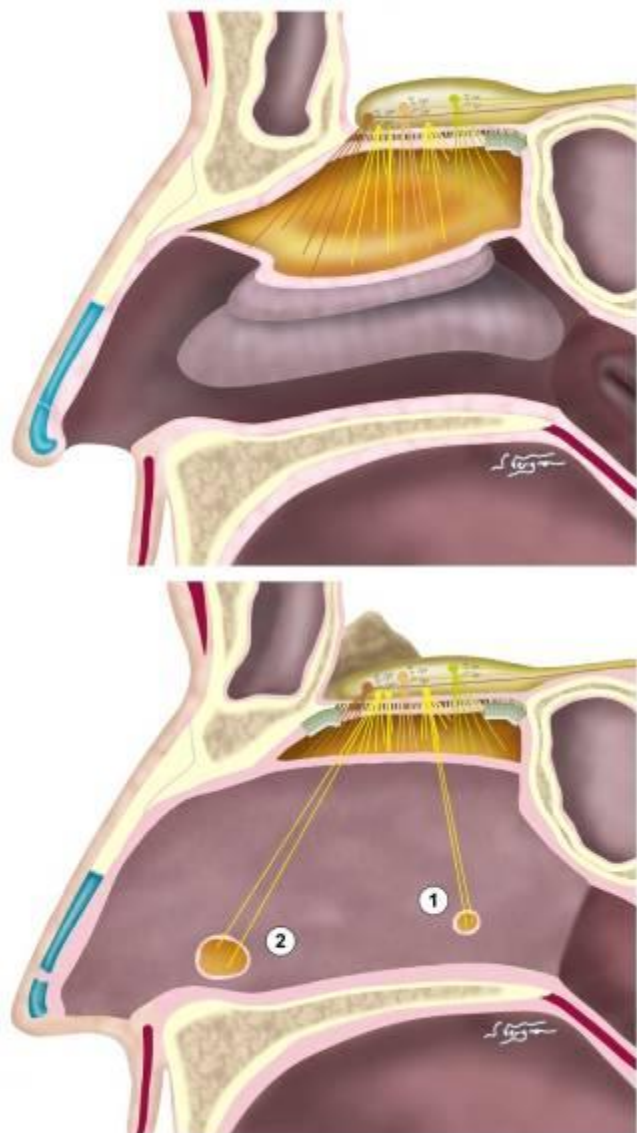
allons avoir besoin de parler des émotions qui ont une importance insoupçonnée dans l'audition comme d'ailleurs dans toutes les perceptions sensorielles et les actions qui les suivent.

L'émotion est *un sentiment, un phénomène mental auquel s'ajoute un phénomène somatique. Phénomène qui traduit cette émotion* (Damasio).

Le système olfactif, sens primitif de niveau reptilien a une importance majeure dans ce domaine, importance d'autant plus intéressante qu'elle n'est pratiquement pas consciente. Il y a deux régions réceptrices, l'une basale, réflexe : les aires septale et voméro-nasale qui jouent un rôle capital autant chez l'animal que chez l'homme dans la sexualité (phéromones) et l'autre : la tache jaune qui est très développée chez certains animaux et qui, chez l'homme, est mise 'de côté', bien qu'encore très développée. Les molécules odorantes sont conduites à la tache jaune soit lors de la respiration normale, soit au cours du reniflement, soit enfin par en arrière apportant la flaveur ou analyse olfactive des aliments.

Les molécules odorantes sont des molécules volatiles et solubles dans l'eau. Elles sont prises en charge par un liguant qui les conduit aux récepteurs placés sur les cils. Reconnues par leurs formes, les molécules odorantes vont déclencher un potentiel d'action de la cellule réceptrice (la cellule de Schultze est à la fois la *cellule réceptrice et le premier neurone*). L'influx ainsi créé va suivre les filets du nerf olfactif jusqu'au glomérule (il se produit alors une réduction de 16000 cellules dans la tache jaune à 1 000 cellules mitrales au niveau du bulbe olfactif). L'olfaction se termine là pour tout le monde ; du serpent à l'homme. Ce n'est, pour ce dernier, qu'un pourcentage de 1 à 2 % qui emporte l'odeur avec un troisième neurone jusqu'aux petits cortex olfactif fronto-temporal. Le reste échange avec l'amygdale, les noyaux du septum, tout le système limbique... Nous sommes donc pratiquement inconscients de 98% de nos perceptions olfactives tout en y étant parfaitement sensibles. Ces sensations vont inondées le cerveau et ajouter de l'émotion (inconsciente) à toutes nos perceptions. L'olfaction est une source majeure d'émotions inconscientes, de celles qui nous font ressentir ou agir sans comprendre pourquoi.

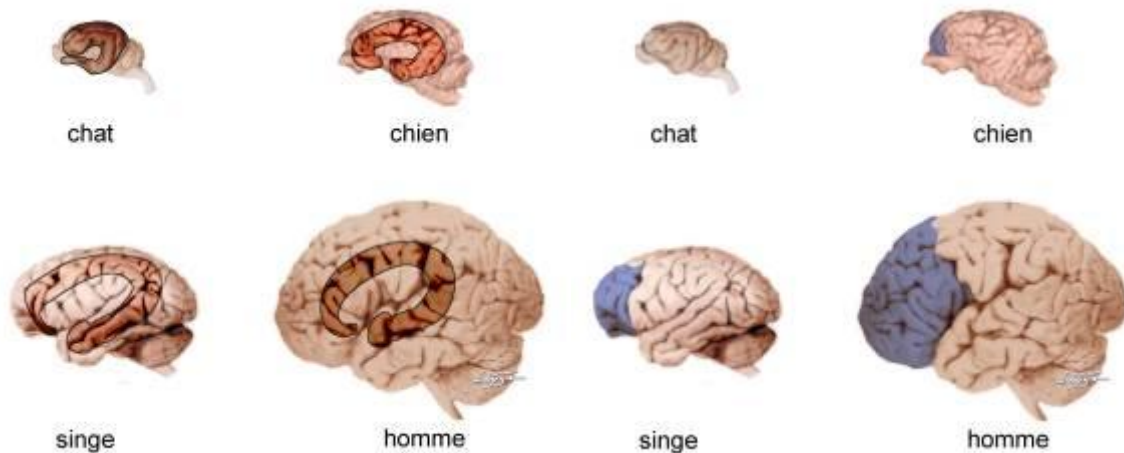
Qui dit émotion dit image mentale et participation somatique. Il est donc temps d'accorder la place qui revient à l'hypothalamus dont le rôle est d'offrir cette part somatique à nos émotions. C'est le centre du système nerveux



Les parois externe (en haut) et interne (en bas) des fosses nasales avec la zone olfactive (en jaune) et en ① l'organe voméro nasal et en ② l'organe septal.  
Images de la revue de Gériatrie janv et fev . 2006

végétatif. Il est composé de noyaux plus ou moins spécialisés dans une fonction : contrôle des sécrétions de l'hypophyse, contrôle du système neurovégétatif, rôle dans les émotions et le comportement, rôle dans le contrôle du cycle nyctéméral (jour/nuit, éveil/sommeil). Il reçoit de tous les sens et en particulier de l'audition, il envoie à tout le système végétatif, aux zones sensorielles, il contrôle la neurosécrétion et est un effecteur fondamental de nos émotions. Il faut rappeler enfin qu'il est l'aboutissant du système réticulé.

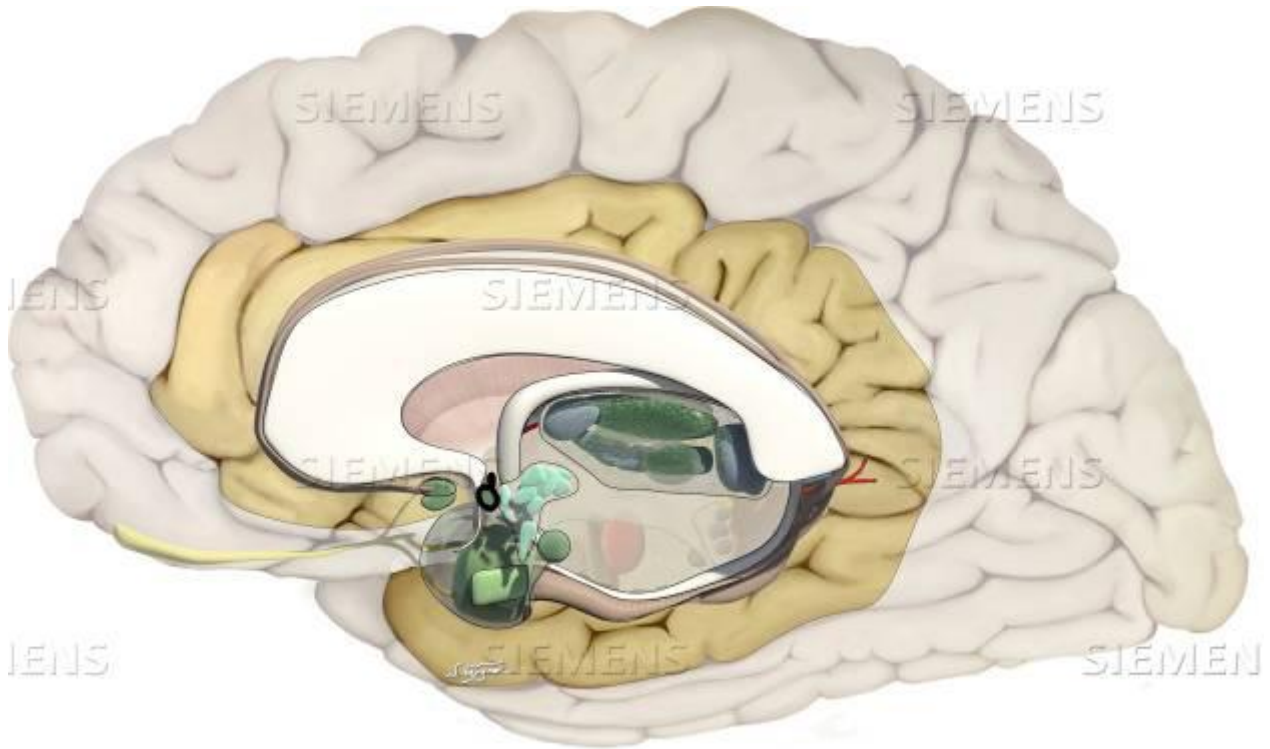
Avant d'aller plus loin, il faut immédiatement abandonner l'audition pour la fusionner avec toute l'activité cérébrale. Elle n'est plus individualisable et ne peut offrir *du sens* que si on la traite avec les autres organes sensoriels et finalement avec tout le cerveau. Étudions maintenant le système limbique. Il a une telle importance que nous devons bien comprendre de quels éléments il se compose et son rôle dans la vie auditive. S'il est un art dans lequel il prend une place phénoménal, c'est la musique. Mais comme il va gérer la participation émotive de nos perceptions et la mémoire à court terme, il est fonctionnellement fondamental pour tout ce qui a trait aux phénomènes sensoriels. Une autre remarque : c'est l'importance que nous lui accordons chez l'animal et le refus d'avoir cette même vision pour l'homme qui pose problème !



Comparaisons du système limbique et du lobe préfrontal' entre l'animal et l'homme.  
Le système réticulé est le même, le lobe préfrontal est beaucoup plus développé chez l'homme.  
Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens.

Observons maintenant le système limbique et le lobe préfrontal de quatre mammifères : lapin, chat, singe et homme. Le système limbique est pratiquement le même chez tous les quatre mais le lobe frontal est tellement plus développé chez l'homme qu'il rend les régions préfrontales des autres mammifères ridiculement petites pour ne pas dire inexistantes même celles du singe. Il est évident que ces deux images doivent rester présentes dans l'interprétation que nous faisons de l'intelligence de l'homme et de l'intelligence animale ! Notre sensibilité et nos réactions de bases sont les mêmes que celles des animaux. Notre intelligence et notre pouvoir d'imagination sont incomparables. La musique touche les animaux de la même manière mais notre capacité de gestion sensorielle et de travail intellectuel nous donnent des possibilités musicales dont aucun animal ne dispose.

Font partie du système limbique : la totalité du système olfactif, l'hippocampe, l'hypothalamus, l'amygdale et le noyau accumbens, une partie des noyaux moteurs de la base, une partie du lobe temporale et l'aire cingulaire... Cette structure se trouve concentrée dans un anneau qui entoure l'entrée dans l'encéphale. Limbique veut dire lisière. Les émotions sont gérées par l'amygdale et le noyau accumbens, la mémoire à court terme par l'hippocampe et les cortex avoisinants : cingulaire et parahippocampique.

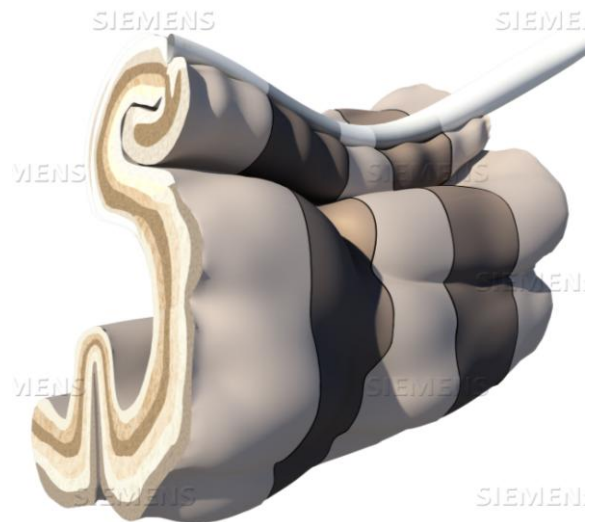


### Le système limbique

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

Insistons d'abord sur l'hippocampe (c'est le seul organe qui doit son nom, non pas à sa forme mais à la forme de sa coupe !) Il est constitué d'un cortex dont le nombre de couches est de 3 (gyrus dente) ou 5 (corne d'Ammon). Ce qui est inférieur aux six couches voire plus que l'on rencontre dans les autres cortex de l'homme. Il s'agit donc de fonctions primitives dont l'élaboration est moins complexe et commune à tous les mammifères évolués ou non. Le système limbique présente des circuits (discutés) comme celui de Papez, impliqués dans la mémoire à court terme. Et son rôle est de :

1. Détecter les informations et les filtrer (choix de ce qu'il faudrait mettre en mémoire) ;
2. Enregistrer les épisodes de la vie (expérimentation soumise à l'action) ;
3. Envoyer les informations à retenir dans les zones de conservation à long terme ;
4. Permettre la connaissance par l'image : iconique, échoïque, haptique ;
5. Aide à la gestion des comportements en participant à la gestion des émotions.



### Hippocampe gauche

Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

Abordons maintenant la complexité de notre *pensée consciente*. C'est la première circonvolution du lobe temporal qui est dédiée à l'audition. Cette zone auditive comprend le cœur ou aire primaire, la ceinture ou aire secondaire et la para ceinture ou aire associative. C'est la dernière fois que nous allons parler de l'audition au sens strict du terme car tout va se mélanger par la suite. Seul le cœur (face supérieure du lobe temporal) présente encore la tonotopie. C'est là que se situe la

mémoire sensorielle pure. Elle ne dure que le temps de comparer avec les mémoires à court terme (système limbique) et/ou à long terme (ceinture et para-ceinture et cortex en entier). Ce travail n'est qu'ébauché surtout dans le but de donner des ordres à la cochlée et de lui permettre d'éteindre tout ce qui n'est pas désiré (la substance réticulée a déjà fait disparaître une grande partie du bruit de fond grâce aux cellules ciliées externes) et de focaliser (attention = substance réticulée et lobe pariétal) sur ce qui est nécessaire sur le moment.

Le cœur ne communique qu'avec la ceinture. Ce sont les aires secondaire et associative qui se mettent en communications réciproques et avec tous les centres du reste de l'encéphale. Étant réciproques, elles se font neurone par neurone ! Un mot sur les neurones miroirs qui ont été mis en évidence par Giacomo Rizzolatti en 1996. Celui-ci remarque que des zones corticales motrices s'allument lors de la réalisation d'une action ou au moment d'une intention d'action (TEP et RMNf). Un sujet qui observe un congénère a les mêmes zones corticales qui s'allument. Ce phénomène, décrit chez l'homme à propos de la vision, semble encore plus important en ce qui concerne l'audition et tout particulièrement dans la zone de Broca. Ceci a un intérêt considérable dans l'apprentissage, (copier n'est pas une sottise) mais aussi explique l'apprentissage du langage, l'empathie et l'autisme... En musique tout est à faire.

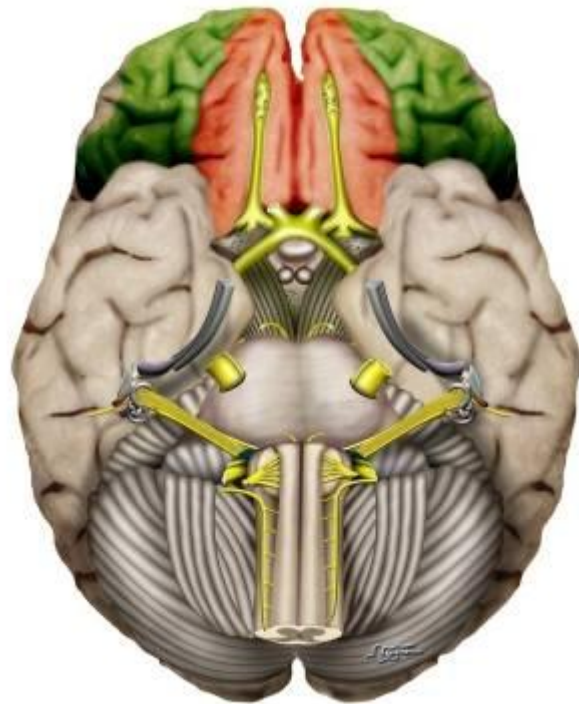
Les diverses connexions du cerveau sont une image de complexité. Ce sont des milliards de liaisons qui s'instaurent et varient à chaque instant. C'est un véritable défi à l'imagination. On peut en remplaçant les corps cellulaires des neurones par de petites ampoules imaginer un écran de télévision HD formant une infinité d'images holistiques car nous les voyons comme une seule information qui se déforme sans cesse (kaléidoscope). Le plaisir de regarder dans un kaléidoscope illustre bien celui d'être dans la complexité des images sonores... ou visuelles ou olfactives... Il n'est de plaisir ou de déplaisir que dans la complexité. Les formes complexes et les émotions (rejets ou attirances...) sont indispensables à notre vie. Ce sont des moteurs, qui nous font agir et penser à la fois.

L'audition a besoin d'émotions et de mémoire à court terme. Les voies utilisées passent par le système limbique que nous allons maintenant aborder. Les échanges sont essentiels pour colorer le sens des messages sonores reçus. Ils nous servent à encoder ces informations dans nos mémoires à court puis à long terme. Ces messages colorés également d'émotions, servent à provoquer des réactions de rejets ou au contraire d'attirance et de bonheur. Notre intelligence s'en trouve considérablement modifiée. L'évolution du sens que prend chaque information et la forme générale des images ressenties sont modifiées sans cesse avec des apports nouveaux ou sous l'influence d'un changement d'émotion ou de liens avec un autre sens ou d'une image mémorisée. Ce kaléidoscope sonore devient plus ou moins prégnant, déformant également toutes nos autres images sensorielles et ainsi de suite...

Nous avons vu que le système limbique est le même chez l'homme et chez les mammifères tandis que le lobe préfrontal est minuscule chez l'animal et gigantesque chez l'homme. Il constitue le 1/3 du volume total de l'encéphale. Il s'intercale entre le sensoriel et le moteur. Il faut dire que le lobe frontal reçoit directement du corps genouillé médian au même titre que la zone de Heschl (zone auditive primaire). Le lobe dorso-latéral est dédiée à la mémoire de travail qui ne persiste que le temps nécessaire à la manipulation de l'information. On peut comparer son action à l'expression « If... Then » de la programmation informatique. Ce cortex est en relation avec tous les sens, le système limbique, les cortex moteurs... Le lobe orbito-frontal en connexions avec le système limbique, est divisé en deux parties, l'une postérieure (animale) réagit rapidement à l'émotion par une réponse obligatoire, l'autre plus antérieure donne du temps à la réflexion mais nécessite un niveau de stimulation plus élevé. L'imagination part sans doute de cette zone. Le cortex préfrontal médial tente d'empêcher que les états somatiques n'interfèrent trop dans le traitement des informations.

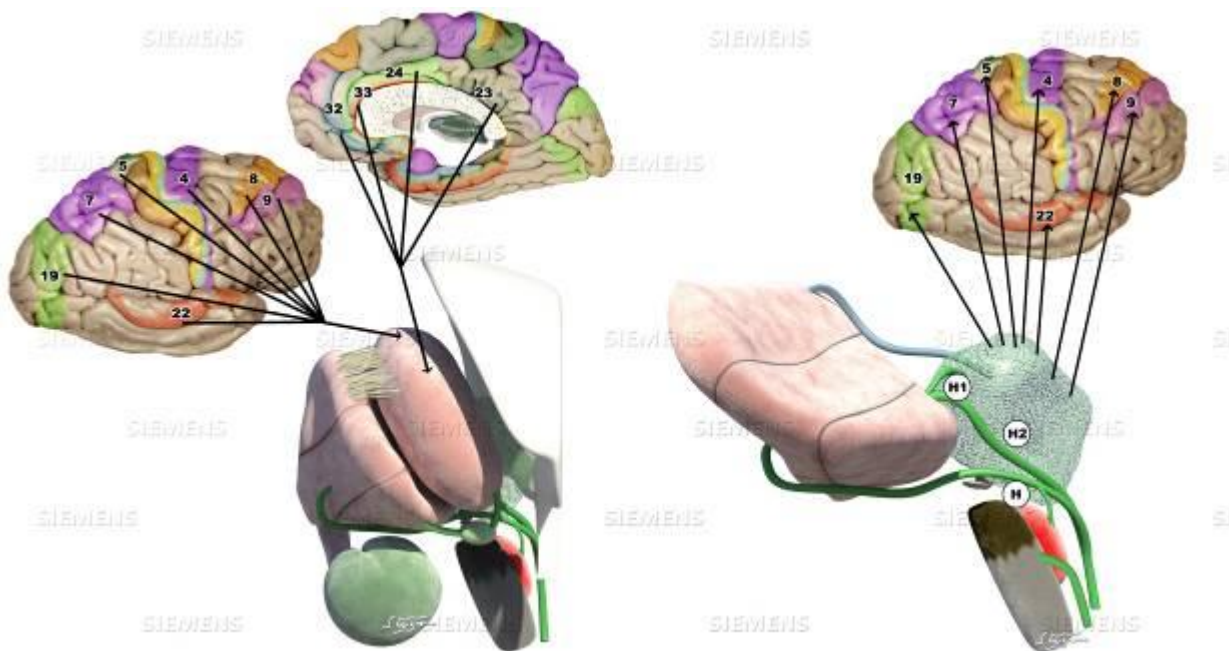


Le cortex préfrontal droit est négatif, dépressif, le gauche positif et mène à la joie. Il faut rappeler la conception de Mesulam qui divise le cerveau en trois étages : le cerveau reptilien (actes basiques), limbique (préservation de soi, procréation et survie) et neo-mamalien (pensée, contrôle des émotions, sentiments... Le temps de la mémoire de travail est bref et présente un empan de 7 +/- 2. S'il est un endroit où il faut parler de la musique c'est ici. Le cerveau gauche (chez les droitiers) est celui du langage parlé, lu et pensé. Le cerveau droit est celui de la musique et de la mathématique. Il est vrai que la musique est souvent plus mélancolique que joyeuse. Mais cette distinction est, comme toujours bien trop linéaire et nous devons la complexifier. Le monde de la musique est un monde de complexité, ce n'est pas à vous qu'il faut dire cela. L'opéra qui groupe tous les genres est l'exemple qui unit ces deux systèmes. La part émotionnelle est encore plus importante que pour toute autre activité cérébrale. Elle fait intervenir l'action autant que la pensée et, penser pour agir, doit être immédiatement suivi d'agir pour penser (E. Morin).



Le lobe préfrontal vu par en dessous  
Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

Et pour agir, il faut faire intervenir ce que le poissonculi nous a appris, le système neuromusculaire. Les boucles fronto-striatales et les aires oculo-céphalogyres sont motrices.



Agir pour penser puis penser pour progresser : Les boucles fronto-striatales  
Image du livre de Laurent VERGNON : *L'audition dans le chaos*, Masson 2008. Crédit : Fondation Siemens

Elles constituent l'apport actif de nos réflexes et de nos pensées plus élaborées. Elles

nécessitent l'apport du thalamus qui fait donc partie intégrante du système. La perception sensorielle (auditive par conséquent) a besoin d'elle pour devenir l'action qui va faire évoluer la pensée et la mémoire procédurale (apprentissage). Elle nécessite un contrôle perceptif qui explique son importance dans l'audition et tout particulièrement pour les musiciens. C'est l'aboutissement de tout ce que nous venons de voir. C'est l'ensemble qui donne du sens à cette complexité : pensée/action. C'est elle qui permet l'imagination créatrice qui doit pour avoir un sens être applicable sur le terrain. Ainsi les actions seront mieux adaptées aux besoins et aux désirs de chacun.

Il reste à dire un mot de l'attention qui a pour moteur un noyau de la substance réticulée qui a, comme neurotransmetteur, la noradrénaline. Il s'occupe de l'endormissement et surtout du réveil et quand le sujet est réveillé de l'attention. Le cortex préfrontal et la zone pariétale postérieure sont tous les deux dédiées à l'attention et sont en perpétuel échange. Ils communiquent, bien sûr, avec le cortex cingulaire qui fait partie du système limbique. Ce sont ces échanges qui permettent de focaliser notre attention sur un événement particulier. La musique réclame de l'attention sauf à en faire une musique d'ambiance (pas toujours agréable). C'est la qualité de cette attention qui nous permet d'apprécier et de fortifier notre plaisir dans ce domaine. Elle est essentielle dans la mémorisation à court et à long terme. Un mot sur les grands faisceaux blancs qui relient tous les centres corticaux entre eux. Ils vont donner l'occasion, de parler des liens, éléments essentiels d'un réseau qui vit dans la complexité. Plus il y a de liens, mieux le système se porte et plus ces liens fonctionnent, plus ils enrichissent la pensée du propriétaire. Seul un travail important et constant est capable de l'entretenir et de l'enrichir. Si nous ne pouvons plus, avec l'âge, créer de nouveaux circuits, faute de matériel, nous pouvons entretenir ceux qui existent et même toujours les perfectionner.

L'intelligence que nous attribuons à nos modèles de fourmis illustre assez bien la simplicité et la complexité du système nerveux. Leur intelligence n'a rien de mystérieux. Avec un ordinateur et 3 lois que j'enseigne à mes fourmis, je vais les rendre intelligentes. Les trois règles de départ sont que, à l'exclusion de la reine :

1. Les fourmis cherchent sans cesse de la nourriture qui les attire grâce à leur odorat ;
2. les fourmis émettent aussi des phéromones, produits odorants qui attirent leurs semblables (sexualité) ;
3. les fourmis ramènent toujours la nourriture dans leurs fourmilières.

On place la fourmilière dans un coin de l'écran, la nourriture dans un autre. Au début, les fourmis chimériques partent dans toutes les directions. Seules celles qui trouvent de la nourriture reviennent et donc font le chemin, aller et retour, en larguant deux fois des phéromones entraînant une odeur plus forte qu'ailleurs incitant toutes les fourmis à suivre le même chemin. Si un obstacle est placé sur le chemin obligeant à le contourner, celles qui feront le plus court chemin (si bien sûr l'un des deux est plus court que l'autre), produiront une plus forte odeur. Les fourmis virtuelles sont devenues, intelligentes et vont aller au plus court.

Les oscillations de l'EEG, le rythme cardiaque ; les sons, la manière dont l'oreille les traite ; les constructions anatomiques de l'embryon à l'adulte ; le fonctionnement du cerveau, les réseaux neuronaux ; la psychiatrie et toutes les situations complexes... répondent à ces interprétations conjoncturellement intelligibles, qui réduisent la part d'absurde de notre relation à l'univers. Ce chaos biologique est passionnant.

Il est nécessaire enfin de dire un mot des états limites : eau et glace ou vapeur, conducteurs et supraconducteurs, fusion et surfusion... qui eux aussi ont besoin du chaos et participent à notre capacité de nous nourrir du complexe. Cette notion d'état limite est très intéressante en musique par exemple c'est le moment où l'on passe du mineur au majeur d'une note fausse à une note juste, d'un rythme à un autre... mais aussi le moment où on change d'écoute, où l'on comprend l'idée de l'autre, etc.

Pour finir nous voudrions rappeler que nous ne lisons pas ce qui est écrit mais ce que nous avons dans la tête... C'est la même chose pour les sons et tout particulièrement pour la musique. *Selon une étude de l'Université de Cambridge, l'ordre des lettres dans un mot n'a pas d'importance, la seule chose importante est que la première et la dernière soit à la bonne place. Le reste peut être dans un désordre total et vous pouvez toujours lire sans problème. C'est parce que le cerveau humain ne lit pas chaque lettre elle-même, mais le mot comme un tout.*

Le sens de l'esthétique n'est-t-il pas dans le complexe ? Comme le suggère finement Jean-Louis LE MOIGNE : « *Que dire de cette étrange faculté des humains qui est de jouir parfois intensément de sons (ou de bruits) musicaux qui ne « veulent rien dire » ? N'est-on pas là aux confins encore inexplorés de notre humanité ?* ».