L'OREILLE, STRUCTURE ET FONCTION**M. PORTMANN***Clinique Saint-Augustin, 114 avenue d'Arès, F-33074 Bordeaux, France*

On the phylogenic plane, the ear is a fundamental and historic component, preceding phonation. The hearing structures are dedicated, and serve only for hearing ; on the contrary, the phonation structures are merely an adaptation of an organ used for other more fundamental functions, essential for life, namely breathing and feeding. It was thus only natural that the sounds emitted by individuals thanks to these organs should be finally grouped together within the optimal auditive perception zone of the species.

Communication by significant sounds was thus made possible in the course of the millions of years before us, becoming increasingly elaborate and complex, resulting finally in man in the coded linguistic system of modern Homo Sapiens.

The ear consists of three parts :

- the external ear, highly atrophied in man, and to which we shall pay little attention ;
- the middle ear, a genuine drum filled with air and containing the tympano-ossicular apparatus ;
- the inner ear, where the acoustic vibrations are recorded and translated into nerve impulses bearing the stamp of the stimulation causing them.

For this purpose, the ear is equipped with 10 000 tiny keys, or auditory ciliated cells, connected to 50 000 nerve fibres. In fact, taken individually, these cells are mechanical receptors or tactile cells responsible for translating any movement of the cilia on the apical surface into nerve impulses (on the basal pole where the nerve fibre endings are situated). What is specific to hearing is not just the sensorial cell itself, but the real keyboard into which it is integrated, namely the cochlea, a specific structure dedicated to the reception of acoustic vibrations.

With a few modern physiological notions, it is easy to understand that this remarkable organ, the ear, forms one of the essential structures for the normal development of inner language, the stock of "meaningful acoustic forms", "words", memorized as from childbirth and throughout childhood, a genuine instrument of conceptual thought, intelligence and verbal communication.

Key Words : Hearing, speech

L'OREILLE permet la perception des sons à partir des vibrations acoustiques du milieu extérieur.

Le son est une réalité psycho-sensorielle qui naît en nous-même des influx nerveux provenant de cet organe lorsqu'il est stimulé de l'extérieur par les vibrations acoustiques ; **Les vibrations acoustiques** sont des ondes de pression et de dépression qui traversent les milieux qui nous environnent.

NOTIONS GENERALES :

L'Oreille ouvre l'individu sur ce monde extérieur particulier par une fenêtre aux limites précises. Pour simplifier, nous ne parlerons au début que des sons purs. Ils sont le reflet sensoriel de vibrations acoustiques définies très précisément par rapport aux deux paramètres principaux : sur un graphique à deux coordonnées, l'**intensité** c'est-à-dire l'amplitude de la variation de pression et la **fréquence** c'est-à-dire le nombre de révolution par seconde de la variation de pression.

L'homme est capable d'entendre les vibrations entre 0 et 140 dB (une fois ce 0 défini sur le plan physique) d'une part, et entre 16 et 20 000 Hz d'autre part. Notons que le son perçu n'est que le reflet des vibrations comprises dans cette ère, en deçà de 0 dB il n'est pas entendu car trop faible en intensité, au delà de 140 dB il est intolérable et perçu sous forme de douleur et finit par détruire l'organe, en deçà de 16 Hz il n'existe pas dans notre monde sonore, c'est un infra-son, au-delà de 20 000 Hz il s'agit d'un ultra-son non perceptible par l'espèce humaine. La relativité de cette ouverture est bien objectivée par le fait que toutes les espèces ne possèdent les mêmes caractéristiques que l'homme, ainsi le chien... les insectes... les chauves souris... etc.

Signalons également que la même réalité extérieure peut engendrer plusieurs réalités psycho-sensorielles internes telles les vibrations acoustiques de basses fréquences inférieures à 500 Hz perçues comme "**vibration**" par le tact et comme "**son**" par l'oreille. Au milieu du spectre sonore existe le "**noyau dur**" de la zone conversationnelle, c'est-à-dire des fréquences et des intensités qui sont habituellement émises par la phonation humaine.

Dans l'échelle phylogénique, l'oreille est fondamentale et très ancienne ; elle précède la phonation. Les structures de l'audition sont spécifiques et ne peuvent servir qu'à entendre ; les structures de la phonation au contraire, ne sont qu'une adaptation d'organe par ailleurs utile à des fonctions plus fondamentales et essentielles à la vie : la respiration et l'alimentation. Il était ainsi normal que les sons émis grâce à ces organes par les individus, se regroupent finalement dans la zone de perception auditive optimale de l'espèce.

La **communication** par bruit signifiant, devient ainsi possible au cours des millions d'années qui nous précèdent. Elle est de plus en plus élaborée et complexe, aboutissant chez l'homme au système codé linguistique de l'homo sapiens moderne.

Les "**mots**" sont mémorisés dès la naissance à partir des stimulations acoustiques venant de l'entourage grâce au bon fonctionnement de l'oreille. Ils sont donc essentiellement des "**formes acoustiques**" stockées dans notre mémoire et sur lesquelles du fait du contexte de leur perception et par le jeu de la symbolisation, les idées c'est-à-dire les "**concepts**" prennent corps.

La conceptualisation de la pensée se fait donc au cours des premières années de la vie, grâce essentiellement au bon fonctionnement de l'oreille, du moins sur un individu sensoriellement normal.

La reconnaissance de la parole perçue par l'oreille procède de la confrontation entre celle-ci et les différents mots, formes acoustiques signifiantes préalablement stockées dans

notre mémoire linguistique. Lorsqu'il y a identité entre le message qui vient de l'extérieur et l'une de ces formes mémorisées, le mot est alors reconnu et compris.

Dans la préhistoire, le langage parlé précède de nombreux millénaires, le langage écrit qui combinera ultérieurement sur l'individu alphabétisé, les formes visuelles et acoustiques des mots. L'écriture fut la source d'une accélération prodigieuse de la connaissance et donc des civilisations par l'amélioration de la communication entre le passé et le présent.

L'oreille est donc au moins aussi importante et peut-être plus que l'oeil dans le développement individuel et collectif de l'homme, puisque le "parlé" précède "l'écrit" aussi bien d'ailleurs dans l'histoire de l'humanité que dans l'évolution de chaque individu pris isolément.

DESCRIPTION ET PHYSIOLOGIE DE L'OREILLE

Après ce bref préambule, nous reporterons notre intérêt sur l'oreille capteur périphérique capable de traduire les vibrations acoustiques en influx nerveux caractéristiques. C'est une structure remarquable et si elle était le fait de la main de l'homme, nous pourrions parler de merveille technologique.

Elle comprend trois parties :

- l'oreille externe, très atrophique chez l'homme et dont nous parlerons peu,
- l'oreille moyenne, véritable tambour rempli d'air contenant l'appareil tympano-ossiculaire,
- l'oreille interne, où les vibrations acoustiques sont enregistrées et traduites en influx nerveux portant la marque de la stimulation qui les a fait naître.

1. L'OREILLE EXTERNE

Le pavillon et le conduit auditif externe captent les vibrations. Le pavillon est chez l'homme presque immobile alors qu'il est doué de mouvements extrêmement amples chez certaines espèces permettant de s'orienter dans la direction de la source sonore afin d'alerter le sujet pour tout bruit insolite ou signifiant un danger quelconque.

2. L'OREILLE MOYENNE

Elle est munie d'une membrane vibrante le tympan auquel s'accroche la chaîne des osselets. Véritable amplificateur mécanique qui capte la vibration par l'organe concave parfaitement adapté à ce rôle qu'est le tympan et grâce au pendule amorti que représente la masse des osselets, le retransmet au liquide de l'oreille interne à travers la fenêtre ovale par l'intermédiaire de la platine de l'étrier. Le rapport de surface (rapport hydrolique est de 1 à 20 entre platine et tympan).

Les liquides de l'oreille interne étant incompressibles, il ne pourrait y avoir transmission liquidienne lors du mouvement de la platine de l'étrier si un autre orifice de l'oreille interne, la fenêtre ronde munie d'une membrane élastique, ne jouait le rôle d'un manomètre dynamique. Mais cette action compensatrice n'est possible que s'il y a une différence de pression ou de phase des vibrations acoustiques attaquant l'une et l'autre fenêtres.

A l'état physiologique, le système tympano-ossiculaire capte les vibrations pour les transmettre à la seule fenêtre ovale et protège par contre la fenêtre ronde. La différence en résultant est telle qu'elle permet à la membrane de la fenêtre ronde de se mouvoir en sens inverse de la platine de l'étrier, ce qui assure l'existence du mouvement du liquide

endolabyrinthique, donc l'excitation du nerf auditif de la VIIIème paire. A l'état pathologique, si une lésion idéale pouvait fermer totalement les deux fenêtres et les autres zones de décompression compensatrice (tels les aqueducs, les vaisseaux), il n'y aurait aucune perception possible, même par voie osseuse, les liquides labyrinthiques incompressibles restant immobiles.

Si la fenêtre ovale est seule bloquée (otospongiose, par exemple), les ondes ne passeront que par la fenêtre ronde et les liquides seront mal mis en mouvement. Si les deux fenêtres sont libres, mais sont attaquées par des vibrations sonores identiques en pression et en phase, les mouvements du liquide labyrinthique ne pourront se produire car chaque fois que la platine de l'étrier s'enfoncera dans la fenêtre ovale, une force égale simultanée agira sur la fenêtre ronde pour contrecarrer ce mouvement. Ceci se produit dans le cas d'évidement pétromastoïdien total par exemple.

En résumé, pour que les ondes passent bien dans l'oreille interne : il faut l'intégrité des deux fenêtres ; les vibrations du liquide labyrinthique seront d'autant plus grandes que la différence de pression ou de phase des ondes acoustiques attaquant les deux fenêtres, sera plus importante.

Ainsi l'appareil tympano-ossiculaire récupère les 30 dB nécessaires pour passer du milieu aérien dans lequel nous vivons, dans le milieu liquide labyrinthique dans lequel les cellules ciliées auditives doivent fonctionner. On sait en effet que la vibration acoustique perd par réflexion, d'autant plus d'énergie en passant la limite entre deux milieux que la différence de leur densité est plus grande, pour l'air et l'eau (assimilable au liquide labyrinthique), la perte est de l'ordre de 30 dB. Sans être finaliste, on comprend dès lors la présence de l'oreille moyenne sur toutes les espèces vivant dans l'air, tels les oiseaux et les mammifères.

3. L'OREILLE INTERNE

Elle comprend 10 000 petites touches ou cellules ciliées auditives branchées sur 50 000 fibres nerveuses. En fait, ces cellules prises individuellement sont des mécano-récepteurs ou cellules tactiles chargées de traduire en influx nerveux (sur le pôle basal où sont situées les terminaisons des fibres nerveuses) tout mouvement de leurs cils sur la surface apicale. Ce qui est spécifique de l'audition n'est pas exclusivement la cellule sensorielle elle-même, mais le véritable clavier dans lequel elle s'intègre, la cochlée ou limaçon, structure spécifique de la réception de la vibration acoustique.

La forme de cette cochlée n'est pas indifférente, c'est celle de la "corne", du cor, instrument de musique qui développe en son sein la résonance des vibrations.

Les cellules sont situées sur une membrane vibrante, la membrane basilaire qui est étroite et rigide dans la zone de perception des aigus, près des fenêtres labyrinthiques (fenêtres ronde et ovale) et large et plus lâche dans celle des graves (dernier tour de spire du limaçon). Elle est parcourue par des ondes de propagation produite par l'arrivée des vibrations à la platine de l'étrier.

Ces mouvements ondulatoires stimulent les cellules ciliées d'une façon très spécifique sur les plans anatomique (tonotopie) et temporel pour chaque son, grâce à la membrane tectoriale située juste au-dessus des cils des cellules sensorielles qu'elle pourra ainsi activer.

Comment se traduit dans le nerf auditif l'intensité en influx nerveux ?

D'après la loi du tout ou rien, pour chaque fibre nerveuse se produit un influx à partir d'un seuil minimum de stimulation, cet influx est d'emblée maximal et toujours le même quelle que soit l'intensité de la stimulation. Si l'intensité augmente, c'est le nombre des influx par seconde qui traduit cet accroissement jusqu'à la saturation de la fibre nerveuse. Le recrutement d'autres

fibres est alors nécessaire afin d'obtenir la sensation d'augmentation d'intensité causée par celle du stimulus.

Comment ces influx nerveux traduisent-ils la fréquence dans le nerf auditif ?

Il existe essentiellement deux modes d'action intervenant simultanément : l'un passif, l'autre actif.

- Processus mécanique passif :

On a déjà vu qu'il existait sur le clavier cochléaire une correspondance entre fréquences et zone stimulée (tonotopie). La pression alternative de la platine de l'étrier détermine à chaque cycle (ou hertz) deux phénomènes distincts mais indissociables et liés par une relation de cause à effet :

- un déplacement en masse immédiat et brutal d'une partie des liquides labyrinthiques, qui ne peut se faire que grâce à l'action compensatrice de la fenêtre ronde ;
 - ce déplacement en masse des liquides engendre une déformation de la membrane basilaire.
- Du fait des caractéristiques physiques et des possibilités de résonance de cette structure, la répétition alternative de cette déformation provoque une onde de propagation le long de cette membrane basilaire. Cette onde chemine de la région des fenêtres vers le sommet de la cochlée ou l'hélicotréma ; elle repousse en avançant les liquides devant elle.

Pour chaque cycle (ou hertz) du son stimulus se reproduisent ces mêmes phénomènes. De sorte que nous n'avons pas une onde, mais plusieurs ondes de propagation successives battant à la fréquence du stimulus et cheminant le long de la membrane basilaire qui est rentrée ainsi en résonance. Ces ondes ne parcourent pas la même distance suivant la fréquence du stimulus, ceci est dû aux caractéristiques de l'organe ; la membrane basilaire est d'autant plus large et d'autant moins rigide que l'on s'éloigne des fenêtres pour se rapprocher de l'hélicotréma.

Ainsi, ces ondes s'éteignent assez brutalement lorsqu'elles arrivent à un niveau d'autant plus éloigné de la région des fenêtres que le son stimulus est plus grave ; inversement, les ondes s'arrêtent à un niveau sur l'échelle cochléaire d'autant plus rapproché de la région des fenêtres que le son stimulus est plus aigu. Le son le plus grave engendre donc des ondes parcourant toute l'échelle cochléaire jusqu'à l'hélicotréma, ce qui provoquera l'excitation de toutes les fibres du nerf auditif. Un son très aigu déterminera une onde de propagation qui viendra très rapidement mourir près de son point de départ dans le début de la première spire cochléaire : seule les fibres nerveuses de cette région seront excitées.

Cette limite vibratoire est toujours la même pour un stimulus de fréquence donné, car elle dépend des caractéristiques physiques de résonance de la membrane basilaire. Le maximum vibratoire est situé immédiatement avant cette limite pour les intensités faibles ou moyennes ; il peut s'en éloigner et se rapprocher de la région des fenêtres pour des intensités plus fortes.

Si l'on a grossièrement comparé la cochlée à un instrument de musique, une harpe ou un piano par exemple, il faut reconnaître que ces instruments n'ont que quelques cordes spécifiques de chaque fréquence alors que la membrane basilaire est une structure continue. Elle devrait permettre de ce fait, la mise en résonance de plus petites différences de fréquences, c'est-à-dire sensation de hauteur et ceci théoriquement jusqu'à l'infini.

En fait, la tonotopie ne rend pas compte à elle seule des performances remarquables de l'oreille comme l'ont montré tous les travaux électrophysiologiques de ces 40 dernières années. Il existe en plus de ce mécanisme passif, grossier, un système actif qui rend la perception de la hauteur (la fréquence) particulièrement précise. Ce fut le mérite des recherches des 10 dernières années dans les différents laboratoires d'acoustique biologique, d'avoir découvert le

fonctionnement du système actif en question.

Processus biologique actif :

Les mécanismes tonotopiques passifs décrits plus haut, restent grossiers. La finesse des seuils d'audition et la qualité de la discrimination proviennent en fait essentiellement du rôle spécifique dynamique des cellules ciliées externes. En effet, les cellules ciliées internes sont les seules habilitées à transmettre le message afférent, mais elles ne peuvent être stimulées directement que pour des intensités assez fortes (au moins 45 à 50 dB). Les cellules ciliées externes, au contraire, sont activées par la moindre stimulation mécanique de leurs cils, mais ne transmettent par elles-mêmes aucun message afférent aux fibres nerveuses. Munies d'un appareil musculaire (actine, myosine), elles peuvent fournir dès leur stimulation, une énergie supplémentaire et se déformer (contraction et dilatation de leur corps cellulaire) en rentrant en résonance avec le son stimulus. Ces mouvements produiraient des déplacements d'endolymphe qui activeraient les cils des cellules ciliées internes seules capables d'envoyer un message afférent.

Ceci se produit pour la mise en jeu de chaque fibre nerveuse afférente dès la plus faible intensité de stimulation et également au dessus de 50 dB pour provoquer en plus de la réponse directe mécanique grossière peu discriminative des cellules ciliées internes, un supplément d'énergie hypersélectif quant à la fréquence.

CONCLUSION

Durant ces quelques minutes, nous n'avons effleuré que certains aspects de l'anatomie et de la physiologie de l'oreille. Bien que non exhaustive, j'espère que cette causerie aura permis de comprendre le caractère vraiment remarquable de cet instrument qui constitue l'une des structures essentielles au développement normal du langage intérieur : ce stock de "formes acoustiques signifiantes" "les mots" mémorisées dès la naissance durant l'enfance et véritable outil de la pensée conceptuelle, de l'intelligence et de la communication verbale.

Lorsque ces structures sont perturbées, le malade est sourd : des traitements (médicaux, chirurgicaux ou prothétiques) sont alors possibles selon les différents cas.

Même lorsqu'il n'y a plus aucune cellule sensorielle, mais qu'il reste néanmoins des fibres nerveuses, on peut maintenant redonner à ces sourds totaux, une perception auditive grâce aux implants cochléaires, électrode placée chirurgicalement et activant électriquement le nerf auditif lors de stimulation par les sons venus de l'extérieur.