

UN CERVEAU, COMMENT ÇA MARCHE ? (XIV)

OUI, J'ECOUTE...

Beaucoup d'entre vous, qui connaissent le site de Coridys surtout pour son implication dans le traitement de la dyslexie doivent se demander "mais quand est-ce qu'il va en parler ?" Eh bien, on y arrive. On va aborder le monde de l'audition, qui est tout à fait crucial dans l'apprentissage du langage. Et une fois de plus, ce n'est pas simple. Désolé.

Les sons que nous entendons, quelle que soit leur origine (bruit, musique, parole) sont des vibrations mécaniques du milieu ambiant, c'est à dire en temps normal pour nous, l'eau. En plus, ce sont des vibrations extrêmement complexes. Comment notre cerveau fait-il pour tirer des informations de ces vibrations ?

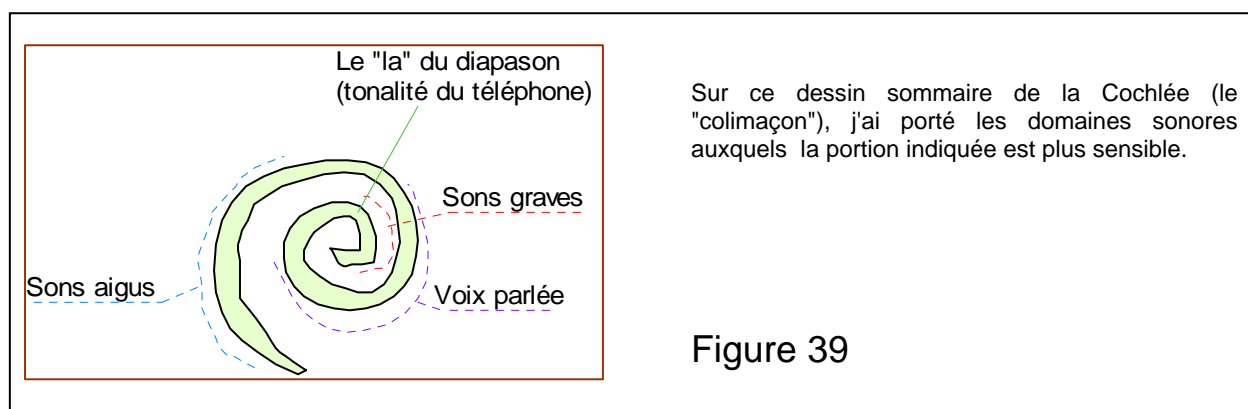
D'abord, il faut transformer ces vibrations mécaniques en signaux capables d'être "compris" par notre cerveau, donc des signaux électriques et chimiques. C'est le boulot de nos oreilles, et tout particulièrement de l'oreille interne.

Prenons un exemple, vous êtes au restaurant, il y a un bruit de fond à base de fourchettes, de conversations mélangées, de musique d'ambiance, avec les bruits de la rue quand quelqu'un ouvre la porte, etc... Question vibrations mécaniques, vos oreilles sont servies. Pourtant, dans ce mélange de vibrations complexes, vous allez entendre votre voisine vous chuchoter un mot tendre - ou une critique de l'accoutrement de telle ou telle autre convive, c'est selon. Si quelqu'un, dans la conversation de la table à côté, prononce le nom d'une de vos connaissances, vous allez tout de suite être en alerte. Si la musique d'ambiance reprend une chanson qui vous rappelle vos jeunes années, vous allez sélectionner cette chanson et effacer les bruits ambiants... Ça n'a l'air de rien, mais c'est une sacrée performance.

Alors, tous ces sons mélangés arrivent à vos oreilles. Ils sont captés par une membrane un peu comparable à celle du microphone, votre tympan. Derrière ce tympan, une chaîne de trois petits os (appelés marteau, étrier et enclume) transmettent ces sons à une espèce de colimaçon appelé la "cochlée". Dans ce colimaçon, une membrane tapissée de petits cils baigne dans un liquide. Les sons captés par le tympan et transmis par les osselets mettent cette colonne liquide en vibration. Et cela fait vibrer les petits cils qui tapissent le colimaçon - je veux dire la cochlée ! Chacun de ces petits cils est branché sur un neurone qui envoie vers le cerveau un train d'impulsion correspondant aux vibrations qu'il a détectées, et le tour est joué.

Mais, me direz-vous, si tous les cils sont mis en vibration pareil, comment le cerveau va-t-il reconnaître un quatuor de Beethoven, le dernier tube à la mode, ou une porte qui grince ?

Eh bien, précisément, chaque cil ne réagit pas à tous les sons. Vous êtes-vous amusé(e) à faire vibrer sur le bord d'une table une lime à ongle, une lame de scie, ou n'importe quelle lame métallique ? Vous avez remarqué que plus la portion de lame vibrante est courte, plus la lame est rigide, et plus le son produit est aigu. Eh bien, la membrane qui porte les cils est plus ou moins raide selon les endroits, et les cils qu'elle porte seront plus sensibles à une sorte de vibration précise. La membrane est en quelque sorte "accordée" pour recevoir à des endroits précis tel type de fréquence sonore. Et par conséquent, le cil concerné va apporter au cerveau les informations sur la présence ou l'absence de telle fréquence, et sur son intensité. Quand le cerveau aura le résultat de tous les cils, il a en quelque sorte la carte sonore de l'environnement, et il va pouvoir faire son marché.



Mais voilà, pour différentes raisons, les sons graves ont tendance à "envahir" tout l'espace de la cochlée, et donc à brouiller un peu les cartes. Là encore, la nature a inventé un truc génial pour régler ce problème. Deux tout petits muscles, attachés l'un au tympan et l'autre aux osselets de l'oreille (marteau, enclume et étrier), "tendent" plus ou moins le système de réception, ce qui permet de réguler la proportion de graves et d'aigus, en même temps que l'intensité globale du son. Ils ont en quelque sorte à la fois la fonction du bouton de volume, et du bouton "graves - aigus" de votre poste de radio. De cette manière, la sélection de ce qu'il "faut écouter" dans la gamme des sons entendus peut se faire, et vous êtes capable de prêter attention à ce que vous dit votre vis-à-vis au restaurant, malgré les bruits de fourchettes, le brouhaha et la musique d'ambiance. En fait, ces petits muscles se contractent de façon réflexe lorsqu'il y a un bruit violent (avec un tout petit temps de retard, malgré tout, ce qui fait que ça ne marche pas en cas d'explosion inattendue par exemple). Mais ils se contractent aussi lorsqu'on s'apprête à parler - ou encore plus à crier! -. Je pense que pour la "Castafiore", et plus généralement les chanteurs dont la voix est particulièrement puissante, il y a intérêt à ce que ces muscles protègent les oreilles contre la voix même de la personne, car la puissance sonore émise peut être assez considérable !

Si un "grain de sable" vient s'immiscer dans le fonctionnement de ces mécanismes délicats, vous allez avoir du mal à faire le tri, et à "choisir" ce que vous devez écouter dans l'ensemble des sons ambiants. Ces grains de sable peuvent provenir d'un défaut de fonctionnement de ces petits muscles. Soit parce qu'avec l'âge, le mécanisme se "grippe" un peu, ou parce que la fréquentation assidue des baladeurs "plein pot" et des tonitruantes enceintes de la musique techno, des raves, ou des boîtes, a fini par léser ces petits muscles régulateurs, et raidir les micro-tendons qui relient les minuscules os de l'oreille moyenne. Ça peut être aussi lié à un défaut inné dans le contrôle musculaire, ou une maladie dégénérative. Toujours est-il que dans ce cas, votre "attention auditive" sera perturbée, puisque vous ne pourrez pas aisément faire le tri.

Bon, donc de chaque cil de la cochlée, un nerf part porter sa part d'information au cerveau. Mais comme d'habitude, il ne va pas directement au cortex, il porte la bonne parole d'abord dans la partie la plus ancienne de notre cerveau, le "tronc cérébral".

Une question de cours, maintenant. Vous souvenez-vous de ce qu'on avait évoqué, voici quelques temps (dans le chapitre 2 plus exactement), à propos de cette structure particulière qu'on appelle la "formation réticulée" ? Bon, c'était pour voir si tout le monde suit. Je vous rappelle les faits: c'est un ensemble de neurones très particuliers, assez diffus, qui joue un peu le rôle d'espion. Tant qu'il ne passe rien elle laisse nos hémisphères cérébraux dormir du sommeil du juste, mais quand une information se présente, elle "réveille" en quelque sorte ces hémisphères cérébraux pour avertir qu'il va y avoir du boulot. Cette formation joue un rôle particulièrement important en ce qui concerne l'audition. En effet, si vous voulez dormir, par exemple, vous fermez les yeux, pas de problème, votre système visuel n'est pas sollicité, sauf lueur vraiment extraordinaire. Mais allez donc fermer vos oreilles ! Nos oreilles n'ont pas de paupières ! Pourtant, tout le monde ne peut pas s'offrir le luxe d'une maison en pleine campagne, où aucun bruit ne vient troubler le silence (quoique... les paysans n'ont plus d'heure depuis que leurs tracteurs sont équipés et à la saison de l'ensilage ou des moissons... mais enfin, passons). Et, nous parvenons très bien à dormir avec un certain bruit de fond. Et même, dans certaines villes, avec un bruit de fond certain !!!

Par contre, si ce bruit change de façon inopinée, ou dépasse un certain seuil, même le rêve le plus érotique n'y résiste pas, votre réticulée envoie illico un message impérieux comme quoi ils se passe quelque chose, et qu'il faut se réveiller vite fait. Par contre, un bruit nouveau qui se répète, la première fois vous réveille, la seconde vous réveille à moitié, et au bout de quelques expériences, ne vous fait plus rien.

Prenons un exemple: vous arrivez dans une nouvelle maison. Vous ne connaissez pas les bruits ordinaires de l'entourage. Ces bruits vous réveillent au début, puis,

vous finissez par vous y habituer. Mais, si le vent se lève, alors même que le vent ne résonne pas du tout dans cette nouvelle maison comme dans la votre, il ne vous réveillera pas forcément. Il y a donc dans votre cerveau un système de reconnaissance élémentaire qui "fait taire" l'espion pour qu'il ne vous alerte pas inutilement. Pourtant, les systèmes de traitement élaboré qui se situent dans vos hémisphères cérébraux, plus précisément cette "écorce" qu'on appelle le "cortex" n'ont pas eu besoin d'intervenir. Cela veut dire que d'autres systèmes de traitement, plus primitifs, ont permis une analyse certes assez grossière, mais suffisante pour vous permettre de vous reposer. Oh ! ces systèmes sont bien incapables de vous préciser s'il s'agit du mistral, de la tramontane ou du vent d'autan, mais ils sont capables de "savoir" s'il s'agit d'un vent "normal", ou d'une tempête qui mérite d'être prise en considération.

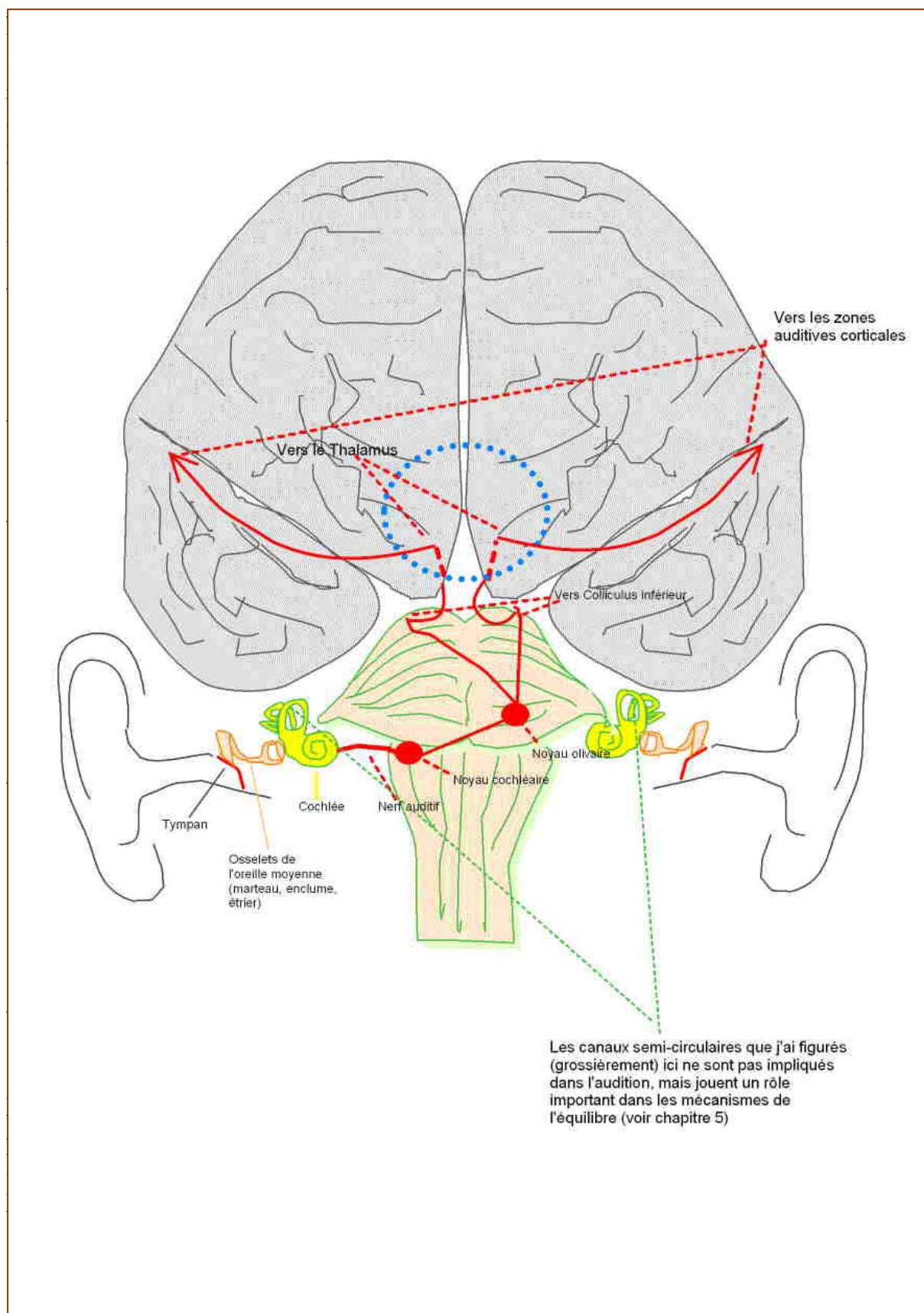
Nous connaissons déjà ces systèmes de reconnaissance automatiques. Nous les avons rencontrés lors de l'étude du système visuel. Ils interviennent avant le traitement cognitif lui-même, et le conditionnent. Nous allons y revenir bientôt.

Donc, les informations données par nos oreilles arrivent, dans un premier temps, dans les structures les plus anciennes de notre cerveau, où elles font relais. C'est-à-dire qu'elles échangent leurs informations par l'intermédiaire de synapses, comme d'habitude, avec d'autres neurones qui continuent à porter l'information "plus haut".

Mais attention, les informations qui arrivent à ce niveau sont de deux sortes:

- Des informations sur la hauteur des sons (la "note" des sons entendus). Chaque cil nous l'avons vu est plus sensible à une fréquence donnée, c'est-à-dire à une "note" donnée, et il n'envoie d'informations que sur cette note. Et les neurones qui le relaient vont continuer tout au long de la chaîne à porter ces informations vers les structures les plus élaborées de notre cerveau. Bien sûr, c'est important pour la perception de la musique. Mais les bruits et le langage parlé sont composés d'une multitude de "notes" mélangées. Avec des dominantes différentes, par exemple, plus aiguës lorsque c'est une femme qui parle, que lorsque d'est un homme, mais également plus aiguës dans certaines langues que dans d'autres (l'anglais, par exemple).
- Des informations sur la durée de chaque élément du son perçu. Ces informations jouent un rôle considérable dans un tas de domaines, dont la perception de la parole. Il semble bien que, très tôt dans le traitement de l'information (bien avant que notre cortex n'intervienne, les informations portées par différents neurones, porteurs donc de différentes fréquences, se combinent. En particulier, le décalage entre les arrivées sur une même zone des sons perçus par chaque oreille va permettre de localiser la source des sons. Mais, lorsque nous parlons, il y a des sortes de ruptures sonores entre les différents sons de la langue, et ces ruptures sont très importantes à percevoir pour reconnaître certaines consonnes (les d, les p, les t...).

Bon, n'allons pas trop vite.



- la localisation des sons dans l'espace, qui utilise le tout petit décalage entre le moment où notre oreille gauche et notre oreille droite reçoivent le même son. Ce qui suppose la capacité de discriminer des toutes petites différences de temps. Tiens, faisons un peu de mathématiques. Sachant que le son parcourt environ 340 mètres par seconde, en gros. Combien de temps met-il à parcourir la distance entre nos deux oreilles, disons 15 cm pour faire rapide ? Eh bien ça donne quelque chose comme 5 millièmes de seconde. Belle performance que de pouvoir détecter une différence aussi faible!
- le réglage de l'intensité (en particulier par le "réglage" des muscles amortisseurs dont nous avons parlé ci-dessus).
- Les premiers traitements du son, mais nous allons y revenir.

Comment savons-nous que ce que nous entendons est de la musique, du bruit, ou de la parole ? C'est très important, car la manière de traiter l'information par la suite va être tout à fait différente.

C'est une question que se posent les neuropsychologues depuis longtemps: y a-t-il un traitement spécifique de la parole, avec des structures dédiées spécifiquement à ce traitement, ou bien tous les sons sont-ils traités de la même façon, par les mêmes structures cérébrales ? Le traitement verbal interviendrait alors seulement en fin de processus.

Disons le tout de suite, on n'a pas encore réussi à donner une réponse claire et définitive à cette question. Mais on a tout de même découvert un certain nombre de choses intéressantes.

Qu'est-ce qui différencie un bruit (sans message langagier) d'une musique (en principe porteuse d'émotion esthétique) d'un son de la parole ?

- La musique comporte généralement plusieurs composantes : le rythme, la ligne mélodique, avec des intervalles de silence, et les harmonies. Tout cela comporte un aspect de régularité (le rythme par définition scande régulièrement le temps, la mélodie est composée d'une succession de sons d'une hauteur bien définie).
- Le bruit comporte des sons d'une hauteur indéfinie, et dont la régularité éventuelle n'est pas portée par une intention artistique. Lorsqu'un artiste reprend par exemple le bruit de la machine à écrire, ou des bruits d'usine pour en faire une œuvre musicale, il réarrange ce bruit pour lui donner des caractéristiques qu'il n'a généralement pas à l'origine.
- La parole est beaucoup plus complexe. Avez-vous remarqué, lorsque vous entendez une langue étrangère que vous ne connaissez pas (ou peu), la difficulté à retrouver les séparations entre les mots ? Et la difficulté que nous avons pour différencier dans certaines langues le "b" du "v", par exemple ? C'est que précisément, le travail de notre cerveau consiste à repérer, dans le flot de la parole, qui semble au premier abord un flot continu, les ruptures, et les différents signes qui permettent de différencier les mots et les syllabes. Or, la distinction entre certains sons proches, impose à notre cerveau de réagir extrêmement rapidement à des signes particulièrement ténus. Si on branche un

micro sur un enregistreur qui trace les variations de la pression de l'air sur une bande de papier, on voit clairement le peu de différence qu'il y a entre un "b" et un "p", un "d" et un "t". La figure 41 donne un exemple de ces enregistrements, sur les syllabes "Bah - Pah", et "Dah - Tah"¹.

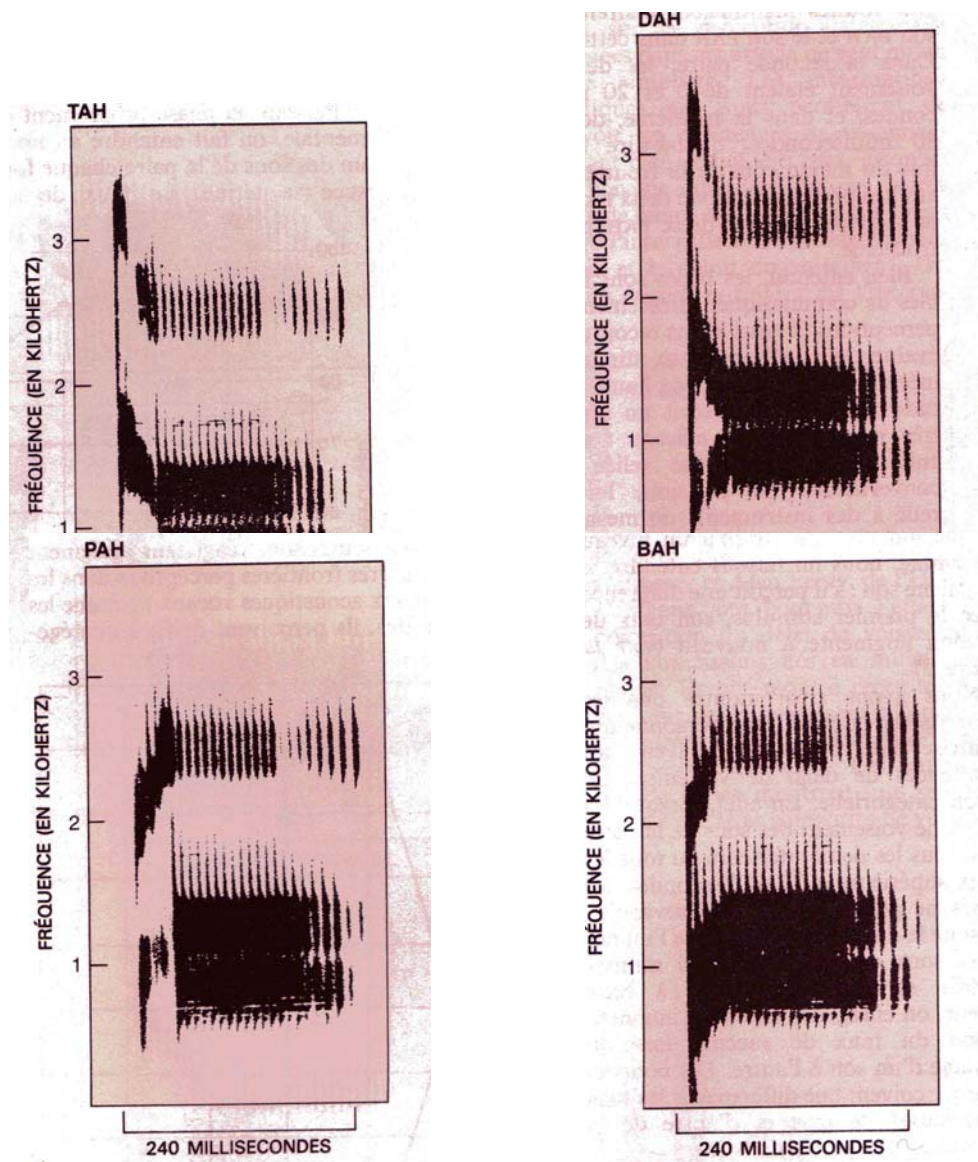


Figure 41: exemples d'enregistrements de syllabes avec des occlusives proches ("b - p" en haut et "d-t" en bas) d'après Eimas

Remarquez bien le temps extrêmement court de ces enregistrements, environ un quart de seconde, ce qui veut dire que la partie précise où se fait la distinction entre le "b" et le "p" ou entre le "d" et le "t" se fait en moins d'un dixième de seconde!

Quand on regarde cette figure 40, on s'aperçoit qu'il n'y a que très peu de différence entre les courbes des consonnes "b-p" et "d-t". Ces petites différences interviennent seulement au tout début de la courbe, et le temps dont dispose notre cerveau pour "faire la différence" est inférieur au dixième de seconde. Et de plus, notre cerveau doit dans le même temps gérer tout un tas d'autres signes: par

¹ Ces figures sont tirées d'un article passionnant de Peter Eimas, paru dans "Pour la Science" n° 89 de Mars 1985 intitulé "la perception de la parole par les nourrissons".

exemple, la différence entre "pâte" et "patte" se jouera sur de minimes allongements du "â" par rapport au "a" et une petite variation de sa "coloration". Ainsi qu'une différence minime dans le temps pris pour prononcer le son "te". Et bien d'autres signes.

Alors, bien sûr, la question qui se pose est

"Où se fait cette distinction entre bruit, parole ou musique? Dès les premiers stades du traitement, ou assez tardivement? Quelles parties du cerveau traitent ces signaux et de quelle manière? Est-ce que ce sont les mêmes qui traitent tout, ou certaines parties de notre cerveau sont-elles spécialisées?"

Autant vous le dire tout de suite, on n'a pas actuellement de réponses définitives à toutes ces questions. Pourtant, on commence à en savoir assez pour avoir une idée des endroits où peuvent se loger mes fameux "grains de sable". Mais reprenons un peu ces différents éléments.

La Musique² :

Nous sommes au concert... ou plus simplement nous écoutons un disque... Des sons mélodieux parviennent à nos oreilles, provoquant des signaux qui partent, via le nerf auditif, vers les noyaux cochléaires (voir la figure 39). Cette musique est une suite de sons d'une hauteur déterminée (les notes). On a vu que les cils de la cochlée réagissent uniquement à telle ou telle note selon leur position. Cette information sur les notes, le noyau cochléaire ne la traite pas, il l'envoie se faire traiter plus haut. Par contre, les notes changent suivant le rythme et la phrase musicale. Ces changements, une autre partie du noyau cochléaire les détecte et en fait un premier traitement. De là, ces informations partent vers le Thalamus, où elles vont générer des émotions diverses et variées, mais le Thalamus va également diriger les différentes composantes du signal musical vers les structures du cortex qui "savent" quoi en faire.

Comme pour la vision, toutes ces informations parviennent dans une aire "primaire": une partie du cortex (appelé "gyrus de Heschl") qui traite l'ensemble des infos et entre en dialogue avec différentes autres aires (on parle du "Cortex associatif") plus spécialisées. La majorité des informations données par l'oreille gauche arrive dans l'hémisphère droit, et à l'inverse, la majorité des infos données par l'oreille droite parvient dans l'hémisphère gauche. La majorité, mais pas toutes. En fait, chaque hémisphère reçoit des informations des deux oreilles, dans des proportions variées. La distribution des fibres nerveuses vers un hémisphère ou l'autre est très complexe, et nous n'entrerons pas dans des détails sur lesquelles les anatomistes discutent encore.

Cette zone primaire "organise" en quelque sorte les informations auditives pour les rendre traitables par les autres zones cérébrales. Lorsqu'elle ne fonctionne pas, la personne entend qu'il y a du bruit, mais ne parvient pas à savoir si c'est de la musique, de la parole, ou du bruit.

² Pour plus de détails, voir Eckart Altenmuller, "Le Cerveau mélomane", Pour la Science n° 294, avril 2002.

Nous avons vu que, pour ce qui concernait la vision, les choses étaient simples... enfin, façon de parler. Je veux dire par là que chaque hémisphère cérébral traite entièrement une partie du champ visuel: l'hémisphère gauche traite la partie droite de notre vision, l'hémisphère droit la partie gauche (du moins pour ce qui concerne les premiers stades du traitement). Ensuite, les deux hémisphères échangent leurs informations, et si du moins il n'y a pas de grain de sable à s'en mêler, coordonnent les informations venant de la droite et de la gauche.

Il ne semble pas que cela se passe de la même manière pour l'audition. C'est d'ailleurs normal, car le champ auditif n'est pas aussi délimité que le champ visuel. Sauf lorsque nous avons un casque sur les oreilles, qui envoie précisément un son sur une oreille et un autre son sur l'autre, il n'y a pas en condition naturelle d'écoute de barrière empêchant les sons venant de notre gauche d'atteindre notre oreille droite et vice versa.

De plus, alors que les phénomènes visuels sont très dépendants de la position des objets visuels dans l'espace, les phénomènes auditifs sont très dépendants du déroulement du temps. Nous l'avons vu pour la parole, dans l'exemple de la distinction entre "b - p - d - t ". C'est tout aussi vrai pour la musique, où c'est la succession des notes qui fait la mélodie, et le battement régulier des temps forts qui crée le rythme.

Or on a découvert que, pour ce qui est de la musique, par exemple, une coopération entre les deux hémisphères cérébraux est indispensable: des personnes qui souffrent de lésions des zones de traitement auditif dans un des hémisphères peuvent perdre suivant les cas le sens de la mesure, la notion de hauteur des notes, la perception de la ligne mélodique ou la notion du rythme. On estime en général que l'hémisphère gauche traite plutôt le signal musical de manière analytique, et l'hémisphère droit de manière globale.

Cette coopération entre les deux hémisphères va se retrouver à nouveau dans toutes les tâches concernant l'audition.

Donc, il est indispensable que la communication se fasse bien entre ces deux hémisphères. On retrouve le rôle fondamental de ce "pont de fibres" entre eux, que constitue le **corps calleux**. Nous avons déjà parlé de l'importance de cette structure au chapitre 8.

Le bruit

Par définition, le bruit n'a pas les mêmes régularités que la musique. Le grand problème est de l'identifier. Reconnaître très rapidement la nature d'un bruit peut être un problème vital dans certains cas. Pour nos ancêtres dans la préhistoire, il valait mieux identifier très vite l'approche d'un tigre à dents de sabre, nécessitant de mettre en œuvre rapidement une technique de fuite ou de défense, de celui de la fuite d'une gazelle entraînant la mise en œuvre tout aussi rapide d'une technique de chasse. Comme pour le système visuel, des "filets de capture automatiques" (c'est-à-dire des "gnosies" pour employer un gros mot) se sont mis en place au cours de l'évolution. Nous avons hérité de ces capacités de reconnaître immédiatement la nature d'un bruit. Les tigres à dent de sabre se faisant rares, nos "filets de capture"

nous permettent de repérer le "petit bruit" qui vient nous dire que la porte s'ouvre, que quelqu'un approche, et même de savoir sans avoir besoin de regarder si c'est notre conjoint(e) ou l'un de nos enfants... ou notre chef de bureau, ou bien quelqu'un d'inconnu. Ou bien, quand nous sommes en vélo, le bruit d'une voiture qui nous indique qu'il vaut mieux se ranger sur le bord de la route. Comme dans le cas du système visuel, des "grains de sable" peuvent survenir, et provoquer des "agnosies": nous entendons bien un bruit, mais nous sommes incapables de savoir si c'est une porte qui s'ouvre, une voiture qui approche, ou un chat qui se fait les griffes sur le fauteuil, par exemple. Ça, c'est dans les cas les plus graves. Mais dans les cas plus bénins, pour reprendre mon exemple de tout à l'heure, on reconnaît le bruit de pas de quelqu'un, mais on ne parvient pas à identifier si c'est un pas connu ou inconnu.

Vous rappelez-vous ce qu'on disait dans le chapitre 12 concernant les "scripts" ? Et l'importance de ces scripts pour tout un tas de situations de la vie courante ? Ces "scripts" s'appuient sur des tas de détails qui sont autant d'indices pour déclencher la mise en place du "filet de capture" ad hoc. Au nombre de ces indices, les reconnaissances rapides et automatiques de bruits jouent un grand rôle. Je ne vais pas revenir sur ces scripts et schémas, dont nous avons déjà beaucoup parlé, mais rappelez-vous leur importance dans les apprentissages (cf le chapitre 14). Les reconnaissances de bruit, auxquelles on ne fait pas non plus attention tant elles semblent évidentes, participent à ces processus. Il faut y penser lorsqu'un enfant réagit mal, ou lentement, dans des situations où l'audition joue un grand rôle. C'est d'autant plus déroutant, là aussi, que cet enfant n'est pas sourd ! Il peut même parfois réagir très régulièrement aux bruits ambiants, et se montrer très performant si on lui fait un audiogramme... Mais le fait de ne pas reconnaître ces bruits peut le mettre dans des situations très difficiles.

La Parole.

Je m'intéresserai ici simplement aux premiers stades de la perception auditive de la parole. Nous reviendrons dans le prochain chapitre sur tous les aspects liés à la compréhension, et à l'écriture.

Raymond Queneau commence son livre "Zazie dans le métro" avec une expression un peu surprenante: "Doukipudonktan". Curieusement, je me souviens d'avoir marqué un temps d'arrêt à la lecture de ce mot bizarre, avant de mettre les césures qui permettent de comprendre "d'où qu'ils puent donc tant". Pourtant, lorsqu'on entend cette expression, c'est bien le flot continu exprimé par ce "Doukipudonktan" qui parvient à nos oreilles. Or, dès les premiers stades de notre perception, notre cerveau met les césures là où elles doivent être.

Un autre exemple: dans le livre de grammaire que j'avais étant potache, une figure de style dont je me suis empressé d'oublier le nom était illustrée par les deux vers suivants :

*"Gal, amant de la reine, alla, tour magnanime,
Galamment de l'arène à la tour Magne, à Nîmes"*

J'imagine un tel vers "dit" par un robot utilisant la synthèse vocale, c'est-à-dire sans y mettre aucun indice particulier permettant d'organiser la perception, quelle difficulté aurait l'auditeur à comprendre ce dont il s'agit ! D'ailleurs, ceux qui ont eu à accompagner des personnes qui, ayant perdu la parole, utilisent une telle synthèse vocale, savent qu'il faut souvent un petit temps de réflexion pour comprendre les messages émis par ces machines, même lorsqu'ils ont été parfaitement pensés.

Pourtant, nous avons une impression d'évidence des mots lorsque nous parlons. Du moins dans notre langue maternelle. Car, on retrouve précisément cette difficulté lorsqu'on apprend une langue étrangère, difficulté d'identifier les mots que l'on connaît dans le flot apparemment ininterrompu de sons que nous entendons autour de nous !

Alors on peut se poser la question: où et comment s'effectue ce traitement ?

Est-ce qu'il y a dès les premiers stades (noyaux cochléaires, thalamus...) un pré traitement qui enverrait directement tout ce qui concerne la parole vers les aires cérébrales (aire de Wernicke, de Broca, nous le verrons) qui traitent tout particulièrement ces informations. Ou bien est-ce que chaque niveau se contente de "picorer" en quelque sorte au passage ce qui l'intéresse pour les tâches qui le concerne et transmet en vrac au niveau suivant le soin d'en faire autant. Dans ce cas, le traitement spécifique de la parole se ferait seulement en fin de parcours, dans les hémisphères cérébraux. Disons le clairement, on n'a pas actuellement une réponse claire et définitive à cette question. Plusieurs modèles théoriques s'affrontent, chacun donnant des éléments de réponse, mais aucun ne répondant à **toutes** les questions qui se posent.

Pourtant, on sait un certain nombre de choses, qui permettent d'ébaucher un mode de fonctionnement probable.

Si l'on reprend le principe des "filets de capture", que nous avons développé lorsque nous avons exploré la vision, on peut proposer un mode de fonctionnement cohérent, et qui plus est, susceptible d'apporter des éléments intéressants pour trouver les stratégies de contournement lorsque des "grains de sable" viennent gripper le fonctionnement.

Rappelons qu'un "filet de capture" se forge par le renforcement de constellations de synapses qui, à force d'être sollicitées de manière répétitive, finissent par constituer des "mailles". Ces mailles sont organisées de façon que, lorsque une majorité de ces mailles est sollicitée (rappelez-vous le "canard" du chapitre 6, et en particulier les figures 15 et 16), le filet de capture "reconnait" l'objet capturé. Bon, c'est évidemment moins facile à imaginer dans le domaine auditif. Car dans l'image visuelle, toutes les synapses sont sollicitées au même instant. Lorsqu'il d'agit d'images auditives, ces synapses sont sollicitées de manière décalée dans le temps. Et il faut envisager des "filets de capture" qui s'appuient sur des décalages de fréquences repérées dans le temps. Par exemple, pour ce qui concerne la reconnaissance des "d", "b", "t", "p"... nous avons vu (figure 41 ci-dessus) que la détection de ces décalages temporels est cruciale. Comment ça peut bien marcher ? D'abord, on a vu tout à l'heure (figure 39) que les différentes fréquences sollicitent des endroits différents de notre cochlée. Et que ces endroits différents envoient

leurs informations à des endroits spécifiques de notre cerveau, et que c'est vrai à toutes les exemples du traitement. Donc, les différentes hauteurs de sons (graves, aigus), sont représentées dans chaque étage de notre cerveau par une sorte de "carte", qui évidemment sera plus aisée à organiser en filet de capture que s'il fallait traiter séparément chaque son par la même structure. Mais, me direz-vous, comment sont représentés ces millisecondes cruciaux qui permettent de différencier le "b" du "p" par exemple ? Merci de cette bonne question.

Ce qui a surtout été étudié jusqu'ici dans ce domaine -du moins à ma connaissance-, c'est le traitement des décalages temporels du même signal envoyé par les deux oreilles, et qui selon la position de la source d'émission sonore sera forcément perçu par une oreille un peu après l'autre. Il semble que ce traitement se fasse par un système de ligne à retard et de détecteurs de coïncidence. C'est un peu comme le classique problème des trains qui se croisent. Vous vous souvenez (chapitre 1), nous avons vu que l'influx nerveux se déplace avec une vitesse relativement faible. Et qu'il lui faut un temps non négligeable pour franchir les "prises de courant" que sont les synapses. Eh bien, notre cerveau va utiliser cette caractéristique pour se bricoler son petit chronomètre breveté. On a découvert ces phénomènes en étudiant par exemple la précision avec laquelle la chouette effraie se sert de ses oreilles pour localiser les souris qui ont la bête habitude de pousser de petits cris, et de se signaler ainsi à l'attention générale, et aussi la chauve-souris, qui non seulement localise parfaitement un insecte en vol, mais calcule sa vitesse, et la fréquence de ses battements d'ailes³ !

Nous n'avons pas les mêmes capacités, et notre cerveau est assez différent de celui de la chouette⁴, ou de la chauve-souris (un peu plus proche du notre, puisque c'est un mammifère). Mais on a toutes les raisons de penser qu'une fois que la nature a inventé un truc génial, elle a tendance à s'en resservir, et des recherches récentes montrent que l'homme aussi dispose de ces petits chronomètres. Il s'en sert différemment, c'est tout. Alors, comment ça marche ?

Le signal de l'événement 1 va cheminer progressivement le long d'une sorte de "ligne à retard". Cette "ligne à retard" est jalonnée de neurones détecteurs de coïncidence, qui vont décharger uniquement lorsqu'ils seront atteints à la fois par le signal de l'événement A retardé, et le signal d'un autre événement. Lorsque l'événement B survient, il est dirigé vers ces mêmes neurones de coïncidence, et celui qui se trouve à la jonction des deux est activé. Chacun des neurones détecteurs de coïncidences sont des indicateurs d'un temps précis, un peu comme les chiffres disposés sur le cadran de votre montre. Lorsqu'il est activé, le message envoyé est l'indication précise du temps écoulé.

³ Voir par exemple Nobuo Suga, *Le système sonar des chauves-souris*, in *Pour la Science* n° 154, août 1990.

⁴ Voir pour plus d'explications Masaku Konishi, *La chouette qui effraie les neurosciences*, *Pour la Science* n° 188, juin 1993.

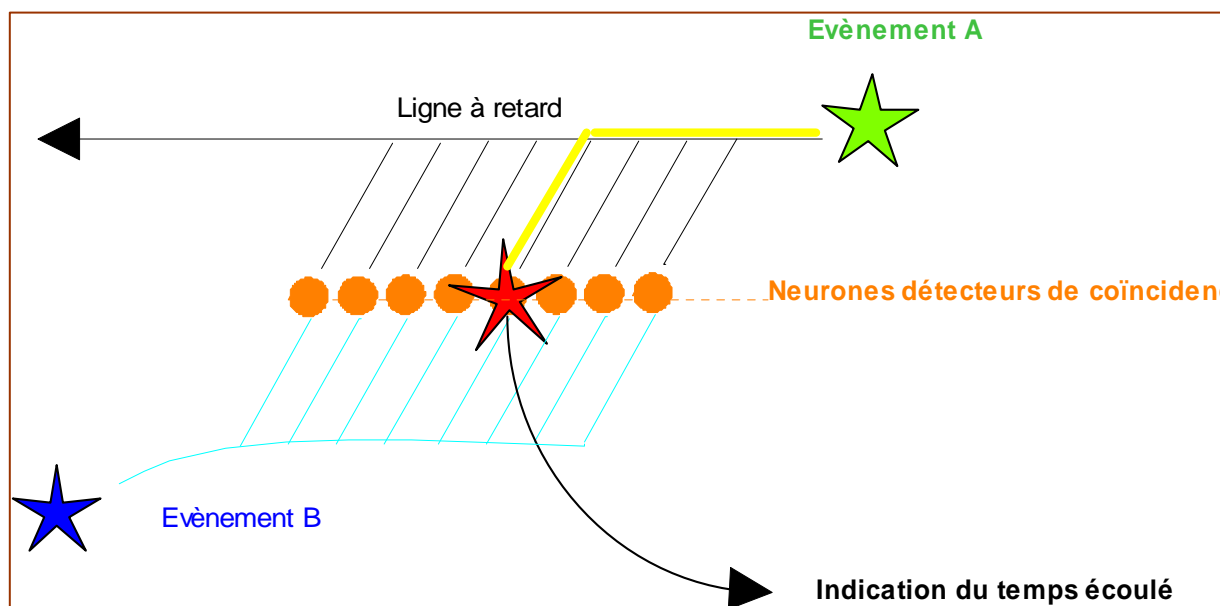


Figure 42

La figure 42 tente d'expliquer le fonctionnement du système. Attention, ce dessin est très schématisé, et il ne représente pas du tout la manière précise dont les neurones sont câblés (ce qui est fort complexe !).

Il semble bien que ces petits chronomètres soient situés dès les premiers stades du traitement de l'information auditive (colliculus inférieur, corps genouillés médians), ce qui pourrait être un élément en faveur de la reconnaissance de la parole dès les premiers stades de l'audition, et pas seulement lors des analyses fines effectuées par le cortex, et où cette parole prendra son sens. Cette reconnaissance précoce du fait que le son entendu est de la parole permettrait alors une activation des différents filets de capture permettant une interprétation plus rapide de ce qui est dit.

ALORS, RESUMONS, OU PEUVENT SE TROUVER LES GRAINS DE SABLE ?

Je vous rappelle que nous traitons pour l'instant seulement des problèmes directement liés à l'audition, et que nous reviendrons dans le prochain chapitre sur les aspects traitement de la parole proprement dite. Mais ces premiers stades du traitement peuvent déjà poser des petits problèmes qui vont lourdement peser sur la suite des opérations :

1. Difficultés à "régler l'oreille" sur ce qui est important à entendre. Nous avons vu au début de ce chapitre que de petits muscles très fragiles jouaient un rôle considérable dans ce réglage. Ils ne sont pas les seuls. Dans le fonctionnement complexe de la cochlée, des mécanismes complexes sont mis en œuvre pour "pré amplifier" en quelque sorte certains sons qui apparaissent particulièrement intéressants⁵. Dès lors, l'extraction des informations intéressantes du bruit de

⁵ Ne voulant pas alourdir ce chapitre, je ne me suis pas attardé sur le fonctionnement de l'oreille interne. Pour plus de précision, vous pouvez consulter Rémy Pujol, *Le traitement du son dans l'oreille interne*, Pour la Science n° 154, août 1990.

fond ambiant devient difficile, mais également, par exemple, la compréhension de quelqu'un qui a un accent auquel on n'est pas accoutumé. On y parvient, mais cela mobilise encore une fois une ressource attentionnelle que l'on ne pourra plus investir dans d'autres tâches. De plus, le signal étant mal extrait du bruit de fond, des petits indices dans le ton (inflexions) et le rythme de la parole disparaissent. Ces indices permettent en temps normal de différencier "un petit tamis" de "un petit ami" en indiquant la césure, de façon très ténue, voire imperceptible pour notre conscience, mais pourtant efficace.

2. Des parasites sur les "petits chronomètres" que je viens de décrire peuvent être également très lourds de conséquences. Outre des difficultés énormes à percevoir certains sons (en particulier les occlusives, comme "d" et "t", nous l'avons vu), ils peuvent également gêner considérablement la perception de ce qu'on appelle la "prosodie", et qui porte ces fameux indices indispensables pour différencier par exemple les deux vers déjà cités:

*"Gal, amant de la reine, alla, tour magnanime,
Galamment de l'arène à la tour Magne, à Nîmes"*

Mais également beaucoup d'autres phrases de la vie courante, bien plus importantes que cet exercice de style.

Il est évident que lorsque ces grains de sable viennent parasiter la perception même de la parole, même si on peut apprendre à parler et à comprendre celui qui s'adresse à nous parce que dès notre plus jeune âge nous avons trouvé des compensations, lorsqu'il va falloir transcrire ces sons, et appliquer les compensations que nous avons trouvés au système d'écriture qui, lui, suppose une bonne audition de ces différences, ça va être galère pour l'enfant qui est confronté à ce problème! Un exemple particulièrement parlant de ce type de problème m'a été donné par *Marie-Chantal* dans le témoignage de l'encadré page suivante :

LES SONS :

t-d , p-b , f-v , ch - g (voilà du moins ceux qui me reviennent en premier)

ma solution : les différences de vibrations du cou de ma rééducatrice et la direction du vent qui sort de la bouche (vers le bas, vers le haut, court, long) . J'ai appris à gérer la solution en produisant moi même le son sur des mots références et en comparaison

papa pour p

bébé pour b

mais lors des dictées je mettais n'importe quelle lettre pour essayer de suivre le rythme et après quand j'avais le temps (mais jamais assez) je faisais mes essais pour rectifier par comparaison repassant toujours par mes mots références .

Exemple : pour pantalon je repassais par la vibration de papa pour comparer avec pantalon etc son par son. Au passage dans pantalon il y a 3 difficultés : le P ou B, le AN ou EN , le T ou D.

Imagine-t-on la difficulté que cela peut représenter pour un enfant qui en CP se confronte tout à la fois à des apprentissages rendus particulièrement difficiles pour lui... et à l'incompréhension des adultes qui l'entourent, voire celle de ses petits camarades ?

Merci à Marie-Chantal d'avoir autorisé cette publication de son témoignage