HAL
open science

L'oreille directrice : vue de l'esprit ou réalité ?

Elodie Pariente

To cite this version:

Elodie Pariente. L'oreille directrice : vue de l'esprit ou réalité ?. Médecine humaine et pathologie. 2015. hal-01827264

HAL Id: hal-01827264

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01827264v1

Submitted on 2 Jul 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

L'OREILLE DIRECTRICE :

Vue de l'Esprit ou Réalité ?

Mémoire soutenu en vue de l'obtention du
Diplôme d'État d'Audioprothésiste

Par

Elodie PARIENTE

Maître de Mémoire
Monsieur Hervé Cohen

Année 2015

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de Stage et maître de Mémoire, Monsieur Hervé COHEN, Directeur Régional Ile de France d'Amplifon et Audioprothésiste dans le centre Amplifon Neuilly-sur-Seine, pour m'avoir guidée durant ma troisième année en vue de l'obtention de mon mémoire.

Il a mis du cœur et de l'engagement durant la réalisation de mon mémoire. Ses conseils, ses explications et ses 25 ans d'expérience m'ont permis de trouver et de réaliser ce sujet de mémoire, ce qui n'était pas gagné d'avance.

Je voudrais aussi remercier Nicolas SADOC et Céline ELMALEH, les deux autres audioprothésistes du centre de Neuilly, qui ont été complémentaires et indispensables durant la réalisation de ce projet. Ils ont pris le temps et ont mis du cœur à l'ouvrage durant toute sa réalisation.

Je remercierai aussi Patrick CERCEAU, technicien Amplifon, pour son engagement et sa disponibilité durant la mise en place de mes tests aux patients.

Je suis reconnaissante de l'implication de toute l'équipe d'Amplifon, de ses assistantes et assistants, ainsi que de mes proches pour leur participation. Je les remercie pour leur disponibilité, pour avoir bien voulu faire parti de mon panel de patients pour ce mémoire.

Évidemment, je remercie énormément tous mes patients, qui ont joué le jeu, et ont été curieux du sujet.

Je remercie, également, Monsieur Cyrille COUDERT, mon Maître de Stage de deuxième année pour son aide précieuse.

Je tiens, aussi, à remercier Monsieur Joël DUCOURNEAU, Madame le Professeur Cécile PARIETTI WINKLER, Madame le Professeur Pascale Friant, Madame Sylvie GRIFFOND et les autres intervenants pour leur disponibilité, leurs conseils, leur enseignement, leur méthode d'apprentissage, qui font la réputation si positive de cette école.

Enfin, un grand merci à mes parents, ma sœur et à mes grands-parents, qui m'ont toujours soutenue et encouragée. Ce travail est l'aboutissement de tous leurs efforts et le témoignage de toute ma reconnaissance et de toute mon affection.

SOMMAIRE

Introduction……1

PARTIE I : L'ORGANISATION DU SYSTEME AUDITIF

1) L'oreille……2
a) L'oreille Externe……2
b) L'oreille Moyenne……3
c) *L'oreille Interne*……4

2) Mécanismes physiologiques jouant sur la perception de la latéralité……7
a) L'audition Binaurale……7
- Effet d'ombre de la tête……7
- Effet de sommation de sonie……8
- Effet de démasquage binaural dans le bruit (méthode de squelch)……9
- Effet de localisation monaurale……9
- Binauralité dans l'appareillage……9

b) Localisation des sources sonores……10
- Localisation dans le plan horizontal……10
  - ✓ Différence interaurale de temps (ITD)……10
  - ✓ Différence interaurale d'intensité (ILD) ……12
- Localisation dans le plan vertical……13
- Informations spectrales pics et creux spectraux liés aux pavillons…14

c) En résumé……14

3) Le cerveau – Le Système Nerveux……16
a) Fonctions auditives centrales et fonctions auditives périphériques.……16
b) Anatomie et physiologie des voies auditives centrales.……16
- *Voies auditives primaires*……16
- *Voies auditives non primaires*……17

c) Codage auditif du tronc cérébral-Mécanismes nerveux de la localisation……18
- *Le délai interaural.*……18
- *La différence interaurale d'intensité*……19

d) Hémisphères cérébraux……19
- *Description anatomique*……19
- *Bases de départ des fonctions générales des hémisphères cérébraux*…20

PARTIE II : L'OREILLE DIRECTRICE EN THEORIE

1) Théorie de Paul Broca……22

2) Théorie de Carl Wernicke……23

3) Théorie d'Alfred Tomatis……23

4) Théorie de Juhn Wada ……24

5) Théorie de Doreen Kimura……25

6) Théorie sur la disposition du fœtus à la fin de la grossesse……27

7) Théories actuelles sur le rôle des hémisphères cérébraux……28

8) Théorie sur les gauchers……29

9) Théorie sur les pertes unilatérales……31

a) Chez des normo-entendants……31

b) Chez des animaux……32

c) Chez des patients avec une surdité brusque sur l'OD……32

d) Conséquences perceptibles de la perte d'asymétrie cérébrale……33

- *Spécialisation hémisphérique dans le traitement temporel de parole..33*
- *La perception du voisement.*……33

PARTIE III : L'OREILLE DIRECTRICE EN PRATIQUE : LE PROTOCOLE

1) Sujets testés……35

a) *Les Normo-entendants*…… 35

b) *Les Malentendants*…… 36

2) Tests effectués……37

a) L'Audiométrie Tonale……38

- *Matériel utilisé*……38
- *Limites*……38

b) L'Audiométrie Vocale ……39

- *But*……39
- *Matériel Verbal*……39
- *Résultats*…… 39

c) Le Questionnaire d'Edinburgh……40

- *But*……40
- *Passation*……40

d) Les Tests Dichotiques……40

- *But*……40
- *Passation*……41

e) Le Test CV……42

- *But*……42
- *Historique de l'application*……42
- *Passation*……43

f) Le Phonoscan……43

- *But*……43
- *Passation*……44

PARTIE IV : L'OREILLE DIRECTRICE EN PRATIQUE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1) Le Questionnaire d'Edinburgh……46

2) Les Tests Dichotiques……49

3) Le Test CV……52

4) Le Phonoscan……53

5) Synthèse des résultats……59

6) Une Aide dans l'appareillage ?……61

CONCLUSION……65

Bibliographie……67

Annexes……71

Annexe 1……72
Annexe 2……73
Annexe 3……74
Annexe 4……75
Annexe 5……76
Annexe 6……77
Annexe 7……78

INTRODUCTION

C'est à l'aide de ses cinq sens (l'ouïe, la vue, le toucher, l'odorat et le goût) que l'enfant découvre le monde et réalise des apprentissages fondamentaux qui lui permettront de se développer.

A sa naissance, hormis les cas pathologiques, un enfant né avec une audition normale et symétrique. Puis, lors du vieillissement normal de l'adulte, la presbyacousie apparaît sur les deux oreilles et atteint l'oreille interne et ses voies nerveuses. La baisse d'audition liée à l'âge est généralement bilatérale et symétrique.

Chez l'Homme, la latéralité manuelle, n'est qu'un des aspects de la dominance hémisphérique. Cette latéralité se manifeste aussi dans le domaine sensoriel.

En effet, on admet généralement l'existence d'une supériorité oculaire latérale réalisant le phénomène de « l'œil directeur ». Nous nous sommes demandé si ce phénomène pourrait aussi toucher l'audition.

L'idée de cette étude s'est bâtie comme une évidence à partir de constatations de nos patients. Ils se plaignaient d'entendre beaucoup mieux d'une oreille que de l'autre alors qu'ils avaient une surdité bilatérale et symétrique.

Nous voulions élaborer un sujet atypique, traitant des aspects physiologiques et anatomiques de l'oreille ; ce sujet correspondait parfaitement à nos critères.

Nous n'avons pas la prétention, au travers de ce mémoire, d'aboutir à une conclusion ou à une méthodologie particulière, notre but étant de faire avancer la connaissance de l'oreille directrice. Nous avons trouvé, dans la littérature médicale, de nombreuses études ayant traité de l'oreille directrice, en revanche, nous n'en avons pas trouvé beaucoup dans la littérature liée à l'audioprothèse. Nous nous sommes donc penchés sur le sujet.

Ce mémoire s'intitule : L'Oreille Directrice : Vue de l'Esprit ou Réalité ?

Pour répondre à cette question, dans un premier temps, nous nous intéresserons à l'organisation du système auditif de l'oreille et du système nerveux, et nous nous attacherons surtout aux mécanismes physiologiques jouant sur la perception de la latéralité : la binauralité et la localisation spatiale.

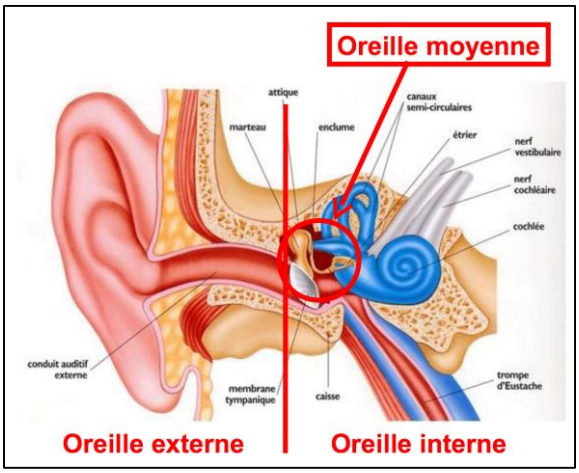
Ensuite, nous nous pencherons sur les différentes théories existantes qui nous ont permis d'établir notre protocole de tests.

Enfin, nous développerons ce protocole et les différents tests effectués sur nos patients et proches et nous analyserons les résultats.
Cela nous permettra de nous demander si la connaissance de l'oreille directrice peut être une aide pour l'audioprothésiste dans l'appareillage.

La conclusion nous permettra de répondre à ces nombreuses questions, d'en poser de nouvelles et d'émettre des hypothèses.

PARTIE I : L'ORGANISATION DU SYSTEME AUDITIF

1) L'oreille



L'oreille est l'organe de l'audition. Elle se compose de trois parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. La membrane tympanique appartient à l'oreille externe sur son versant externe, et à l'oreille moyenne par son versant interne [2].

Figure 1 : L'oreille externe, moyenne et interne [1]

Chaque partie de l'oreille a un rôle très spécifique et va nous permettre de déchiffrer les particularités de l'oreille directrice.

L'oreille externe permet d'amplifier les sons grâce au pavillon et au conduit auditif externe. L'oreille moyenne transmet la vibration acoustique en mécanique puis en hydromécanique par transduction. L'oreille interne transforme les vibrations intra labyrinthique en vibrations des stéréocils puis en impulsions nerveuses par transduction. Le tout sera transmis au cortex auditif [3].

a) L'oreille Externe

L'oreille externe se compose du pavillon de l'oreille, de la conque et du conduit auditif externe. Le pavillon de l'oreille est composé de cartilage élastique recouvert de peau.

La membrane tympanique (tympan) est une structure qui fait barrage entre l'oreille externe et la caisse du tympan de l'oreille moyenne [4].

<u>Le rôle de l'oreille externe est de</u> :

- protéger l'oreille moyenne et interne de traumatismes mécaniques,
- protéger l'oreille moyenne contre les infections,
- permettre l'amplification des sons de fréquence 3000 à 5000 Hz,
- permettre la localisation spatiale des sons [4].

Dans l'oreille externe, le pavillon et le conduit auditif amplifient sélectivement certaines fréquences, jouent un rôle dans la localisation des sources sonores et protègent les structures délicates de l'oreille moyenne de l'action d'agents extérieurs [3].

Le pavillon est la partie la plus externe de l'oreille, celui-ci atténue les bruits parasites et guide les ondes sonores vers le conduit auditif externe. En effet, par sa structure

cartilagineuse, le pavillon possède des reliefs qui contribuent à capter les vibrations acoustiques et à les guider vers le conduit auditif.

Le conduit auditif externe (CAE) dirige les ondes sonores jusqu'au tympan. Plus le tympan vibre, plus le son est transmis.
Le CAE a une double fonction : une fonction de protection de l'oreille moyenne et surtout une fonction d'amplification [5].

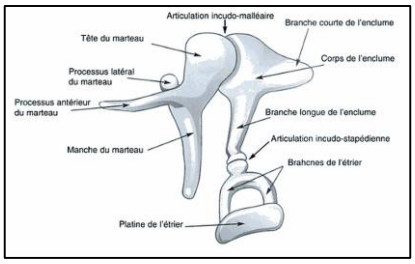
En fonction de l'angle d'incidence et de la fréquence du signal acoustique, l'ensemble de l'oreille externe induit, au niveau de la membrane du tympan, des modifications de phase et d'amplitude du signal incident. Ces variations de phase et d'amplitude correspondent à la fonction de transfert de l'oreille externe. C'est un phénomène de diffraction et de résonnance. Nous verrons plus loin ces phénomènes en deuxième sous-partie.

b) L'oreille Moyenne

La membrane tympanique est une membrane séparant l'oreille externe de l'oreille moyenne sur laquelle est fixée le premier osselet, le marteau.

L'oreille moyenne est une cavité aérienne qui comporte le tympan et la chaîne des osselets. Ces derniers transmettent les vibrations du tympan jusqu'à l'entrée de l'oreille interne. L'oreille moyenne communique avec le pharynx par la trompe d'Eustache [3].

L'oreille moyenne, composée de la chaîne tympano-ossiculaire est logée dans la caisse du tympan. Cette cavité aérienne rentre en communication avec l'air extérieur par la trompe d'Eustache qui aboutit au pharynx. Pour que le tympan vibre dans des conditions optimales, il est très important que les pressions soient équilibrées sur ses deux faces, donc identiques à la pression atmosphérique extérieure. C'est le rôle de la Trompe d'Eustache de réaliser cet équilibre en s'ouvrant lors de la déglutition (réflexe ou volontaire).



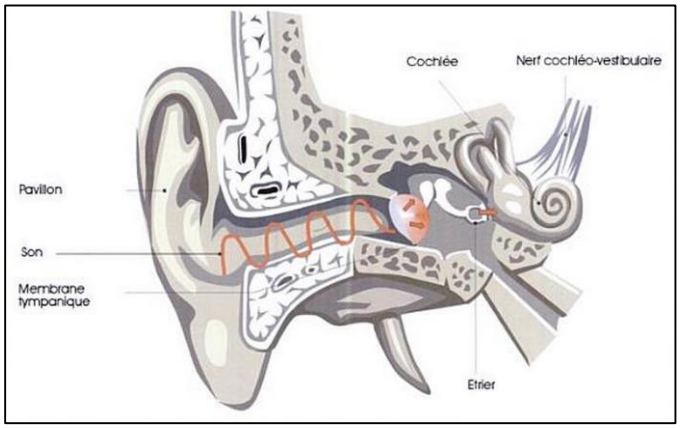
A l'intérieur de la caisse du tympan se trouvent les osselets, ils sont au nombre de trois : le marteau, l'enclume et l'étrier.
Ils sont l'appareil osseux de transmissions des sons. Les vibrations du tympan sont ainsi transmises jusqu'aux liquides de l'oreille interne [2].

Figure 2 : Les osselets : le marteau, l'enclume et l'étrier [6]

Dans l'oreille moyenne, le tympan et la chaîne des osselets transforment les vibrations aériennes en variation de pression dans les liquides entre les rampes tympaniques et vestibulaires, réalisant une adaptation d'impédance entre le milieu aérien et le milieu liquidien (périlymphe, endolymphe) de l'oreille interne.

L'Adaptateur d'Impédance :
Il élimine l'écart d'impédance entre milieu aérien et liquidien. En l'absence de cet adaptateur, seul 1% de l'énergie vibratoire du tympan pourrait être transmise à l'oreille interne.
C'est un amplificateur de pression : la pression qui s'exerce sur la fenêtre ovale est ainsi 20 fois supérieure à celle qui s 'exerce au niveau du tympan.
C'est aussi un amplificateur de force : la chaine ossiculaire est comparable à un levier, l'effet de ce levier créé une amplification de 1,3 fois l'énergie qui arrive sur la membrane tympanique.
Si on tient compte de ces deux mécanismes, la pression qui s'exerce sur la fenêtre ovale est 22 fois supérieure à celle qui s'exerce sur le tympan, ce qui correspond à un gain acoustique de 27dB. Cependant, ce système d'amplification ne peut fonctionner que s'il y a équipression entre le CAE et l'intérieur de la caisse, c'est à dire une aération correcte de l'oreille moyenne par la trompe d'Eustache [4].

Rôle acoustique de l'oreille moyenne :



La pression du son incident produit une déformation de la membrane tympanique. Celle-ci est couplée au manche du marteau et provoque des micromouvements de la chaîne ossiculaire dont le résultat final est un mouvement de va-et-vient (comme un piston) de l'étrier.

Figure 3 : Transmission du son de l'oreille externe à la cochlée [7]

La fonction principale de l'oreille moyenne est de transmettre l'énergie du son de l'oreille externe à l'oreille interne. En effet, le tympan vibre et transmet la vibration le long de la chaîne ossiculaire. Ceci résulte du déplacement de la platine de l'étrier dans la fenêtre ovale [4].

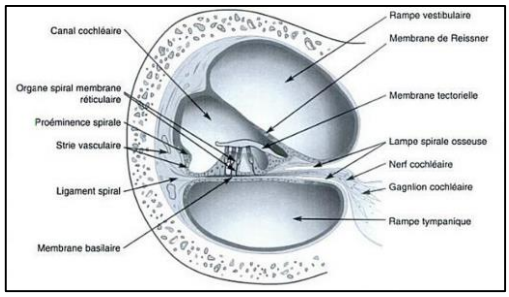
c) L'oreille Interne

Le labyrinthe osseux rassemble deux parties et deux systèmes sensoriels :

- le labyrinthe antérieur ou cochlée, contenant l'épithélium neurosensoriel auditif. La cochlée, structure tubulaire en forme de colimaçon, abrite les cellules sensorielles de l'audition en milieu liquide. Les vibrations, transmises au liquide, activent les cellules sensorielles de l'Organe de Corti qui assurent la transduction en signaux nerveux,
- le labyrinthe postérieur représentant les trois canaux semi-circulaires et le vestibule, constituant les organes de l'équilibre [5].

La cochlée, en forme de colimaçon, est partagée en deux par la membrane basilaire, formant ainsi deux rampes de liquide : la rampe tympanique et vestibulaire. Ces deux rampes contiennent la périlymphe.

La cochlée abrite les cellules sensorielles de l'audition, en milieu liquide. Les vibrations, transmises au liquide, activent les cellules sensorielles de l'Organe de Corti qui assurent la transduction en signaux nerveux [5].



Le canal cochléaire contient l'endolymphe, liquide très riche en potassium qui baigne l'extrémité ciliée des cellules sensorielles de l'Organe de Corti.

Figure 4 : Section basale d'une cochlée humaine [8]

<u>L'oreille interne assure 2 fonctions distinctes :</u>

- l'équilibre grâce à l'utricule et aux canaux semi-circulaires,
- l'audition grâce à la cochlée.

La membrane basilaire est le support de l'organe de Corti, elle lui soumet donc des mouvements. Sa structure particulière explique sa fonction de résonnance passive.
A l'aide des cochlées prélevées sur des cadavres, Von Békésy a montré qu'un stimulus auditif déclenche une vibration qui se déplace de la base à l'apex de la membrane basilaire, avec une amplitude croissante et maximale en un point qui est fonction de la fréquence du stimulus [5].

La membrane basilaire joue le rôle de résonateur en amplifiant le signal. La résonnance est qualifiée de passive puisqu'elle ne dépend que de la structure de la membrane basilaire et n'exige pas d'apport d'énergie. Étant donné que les propriétés physiques de la membrane basilaire évoluent de la base à l'apex, chacune des zones va répondre de façon privilégiée à une bande de fréquence particulière : c'est la tonotopie (accord entre la fréquence et le lieu).
Les points qui répondent aux fréquences élevées sont à la base de la membrane basilaire, ceux qui répondent aux basses fréquences sont à l'apex.

Les composantes essentielles de l'Organe de Corti sont les cellules ciliées : les internes (CCI) et les externes (CCE).

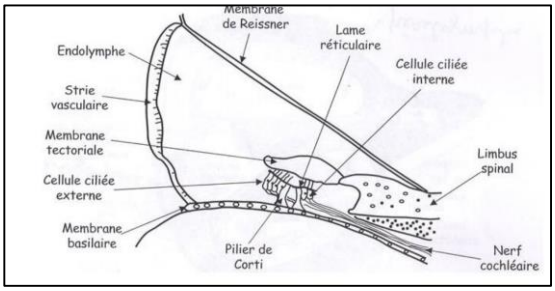


Figure 5 : Coupe du canal cochléaire [9]

Les mouvements de la membrane basilaire entraînent l'ensemble des cellules ciliées et stéréocils plantés dans la membrane tectoriale.
L'amplitude de l'inclinaison ou de déflexion des cils est liée à celle du signal sonore.

L'inclinaison des cils entraine l'ouverture des canaux potassiques qui laisse entrer des ions K+ étant donné le gradient de concentration.

Lorsque les CCE sont activées par l'entrée du K+, ces protéines motrices mettent la cellule en mouvement par élongations et contractions alternées. La cellule étant solidaire de la membrane basilaire, elle accentue les mouvements de cette dernière. Il y a une résonnance active car elle met en jeu l'énergie des CCE.
Elle produit deux effets :

- elle renforce la résonnance passive de la membrane basilaire,
- elle contribue fortement à l'analyse des fréquences en augmentant la précision de la tonotopie [5].

Il existe un couplage entre les mouvements des CCE et l'activation des CCI situées sur une même ligne transversale de l'organe de Corti. Pour un signal de fréquence donnée, la résonnance active réalisée par les CCE sur un site précis de la cochlée facilite l'activation d'une ou de quelques CCI en cet endroit.
L'entrée de K+ entraine une dépolarisation dans la zone apicale de la cellule (potentiel de récepteur). Cette dépolarisation induit une entrée d'ions Ca2+ qui commande la libération d'un neuromédiateur, le glutamate, dans la fente synaptique, à la base de la cellule.

Le neuromédiateur libéré active la terminaison du premier neurone dont le corps cellulaire se trouve dans le ganglion spiral. Les fibres issues de ce ganglion forment le nerf auditif (VIII) qui pénètre dans le tronc cérébral.
Les potentiels d'action prennent naissance sur ces fibres. Ce train de potentiel d'action va être véhiculé, via les fibres afférentes dans le nerf auditif, les dendrites, le corps cellulaire, l'axone, la première synapse afférente, le colliculus inférieur, le corps genouillé médian, l'aire IV jusqu'au SNC où il sera traité [5].

Le colliculus est capable de multiplier les potentiels au niveau du noyau dorsal cochléaire dans l'aire IV avec un message auditif compréhensible [3].

2) Mécanismes physiologiques jouant sur la perception de la latéralité

Cette sous-partie va nous permettre réellement de comprendre les caractéristiques physiologiques de l'oreille pour pouvoir comprendre le phénomène d'oreille directrice.

a) L'audition Binaurale

Notre cerveau est le plus sophistiqué des analyseurs que nous possédons. Celui-ci va traiter en continu des milliards d'informations par seconde jusqu'à l'interprétation juste d'un signal sonore [10].

La binauralité peut se décomposer en différents effets : l'effet d'ombre de la tête, l'effet de sommation de sonie, l'effet de démasquage binaural dans le bruit, l'effet de localisation monaurale. Nous verrons aussi, brièvement, l'importance de la binauralité dans l'appareillage [11].

- *Effet d'ombre de la tête*

La tête d'un auditeur représente un obstacle à l'arrivée d'un son, qui rend différent le son parvenant à chaque oreille. L'onde sonore va plus ou moins être arrêtée ou déformée par l'obstacle : la tête.

Christian Huygens et Augustin Fresnel sont deux mathématiciens et physiciens qui ont élaboré un principe très connu en physique : le principe de Huygens-Fresnel sur la diffraction. Grâce à ce principe, on montre l'influence de la diffraction sur la latéralité [12].

En effet, une onde de petite longueur d'onde par rapport aux dimensions de l'obstacle « tête » est essentiellement transmise (réfléchie) par celui-ci alors qu'une onde de grande longueur d'onde par rapport aux dimensions de l'obstacle sera diffractée et le contournera.

Pour les sons graves (de petites fréquences donc de grande longueur d'onde), l'obstacle est plus petit que la longueur d'onde : il y a diffraction. Ces sons contourneront facilement la tête par diffraction et atteindront les deux oreilles.

Pour les sons aigus, l'obstacle est plus grand que la longueur d'onde, il y a réflexion. Ces sons se réfléchiront sur l'obstacle et n'atteindront donc pas l'autre oreille.

Les mesures montrent que l'effet d'atténuation dû à l'ombre n'est tout à fait négligeable que pour des fréquences très graves, inférieures à 200 Hz avec λ = 1,7m. L'atténuation devient importante à partir de 3000 Hz avec λ = 10 cm, et atteint une valeur maximale de 12 à 15 dB à 10 000 Hz avec λ = 3,4 cm [12].

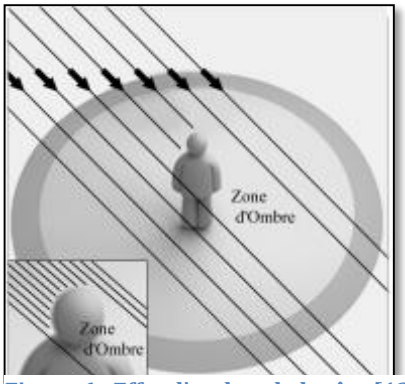


Figure 6 : Effet d'ombre de la tête [13]

Il y a donc un effet d'ombre de la tête à partir d'une certaine fréquence. L'effet d'ombre de la tête, figure 13, se décrit comme étant l'atténuation sonore lorsqu'une onde traverse la tête. Il existe donc un amortissement du signal lorsque l'obstacle s'ajoute [10].

D'après la formule λ = c/f, il est facile de calculer que cet effet va se faire sentir, plus particulièrement, au-delà de 1500 Hz.
λ représente, dans ce cas, la largeur d'une tête humaine d'environ 20 cm, f représente la fréquence en Hz et c la célérité en m/s.
Pour trouver la fréquence particulière, nous avons : f = c/λ donc f=343/0,20= 1700 Hz. C'est donc pour cela que plus le son est aigu, plus il y a une différence de niveau entre les deux oreilles.

Lorsque la source est située d'un côté de la tête (à 90°), les sons aigus contournent moins la tête (pas de diffraction) mais sont plutôt réfléchis par l'obstacle de la tête [10].

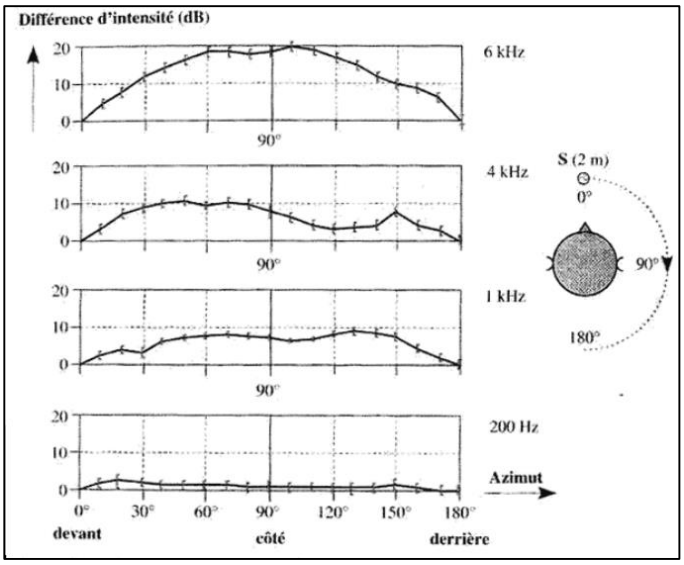


Figure 7 : Evolution de la différence d'intensité en fonction de la position de la source sonore pour 4 fréquences (200, 1000, 4000, 6000 Hz) [10]

Globalement, pour un son arrivant latéralement (à 90°), il faut différencier deux cas, selon la fréquence du son incident :

- Si le son est inférieur à 1500 Hz : il n'y a pas de diffraction mais il existe un écart temporel entre les deux sons perçus de chaque côté,
- Si le son est supérieur à 3000 Hz : il existe un effet de diffraction pour le son qui arrive sur l'oreille controlatérale, et donc une différence fréquentielle qui renseigne sur l'angle d'arrivée du son incident initial,
- Si le son est compris entre 1500 Hz et 3000 Hz : il existe un mélange des deux phénomènes, et donc une moindre précision d'analyse,
- Lorsque le son incident est placé devant ou derrière le sujet, la localisation du son est difficile car les deux oreilles reçoivent un message à peu près semblable au même moment [11].

- *Effet de sommation de sonie*

La sonie représente la grandeur de sensation sonore. Le phone est une unité de la sonie. Par définition, un sone correspond à un son de fréquence à 1000 Hz et de pression acoustique 40 dB.
La sensation d'intensité acoustique perçue à une fréquence donnée pour un son pur de plus de 40 dB double chaque fois que l'on augmente l'intensité de 10 dB. Ainsi pour un son pur à 1000 Hz, on utilise : 1 sone = 40 dB = 40 phones, 2 sones = 50 dB = 50 phones

On définit donc le sone S par référence au phone P : $S = 2^{\frac{P-40}{10}}$ [16].

Au niveau cérébral, cette énergie s'additionne et par un phénomène de sommation entraîne une augmentation de la sensation auditive d'environ 10 dB au niveau de la perception globale. Il existe donc un avantage important à l'écoute des deux oreilles plutôt que d'une seule [11].

- *Effet de démasquage binaural dans le bruit (méthode de squelch)*

C'est un phénomène qui permet de repérer un son dans un environnement bruyant. Le cerveau analyse les informations sonores venant de chaque oreille et fait des comparaisons des éléments de chaque côté.

On peut résumer le phénomène en deux cas de figure :
- A fond sonore constant et bilatéral, si on met le même bruit test des deux côtés, il ne pourra pas être perçu, car masqué par le bruit environnant. Si par contre dans les mêmes conditions de départ, on transmet à chaque oreille le son test mais de façon décalée d'une fraction de seconde entre les deux côtés, alors le cerveau devient capable de repérer ce son test,
- Si on applique un fond sonore bruyant sur une oreille et un son test sur l'autre oreille, le son test sera difficile ou impossible à percevoir. Par contre si on applique le même fond sonore très bruyant aux deux oreilles et qu'on passe le son test dans une seule oreille, il sera très clairement perçu [11].

- *Effet de localisation monaurale*

La localisation monaurale existe aussi. Elle nécessite un apprentissage et est spécifique à chaque individu. Elle dépend de l'anatomie du crâne, du pavillon et de ses aspérités, ainsi que de la forme du conduit auditif.
Le son incident en arrivant sur l'oreille externe, se diffracte et créé des petits « échos » qui rebondissent sur le cartilage du pavillon dans différentes directions. Avec le temps, un certain nombre d'informations sont analysées par le cerveau et permettent de localiser le son provenant d'une seule oreille. Ceci explique les incontestables observations de localisation en audition monaurale [11].

- *Binauralité dans l'appareillage*

Les principaux avantages à restaurer la fonction binaurale sont :
- Elle abaisse le seuil d'audition de 3dB par rapport au seuil liminaire monaural,
- Elle permet une augmentation de la sensation subjective d'intensité qui est de l'ordre de 6dB aux niveaux supraliminaires,

- Elle permet la localisation spatiale sonore grâce aux différentiels énergétiques et temporels,
- Elle fait émerger la parole dans le bruit par l'analyse de ces mêmes différentiels (démasquage de parole dans le bruit),
- Elle apporte une «meilleure qualité de l'audition» et participe au sentiment subjectif d'avoir une audition plus naturelle,
- Par des phénomènes de fusion binaurale, elle améliore la discrimination phonétique.

Un appareillage binaural permet essentiellement une amélioration de la parole dans le bruit. La parole parait plus claire, il y a aussi une amélioration de la localisation.
Cependant, il peut y avoir des interférences binaurales et les performances de la moins bonne oreille peuvent parfois dégrader celles de la meilleure oreille en situation d'écoute dichotique. Cet effet serait présent chez environ 8 à 10% des presbyacousies appareillées [14].

b) Localisation des sources sonores (spatialisation)

Dans cette partie nous allons étudier les indices acoustiques qui vont nous permettre d'analyser les sources sonores dans l'espace. Notre système auditif est composé de deux oreilles disposées de part et d'autre de note tête, cette seule caractéristique nous permet de localiser les sons dans un environnement sonore complexe. . L'équilibre binaural est la condition d'une bonne localisation spatiale sonore [10].

La spatialisation est la capacité d'un auditeur à identifier l'emplacement ou l'origine d'une source sonore, sa direction et son éloignement.
De manière générale, l'oreille humaine utilise plusieurs indices pour localiser une source dans l'espace.
Dans le plan horizontal les principaux indices utilisés résultent des différences des signaux parvenant aux deux oreilles.
Dans le plan vertical, les principaux indices utilisés sont des indices monauraux, ils proviennent de la modification d'un son par le torse, la tête et l'oreille externe d'un auditeur.
Le système auditif utilise aussi les informations spectrales pic et creux spectraux liés au pavillon [15].

- *Localisation dans le plan horizontal*

✓ La différence interaurale de temps ou ITD (interaural time difference)

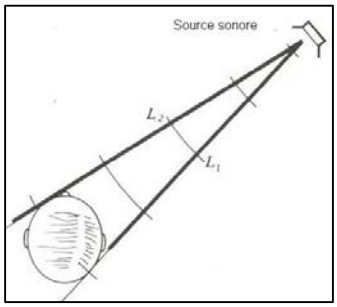


Figure 8: Différence interaurale de temps pour une source située en dehors de l'axe de symétrie de la tête [12]

La différence interaurale de temps se produit lorsque la source sonore n'est pas située à égale distance des deux oreilles, cela entraine une différence dans les temps d'arrivée du son (Δt), figure 8.

Lorsque la source sonore est directement en face, il n'y a pas de différence interaurale de temps, elle est alors de zéro. Dans la localisation des sons, les ITD sont utilisés

comme repères pour la localisation de l'azimut (angle horizontal du son). L'ITD change systématiquement avec l'azimut.

La différence de temps d'arrivée d'une onde sonore à chaque oreille est un indice important pour estimer la position d'une source dans le plan horizontal.

Pour une source située dans une direction faisant un angle θ avec l'axe de symétrie de la tête, et en assimilant la tête à une sphère, nous pouvons estimer le retard en fonction de l'angle.
La distance supplémentaire d à parcourir pour l'onde qui doit contourner la tête est la somme d'un segment de droite, de longueur d1 et d'un arc de cercle de longueur d2, [12] [16].

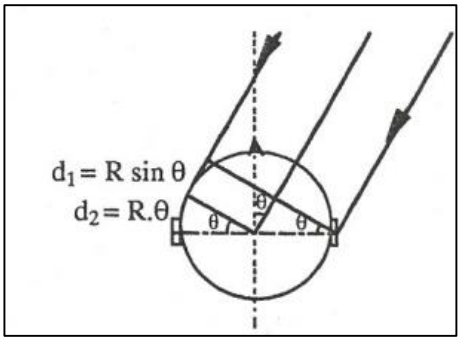


Figure 9 : Source située dans une direction faisant un angle θ avec l'axe de symétrie de la tête [12]

Cette distance d vaut : $d = d_1 + d_2 = R(\sin\theta + \theta)$

La différence interaurale de temps entre les deux oreilles vaut donc : $\Delta t = \frac{R}{c}(\sin\theta + \theta)$

Le retard maximum sera atteint pour θ = 90° (source dans l'axe d'une ou l'autre oreille).
Dans ce cas, si la célérité du son vaut 343 m/s et si la distance interauriculaire est d'environ 20 cm (R=0,1 m), le retard vaut : Δt = (0,1/343) x (1+π/2) = 0,750 ms, [12][16].

Lorsque la source est aux azimuts θ = 0° ou 180°, l'ITD vaudra 0. A l'opposé, l'ITD sera maximale lorsque la source sera aux azimuts θ =90° soit environ 0,75 ms pour la taille moyenne d'une tête humaine [12].

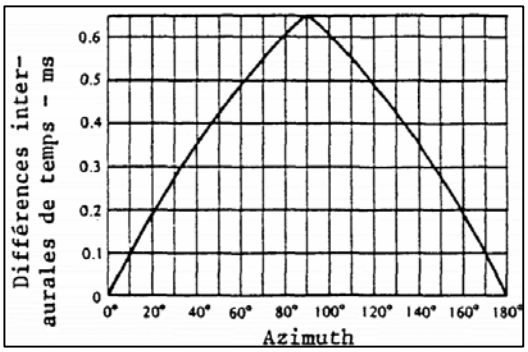


Figure 10 : Différence interaurale de temps en fonction de l'azimut de la source [12]

Nous avons vu précédemment que l'effet d'ombre de la tête se faisait sentir au-delà de 1500Hz, c'est pourquoi l'ITD est un indice fondamental pour localiser une source

émettant des ondes dont la fréquence est inférieure à 1500 Hz. Au-dessus de 1500 Hz, l'ITD devient ambiguë. Cependant, dans le cas de sons complexes, l'ITD des hautes fréquences serait perçue [15].

Donc la différence interaurale d'intensité résulte de deux facteurs indépendants et qui s'additionnent : la distance interaurale et la diffraction. Ces deux effets varient avec la fréquence du son.

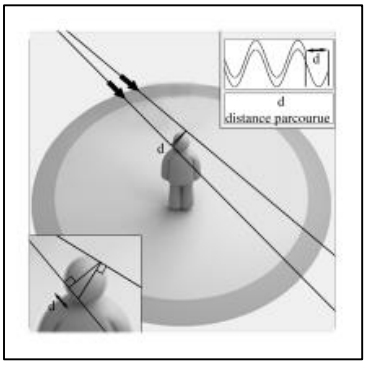


Figure 11 : Différence de phase. La distance parcourue par les ondes sonores issues d'une même source est différente suivant l'oreille. Cette différence engendre un trajet plus long et donc une différence de phase [13]

Il existe une influence de la différence de temps d'arrivée du son aux deux oreilles, se traduisant par une différence de phase.
Ce retard entre les deux oreilles, même s'il est faible en terme de décalage temporel, peut devenir important en terme de déphasage [12].

Le déphasage vaut : $\Delta\varphi = 2\pi f \times \Delta t$ avec f : la fréquence de l'onde.

Lorsque la fréquence du signal dépasse 1500 Hz, la différence de phase est supérieure à 360° (2π), il n'est plus possible de savoir quelle oreille est atteinte la première [12].

Fréquence (Hz)	Longueur d'onde (m)	Différence de marche (m)	Différence de phase (degré)
125	2,752	0,224	29,3°
250	1,376	0,224	58,5°
500	0,688	0,224	117°
1 000	0,344	0,224	234°
1 500	0,229	0,224	351°
2 000	0,172	0,224	468°
2 500	0,138	0,224	585°
3 000	0,115	0,224	702°
4 000	0,086	0,224	936°

Figure 12 : Impact de la fréquence et de la longueur d'onde sur la différence de phase [12]

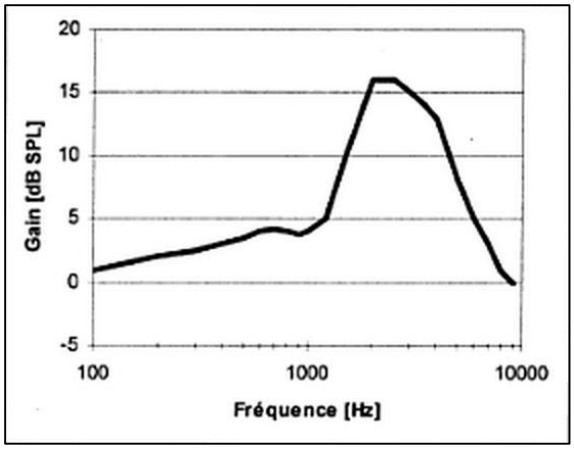
- ✓ La différence interaurale d'intensité ou ILD (Interaural Level Difference)

Un second phénomène est la différence de pression acoustique entre les deux oreilles, l'ILD ou l'IID (Interaural Intensity Difference).
Cette mesure est principalement influencée par l'effet d'ombre de la tête. On considère un ILD de 6,4 dB en moyenne pour le spectre de la parole. En son pur, cela dépend principalement de la longueur d'onde, mais cela varie de 3 dB pour 500 Hz jusqu'à 20 dB pour 6000 Hz [13].

La tête tend à s'opposer au passage de l'onde sonore, et il apparait une différence interaurale d'intensité qui traduit la différence d'intensité de l'onde qui parvient à chaque oreille. Cependant, cet indice dépend fortement de la fréquence du son incident. Lorsqu'elle est inférieure à 1500 Hz, l'ILD est quasi inexistante. En revanche, pour des fréquences supérieures à 1500 Hz l'ILD devient un indice effectif [15].

Ainsi, l'association ILD et ITD permet une localisation relativement précise dans un plan horizontal. Néanmoins, il existe une zone de confusion qui correspond aux azimuts 0° et 180° pour lesquels ces indices acoustiques sont quasi identiques [15].

L'intérêt d'avoir deux oreilles est l'effet stéréophonique. Pour une position particulière de la source sonore, la vibration acoustique parviendra avec une intensité différente sur le tympan droit et le tympan gauche [2].
Ce différentiel d'intensité permet la localisation de la source sonore.
La relation entre l'intensité sonore au niveau de la source et l'intensité du son qui parvient au niveau de la membrane tympanique est appelée Head-Related Transfert Function (fonction de transfert HRTF) [2].



L'ordonnée représente la différence entre l'intensité d'une source sonore externe et l'intensité recueillie par un petit microphone placé dans le CAE. Il s'agit donc d'un gain d'amplification des sons par l'oreille externe. La source sonore est placée sur la ligne médiane, en face du sujet, à la hauteur des conduits auditifs externes. Si la position de la source sonore est différente en élévation, la fonction de transfert suit une courbe différente.

Figure 13 : Fonction de transfert de la tête et du conduit auditif externe [4]

Conclusions relevées :
- le gain maximal est supérieur à 15 dB SPL,
- l'amplification maximale tourne autour de 2000 à 3000 Hz. Le CAE peut être comparé de façon simpliste à un tube fermé à l'une des extrémités. On peut donc démontrer que dans un conduit auditif la fréquence de résonnance est fonction de la longueur du conduit (entre 25 et 30mm) et de la vitesse du son : f=c/(4xl) donc f = 343/(4 x 0.028) = 3060 Hz. Il en résulte que le son est amplifié autour de 3000 Hz. Sortant de la modélisation, les mesures de résonnance naturelles nous montrent des valeurs entre 2000 Hz et 4000 Hz,
- Autour de 5000 Hz il y a une amplification due à la fréquence de résonnance de la conque,
- Des pics dans les fréquences au-delà de 5000 Hz résultent des plis du pavillon [4].

- *Localisation dans le plan vertical*

La capacité de localisation dans un plan vertical est souvent accordée à l'analyse de la composition spectrale du signal parvenant à chaque oreille. En effet, les ondes incidentes réfléchies par des structures, telles que les épaules ou le pavillon, interfèrent avec les ondes entrant dans le conduit auditif. Ces interférences conduisent à des modifications spectrales, renforcement (pics spectraux) ou

dégradation (trous spectraux) de certaines zones fréquentielles, qui permettent de localiser une source dans un plan vertical [15].

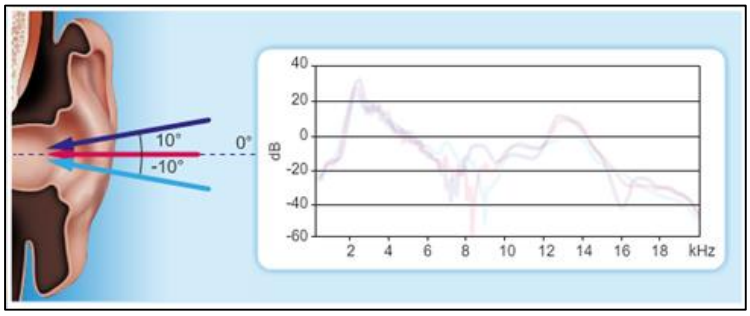


Figure 14 : Modification du spectre de l'onde en fonction de l'azimut de la source, du haut vers le bas : -10°, 0°, +10° [15]

L'appréciation de la source dans un plan vertical reste cependant plus imprécise que dans le plan horizontal [15].

- *Les informations spectrales pics et creux spectraux liés aux pavillons*

Ces mécanismes (ILD, ITD) permettent de localiser latéralement la source sonore mais sont incapables de préciser si le son vient de l'avant ou de l'arrière, du dessus ou du dessous. Ceci est principalement réalisé par la partie supérieure du pavillon de l'oreille, c'est l'effet pavillonnaire. Sa forme modifie la qualité du son qui pénètre dans l'oreille en fonction de la direction par laquelle il arrive : le pavillon accentue des fréquences sonores particulières en provenance de directions différentes.

Il va principalement réfléchir les hautes fréquences (longueur d'onde inférieure aux dimensions de l'oreille externe). La latence de ces réflexions varie en fonction de l'incidence et de la direction de la source sonore. Ces réflexions interagissent entre elles et vont ainsi créer des pics et des creux spectraux. La fréquence avec laquelle ces pics et ces creux spectraux vont apparaitre, va donner des indications précises sur l'origine de la source sonore [13].

c) *En résumé*

La perception de la latéralité dépend :

- très peu de la différence de pression due aux distances de la source aux deux oreilles mais beaucoup plus de la différence de pression créée par l'effet d'ombre dû à l'absence de diffraction des ondes de la tête pour des fréquences élevées (à partir de 3000 Hz),
- de la perception de la différence de phase. Perception possible pour les fréquences inférieures à 1500 Hz, au dessus il y a des confusions,
- A l'intérieur de la plage de fréquences comprises entre 1500 et 4000 Hz, la perception de la latéralité est plus difficile, car les fréquences sont trop hautes pour que la différence de phase joue et trop basse pour que l'effet d'ombre soit encore plus efficace que la diffraction [12].

Il y a une localisation des sons en fonction d'une certaine fréquence :

- Les basses fréquences inférieures à 1500 Hz : les sons sont localisés grâce à la différence de phase et à la différence de temps entre les deux oreilles,
- Les hautes fréquences supérieures à 1500 Hz : l'ombre de la tête va jouer un rôle important sur ces fréquences. En effet, la tête va agir comme un filtre passe-bas. Ainsi l'ILD devient le meilleur indice de localisation pour les hautes fréquences [13].

3) Le cerveau – Le Système Nerveux

a) Fonctions auditives centrales

Les fonctions auditives périphériques ont pour rôle la détection et l'analyse spectrale alors que les fonctions auditives centrales ont pour rôle :

- Le décodage phonétique,
- L'écoute dichotique (séparation, intégration),
- La discrimination des configurations temporelles (durée, fréquence),
- L'intégration binaurale (localisation, latéralisation, fusion).

Les structures cérébrales procèdent à la fusion des informations venant de chaque oreille en une information commune. Cette fusion permet la localisation de la source sonore grâce au partage des informations venant des deux oreilles et au décalage temporel et d'intensité produit systématiquement par la différence de distance entre la source et chaque récepteur.

Les processus auditifs centraux concernent donc tous les traitements réalisables par les voies auditives centrales et permettent la détection, la discrimination et l'intelligibilité correcte des stimulations acoustiques. Cela va de la perception correcte des fréquences, des intensités, des durées à la détection correcte des variations de ces différents paramètres.

Au-delà du simple « je n'entends pas », l'altération d'une seule de ces fonctions conduit au symptôme le plus commun d'une dysfonction des processus auditifs centraux : la difficulté de démasquage qui se traduit donc par le constat récurrent des patients : « dans le bruit je ne comprends pas » [17].

b) Anatomie et physiologie des voies auditives centrales

▪ *Les voies auditives primaires*

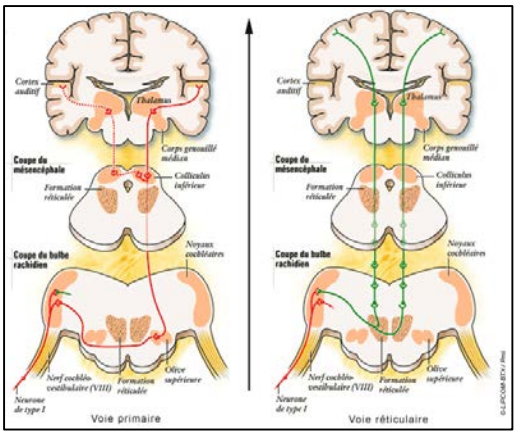
L'influx nerveux auditif est véhiculé dans un premier temps par le nerf cochléaire : c'est la portion rétro cochléaire.

Ensuite, seulement débutent les voies auditives centrales à proprement dites, passant d'abord par le tronc cérébral, où se trouvent différentes structures de traitement (noyaux cochléaires, complexe olivaire supérieur, colliculus inférieur).

Elles entrent ensuite dans l'encéphale via les corps genouillés médians.

Elles se dirigent enfin vers le cortex auditif primaire où l'influx est recueilli avant d'être traité par les aires auditives associatives.

- *Les voies auditives non primaires (réticulaires)*



Ces voies sont situées après le premier relais (noyaux cochléaires), et communiquent avec la voie réticulaire ascendante, commune à toutes les modalités sensorielles. Ces voies aboutissent au cortex polysensoriel. Leur rôle est de hiérarchiser les informations afin de savoir lesquelles traiter en priorité.

Figure 15 : Voies primaires et voies non primaires [18]

Contrairement au système visuel, une grande partie du décodage de l'information auditive, et notamment la localisation du stimulus sonore, se réalise déjà avant même d'atteindre le cortex. En effet, au cours du trajet, chaque relais effectue un travail spécifique de décodage et d'interprétation de l'influx nerveux :

- Les noyaux cochléaires analysent l'intensité, la fréquence et la durée du signal,
- L'olive supérieure et le colliculus inférieur ont un rôle dans la localisation sonore spatiale,
- Le thalamus permet l'intégration sensori-motrice [17].

Sur le plan fonctionnel, l'ensemble des structures auditives centrales présente une organisation tonotopique. Chacune d'entre elles comporte une ou plusieurs cartes de représentation fréquentielle, dont l'organisation est semblable à celle de la cochlée. *(Tableau n°1)*

Périphérie	Système afférent Codage	Système efférent Contrôle, protection	Analyse acoustique
Voies auditives	Transfert et codage	Régulation, inhibition, renforcement	Analyse phonétique et psychoacoustique
Centres auditifs	Perception, reconnaissance	Attention, mémoire, volonté	

Tableau synthétique n°1 des différents codages et analyses sur les voies auditives [19]

Sur le plan perceptivo-cognitif, le traitement de l'information auditive s'organise de manière séquentielle et fait intervenir trois niveaux successifs de complexité croissante :

- Un traitement simple de transduction périphérique, consistant en l'encodage neuronal de l'information acoustique spectrale et temporelle, est d'abord réalisé au niveau de la cochlée et transmis au nerf cochléaire,
- Ensuite, un traitement complexe intermédiaire, aboutissant à une représentation stable de profils spectraux, temporels et spatiaux (binauralité), est réalisé au niveau des différents relais des voies auditives ascendantes et au niveau du cortex auditif primaire.

- Enfin, le cortex auditif secondaire et les aires corticales associatives sont le siège d'un traitement cognitif de haut niveau, permettant l'utilisation symbolique « d'images auditives », en fonction des représentations et connaissances activées.

c) *Codage dans les voies auditives du Tronc Cérébral – Mécanismes nerveux de la localisation*

▪ *Le délai interaural*

La localisation par analyse des écarts interauraux n'est possible que pour des sons de fréquences inférieures à 1500 Hz car c'est la capacité maximale des cellules au-delà de laquelle l'activité oscillatoire est saturée.

Le délai interaural est traité dans l'olive supérieure médiane (OSM) qui reçoit les afférences binaurales des noyaux cochléaires antéro-ventraux. Les neurones de l'OSM sont organisés de façon à répondre spécifiquement à un écart temporel donné. Cette détection repose sur les différences de longueurs des axones des noyaux cochléaires innervant chaque neurone de l'OSM. Chaque neurone fonctionne comme un « détecteur de coïncidence », la réponse est maximale quand les deux messages afférents arrivent en même temps. Ce système permettrait de détecter des écarts temporels de l'ordre de 10 microsecondes et d'obtenir alors une précision de localisation spatiale tonale d'environ 1 degré [20].

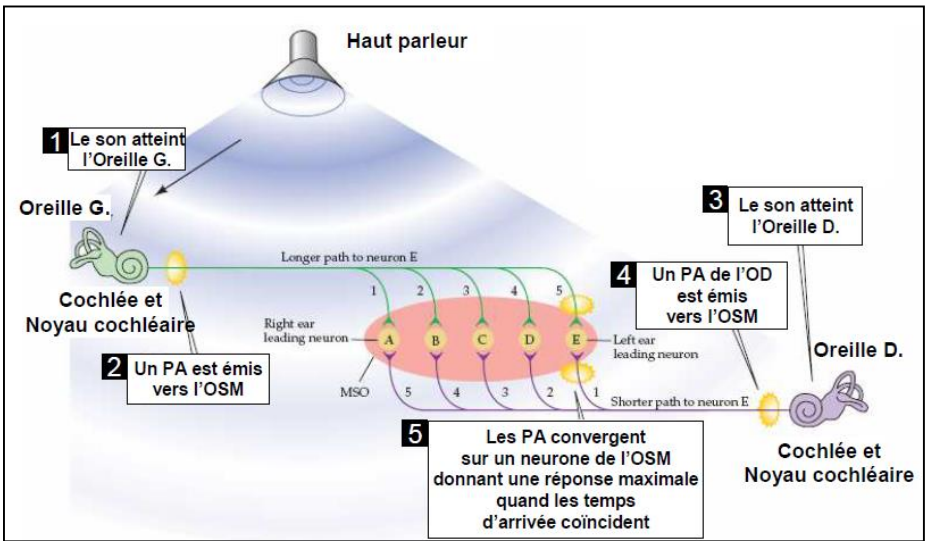


Figure 16 : Les neurones détecteurs de coïncidences [21]

Le son émis est reçu par l'oreille gauche en premier. L'avance temporelle prise par le signal arrivant à gauche sera modérée par la longueur du trajet plus importante. Les neurones A, B, C et D recevront le signal de gauche avant le signal de droite, avec un écart de plus en plus faible. Le neurone E, lui, recevra le signal droit et gauche en même temps.

- *La différence interaurale d'intensité*

La localisation des sons au-delà de 1500 Hz se fait par analyse des différences d'intensité. C'est l'olive supérieure latérale (OSL) et le noyau médian du corps trapézoïde (NMCT) qui interviennent.

L'OSL reçoit à la fois des fibres excitatrices du noyau cochléaire antéro-ventral ipsilatéral et des fibres inhibitrices en provenance du noyau cochléaire controlatéral. Un son latéralisé à gauche provoquera donc une excitation importante de l'OSL gauche qui sera faiblement inhibé par les afférences droites. Inversement, l'inhibition importante à droite supprimera toute l'activité de l'OSL droite. L'OSL ne code donc que pour des sons situés à la moitié du champ auditif [20].

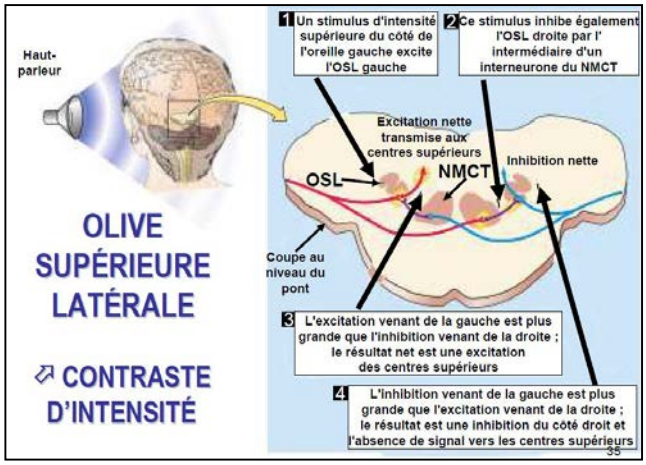


Figure 17 : Analyse des différences d'intensité par l'OSL et NMCT [21]

d) *Hémisphères cérébraux*

- *Description anatomique*

Le cerveau est l'organe qui supervise le système nerveux central (SNC). Le SNC est composé de l'encéphale (cerveau + cervelet + tronc cérébral) et de la moelle épinière. Le cerveau est protégé par la boîte crânienne et baigne dans le liquide céphalo-rachidien.

Le cerveau est composé de deux hémisphères, droit et gauche, connectés via le corps calleux, une substance blanche située en son centre. Il est important de préciser que chaque hémisphère s'occupe d'un côté du corps, le contrôle étant croisé. Ainsi l'hémisphère droit s'occupe du côté gauche du corps, et l'hémisphère gauche s'occupe du côté droit [22].

L'hémisphère droit se caractérise par des zones plus importantes de cortex associatif c'est-à-dire des aires qui n'ont pas de projections hors du cerveau, et dont les neurones communiquent entre eux et avec d'autres neurones du cortex.
L'hémisphère gauche, lui, se caractérise par des zones motrices et sensorielles plus importantes.

L'hémisphère droit est plus riche en connexions interrégionales, tandis que l'hémisphère gauche est plus riche en connexions intrarégionales (Goldberg, Costa, 1981).

Le planum temporal, situé sur la face supérieure du lobe temporal et qui fait partie intégrante de la zone corticale postérieure du langage dite « aire de Wernicke » est plus développée à gauche qu'à droite, en moyenne un tiers plus long [25].
L'aire dite « TPT » qui occupe la partie postérieure du planum temporal est plus volumineuse à gauche que à droite. Des données pathologiques suggèrent que cette région du cerveau joue un rôle important dans la fonction destinée au langage : une lésion de cette aire entraine en effet une agnosie auditive (absence d'identification des sons), une amusie (incapacité à reconnaitre une mélodie) en cas de lésion droite, ou une surdité verbale en cas de lésion gauche.

L'existence de cette asymétrie fonctionnelle est sous-entendue par une asymétrie anatomique pour le planum temporal, qui serait la base anatomique de la spécialisation hémisphérique du langage [23].

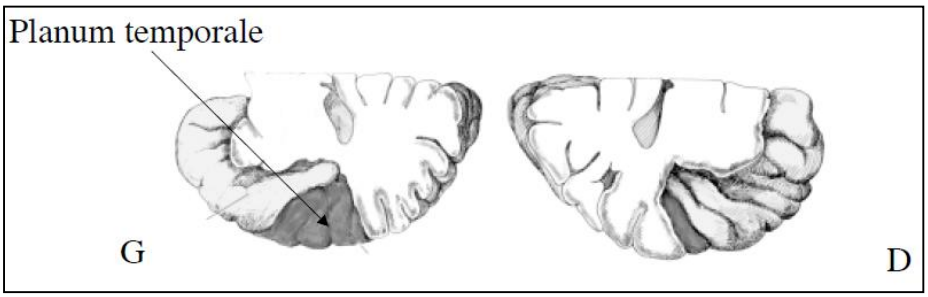


Figure 18 : Planum temporal gauche et planum temporal droit [24]

- *Bases de départ des fonctions générales des hémisphères cérébraux*

En règle générale, l'être humain développe une préférence entre ses deux hémisphères, c'est la latéralité.

Depuis plusieurs décennies, les études portant sur le fonctionnement des hémisphères cérébraux menées chez l'adulte montrent la présence d'une spécialisation hémisphérique. En effet, l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche traitent des informations de natures différentes. La spécialisation hémisphérique s'effectuerait progressivement entre l'âge de 2 et 12 ans. La pratique d'un instrument ou d'un sport a donc plus d'impact sur le développement du cerveau d'un enfant que celui d'un adulte.

Il faut préciser cette notion en disant que l'hémisphère dominant est l'hémisphère qui gère les fonctions les plus structurées comme la parole ou l'écriture. L'hémisphère « mineur » va gérer les capacités non rationnelles, plus senties comme la créativité [22].

Il serait aussi important de signaler qu'il est impossible de savoir avec détails par une autopsie ou scanner les rôles exacts joués par les différents hémisphères. Ces caractères ont été supposés suite à analyses de comportements entre droitiers et gauchers dominants ou grâce à la neuro-imagerie.

Globalement, il existerait une dominance hémisphérique gauche pour la production et la compréhension du langage tandis que l'hémisphère droit serait spécialisé dans l'analyse des stimuli non verbaux, comme la musique, les visages, les émotions et l'organisation spatiale [25].

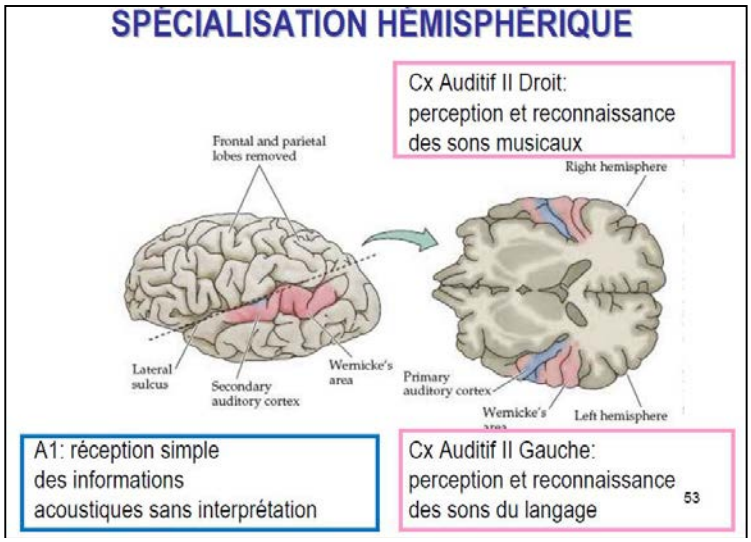


Figure 19 : Spécialisation hémisphérique [24]

Aussi, le cortex auditif gauche serait mieux équipé pour recevoir ou transférer rapidement l'information et donc l'analyser plus rapidement. Cette conduction plus rapide de l'information serait particulièrement importante pour l'analyse de certains sons du langage caractérisés par des variations temporelles rapides. Le cortex auditif gauche serait donc spécialisé dans l'analyse temporelle alors que le cortex auditif droit serait spécialisé dans l'analyse spectrale.

Ces dominances hémisphériques découlent de nombreuses théories que nous allons aborder dans la seconde partie.

PARTIE II : L'OREILLE DIRECTRICE EN THEORIE

Nous avons trouvé dans la littérature de nombreuses théories expliquant l'origine de la latéralité auditive et de la spécialisation hémisphérique. Certaines d'entre elles ont attirées notre attention et nous ont aidées pour la mise en place de notre protocole d'étude.

1) Théorie de Paul Broca (1865)

Figure 20 : Paul Broca [26]

Paul Broca est un chirurgien français, qui en 1861 localise la région impliquée dans la production du langage articulé en procédant à l'autopsie d'un de ses patients à l'Hôpital du Kremlin-Bicêtre.

En observant le cerveau d'un patient défunt ne pouvant prononcer que la syllabe « tan », Broca découvrit une lésion située à un endroit précis de l'Hémisphère Gauche, au niveau de la troisième circonvolution du lobe frontal [28].

C'est en retrouvant à plusieurs reprises des lésions au même endroit du cerveau chez d'autres patients atteints d'aphasie (perturbation du langage parlé et écrit) que Broca pense avoir découvert la région cérébrale responsable du langage.
S'il y a une lésion à cet endroit, le patient aura une perte de capacité à produire du langage [27].

Après l'autopsie de plusieurs autres cas présentant les mêmes difficultés "motrices" du langage, sans pour autant que la capacité à entendre et comprendre un discours ne soit affectée, la localisation de la production de la parole au niveau de l'hémisphère gauche est véridique.

Cette aire du cerveau est aujourd'hui connue sous le nom « d'aire de Broca » et ayant pour trouble « une aphasie de Broca ».

Ce chirurgien est convaincu que puisque les patients droitiers atteints d'aphasie ont leur Hémisphère Droit intacte, il existe un lien entre la latéralité motrice et la latéralité du langage. Il formule ainsi la règle qui porte son nom :
« L'hémisphère contrôlant la parole est du côté opposé à la main préférée » [27].

Broca pensait avoir trouvé le centre du langage mais il vit son idée contredite par la découverte d'autres zones spécialisées dans le langage par le neurologue allemand Wernicke [28].

2) Théorie de Carl Wernicke (1874)

Figure 21 : Carl Wernicke [30]

Carl Wernicke est un neurologue et psychiatre allemand. Il est, avec Paul Broca, un précurseur de la recherche sur les localisations cérébrales par « l'aphasiologie », une figure de la neurologie en général, et la neuropsychologie surtout.

Il décrit le cas de patients capables d'articuler normalement, mais ces patients atteints d'une aphasie de Wernicke peuvent parler mais leur discours est souvent incohérent et dénué de sens [29].

Il fit la découverte d'une région située dans le lobe temporal de l'hémisphère gauche et dont la lésion entraine la perte ou le trouble de la compréhension du langage parlé.

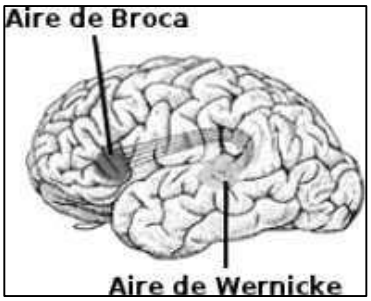


Figure 22 : Aire de Broca et aire de Wernicke [31]

Ainsi, cette aire cérébrale, impliquée dans la compréhension du langage, deviendra l'aire de Wernicke.

Les deux découvertes fondamentales de Wernicke et Broca vont dans le sens d'une spécialisation de l'Hémisphère Gauche, pour les droitiers, tant dans la compréhension que dans la production du langage articulé.

Cependant, depuis ces deux découvertes, d'autres études ont été effectuées sur des patients atteints de lésions cérébrales les privant de leur hémisphère gauche. Cela montre que quelques exceptions figurent à la règle de Broca montrant que ces troubles du langage peuvent affecter des gauchers et laisser indemnes des droitiers. Ces exceptions portent le nom « d'aphasiques croisés ».

3) Théorie d'Alfred Tomatis (1947)

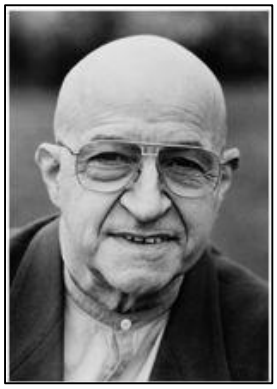


Figure 23 : Alfred Tomatis [32]

Alfred Tomatis est un oto-rhino-laryngologiste. Il a été diplômé en 1945 et démissionnera de l'Ordre des Médecins en 1974.

Il est à l'origine de l'audio-psycho-phonologie. Il établit une discipline thérapeutique basée sur la rééducation de l'écoute et permet de remédier aux troubles phonatoires et aux troubles tels que la dyslexie et l'autisme. Cette méthode porte son nom et permet un apprentissage basé sur une nouvelle façon d'écouter.

En effet, Tomatis considère que nous devons nous servir d'une oreille plus que d'une autre tout comme nous nous servons d'une main plus que d'une autre. Aussi, il insiste

sur le fait que, selon lui, concernant les oreilles, il faut être absolument droitier. C'est d'ailleurs pour cela qu'il a souvent été décrié et encore à l'heure actuelle.
En effet, la méthode Tomatis est basée sur l'entrainement intensif de l'oreille droite.

Trois lois à la base de « l'effet Tomatis » :
- la voix ne contient que ce que l'oreille entend,
- si on rend à l'oreille lésée la possibilité d'entendre correctement la fréquence compromise, perdue ou compromise, celles-ci sont instantanément et inconsciemment restituées dans l'émission vocale,
- La stimulation auditive entretenue pendant un temps déterminé modifie la posture d'auto-écoute du sujet et par voie de conséquence sa phonation.

Il s'appuie sur l'oreille directrice droite, avec une théorie impliquant l'hémisphère cérébral gauche dans le contrôle du langage. Il attribue à l'hémisphère gauche l'exclusivité du traitement de la parole [29].

Tomatis prône donc l'exclusivité de l'oreille directrice droite et ne semble pas prendre en compte le fait que cette spécialisation de l'hémisphère gauche pour le langage ne fait pas l'objet d'une caractéristique universelle et systématique, même si il est vrai qu'elle est potentiellement présente chez une majorité des êtres humains.

Selon les psychologues du centre thérapeutique fondé par Tomatis, les troubles de compréhension de la parole et d'élocution dont souffrent les patients, étaient la conséquence d'une mauvaise latéralité auditive. « Muscler l'oreille droite » est le principe de base de la méthode Tomatis [33].

La méthode Tomatis est établie dans plus de 200 centres à travers le monde entier.

Il est vrai que les travaux de Tomatis ont fait l'objet de nombreuses controverses mais néanmoins il aura tout de même posé la question de l'influence de l'audition.

4) Théorie de Juhn Wada (1960)

Figure 24 : Juhn Wada [34]

Juhn Wada est un neurologue japonais qui exerçait à l'Institut Neurologique de Montréal.
Il introduit dans les années 1960, chez l'humain, le « test de Wada » qui consiste à injecter un anesthésique à courte durée d'action (l'amobarbital de sodium) dans l'une des artères carotides. Le produit anesthésiant se répand alors dans le flux sanguin de l'hémisphère ipsilatéral par rapport à l'injection. Au bout de dix minutes, à cause du contrôle croisé des fonctions sensorimotrices, le côté controlatéral du corps par rapport à l'injection est paralysé [29].

Il est ainsi possible de tester les capacités de langage de l'hémisphère ainsi anesthésié en posant quelques questions au patient. Si c'est l'hémisphère dominant pour la parole qui est testé, le patient ne pourra pas parler et aura des troubles de compréhension tant que l'anesthésie fera effet.

Ce genre de test est généralement effectué en vue d'une opération neurochirurgicale pour des patients qui sont épileptiques ou pour déterminer, avant une opération chirurgicale, quel est l'hémisphère qui contrôle la parole ; tout sera alors mis en œuvre pour épargner les aires du langage de cet hémisphère.

D'après ses études, le langage est contrôlé par l'hémisphère gauche chez plus de 95% des droitiers sans lésion cérébrale précoce ; chez les autres : l'hémisphère droit.
Contrairement à la règle de Broca, c'est aussi l'hémisphère gauche qui contrôle la parole chez une majorité de gauchers (70% des cas), 15% l'Hémisphère Droit, 15% les deux. Cela montre les limites de la manualité selon Broca [29].

Pour une minorité de patient, c'est l'hémisphère droit qui est aux commandes, et ces sujets sont pratiquement tous gauchers. C'est la raison pour laquelle les études en neuro-imagerie refusent en général les sujets gauchers car ils présentent une organisation cérébrale atypique et c'est aussi pour cela, entre autre, que nous avons décidé d'utiliser que des personnes droitières dans mon protocole de tests.

5) Théorie de Doreen Kimura (1961)

Figure 25 : Doreen Kimura [35]

Doreen Kimura est une psychologue de l'Université d'Ontario-Ouest. Ce n'est qu'avec ses travaux, en 1961, que, pour la première fois, la technique d'écoute dichotique, ou « test d'écoute corticale, a été utilisée pour déterminer la participation de chacun des lobes temporaux à la perception du matériel verbal.

Elle démontre, la première, que les sujets normaux répètent les mots présentés à l'oreille droite avec plus d'exactitude que les mots présentés à l'oreille gauche. Elle veut alors imaginer un modèle pour expliquer cette dissymétrie.

Elle explique alors que « Chaque oreille envoie de l'information aux deux hémisphères. D'une oreille donnée, les fibres ipsilatérales projettent sur l'hémisphère du même côté et les fibres controlatérales projettent sur l'hémisphère du côté opposé. Ainsi, l'information complète sur un stimulus présenté à une oreille est représenté initialement sur les deux hémisphères ; chaque oreille réussit aussi bien lorsqu'elle est testée seule. » [36].

Kimura se réfère tout de même à des données physiologiques démontrant que les voies ipsilatérales sont plus faibles, moins nombreuses et ont une vitesse de conduction de l'information plus lente que les fibres controlatérales. Pour elle, il existe un chevauchement entre les voies controlatérales et les voies ipsilatérales. Les voies controlatérales prédominent sur les unités ipsilatérales.

Selon elle, lorsque deux stimuli sont présentés simultanément à chaque oreille, la voie de chaque oreille à l'hémisphère ipsilatéral paraitrait inhibée ou supprimée. Donc l'information présentée à chaque oreille se projette d'abord sur l'hémisphère controlatéral [37].

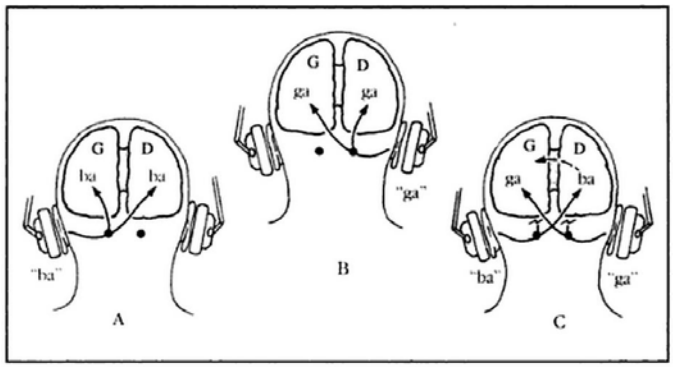


Figure 26 : Le modèle d'écoute dichotique de Kimura, sur des sujets normaux [38]

En A : La syllabe « ba » est correctement répétée quand elle est présentée à l'oreille gauche seule : elle atteint les hémisphères gauche et droit par les voies ipsilatérales et controlatérales.
En B : La syllabe « ga » est correctement répétée quand elle est présentée à l'oreille droite seule.
En C : En présentation dichotique, les voies ipsilatérales sont supposées « inhibées », la syllabe « ba » est accessible à l'hémisphère gauche via le corps calleux et « ga »est répété avec plus d'exactitudes.

Nous estimons important de décrire avec précision ce test que nous utiliserons dans une forme différente mais comportant des problématiques communes. Nous nous sommes pour cela beaucoup aidé de l'ouvrage Cerveau gauche, cerveau droit, dont on trouvera les références complètes en bibliographie.

La première expérience de Kimura fut réalisée en 1961 en testant ses sujets avec des stimuli verbaux sur 71 sujets atteints de lésions épileptogènes néonatales ou acquises précocement.

Puis lors de sa deuxième expérience, elle constate que les excisions du lobe temporal, droit ou gauche, troublent la perception des chiffres arrivant à l'oreille controlatérale, tandis que l'excision frontale ne produit pas cet effet. Les deux lobes temporaux participent à l'activité de l'auditive réceptrice d'un seul côté mais que le trouble n'apparaît qu'en présentation simultané.

En 1964, elle établit que la supériorité de l'oreille droite est également constatée avec des mots et des syllabes sans sens [39].

Dans Cerveau Gauche, Cerveau Droit, on lit qu'elle se réfère à des données montrant que l'hémisphère gauche contrôle les musculatures orales et manuelles.

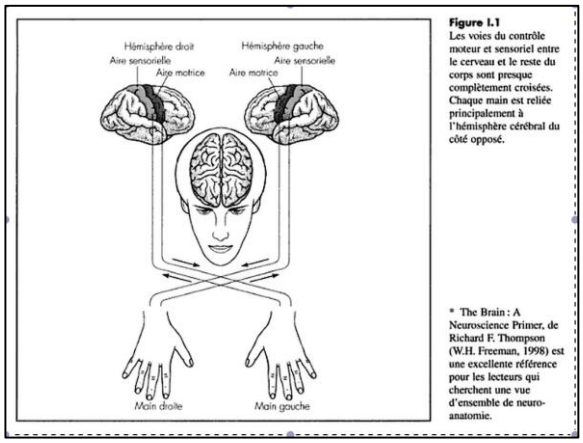


Figure 27: "Functionnel Asymmetry of the Brain in Dichotic Listening" [40]

La spécialisation interauriculaire pour le décodage de la parole est maintenant bien connue grâce aux travaux de Kimura.
Elle conclue ses travaux en disant que, chez le sujet « droitier », l'oreille gauche est dominante pour les indices phonétiques de durée longue (les voyelles) alors que les indices phonétiques brefs tels les consonnes sont décodés préférentiellement par l'oreille droite [41].

6) Théorie sur la disposition du fœtus à la fin de la grossesse

Nous avons trouvé une hypothèse qui nous semble intéressante quant à l'origine de la latéralité auditive et motrice.

Il paraitrait que durant les quatre derniers mois de la grossesse, le fœtus, dont l'appareil auditif fonctionne à partir du cinquième mois, tend à se maintenir dans une position qu'il conservera le plus souvent jusqu'à l'accouchement.

Nous pouvons observer deux positions :

- Le fœtus disposé tête en bas : l'arrière du crâne se positionne du côté gauche du bassin de la mère. On appelle cela la « présentation du naissant en OIG (occipito-iliaque-gauche),
- L'autre position est la rotation de 180° selon l'axe vertical de la position précédente (quand la mère est debout). Cette position est appelée OID (occipito-iliaque droit).

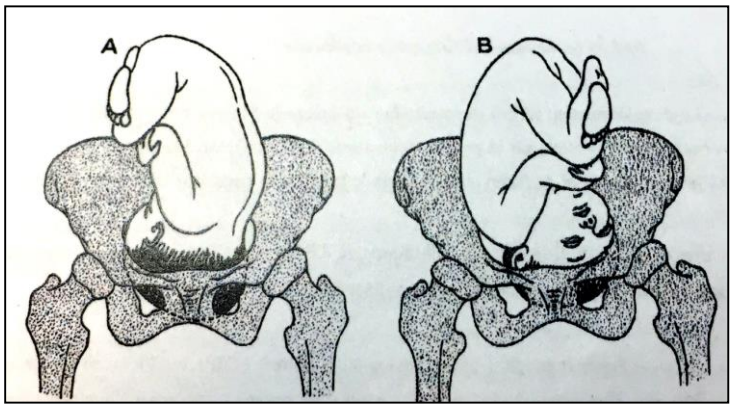


Figure 28 : En A : le fœtus disposé tête en bas (OIG), en B : rotation de 180° selon l'axe vertical (OID) [42]

Il paraîtrait bien que l'oreille droite du fœtus en OIG, sera plus proche de la paroi abdominale de la mère et donc sensibilisée aux bruits externes, alors que l'oreille gauche est proche du sacrum de la mère et sera davantage soumise aux bruits organiques et à la conduction osseuse de la mère (voix de la mère).

Churchill et Grapin disent qu'il existe un lien statistique entre la préférence manuelle du bébé (puis de l'adulte) et le type de présentation de sa naissance (OIG : droiterie ; OID gaucherie). Ceci est valable qu'après 6 mois de grossesse [43] [44].

Les grands prématurés seront, à 4 ans, gauchers à 50% alors que les autres seront bien plus souvent droitiers à 90%.

7) Théories actuelles sur le rôle des hémisphères cérébraux

Légende Texte :

HG : Hémisphère Gauche
HD : Hémisphère Droit
AOD : Avantage Oreille Droite
SH : Spécialisation Hémisphérique
CC : Corps Calleux
TED : Test d'Écoute Dichotique

Chez certaines personnes âgées, certaines études montrent une augmentation de l'avantage de l'oreille droite (accentuation de la prédominance de l'HG) avec l'âge.

L'avantage de l'oreille droite (AOD) aurait une origine structurelle et/ou attentionnelle.

Une origine structurelle : L'avantage de l'OD repose sur l'organisation anatomique asymétrique des voix auditives. En condition dichotique, les voies auditives controlatérales sont dominantes sur les voies auditives ipsilatérales. Donc le matériel verbal perçu dans l'OD est directement transmis à l'hémisphère gauche tandis que le matériel verbal de l'OG est transmis à l'HD puis doit transiter par le corps calleux pour gagner l'HG.

Les performances plus faibles de l'OG chez le sujet âgé seraient dues à un déficit du transfert inter hémisphérique secondaire aux modifications anatomiques touchant le corps calleux chez le sujet.

Une origine attentionnelle : Les asymétries observées résultent d'un biais attentionnel vers le côté droit (en lien direct avec l'HG) quand il s'agit de mots. Selon ce modèle, l'anticipation du matériel verbal met en alerte l'HG, et le corps calleux joue un rôle de système d'équilibre du niveau d'activation entre les deux hémisphères.

Les travaux en imagerie fonctionnelle ont confirmé une activation bilatérale des régions temporales en situation d'écoute dichotique : gyrus temporal supérieur et moyen confirmant que l'avantage de l'OD est un marqueur d'intégrité du lobe temporal.

La majoration de l'AOD : en attention forcée (choix forcé de ne répéter que ce qui vient de l'oreille gauche seulement ou l'oreille droite), les sujets âgés ont des performances meilleures comparées à celles en rappel libre (le patient répète ce qu'il entend sans contrariété), alors que les sujets jeunes ont des performances identiques en rappel libre et attention forcée.

Trois modèles de l'évolution de la SH (spécialisation hémisphérique) du langage avec le vieillissement :

- Modèle du déclin de l'HD : le fonctionnement de l'Hémisphère Droit-Oreille Gauche chuterait plus rapidement avec le vieillissement que l'HG-OD.
  Avec l'âge, les performances, lorsqu'un stimulus verbal est adressé en premier à l'HD-OG, sont de moins en moins bonnes. Il y a aussi une diminution des performances de l'AOD pour les stimuli verbaux.

- Modèle du déclin du corps calleux (CC) : le Corps calleux se réduirait avec le vieillissement en engendrant un déclin du transfert de l'information de l'HD-OG vers l'HG-OD lorsqu'un stimulus langagier est présenté en premier à l'HD-OG.
  Avec l'âge, les performances, lorsqu'un stimulus verbal est adressé en premier à l'HD-OG sont de moins en moins bonnes. Il y a aussi une diminution des performances de l'AOD pour les stimuli verbaux [45].

Une perte de l'efficacité du traitement auditif central chez les sujets âgés pourrait contribuer aux difficultés rencontrées en situation d'échange conversationnel, en présence d'interlocuteur multiples, qui correspond à une situation de gestion de tâches multiples.

D'autres travaux sont nécessaires pour évaluer la valeur prédictive du TED en tant que marqueur possible d'un déclin cognitif, en particulier dans le domaine des fonctions exécutives (flexibilité mentale, inhibition).

L'hypothèse est que le signal auditif serait d'abord traité en parallèle dans les aires auditives primaires permettant une représentation spectro-temporale détaillée et une dissociation secondaire des informations se produirait dans les aires associatives en fonction de deux fenêtres d'intégration temporelle :

- L'Hémisphère Gauche traiterait les informations répondant à une fenêtre de modulations temporelles rapides (20-50 ms, correspondant au contraste phonémique),
- L'Hémisphère Droit traiterait les informations répondant à une fenêtre de modulations acoustiques plus lentes (150-300 ms, correspondant à des changements spectraux sans contenu langagier et à l'enveloppe du signal).

L'imagerie a confirmé ces données avec une activation temporale gauche pour des syllabes et droite pour de la musique.

Cette théorie connue sous le nom de « Asymetric sampling in time theory » (AST) tend à prendre une importance notable dans la compréhension du cerveau [46].

8) Théorie sur les gauchers

Le test de Wada montre que la représentation du langage parait être moins fortement latéralisée chez les gauchers que chez les droitiers.

Dès 1961, Kimura avait montré que lors de la présentation simultanée de chiffres aux deux oreilles, chez les sujets gauchers la supériorité de l'oreille existait du côté

controlatéral à l'hémisphère où siégeait la représentation du langage sans rapport avec la préférence manuelle.

Les chercheurs ont réalisé des expériences d'écoute dichotique de chiffres chez des sujets droitiers et gauchers. En dehors des résultats qui confirment les études antérieures pour les sujets droitiers, il constate chez les gauchers une forte interaction entre la préférence auditive et la préférence manuelle, la différence entre les oreilles droite et gauche est significativement plus grande chez les droitiers que chez les gauchers. Cette diminution de l'asymétrie auditive et la grande variabilité des résultats leur permettent de conclure à la relative fréquence de la bilatéralité de la représentation du langage chez les gauchers [39].

Les chercheurs concluent en disant que l'importance de la différence des scores entre les oreilles est moins importante chez les gauchers que chez les droitiers à tous les tests.
La comparaison des deux groupes sur chacun des tests révèle qu'un grand pourcentage de gauchers présente une asymétrie perceptive inverse par rapport aux autres gauchers et par rapport aux autres droitiers ; à noter que ces gauchers ne présentent pas de stock familial direct de gaucherie [39].

Les recherches ont permis d'admettre que la diminution de l'asymétrie perceptive était surtout le propre des gauchers avec stock familial (gauchers ayant des parents gauchers). En effet, les tests d'audition biaurale de chiffres montrent que la supériorité de l'oreille droite se retrouve chez les droitiers et les gauchers non familiaux. Les gauchers non familiaux semblent se comporter comme des droitiers : la dominance de l'hémisphère gauche est ainsi affirmée chez ces sujets que chez les droitiers. En revanche, les gauchers non familiaux paraissent caractérisés par une plus grande équipotentialité hémisphérique plutôt que par une simple variabilité dans leur dominance.

Aussi, les théoriciens ont remarqué que les gauchers qui ont été contraints d'écrire de la main droite par leur entourage étant petit ont leur latéralité qui n'est pas changée mais est incomplète. En effet, ils continueront à utiliser la partie gauche de leur corps pour les activités des autres organes tels que l'oreille et présenteront des meilleurs résultats que s'ils utilisaient leur partie droite.
De ce fait, les gauchers présenteraient des résultats plus homogènes entre main droite et main gauche que les droitiers.

D'après les psychomotriciennes « le monde dans lequel nous vivons est un monde de droitier, tout est fait pour les droitiers (paire de ciseaux, les poignées de porte…) ; le gaucher est donc fréquemment amené à utiliser sa main droite et développe donc ses compétences [39].

Avec ces nombreux paramètres d'incertitudes, nous avons donc décidé de nous concentrer sur les droitiers lors de la réalisation des tests.

9) Théorie sur les pertes unilatérales

a) Chez un normo-entendant

Chez un normo entendant, une stimulation monaurale induit normalement une activation prédominante du cortex auditif controlatéral à l'oreille stimulée par rapport au cortex ipsilatéral.

La voie controlatérale représente normalement la principale voie d'activation du cerveau auditif. Les potentiels évoqués auditifs (PEA), à la surface du cortex auditif par une stimulation monaurale, montrent des seuils significativement abaissés et des amplitudes augmentées dans le cortex controlatéral à la stimulation par rapport au cortex ipsilatéral.

Les techniques d'imagerie fonctionnelle cérébrale confirment ce résultat :

- En IRMf[1], il y a une très forte latéralisation de la réponse corticale lors d'une stimulation monaurale par des sons purs de 1000 Hz à 95 dB SPL en direction de l'hémisphère controlatéral,

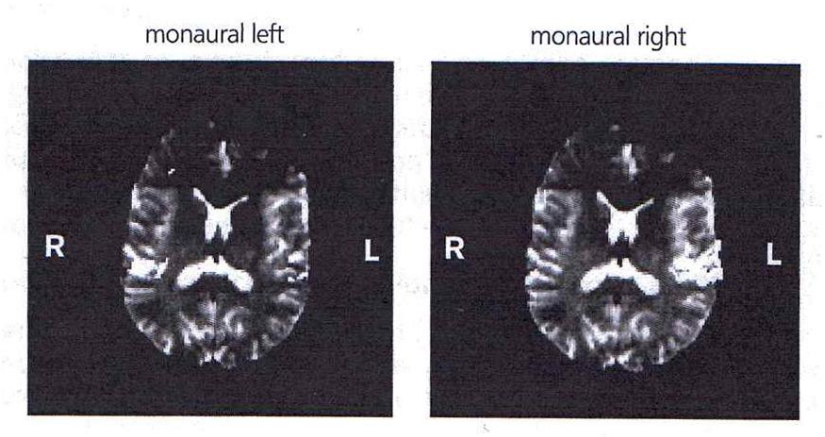


Figure 29 : Données IRMf chez le normo-entendant lors de l'activation du cortex auditif en réponse à une stimulation monaurale par sons purs [47]

- En magnétoencéphalographie[2] (MEG) : l'amplitude est plus forte lors de la stimulation monaurale controlatérale que lors de la stimulation ipsilatérale [47].

Cette asymétrie d'activation corticale possède aussi un caractère asynchrone de l'activation avec des réponses corticales plus précoces dans l'hémisphère controlatéral que dans l'hémisphère ipsilatéral, à la stimulation.

En cas de surdité unilatérale, il y a alors une disparition du patron d'activation asymétrique cérébral :

---

[1] L'IRMf est une technique d'imagerie par résonnance magnétique fonctionnelle.
[2] La magnétoencéphalographie est une technique de mesure des champs magnétiques induits par l'activité électrique des neurones du cerveau.

- en IRMf : la stimulation de l'oreille saine montre une très faible latéralisation controlatérale de la réponse corticale, voire une disparition de cette latéralisation,

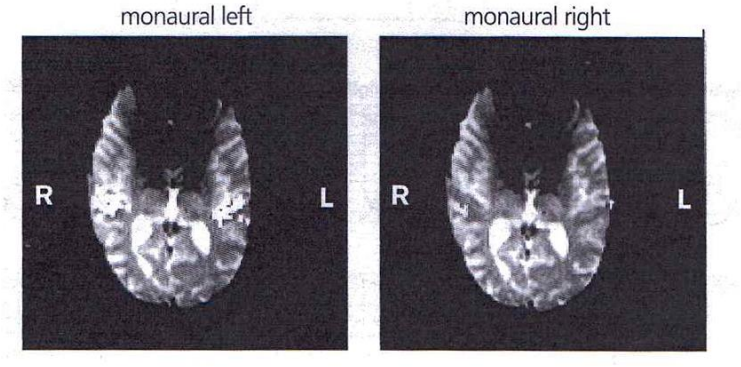


Figure 30 : Activation du cortex auditif en réponse à une stimulation monaurale par sons purs chez un sujet présentant une surdité profonde unilatérale droite [47]

- en MEG : on constate une disparition des différences de latence des réponses auditives mesurées dans les 2 hémisphères.

b) Chez des animaux

Aussi, des expérimentations animales ont été réalisées et induites en injectant des doses d'aminoside à travers la fenêtre ronde et en stimulant l'oreille saine pour produire une surdité unilatérale.

Résultats :

- la première semaine : il a été constaté une réduction des différences inter-hémisphériques des seuils et de l'amplitude des PEA corticaux,
- la deuxième semaine, on constate que l'amplitude des réponses évoquées dans l'hémisphère ipsilatéral à l'oreille saine augmente. C'est cela qui est à l'origine de la perte d'asymétrie [47].

c) Chez des patients avec surdité brusque sur l'OD

D'autres tests ont été réalisés sur une série de patients ayant présenté une surdité brusque de l'OD avec une récupération satisfaisante voir complète de l'audition grâce à des injections de corticoïdes en intraveineuse.

Première phase : phase aigüe de la surdité brusque : il y a une dominance hémisphérique ipsilatérale de la réponse corticale à la stimulation de l'OG.

Deuxième phase : phase de récupération de la fonction auditive droite : cette dominance persiste bien que moindre, alors que la stimulation de l'OD provoque un patron classique d'activation avec une dominance controlatérale.

Troisième phase : si la surdité unilatérale est définitive : on constate une activation symétrique des 2 hémisphères par l'oreille saine, on peut le voir en IRMf. Par exemple : pour une résection d'un neurinome de l'acoustique sans conservation possible de l'audition [47].

d) Conséquences perceptibles de la perte d'asymétrie cérébrale

- *La spécialisation hémisphérique dans le traitement temporel de la parole*

Des signaux de parole sont présentés à l'oreille droite.

Résultat des PEA : il y a disparition de la dominance hémisphérique gauche avec l'âge (supérieur à 55 ans) et dégradation des performances de discrimination des signaux de parole à changement spectro-temporels rapides (/da-ga/).
Il ne faut pas oublier qu'en temps normal ce sont les aires auditives corticales gauches (et donc l'oreille droite) à l'origine de l'analyse temporelle des signaux de parole.

La disparition de l'asymétrie d'activation cérébrale pourrait donc avoir comme conséquences des difficultés de traitement temporel des signaux de parole [47].

- *La perception du voisement*

La compréhension de la parole est possible grâce aux différents indices acoustiques temporels permettant par exemple de distinguer une consonne plosive voisée (/b/) d'une consonne plosive non voisée (/p/).
Le voisement est la mise en vibration des cordes vocales précédant l'explosion du flux d'air sous-glottique.

Pour pouvoir évaluer la perception du voisement, on effectue le test de perception catégorielle qui consiste à présenter à l'auditeur un continuum de syllabes voisées ou non voisées (différent uniquement par le délai de voisement) et à mesurer pour chaque syllabe le pourcentage d'identification correcte.

Le test de perception catégorielle (Test Consonne-Voyelle) repose sur la présentation d'un continuum de 24 syllabes dont le délai de voisement doit permettre normalement de différencier la syllabe /ba/ de la syllabe /pa/.
Les recherches ont montré une supériorité de l'oreille droite dans la perception du voisement. En effet, il y a une nécessité de changement spectro-temporels très rapides pour distinguer le voisé du non voisé [47].

En cas de surdité unilatérale gauche, la stimulation de l'oreille droite active de façon symétrique, les hémisphères droit et gauche. Il n'y a donc plus de dominance hémisphérique gauche dans ce cas, expliquant la dégradation des performances de l'oreille droite dans l'identification du voisement [47].

En conclusion :
La perte unilatérale de l'audition s'accompagne d'un bouleversement des processus neurophysiologiques d'activation du cortex auditif. Alors que l'activation des aires auditives corticales prédomine normalement dans l'hémisphère controlatéral à l'oreille stimulée, elle se symétrise en cas de surdité unilatérale, traduisant l'importance des phénomènes de plasticité post-lésionnelle dans le système auditif central. Les conséquences perceptives de cette réorganisation post-lésionnelle des voies auditives centrales pourraient dépendre du côté atteint.

En cas de surdité gauche, la perte de l'asymétrie inter-hémisphérique pourrait avoir des conséquences perceptives particulièrement délétères, l'oreille droite n'assurant plus son rôle privilégié dans le traitement temporel des stimuli verbaux ou non verbaux.

C'est donc pour toutes ces raisons, que nous avons décidé d'étudier exclusivement des pertes parfaitement symétriques et bilatérales pour notre protocole, pour des seuils inférieurs à 15 dB d'écart entre les deux oreilles.

Pour conclure cette seconde partie il est important d'ajouter que les travaux des 19e et 20e siècles, portant sur l'oreille directrice et l'asymétrie cérébrale, partagent une certaine prudence dans leurs conclusions. Aucun modèle proposé ne semble être en mesure de réunir tous les scientifiques travaillant dans ce domaine.

A travers la troisième partie, nous allons donc essayer d'en savoir plus sur l'oreille directrice à travers différents tests.

PARTIE III : L'OREILLE DIRECTRICE EN PRATIQUE

Notre protocole d'étude a pour but de démontrer que la notion d'oreille directrice existe bel et bien, à travers différents tests effectués sur nos sujets.

Les objectifs de ce protocole vont être multiples :

- Prouver qu'il existe un lien entre la latéralité manuelle, l'âge et le sexe du sujet,
- Vérifier qu'il existe un lien entre la latéralité manuelle et le type d'audition des sujets (normo ou malentendants),
- Montrer qu'il existe une latéralité auditive selon le type de test et la consigne donnée,
- Confirmer cette latéralité par des tests complémentaires,
- S'intéresser aux inversions phonémiques des sujets appareillés en fonction de leur oreille directrice,
- Cela pour émettre des hypothèses sur des possibilités de réglages prothétiques en fonction de l'oreille directrice trouvée.

1) Sujets testés

L'ensemble de la population testée comprend 25 sujets : des patients, des collègues, des proches. Tous ont joués le jeu pour aboutir à ce mémoire et à ces tests.
Parmi eux, 12 normo entendant non appareillés et 13 malentendants appareillés.

L'âge des sujets testés se situe entre 23 et 91 ans. Ce qui fait une moyenne d'âge de 50 ans.

Ces sujets sont tous droitiers et ont tous une audition symétrique (<10 dB de différence entre oreille droite et oreille gauche).

Nous avons choisi 13 femmes et 12 hommes pour représenter mon protocole.

a) Les Normo-entendants

Ce groupe sera en quelque sorte le groupe « témoin » de notre protocole. Il permettra de savoir si, lorsque l'on porte des appareils auditifs, cela peut avoir une influence sur son oreille directrice.

Ce groupe est composé de 12 sujets, 6 hommes et 6 femmes, âgés de 23 à 52 ans. La moyenne d'âge est de 33 ans.
50% des sujets testés ont entre 20 et 30 ans, 25% ont entre 30 et 40 ans, 8% se situe dans la tranche 40-50 ans et e 17% ont entre 50 et 60 ans.

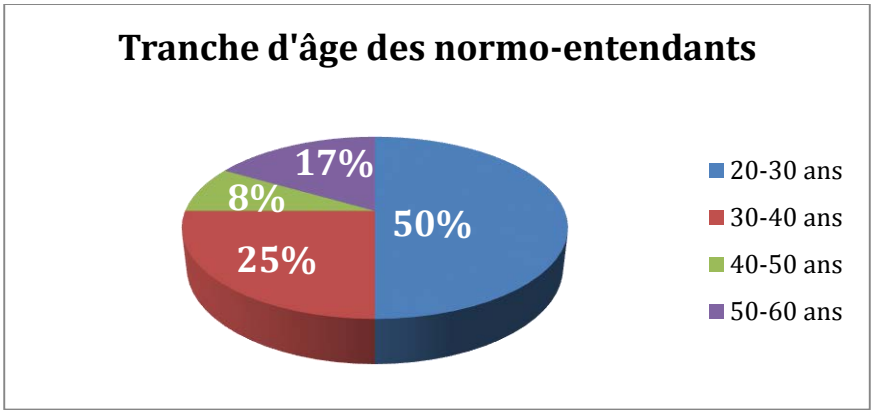


Figure 31 : Tranche d'âge des normo-entendants

Les sujets sont tous droitiers, en raison de la difficulté de latéralité auditive des sujets gauchers (vus en partie II).

Ces sujets n'ont pas d'antécédents spécifiques ORL, sont otologiquement sains, avec des seuils inférieurs à 25 dB HL sur l'ensemble des fréquences.

Leur audition est symétrique (inférieure ou égale à 10 dB d'écart entre les deux oreilles sur toutes les fréquences de 250 à 4000 Hz).

Cela permettra d'établir notre référence.
Pour chaque sujet, nous allons effectuer différents tests :

- Une Audiométrie Tonale et Vocale au casque,
- Le questionnaire de manualité d'Edinburgh,
- Les Tests Dichotiques,
- Le Test Consonnes-Voyelles,

b) Les Malentendants

Ce groupe de sujets appareillés comprend 6 hommes et 7 femmes, âgés de 37 à 91 ans. L'âge moyen est de 73 ans.
54% des sujets testés ont entre 70 et 80 ans, 15% des sujets ont moins de 70ans, 23% font partis de la tranche d'âge 80-90 ans, et 8% des sujets ont 90 ans et plus.

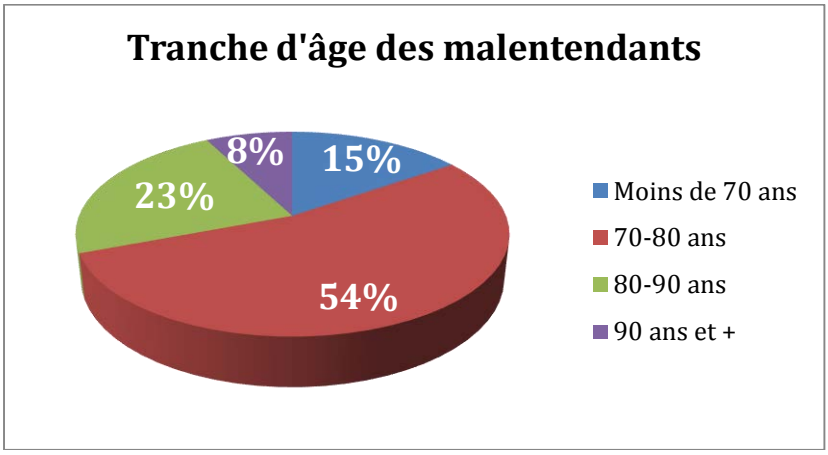


Figure 32 : Tranche d'âge des malentendants

Leur audition est symétrique (inférieure ou égale à 10 dB d'écart entre les deux oreilles sur toutes les fréquences de 250 à 4000 Hz). La mesure a été effectuée grâce à une audiométrie tonale liminaire.

Le type de surdité a été choisi de telle sorte qu'il n'existe pas de biais. Les malentendants ont tous une perte auditive de type surdité de perception, et sont appareillés par le même type d'appareils auditifs : des contours à écouteurs déportés et par les même fabricants : Siemens et Beltone. Chez Beltone, nous avons utilisé des First 1763/963 et chez Siemens des Pure 7/5 MI.

Leur gain prothétique tonal résultant est équivalent et permet un seuil tonal, avec appareils, symétrique sur les deux oreilles. Cela a été vérifié par mesure du gain prothétique tonal.

Les sujets portent leurs appareils auditifs depuis plus d'un an et leur port est quotidien, d'une durée supérieure à 8h par jour.

Les sujets sont tous droitiers, en théorie, en raison de la difficulté de latéralité auditive des sujets gauchers (vus en partie II). Aussi, il était difficile de trouver des sujets gauchers, car en vue de l'âge de mes patients, beaucoup ont été des gauchers « contrariés » dès leur plus jeune âge. En effet, on leur interdisait de se servir de cette main dominante car elle était considérée comme « la main du diable ».

Aujourd'hui en France, les gauchers représentent 13% de la population française.

Pour chaque sujet, nous allons effectuer différents tests :
- Une Audiométrie Tonale et Vocale au casque,
- Le questionnaire de manualité d'Edinburgh,
- Les Tests Dichotiques,
- Le Phonoscan avec les appareils auditifs.

Nous n'avons pas pu réaliser le test Consonnes-voyelles sur nos patients malentendants en raison de la longueur et de la fatigabilité des tests effectués. Nous avons préférés privilégier les tests dichotiques et le phonoscan, qui seront plus significatifs pour nos résultats.

2) Tests Effectués

L'audiométrie tonale, vocale, la mesure in vivo, les tests dichotiques et le phonoscan s'effectuent avec l'Aurical, développée par GN Otométrics.

L'Aurical est composée de modules entièrement intégrés :
- d'un audiomètre AuricalAud,
- d'une unité de mesure microphonique PMM AuricalFreefit (in vivo),
- d'un caisson acoustique Aurical HIT (chaîne de mesure),
- Du logiciel Otosuite,
- Haut-parleur de type 1081.

Figure 33 : Aurical Freefit et son caisson Aurical Hit [48]

Les tests se déroulent dans une cabine insonorisée, conformément à la loi avec un niveau de bruit de fond inférieur à 40 dBA et un temps de réverbération inférieur à 0,5 secondes à partir de l'octave 500 Hz.

a) L'Audiométrie Tonale

Nous effectuons à nos patients une audiométrie tonale pour vérifier, au préalable, que leur audition est toujours symétrique. Pour cela nous mesurons leur seuil tonal liminaire sur chaque oreille séparée à l'aide du casque.

- Matériel utilisé

L'audiométrie tonale s'effectue grâce à l'AuricalAud, elle permet des audiométries aériennes, en osseuse et en champ libre avec amplificateur intégré. L'audiomètre teste l'audition jusqu'au 12 500Hz. L'étalonnage de l'audiomètre, des haut-parleurs (3) et du casque est étalonné tous les ans.

L'AuricalAud est composé de deux canaux identiques indépendants, d'un casque TDH39 ayant pour fréquences standards de 125 à 12 500 Hz, d'un vibrateur B-71 (250 à 8000 Hz) et cela avec des précisions supérieures à 0.03 %.

- Limites

- Seule une partie de la cochlée est étudiée car le spectre audible va de 16 à 18 000Hz,
- Les sons purs sont des sons très éloignés de la vie courante,
- Difficulté de l'examen : l'étalonnage, l'environnement, la coopération du sujet… [49]

Une fois l'audiogramme tonal réalisé (annexe 1), nous effectuons la mesure du gain prothétique afin de vérifier que celui-ci est équivalent des deux côtés pour obtenir une audition symétrique avec les appareils auditifs sur les oreilles.

b) L'Audiométrie Vocale

- But

Ce test fait appel à la perception auditive, l'intelligibilité, la suppléance mentale, la mémoire et la connaissance de la langue.

Il permet l'évaluation de la perception, la compréhension, l'identification phonétique et contrôler la courbe tonale et prothétique.

- Matériel Verbal

Nous utilisons des listes de mots codifiés avec le même nombre de syllabe, pas de mots à double sens, et une répartition homogène des phonèmes.

Il existe deux types de tests :

- Les tests d'intelligibilité avec des mots signifiants requièrent l'utilisation de listes de mots dissyllabiques (Fournier par exemple),
- Les tests phonétiques (non signifiants) permettent d'identifier la distorsion du son, les problèmes d'intégration centrale (Test de Lafon) [49].

Pour nos tests, nous avons décidé d'utiliser les Listes de Fournier, car notre but n'était pas d'analyser les confusions phonétiques mais de déterminer les seuils d'intelligibilité (SRT) au casque des deux oreilles séparées sans appareils afin d'avoir une base pour établir notre intensité aux tests dichotiques (SRT + 35 dB).

- Résultats

Le Seuil d'intelligibilité (SRT) représente l'intensité minimale nécessaire pour comprendre 50 % des mots.

Le maximum d'intelligibilité est le pourcentage maximal de mots correctement répétés.

Le Pourcentage de discrimination (SDS) est le pourcentage de mots compris à 35 dB au-dessus du seuil d'intelligibilité (SRT). Chez le sujet normal il est égal à 100%, chez le sujet qui recrute il n'atteindra pas les 100% [49].

Voilà pourquoi pour les tests dichotiques nous mettons SRT+35 dB, cela afin d'atteindre le pourcentage de discrimination.

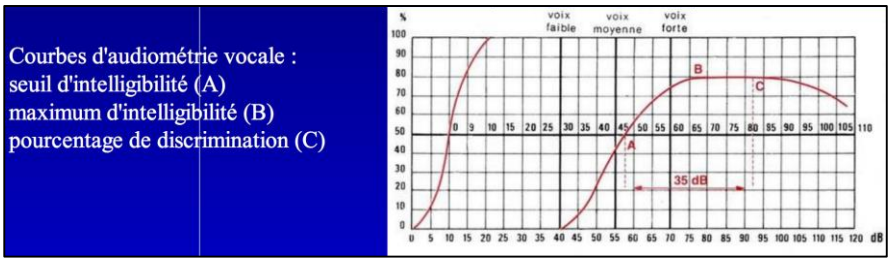


Figure 33 : Exemple de résultat d'une audiométrie vocale d'un malentendant [50]

c) *Le Questionnaire d'Edinburgh (annexe n°2)*

- But

Le but de ce questionnaire va être d'essayer de mettre en évidence un lien entre la latéralité manuelle de mes sujets et leur latéralité auditive (hémisphérique).

Pour cela, nous avons choisi de les soumettre au questionnaire d'Edinburgh pour analyser avec plus de précision leur latéralité manuelle selon les circonstances.

- Passation

Nous demandons aux sujets de lire l'énoncé et de répondre à dix questions.
« Prière d'indiquer votre préférence manuelle pour chacune des activités ci-dessous en inscrivant un signe + dans la colonne appropriée. Si la préférence manuelle est si forte que vous n'utilisez l'autre main que si vous y êtes absolument forcé, inscrivez ++. Si vous utilisez l'une ou l'autre main indifféremment, inscrivez un +. »

Les dix actions proposées sont :

- Écrire,
- Dessiner,
- Coudre (main tenant l'aiguille),
- Tenir une paire de ciseaux,
- Se brosser les dents,
- Tenir un couteau,
- Tenir un balai (main supérieure),
- Tenir une cuillère,
- Allumer une allumette (main tenant l'allumette),
- Ouvrir une boite (main tenant le couvercle).

Grâce à ce questionnaire, nous allons essayer de démontrer qu'avec l'âge, les sujets ont leur manualité qui est totalement déterminée. Alors qu'en étant plus jeune notre manualité est moins bien déterminée selon les actions de la vie quotidienne, cela peut refléter l'activité de nos hémisphères.

Nous avons mis en annexe n°2 un exemple de sujet ayant répondu au questionnaire.

d) *Les Tests Dichotiques (SRT+35 dB) (annexe n°3 et n°4)*

- But

Le but de ce test est de comparer les performances des deux hémisphères cérébraux. Cela va aussi nous permettre de nous donner une indication sur l'oreille dominante du sujet, à seuil égal.

Le test dichotique a un intérêt, chez le sujet âgé, dans l'étude des processus auditifs centraux. Un déficit de ces processus pourrait contribuer aux difficultés d'audition

que ressentent les sujets âgés dans un environnement bruyant et ainsi avoir des conséquences sur l'appareillage des sujets presbyacousiques.

Il permet d'explorer les relations inter-hémisphériques de l'asymétrie auditive.

Ce test mesure les aptitudes de séparation et d'intégration binaurales. Il permet également de quantifier le degré d'asymétrie auditive en calculant la prévalence d'oreille. La prévalence d'oreille est donc l'indice direct de différence de latéralité entre les hémisphères du cerveau lorsqu'ils sont activés par chaque oreille.
Test de la voie auditive croisée et de l'intégrité du corps calleux [51].

- Passation

Le matériel verbal administré peut être des mots, des chiffres, des syllabes ou des phrases. Nous avons décidé d'utiliser les listes du CD5 du Collège National d'Audioprothèse : « listes dichotiques ».

L'écoute dichotique consiste en la présentation simultanée de deux mots signifiants différents dans chaque oreille à intensité équivalente et à seuil égal au casque sans appareils.

L'intensité émise est désignée par la valeur du seuil d'intelligibilité (SRT) et nous ajoutons 35 dB (cela permet d'être dans la zone de pourcentage de discrimination).

Nous demandons à nos patients de répéter 3 listes de mots différentes dans des conditions différentes, sans leurs appareils.

La 1ère liste permet d'évaluer **l'intégration binaurale** de notre sujet. Pour cela nous leur demandons de répéter les mots perçus à droite ET à gauche.
Dans le cas de l'intégration binaurale, le **rappel est « libre »** c'est-à-dire qu'aucune oreille n'a été désignée. Dans ce cas, c'est l'attention divisée qui est sollicitée.

Dans la majorité des cas, les patients n'arrivaient pas à répéter les deux mots entendus simultanément, ils nous répétaient alors inconsciemment le mot qu'ils comprenaient le mieux d'une oreille.

La 2e liste permet d'évaluer la **séparation binaurale** de notre sujet. Le sujet doit essayer de répéter les 5 premiers mots de la liste perçus à droite, puis les 5 derniers perçus par l'oreille gauche.
Dans le cas de séparation binaurale, on parle « **d'attention forcée** » car la condition d'écoute est désignée d'avance (oreille désignée), le patient doit mobiliser une attention dirigée.

Dans ce cas, les patients ont eu du mal à répéter les mots avec une attention forcée et à se concentrer sur ce qu'ils entendaient seulement sur une oreille sans se laisser distraire par le mot qui parvenait simultanément dans l'autre oreille.

La 3e liste consiste de la même façon à la **séparation binaurale** mais cette fois le sujet doit répéter les 5 premiers mots perçus à gauche, puis les 5 derniers perçus à droite.

La présentation dichotique de stimuli auditifs verbaux conduit, dans la littérature, à un avantage en faveur de l'oreille droite, tout du moins en condition de rappel libre. Nous allons voir avec nos tests, si c'est aussi le cas.

Nous avons mis en annexe n°3 l'imprimé écran du paramétrage vocal pour les tests dichotiques et en annexe n°4 un exemple de sujet ayant répondu au test dichotique.

e) Le Test CV

- But

Ce test sera effectué sur les normo-entendants de notre protocole.
La durée des tests dichotiques et le besoin de concentration entrainent une fatigabilité chez le malentendant, c'est donc pour cela que nous n'avons pas réalisé le test CV sur eux et nous avons privilégié le test du phonoscan.

Le test des consonnes-voyelles va nous permettre de confirmer ou infirmer nos résultats au test dichotique.

- Historique de l'application

Grâce aux nombreuses recherches effectuées, nous avons découvert une application sur Smartphone « iDichotic ». En effet, l'« IRMf Bergen Group » est un groupe de recherche interdisciplinaire du Département de Biologie et Psychologie Médicale de l'Université de Bergen et de l'Hôpital Universitaire d'Haukeland, en Norvège. Ce groupe est dirigé par le Professeur Kenneth Hugdahl. Les membres du groupe ont, de prime abord, fait des recherches sur la résonnance magnétique fonctionnelle et ont ainsi formé le Centre National de ressources pour l'IRMf en Norvège.

Leurs recherches se concentrent sur les études d'activation du cerveau lié à la latéralité auditive, la parole et le langage, la mémoire, l'attention, le contrôle cognitif, les émotions et le vieillissement. Ils ont eu une attention particulière pour l'étude des hallucinations auditives dans la schizophrénie et les études d'écoute dichotique dans le contrôle cognitif. Ils se sont inspirés des expériences de Doreen Kimura et de Donald Broadbent [52].

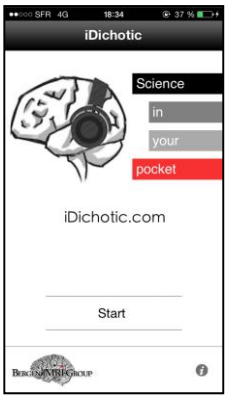


Figure 34 : Page d'accueil de l'application iDichotic [54]

L'application sur Smartphone a été créée, entre autre, par les chercheurs Josef Bless, le Docteur Ren-Westerhausen, Magne Gudmundsen et le Professeur Kenneth Hugdahl. Cette application a été lancée sur App Store (ou Play store) en 2011. En quelques semaines, plus de 1000 personnes avaient déjà téléchargé l'application. Leurs résultats ont été transmis à la base de données des chercheurs et en ont analysés 200, qu'ils ont comparé aux résultats de personnes examinées précédemment dans les laboratoires de Norvège et d'Australie. Ils ont alors constaté que les résultats étaient aussi fiables que ceux des essais en laboratoire [53].

Nous avons décidé de l'introduire dans notre protocole car c'est un test simple, bien développé et ludique. Nous devons tout de même être équipé d'un casque TDH39 pour être sûrs que les listes soient bien équilibrées par les écouteurs.

Figure 35 : Réglages préalables [54]

Avant d'accéder au test, l'application demande au patient de renseigner quelques informations car cela permet d'établir des statistiques et modifie les résultats : la langue maternelle, l'âge, le sexe et la manualité sont demandés.

Puis l'application demande au patient, qui a le casque sur les oreilles, d'ajuster le son sortant du Smartphone aux oreilles. En effet, il fait entendre un son pur sur l'oreille droite et demande au patient de régler la barre de volume jusqu'au moment où il n'entend plus le son. Pareil pour l'oreille gauche. Le but étant que les deux oreilles entendent les items consonnes-voyelles de la même façon et ajustées à l'audition [55].

- Passation

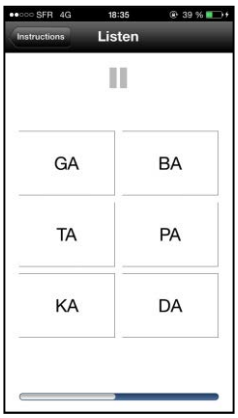


Figure 36 : Choix des items [54]

Les instructions sont alors données sur l'écran : « Pour ce test vous allez entendre une série de consonnes-voyelles différentes et vous devez appuyer sur l'item entendu. Il y a 6 choix de réponses possibles pour chaque étape. Si vous entendez deux sons différents, choisissez celui que vous entendez le mieux. »
Une seule réponse validée possible parmi le choix de 6 items : /ka/, /ta/, /ga/, /da/, /pa/, /ba/.

Les nuances entre les items sont très légères et fusionnent au niveau du cerveau. Il est assez difficile de décortiquer, par exemple, un /ba/ venant de l'oreille gauche avec un /pa/ venant simultanément de l'oreille droite. Les sujets testés étaient souvent assez déstabilisés par ce test.

f) *Le Phonoscan* (annexe n°5 et n°6)

Benoit Virole est docteur en psychopathologie, docteur en sciences du langage et psychanalyste. Parallèlement il a mené des recherches sur la dominance de l'oreille droite et a créé ce test.

- But

Le phonoscan est un test à environnement phonétique contrôlé.

Il dépiste les distorsions prothétiques éventuelles. A travers ce test, nous allons analyser différentes confusions phonétiques.

En comptant le nombre d'erreurs sur les phonèmes cibles sur chaque oreille et en binaural, il est alors possible de connaître la latéralité interaurale, c'est-à-dire de savoir quelle oreille privilégie l'information phonétique. Il est également possible de connaître les stratégies phonétiques préférentielles du sujet et de poser des prédictions sur ses performances en compréhension.

Le phonoscan utilise uniquement les phonèmes les plus significatifs vis à vis des déficiences endocochléaires. Ses résultats sont corrélés aux performances d'intelligibilité globale de la parole dans les conditions réelles (excepté pour l'évaluation de la lecture labiale).

Ses résultats sont des prédicateurs de la réhabilitation globale de la compréhension de la parole.

- Passation

Le phonoscan est composé de 4 listes semblables mais dont les mots tests sont répartis autrement de telle façon que le facteur d'apprentissage puisse être neutralisé.

Nous avons utilisé les listes de « Virole » du CD5 du Collège National d'Audioprothèse. Chaque liste comprend 10 mots, en 2 séries de 5 mots présentés de façon décalée.

La première série décalée vers la gauche : mots dont le phonème cible est la consonne marquée en majuscule. Cette consonne est reconnue par la discrimination de son pôle de bruit car la voyelle environnante a été choisie de telle façon que la transition du deuxième formant soit peu informative.

La deuxième série décalée vers la droite est composée de mots dont le phonème cible est toujours la consonne. Cette consonne est identifiée par la discrimination de la transition formantique car la voyelle voisine a été choisie de telle façon que la pente de la transition est maximale et donc particulièrement saillante. Les pôles de bruits sont alors peu informatifs.

Dans un premier temps, nous commençons par tester une oreille avec son appareil auditif en champ libre, l'autre étant obturée ou masquée au casque. Le patient se positionne, durant toute la durée du test face au Haut-parleur. Nous faisons défiler la première liste à 55 dB, le patient doit répéter les mots (non signifiants) qu'il entend. Pendant ce temps, nous cochons les erreurs éventuelles faites sur la consonne centrale.

Nous effectuons les mêmes opérations sur l'autre oreille, toujours à 55 dB.

Enfin, pour la troisième liste, nous effectuons le test en binaural, les deux oreilles en même temps et appareillées, en baissant de 5 dB l'intensité d'émission, pour corriger le gain de sonie dû à l'audition binaurale [56].

Nous répertorions les confusions phonétiques afin d'analyser les différentes distorsions prothétiques. Cela va nous permettre de déterminer les distorsions fréquentielles, temporelles et énergétiques à travers les appareils auditifs.

Ce dernier test va être intéressant pour savoir s'il existe une aide possible dans l'appareillage si on met en évidence la présence d'une oreille directrice et ses confusions phonétiques par rapport à l'oreille non dominante.

Pour compléter nos tests il aurait fallu effectuer **le test de Hint**, mais par manque de temps nous n'avons pas pu. Le test de Hint permet de tester des phrases dans le bruit et donc de tester l'oreille directrice dans ces conditions. Cela aurait pu permettre de savoir à quel point l'oreille directrice pourrait avoir une influence sur l'audition globale dans les situations gênantes.

Nous avons mis en annexe n°5 l'imprimé écran du paramétrage vocal pour le phonoscan et en annexe n°6 un exemple de sujet ayant répondu au phonoscan.

PARTIE IV : L'OREILLE DIRECTRICE EN PRATIQUE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1) Le Questionnaire d'Edinburgh

Nous rappelons que dans le questionnaire, 10 actions sont proposées. Si les sujets utilisent exclusivement leur main droite : ils sont exclusivement droitiers manuellement (D++), s'ils peuvent aussi bien utiliser leur main gauche que leur main droite, pour une action, ils ne sont pas exclusivement droitiers pour cette action (D+).

Nous allons dans un premier temps répartir mes sujets en 2 groupes : les hommes et les femmes, dans 2 situations différentes :

- être exclusivement droitier (D ++) pour 0 à 6 actions,
- ou être exclusivement droitier (D ++) pour 7 à 10 actions (donc utiliser aussi bien la main gauche pour 0 à 3 actions sur 10).

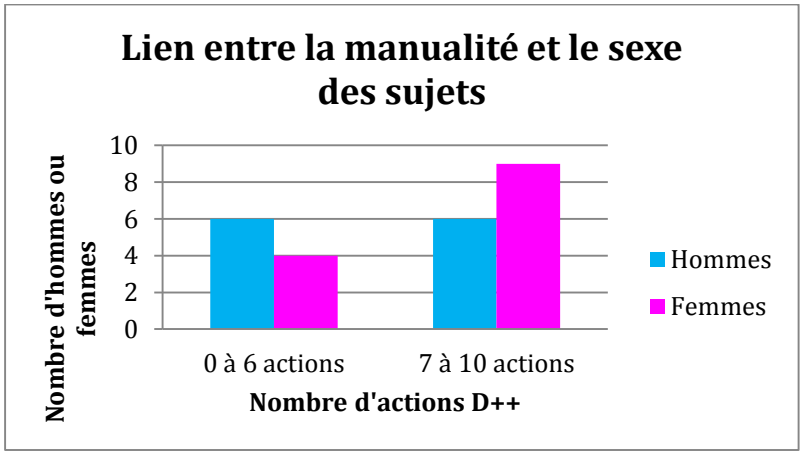


Figure 37 : Lien entre la manualité et le sexe des sujets

Nous pouvons constater, à travers ce test, que les femmes sont plus nombreuses à utiliser exclusivement leur main droite pour la majorité des tâches (9) que les deux mains (4). Donc leur latéralité manuelle est plus forte. Alors que chez les hommes, nous ne constatons pas de différence significative, ils utilisent aussi bien leur main gauche selon les actions.

Dans la littérature médicale, nous avons lu que la testostérone influencerait la préférence manuelle. En effet, un taux élevé de testostérone favoriserait le développement de l'hémisphère droit, dominant chez le gaucher. Il est donc normal que nous trouvions des résultats de latéralité manuelle droite plus dominante chez les femmes que chez les hommes [57].

L'effet du sexe sur les performances cognitives serait une donnée actuellement bien admise. Il existerait une plus forte latéralisation gauche chez les hommes. Les hommes droitiers auraient une plus nette latéralisation droite des processus visuo-spatiaux que les femmes [58].

Nous allons ensuite nous intéresser à l'effet de l'âge sur la latéralité manuelle de nos sujets.
Nous avons réparti nos sujets en 4 groupes :

- un groupe de 20 à 39 ans,
- un groupe de 40 à 59 ans,
- un groupe de 60 à 79 ans,
- et un groupe de 80 ans et plus.

Comme précédemment, nous allons étudier le nombre d'actions où le patient est exclusivement droitier (D++) pour 0 à 6 actions et 7 à 10 actions.

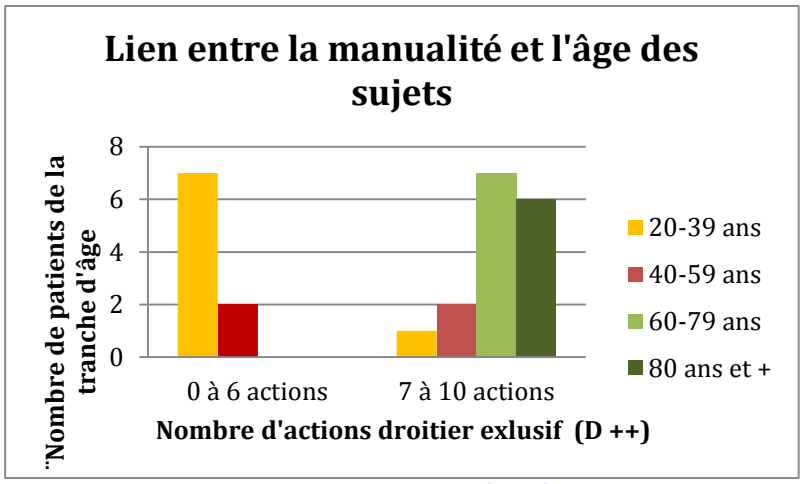


Figure 38 : Lien entre la manualité et l'âge des sujets

<u>Pour le groupe entre 20 et 39 ans</u> :

- 7 personnes utilisent exclusivement leur main droite pour 0 à 6 actions sur 10 (donc elles peuvent éventuellement utiliser leur main gauche dans 4 à 10 actions sur 10),
- 1 personne utilise exclusivement sa main droite pour 7 à 10 actions sur 10.

<u>Pour le groupe entre 40 et 59 ans</u> :

- 2 personnes utilisent leur main droite exclusivement entre 0 à 6 actions, ainsi que de 7 à 10 actions sur 10.

<u>Pour le groupe de personnes entre 60 et 79 ans</u> :
Nous pouvons clairement constater qu'aucune d'entre elles n'utilise exclusivement sa main droite pour 0 à 6 actions sur 10. Alors que 7 personnes utilisent exclusivement leur main droite pour 7 à 10 actions sur 10.

<u>Pour les personnes de 80 ans et plus</u> :
Il est net que toutes les personnes de ce groupe (6) utilisent toutes les actions (10/10) exclusivement avec la main droite.

Globalement, sans rentrer dans le détail, il est finalement facile de constater que plus la personne est âgée et plus sa latéralité manuelle sera forte ; plus le sujet est jeune et plus le sujet droitier utilise aussi bien sa main droite que sa main gauche si besoin.

Nous pouvons faire un parallèle avec les hémisphères cérébraux ; plus on avance dans l'âge et plus les hémisphères sont, chacun, focalisés pour des fonctions spécifiques.

Enfin, nous avons voulu comparer le groupe de personnes normo-entendantes avec le groupe de personnes malentendantes pour chaque action.

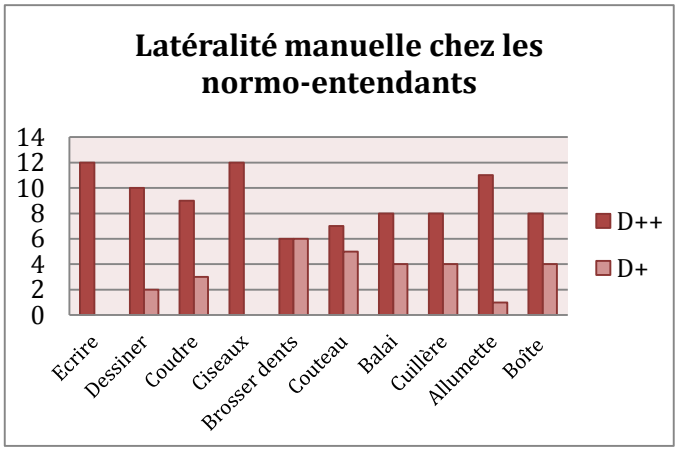


Figure 39 : Latéralité manuelle chez les normo-entendants

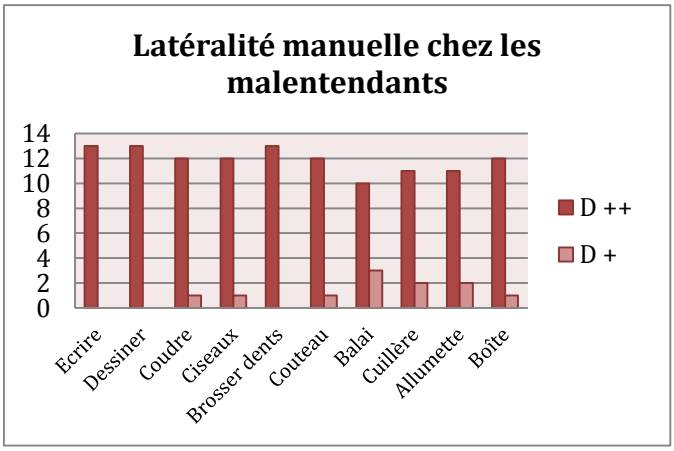


Figure 40 : Latéralité manuelle chez les malentendants

<u>Chez les normo-entendants</u> :

- Pour les actions telles que « se brosser les dents », « tenir un couteau », « tenir un balai », tenir une cuillère » et « ouvrir une boite », il y a presque autant de D++ que de D+, c'est-à-dire qu'il y a presque autant de personnes qui peuvent utiliser aussi bien leur main gauche que leur main droite pour ces actions,
- Pour les autres actions, la majorité, au moins 9 sujets sur 12 utilisent exclusivement leur main droite.

<u>Chez les sujets malentendants</u> :

- Chez la majorité des sujets (au moins 10 sujets sur 13), tous utilisent exclusivement leur main droite.

Nous pouvons interpréter ces données par deux hypothèses :

- soit le fait d'être appareillé développerait et focaliserait les hémisphères cérébraux sur des actions spécifiques, alors que ceux qui n'ont pas d'appareils auraient leurs hémisphères qui latéraliseraient moins, c'est-à-dire que la manualité serait moins en lien direct avec l'hémisphère controlatéral,

- soit cela est dû au fait que nos sujets malentendants ont, pour la plupart (85%) 70 ans et plus, alors que les normo-entendants ont tous moins de 70 ans.

2) Les Tests Dichotiques

Pour mesurer l'aptitude dichotique lors des tests, nous avons effectué la somme des réponses complètes des items gauches et droits correctement répétés lors des tâches d'intégration et de séparation binaurale.

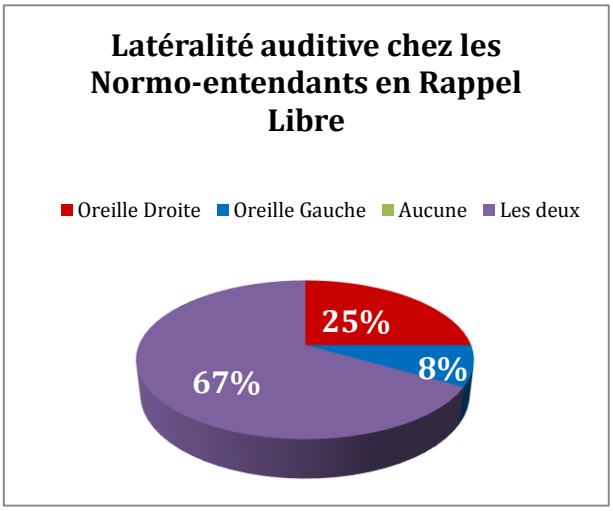


Figure 41 : Latéralité auditive chez les normo-entendants en Rappel Libre

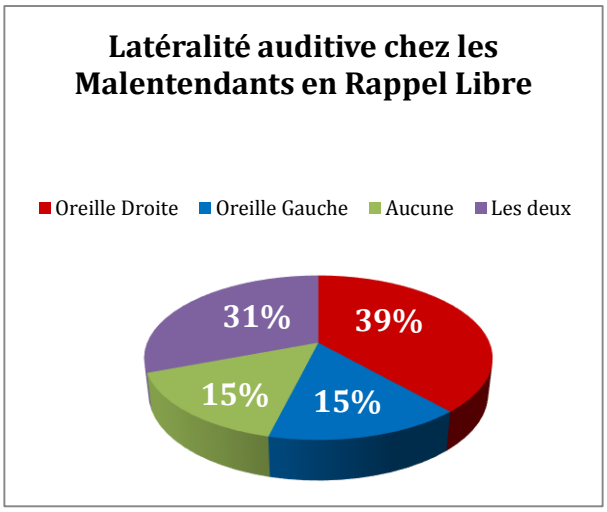


Figure 42 : Latéralité auditive chez les Malentendants en Rappel Libre

Pour les tâches de rappel libre : Nous avons analysé les résultats afin de savoir si les sujets avaient répété les deux mots entendus en même temps, dans ce cas nous parlons « d'aptitude dichotique », si les sujets ont répété plus de mots venant d'une oreille que de l'autre, nous parlons alors de prévalence d'oreille. La prévalence est positive si le sujet a privilégié l'oreille droite et négative si le sujet a privilégié l'oreille gauche. La prévalence est nulle s'il n'y a pas d'oreille privilégiée.

Chez les normo-entendants :

- 67% des sujets ont répété les deux mots qu'ils entendaient simultanément,
- 25% des sujets ont répété seulement les mots venant de l'oreille droite (prévalence pour l'oreille droite) et 8% des sujets venant de l'oreille gauche (prévalence pour l'oreille gauche),
- Aucun sujet n'a répété aucun mot d'une quelconque oreille.

Dans ce cas, la majorité des sujets ont répété les mots venant des deux oreilles, donc 67% des normo-entendants du protocole ont une **aptitude dichotique** pour la tâche de rappel libre. Or, nous savons que le pourcentage d'aptitude dichotique varie avec l'âge. Elle serait optimale à 16 ans et diminuerait à partir de 50 ans [59]. Nos sujets malentendants ont, en majorité, plus de 70 ans, et les normo-entendants ont, en majorité, moins de 50 ans.

Chez les malentendants :

- 31% des sujets ont répété les deux mots qu'ils entendaient simultanément,
- 39% des sujets ont répété seulement les mots venant de l'oreille droite et 15% des sujets ont répétés ceux venant de l'oreille gauche,
- 15% des sujets n'ont répété aucun mot d'une quelconque oreille (prévalence nulle).

Dans ce cas, la majorité des sujets ont répété les mots venant de l'oreille droite, donc 39% des malentendants du protocole ont une **prévalence positive pour l'oreille droite** pour la tâche de rappel libre.

Nous pouvons donc nous dire, que la tâche en rappel libre confirmerait l'avantage de l'oreille droite (sans compter l'aptitude dichotique des normo-entendants), que nous soyons normo ou malentendants. Donc l'hémisphère gauche est dominant.

En effet, dans la littérature médicale, il a été constaté une majoration de l'avantage de l'oreille droite chez les sujets âgés par comparaison avec les sujets jeunes. Cette majoration peut être due à un déficit plus prononcé des performances de l'oreille gauche que celles de l'oreille droite. Ce déclin de l'oreille gauche a été attribué à un déficit possible du transfert interhémisphérique via le corps calleux. En effet, le corps calleux subit des modifications anatomiques avec l'âge et on a montré que l'augmentation de l'asymétrie était due à la diminution de la taille du corps calleux, mesuré à l'IRM [59].

Selon des études publiées dans une revue de médecine interne, la spécialisation hémisphérique gauche augmente notamment entre 40 et 55 ans, et les capacités de l'Hémisphère Droit-Oreille Gauche déclinent plus rapidement. C'est donc pour cela qu'il y aurait une augmentation de l'avantage de l'OD, avec l'âge, dans le traitement du langage, entre 40 et 55 ans [60].

Nous allons maintenant étudier les résultats des sujets testés en attention forcée.

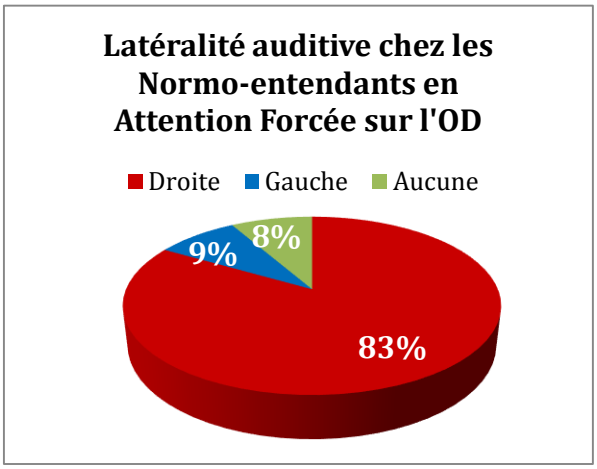


Figure 43 : Latéralité auditive chez les normo-entendants en Attention Forcée sur l'OD

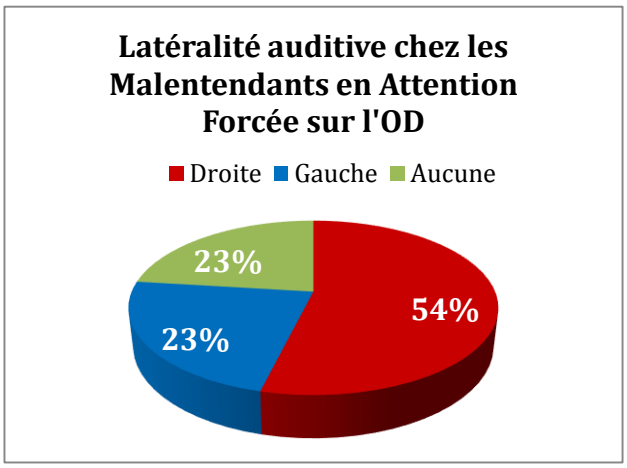


Figure 44 : Latéralité auditive chez les Malentendants en Attention Forcée sur l'OD

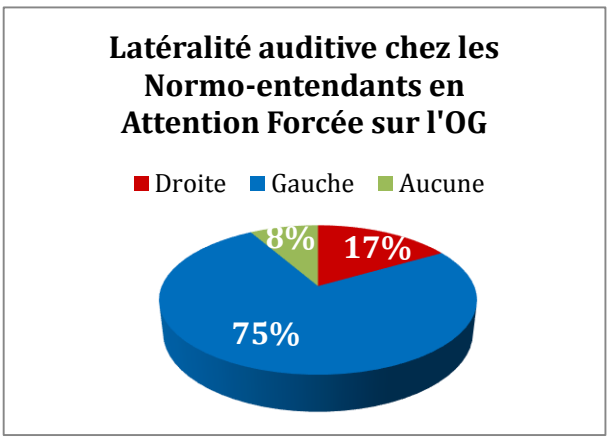


Figure 45 : Latéralité auditive chez les normo-entendants en Attention Forcée sur l'OG

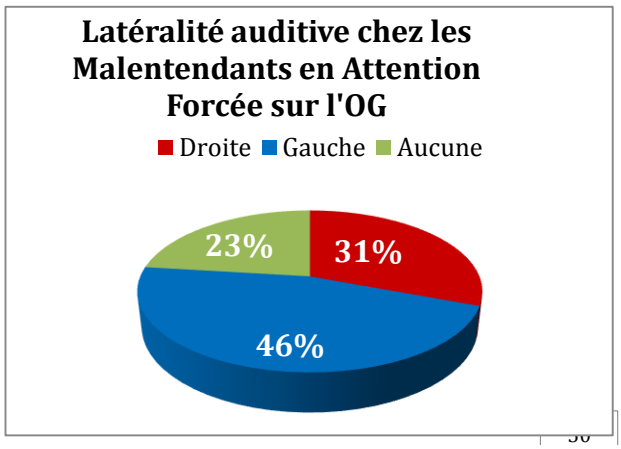


Figure 46 : Latéralité auditive chez les Malentendants en Attention Forcée sur l'OG

Dans le groupe des normo-entendants :
Nous pouvons constater, lors de situation d'attention forcée sur l'OD, que 83% des sujets arrivent à répéter seulement ce qui vient de cette oreille. 9% des sujets n'ont pas réussi et ont répété les mots venant de l'oreille gauche, et 8% des sujets n'ont répété aucun mot.

Dans le cas de l'attention forcée sur l'OG, 75% des sujets arrivent à répéter seulement ce qui vient de cette oreille. 17% des sujets n'ont pas réussi et ont répété les mots venant de l'oreille droite, et 8% des sujets n'ont répété aucun mot.

Dans le groupe de malentendants :
Nous pouvons constater, lors de l'attention forcée sur l'OD, que 54% des sujets arrivent à répéter seulement ce qui vient de cette oreille. 23% des sujets n'ont pas réussi et ont répété les mots venant de l'oreille gauche, et 23% des sujets n'ont répété aucun mot.

Dans le cas de l'attention forcée sur l'OG, 46% des sujets arrivent à répéter seulement ce qui vient de cette oreille. 31% des sujets n'ont pas réussi et ont répété les mots venant de l'oreille droite, et 23% des sujets n'ont répété aucun mot.

Nous constatons un avantage de l'OD si l'attention est dirigée vers l'OD et un avantage de l'OG si l'attention est dirigée vers l'OG.

Cependant, chez les normo-entendants, nous avons des résultats beaucoup plus significatifs que chez les malentendants. Chez les malentendants, en attention forcée, les sujets arrivent certes, en majorité, à répéter les mots comme la consigne le demande, mais c'est une petite majorité. Ce peu de différence significative pourrait nous faire penser à l'existence de troubles auditifs centraux. Sachant que la grande majorité des malentendants ont plus de 70 ans, cela pourrait être plausible.

En effet, le vieillissement peut s'accompagner d'un dysfonctionnement du traitement auditif central, qui pourrait entraîner des difficultés, chez le sujet âgé, dans les cas de conversations multiples. C'est donc pour cela que nous effectuons cette technique d'écoute dichotique afin d'étudier les interactions inter-hémisphériques et les processus attentionnels [60].

3) Le Test CV

Nous avons donc testé nos sujets normo-entendants avec l'application « iDichotic ». Voici les résultats :

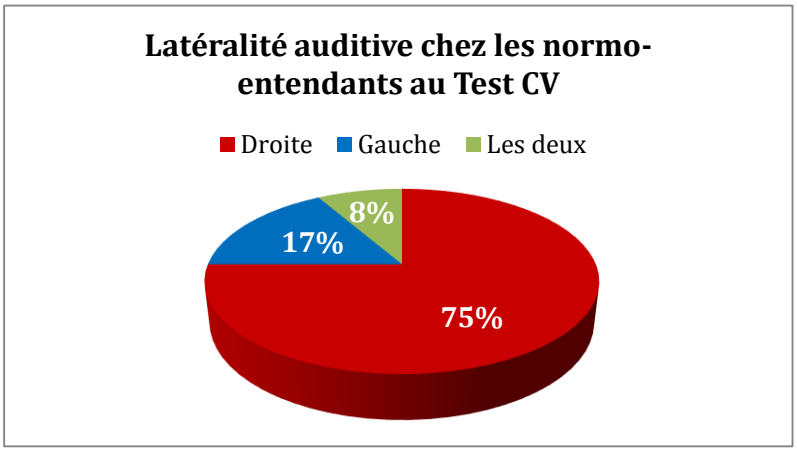


Figure 47 : Latéralité auditive chez les normo-entendants au Test CV

Nous pouvons constater une latéralité évidente et un avantage de l'oreille droite confirmé par ce test. En effet, 75% des sujets testés ont l'oreille droite directrice donc une dominance de l'hémisphère gauche. 17% des sujets ont un avantage de l'oreille gauche et 8% des sujets n'ont pas d'oreille dominante.

Cela doit être dû au fait que, les sons entendus par l'oreille gauche, mettent plus de temps à atteindre l'hémisphère gauche, spécifique au langage, car transitent par le corps calleux, alors que les sons atteignent directement l'oreille droite qui est « raccordée » à l'hémisphère gauche.

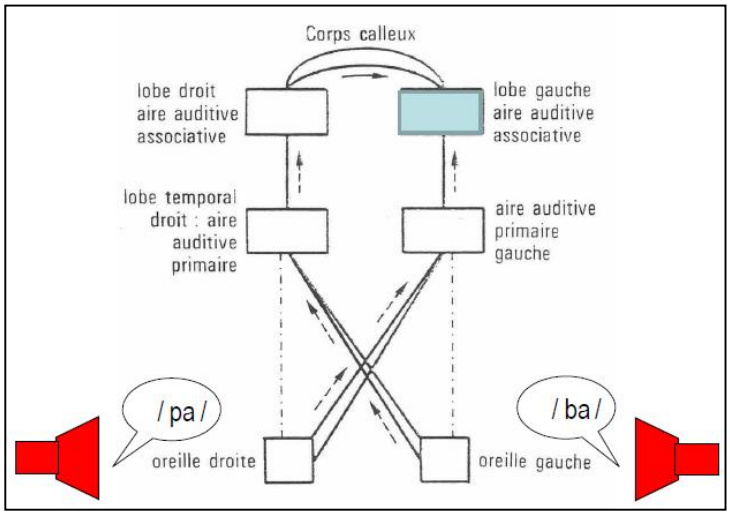


Figure 48 : Schéma du trajet du son arrivant à une oreille et cheminant vers les aires auditives [61]

A la fin du test, l'application fait un bilan des résultats. S'il y a un avantage de l'oreille droite, l'application va montrer que le langage est contrôlé par l'hémisphère gauche, figure 49. L'application va aussi donner les résultats en chiffre et en pourcentage, et indiquer la moyenne statistique des résultats du groupe d'âge du sujet (en violet).

Enfin, l'application montre une image du cerveau et indique en rouge la région où se situe la région spécifique au langage.

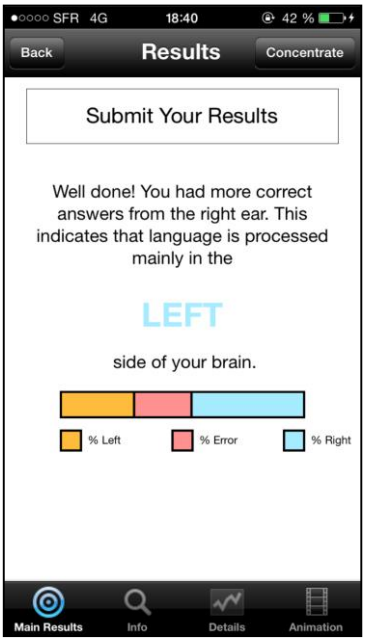


Figure 49 : Interprétation de l'application sur l'hémisphère dominant dans le langage [54]

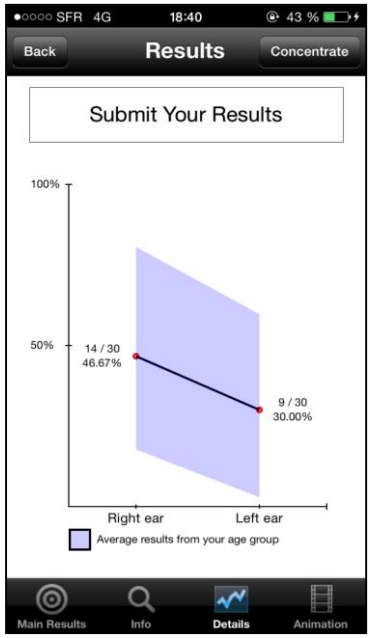


Figure 50 : Résultats au test CV du sujet et statistiques liées à l'âge du sujet en violet [54]

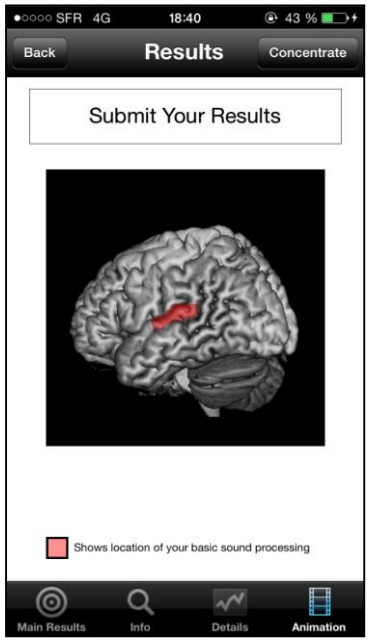


Figure 51 : Localisation (en rouge) où se trouve la région spécifique du langage dans le cerveau [54]

4) Le Phonoscan

Les confusions phonétiques effectuées au Phonoscan, par nos sujets malentendants, vont maintenant être analysées. Pour cela, il est utile de s'intéresser aux inversions phonémiques, en cherchant les points communs et les différences entre la consonne envoyée lors du test et la consonne mal perçue par le patient. L'aspect fréquentiel, temporel et énergétique de ces confusions sera étudié.

testeur					
S	T	T	T	F-	
F	T	T	T		F+
P	E	F-		M	T
T	E		F+	T	T
K		E	E	T	T
	K	T	P	F	S sujet

Figure 52 : Tableau des confusions du Phonoscan [61]

Nous avons noté les consonnes confondues en regard des listes et nous les avons reportées sur la matrice de confusion afin d'analyser les résultats.

Nous avons décidé de nous intéresser dans un premier temps à chaque confusion effectuée selon chaque oreille.

Confusions de la consonne |F| :

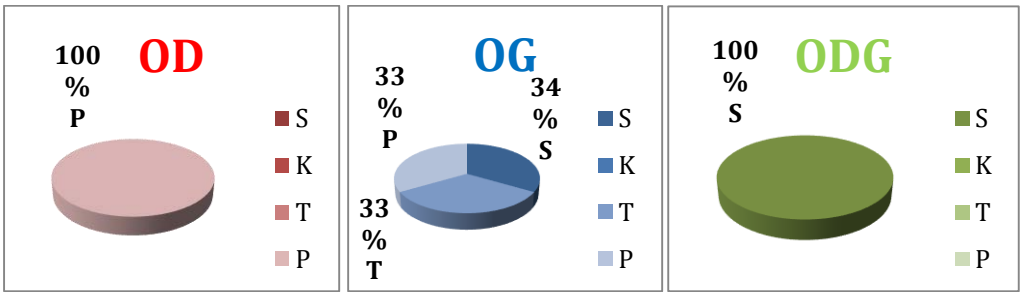


Figure 53 : Confusions de la consonne |F| sur l'OD, l'OG et les deux oreilles

Sur l'oreille droite : Dans 100% des confusions, le F a été remplacé par un P. C'est une distorsion temporelle.

Sur l'oreille gauche : Les confusions se répartissent équitablement, chacune 1/3, par un P (distorsion temporelle), un S (distorsion fréquentielle F+) et un T (distorsion temporelle).

En stéréophonie : Dans 100% des confusions, le F a été remplacé par un S (distorsion fréquentielle F+)

Confusions de la consonne |T| :

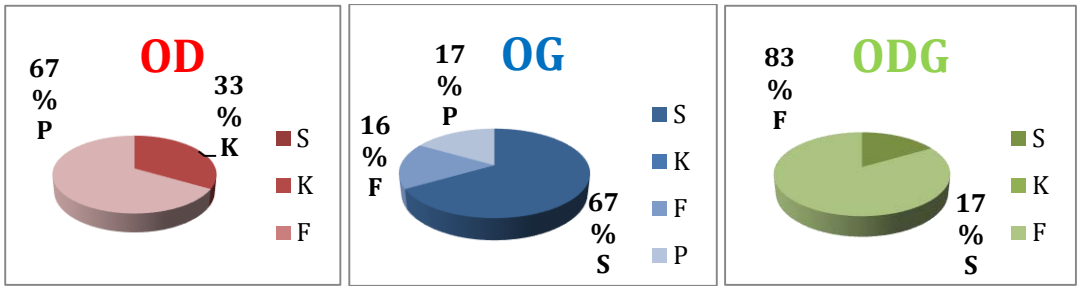


Figure 54 : Confusions de la consonne |T| sur l'OD, l'OG et les deux oreilles

Sur l'oreille droite : Dans 67% des cas, le T a été remplacé par le P (distorsion fréquentielle F+). Dans 33% des cas, le T a été remplacé par un K (distorsion énergétique).

Sur l'oreille gauche : Le T est confondu 67% du temps par un S (distorsion temporelle), 17% du temps par un P (distorsion fréquentielle F+) et 16% du temps par un F (distorsion temporelle).

En stéréophonie : Dans 83% des confusions, le patient confond le T avec le F (distorsion temporelle) et dans 17% avec le S (distorsion temporelle).

Confusions de la consonne |S| :

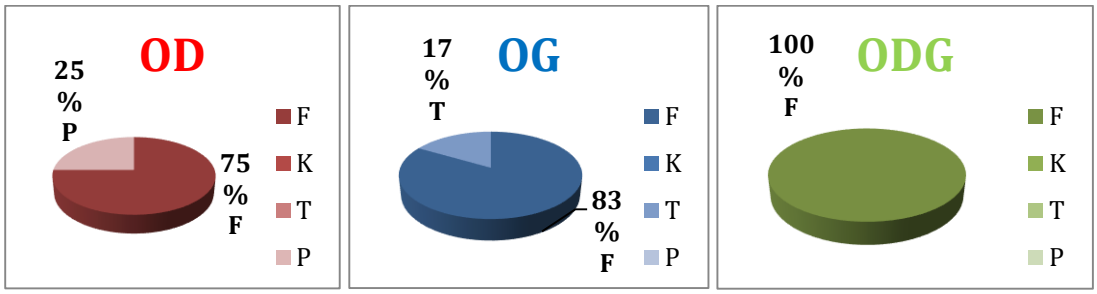


Figure 55 : Confusions de la consonne |S| sur l'OD, l'OG et les deux oreilles

Sur l'oreille droite : Cette consonne est remplacée dans 75% des cas par un F (distorsion fréquentielle F-) et dans 25% des cas par P (distorsion temporelle).

Sur l'oreille gauche : Dans 83% des cas, le S est remplacé par un F (distorsion fréquentielle F-) et dans 17% par un T (distorsion temporelle).

En stéréophonie : Dans 100% des cas le S est confondu par un F (distorsion fréquentielle F-).

Confusions de la consonne |P| :

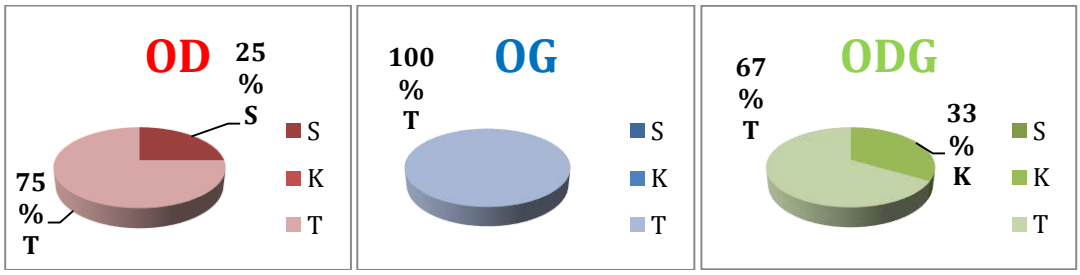


Figure 56 : Confusions de la consonne |P| sur l'OD, l'OG et les deux oreilles

Sur l'oreille droite : Dans 75% des cas, le patient confond le P avec le T (distorsion fréquentielle F-) et dans 25% des cas avec le S (distorsion temporelle).

Sur l'oreille gauche : La consonne P est confondue avec le T dans 100% des cas (distorsion fréquentielle F-).

En stéréophonie : Dans 67% des cas, la consonne P est confondue avec le T (distorsion fréquentielle F-) et il s'agit d'un K dans 33% des confusions.

Confusions de la consonne |K| :

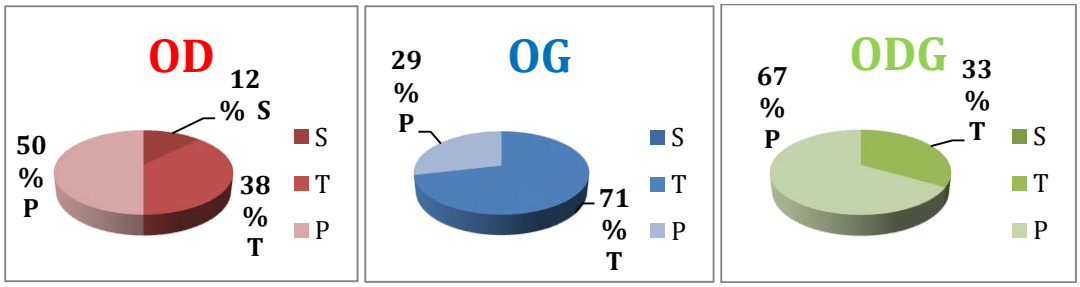


Figure 57 : Confusions de la consonne |K| sur l'OD, l'OG et les deux oreilles

Sur l'oreille droite : Le K est confondu 50% du temps par le P (distorsion énergétique), par le T dans 38% (distorsion énergétique) et par le S dans 12% des cas (distorsion temporelle).

Sur l'oreille gauche : Dans 71% des cas, le K est confondu avec le T (distorsion énergétique), dans 29% avec le P ((distorsion énergétique).

En stéréophonie : Dans 67% des confusions, la consonne K est remplacée par la consonne P (distorsion énergétique) et dans 33% elle est remplacée par le T (distorsion énergétique).

Dans un deuxième temps, l'analyse globale des scores intermédiaires, en additionnant les confusions des sujets, va nous permettre d'avoir une vision complète des distorsions à travers les appareils auditifs et c'est cela qui va nous permettre d'aboutir à de réelles conclusions :

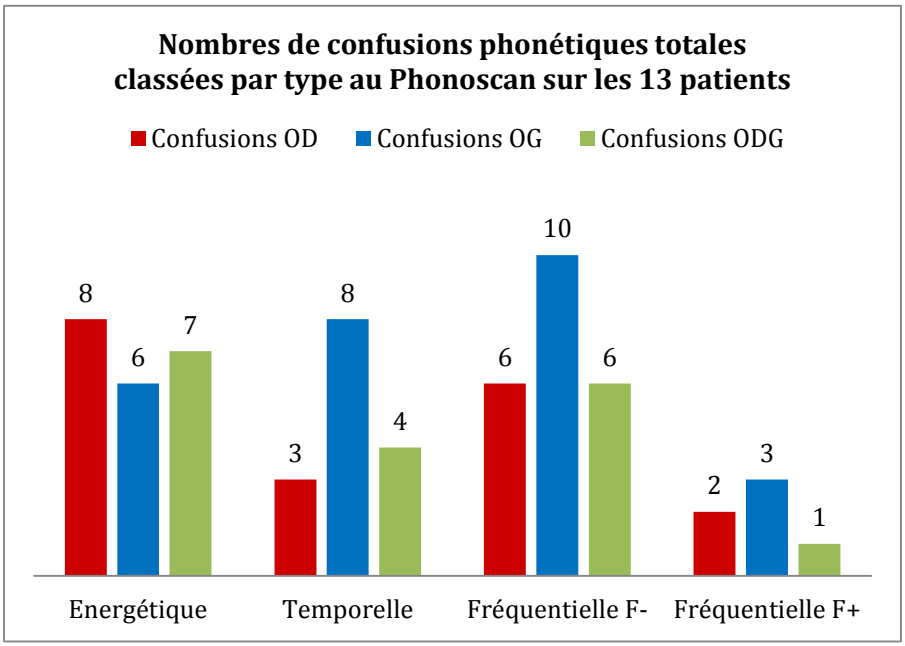


Figure 58 : Nombre de confusions phonétiques totales classées par type au Phonoscan sur les 13 patients

Nous observons clairement que l'oreille gauche appareillée effectue, globalement, plus de confusions que l'oreille droite appareillée (distorsion temporelle 3 contre 8 ; distorsion fréquentielle F- 6 contre 10 ; 2 contre 3 pour les distorsions fréquentielles F+). Nous pouvons donc nous dire que, même appareillée, l'oreille directrice reste l'oreille droite.

Les phonèmes seraient donc traités de façon prédominante par la voie oreille droite-hémisphère gauche, même appareillée. Nous savons maintenant que les phonèmes correspondent à la fenêtre d'intégration temporelle courte de l'Hémisphère Gauche, cela serait donc vrai même appareillé. Quant aux stimuli arrivant à l'oreille gauche, ils seraient donc aussi retardés par le temps nécessaire au transfert transcalleux de l'hémisphère droit à l'hémisphère gauche.

Nous pouvons aussi remarquer, pour chaque type de confusions, que les distorsions binaurales s'alignent sur les confusions de l'oreille droite. Alors que l'oreille gauche, elle, fait plus d'erreurs et n'est pas suivie dans ses erreurs par les résultats aux deux oreilles (ODG).
En effet, pour les confusions énergétiques : l'OD fait 8 erreurs, l'OG 6 et en ODG 7.
Pour les confusions temporelles : l'OD fait 3 erreurs, l'OG fait 8 erreurs et en ODG 4 erreurs.
Pour les confusions fréquentielles, l'OD fait 8 erreurs, l'OG fait 13 erreurs et en ODG 7 erreurs.

Nous pouvons donc nous dire, que l'oreille droite joue un grand rôle dans la binauralité, et dirige le langage même en stéréophonie.

Nous pouvons nous apercevoir aussi, en faisant la somme des confusions phonétiques présentes que :

- L'oreille droite effectue 8 confusions phonétiques d'ordre énergétique, 3 confusions temporelles, 8 confusions fréquentielles,
- L'oreille gauche effectue 6 confusions énergétiques, 8 confusions temporelles et 13 confusions fréquentielles,
- En stéréo, les deux oreilles effectuent 7 erreurs énergétiques, 4 erreurs temporelles et 7 erreurs fréquentielles.

Nous pouvons aussi ajouter que si le sujet fait autant ou moins d'erreur en stéréo que sur la meilleure oreille alors la fonction binaurale de l'oreille sur le plan phonétique est rétablie. Or, en analysant les résultats, nous nous rendons compte que globalement, en stéréo, il y a bien autant ou moins d'erreurs phonétiques que sur l'oreille directrice.
Si nous avions plus d'erreurs en binaural qu'en monaural, nous aurions émis l'hypothèse de l'existence de troubles centraux.

Nous allons maintenant analyser les confusions :

<u>Les confusions temporelles</u> :
Nous pouvons nous apercevoir, d'après les confusions phonétiques, que l'oreille gauche effectue plus d'erreurs temporelles que l'oreille droite. L'oreille gauche a effectué 8 confusions temporelles contre 3 pour l'oreille droite.

Nous savons que l'oreille droite fonctionne avec l'hémisphère gauche et que l'hémisphère droit fonctionne avec l'oreille gauche. Nous savons aussi que le cortex auditif gauche est censé conduire l'information plus rapidement dans l'analyse des sons du langage grâce à des variations temporelles rapides (vu en 1ère partie). Or, nous savons que les voyelles caractérisent l'hémisphère droit car elles sont plus faciles à percevoir du fait de leur durée plus longue (100 ms), alors que les indices caractérisant les consonnes sont plus courts (30 ms) et peu énergétiques et appartiennent à l'hémisphère gauche.

Pour analyser les sons de la parole, nous avons besoin de reconnaître des variations très brèves dans le temps, la capacité de l'oreille à discriminer temporellement des stimuli sonores très courts et très proches dans le temps joue un rôle dans la compréhension du langage. Si mes sujets présentent une différence de discrimination temporelle entre l'oreille droite et l'oreille gauche, cela constitue un indice supplémentaire de latéralité auditive puisque une oreille serait plus rapide que l'autre.

Les confusions énergétiques :
Dans la littérature médicale, il est écrit que l'hémisphère droit (oreille gauche) serait dominant dans la reconnaissance des voyelles [39]. Or nous savons que les voyelles sont fortement énergétiques. Dans le phonoscan, autour des consonnes se trouvent des voyelles, de fréquences plus graves que les consonnes. Les voyelles peuvent, peut-être, masquer les consonnes, car nous savons que les sons forts masquent les sons faibles et qu'un son masque facilement celui dont la fréquence est supérieure. Cela expliquerait les possibles confusions énergétiques faites [16].
En effet, nous pouvons constater, que globalement les sujets ont fait moins de fautes énergétiques sur l'oreille gauche (6) que sur l'oreille droite (8).

Les distorsions fréquentielles :
En analysant les distorsions fréquentielles, nous constatons que les sujets font plus d'erreurs sur les fréquences trop aiguës que sur les fréquences pas assez aiguës. Or, nous avons choisi des patients ayant une surdité endocochléaire, tous ont une surdité prédominante sur les aigus. Il est donc possiblement normal que, même appareillés, nos sujets fassent plus d'erreurs sur les fréquences aigues que les fréquences mieux conservées [41].

5) Synthèse des résultats obtenus

- **Au Questionnaire d'Edinburgh** :

  - Lien entre manualité et le sexe des sujets : les femmes ont une prévalence manuelle plus prononcée que les hommes. En effet, les femmes sont « exclusivement droitières » pour beaucoup plus d'actions que les hommes, pour qui il n'y a pas de différence significative dans leur manualité. Le taux de testostérone influence-t-il les résultats ?,

  - L'effet de l'âge sur la latéralisation manuelle : plus la personne est âgée et plus sa latéralité manuelle est certaine. Y-a-t-il une spécification des hémisphères cérébraux avec l'âge ?,

  - Le type d'audition en fonction de la latéralité manuelle : les normo-entendants ont une latéralité manuelle moins prononcée que les malentendants. L'appareillage développerait-il les hémisphères cérébraux sur des actions spécifiques ?

- **Aux Tests Dichotiques** :

  - En rappel libre : La majorité des normo-entendants ont répétés les deux mots entendus simultanément. Ils ont donc une aptitude dichotique. Les malentendants, eux, sont une majorité à avoir répétés les mots venant de l'oreille droite seulement, ils ont une prévalence positive sur l'oreille droite,

  - En attention forcée sur l'OD : la grande majorité des normo-entendants arrivent à respecter la consigne donnée, alors que les malentendants sont une plus petite majorité,

  - En attention forcée sur l'OG : la grande majorité des normo-entendants respectent la consigne donnée alors que les malentendants sont une majorité, peu significative.
    Existe-t-il des troubles auditifs centraux chez les malentendants ?

- **Au Test CV :**

  - Il existe une latéralité auditive droite évidente chez les normo-entendants testés donc une dominance de l'hémisphère gauche pour le langage.

- **Au Phonoscan :**

  - L'oreille gauche appareillée effectue plus de confusions que l'oreille droite appareillée. L'oreille directrice reste l'oreille droite chez les sujets appareillés,

  - Pour chaque type de confusions, les distorsions binaurales s'alignent sur les confusions de l'oreille droite. L'oreille droite dirige la partie liée au langage même en stéréophonie,

- En stéréophonie, les sujets font autant ou moins d'erreurs phonétiques que sur leur oreille directrice. La fonction binaurale est donc rétablie,

- Les confusions temporelles sont prédominantes sur l'oreille gauche. La capacité de l'oreille droite, pour discriminer des stimuli sonores très courts et très proches dans le temps, est donc effective,

- Les confusions énergétiques sont moins présentes sur l'oreille gauche que sur l'oreille droite. L'hémisphère droit est dominant dans la reconnaissance des voyelles, qui sont fortement énergétiques.

- Les confusions fréquentielles « trop aiguës » dominent sur les confusions fréquentielles « pas assez aiguës ». Les sujets subsistent dans leurs confusions sur les fréquences aiguës même appareillés.

6) Une Aide dans l'Appareillage ?

Le but du phonoscan était de mettre en évidence une éventuelle corrélation entre la perte auditive et les confusions phonétiques effectuées par nos patients appareillés.

Cependant, il faut noter que le faible nombre de patients ayant subi ces tests ne permet pas d'extrapoler ces résultats à une population plus importante.
Aussi, la longueur de la passation des tests peut provoquer une fatigue des sujets. Il est fort probable que les résultats soient moins fiables en fin de tests qu'au début.

Concernant l'appareillage, nous avons constaté que le fait d'être appareillé ne change pas l'oreille directrice qui était présente oreilles nues.

Ensuite, il est important de mettre l'accent sur ce que nous avons dit précédemment concernant les différents indices acoustiques. Les confusions phonétiques sont d'une grande importance en audioprothèse, elles constituent souvent les seuls indicateurs des troubles qualitatifs de la perception de la parole et peuvent servir de marqueurs des bénéfices apportés par les appareils auditifs.

Les confusions phonétiques représentent la substitution d'un phonème par un autre. En recherchant les éléments communs et ceux qui différent entre les deux phonèmes, nous pouvons déterminer la nature de l'erreur.

Cependant, certains facteurs peuvent modifier les résultats :

- L'environnement et le contexte des phonèmes inexacts et substitués,
- La structure phonologique du stimulus de test,
- La longueur des syllabes des unités du test. Plus le mot est long et contient de syllabes, plus la suppléance mentale peut influencer la réponse,
- L'articulation de l'interlocuteur (sa vitesse),
- Le sexe et l'âge du sujet,
- Le débit de parole,
- L'attention sélective du sujet et la mémoire à court terme, peuvent influencer, en cas de pathologie, la discrimination phonétique.

Chez le sujet droitier, l'oreille gauche est dominante pour les indices phonétiques de durée longue et fortement énergétiques, les voyelles. Alors que les indices phonétiques brefs et faiblement énergétiques tels que les consonnes sont décodés préférentiellement par l'oreille droite.

La dominance de l'oreille droite serait donc forte pour les occlusives, faible pour les fricatives et nulle pour les voyelles (fortement énergétique) [62].

Pour résumer cela, voici un tableau récapitulatif des indices acoustiques des voyelles et des consonnes *(Tableau n°2)*.

Fréquences / Energie	Grave - Médium	Médium - Aigu
Faible		Consonnes Occlusive - Fricative
Forte	Voyelles	

Modulation temporelle	lente	rapide
Hémisphère dominant	droit	gauche
Oreille dominante	gauche	droite

Tableau n°2 : Récapitulatif des indices acoustiques des voyelles et des consonnes en fonction de leur fréquence, leur énergie, leur modulation temporelle, leur hémisphère dominant et leur oreille dominante.

Il semble maintenant important de rechercher si une méthode de réglage prothétique peut être proposée en fonction de la nature des erreurs observées.

Ce qui va suivre ne fait l'objet que d'hypothèses et de suggestions. Il n'y a pas eu de protocole d'étude à proprement dit sur l'adaptation prothétique. Ceci pourrait faire l'objet d'une autre étude dans le cadre d'un mémoire.

Comment régler des distorsions temporelles ?
Il serait bien d'essayer de jouer sur la compression : le temps d'attaque et le temps de retour ; il faudrait faire en sorte à qu'il n'y ait pas de compression en route (rester en linéaire) à l'explosion du /p/ et du /t/ par exemple : il faudrait essayer d'allonger le temps d'attaque.
Nous pourrions aussi remplacer le Sound Smoothing (réducteur de bruits impulsionnels de chez Siemens), car le temps d'attaque des consonnes est très rapide, par un AGCO (ajustement et compression du gain en sortie).

Comment régler les distorsions énergétiques sur le logiciel ?
Il serait intéressant d'essayer de jouer sur le TK et l'AGCI (mettre une compression plus ou moins forte) et vérifier les bénéfices en vocal en re-testant spécifiquement les /k/, /t/ et /p/.

Comment régler les distorsions fréquentielles (trop aigu/trop grave) ?
Il faudrait essayer de régler le gain sur les fréquences grave ou aigu et vérifier que l'une ne déborde pas sur l'autre.

Globalement, pour les consonnes, l'analyse phonétique des confusions énergétiques du Phonoscan peut permettre d'identifier des zones de sous-amplification qui sont souvent corrigibles par une simple augmentation du gain. On comprend alors l'intérêt d'amplifier les sons faibles : on récupère les indices phonétiques pour une meilleure intelligibilité sans pour autant amplifier les autres niveaux d'entrée.

Selon le précis d'Audioprothèse, les plosives (occlusives /p/, /t/, /k/) sont mieux respectées par les appareillages d'amplification linéaire. De façon générale, les appareils auditifs transforment les fricatives (/f/, /s/) en plosives par manque d'amplification correcte des bruits de friction aigue.

Le bruit d'explosion des plosives semble mal transmis par l'appareil auditif. Dans le cas où l'appareil auditif fonctionne de façon linéaire, la transition du formant F2 est bien transmise. Par contre si la montée rapide du niveau de signal de la voyelle adjacente déclenche les systèmes de compression ou de limitation de niveau de sortie, alors il est possible que cet indice soit altéré et que la plosive ne soit pas discriminée perceptivement.

Dans le cas de forte compression, le signal est altéré dans sa dimension temporelle et les appareils auditifs génèrent des confusions dont la plus fréquente est le /s/ confondu avec le /p/. (Ce n'est pas le cas dans nos tests)

Les confusions comme le /s/ confondu en /t/ illustrent une erreur de catégorisation temporelle [62].

Le /f/ est majoritairement confondu avec le /s/. En effet, Le /f/ se caractérise par une faible intensité. Il semblerait que la zone 4000-8000 Hz soit surreprésentée. Il est donc important de limiter l'amplification sur cette plage fréquentielle dans le logiciel de réglage.

La dominance de l'oreille droite serait en rapport avec la complexité de l'encodage au niveau cortical. Cette complexité de l'encodage serait liée à la complication temporelle de plusieurs indices acoustiques nécessaires à la catégorisation du phonème [63].

Nous avons manqué de temps pour mettre en pratique les réglages possibles cités ci-dessus, mais il serait intéressant de voir les résultats.

L'oreille directrice a été très peu développée dans la littérature liée à l'audioprothèse, cependant, le fabricant GN Hearing (Beltone) a pu nous donner quelques renseignements concernant leurs connaissances sur l'oreille directrice en audioprothèse.
L'audioprothésiste J.B Lemasson est en lien avec l'Institut de Recherches de Chicago qui mène en ce moment une étude portant sur l'oreille directrice. Cependant, à cause du secret professionnel, il n'a pu nous en dire plus sur le sujet. Il nous a transmis de la documentation sur la directivité asymétrique utilisée chez Beltone et ReSound, qui nécessite une différenciation oreille directrice/oreille complémentaire.

Dans leur logiciel, il est possible d'ajouter le seuil à 50% d'intelligibilité de l'audiométrie vocale du patient ou mettre le score maximal de chaque oreille. (Annexe7)

Gn Hearing utilise des priorités pour trouver l'oreille « focus » :

- S'il y a une oreille qui a un meilleur score que l'autre pour un même rapport signal/bruit, cela sera l'oreille directrice (focus),
- Par contre si les deux oreilles ont des résultats similaires en vocale, alors on regardera les audiogrammes pour voir si une oreille a des meilleurs seuils que l'autre (la meilleure oreille deviendra alors « focus »),
- Si par contre les deux oreilles ont des audiogrammes similaires, alors on utilisera le principe du « Right Ear Advantage (REA) » qui estime que l'oreille droite traite prioritairement la parole, et l'oreille « focus » sera l'oreille droite.
  Comme dans la plupart des cas les audioprothésistes ne rentrent pas les résultats de l'audiométrie vocale dans le logiciel, l'oreille droite est souvent « focus » par défaut sauf si l'audiogramme de l'oreille gauche est meilleur que celui de l'oreille droite.

Mis à part les paramètres de l'audiométrie vocale, la directionnalité des microphones des appareils de Gn Hearing est influencée par l'oreille directrice :

- Dans le cas où un patient se trouve dans la situation suivante : un discours se trouvant du côté de l'oreille droite et le bruit se trouvant à gauche du sujet : la directivité « Crosslink Directionality » se met en route et peut optimiser l'intelligibilité de la parole en mettant l'aide auditive gauche dans le mode Directionnel, cela va bloquer le son sur la gauche. L'appareil auditif droit est mis dans le mode « Omnidirectionnel » afin de veiller à ce que la parole ne soit pas atténuée,
- Lorsque la source de parole se trouve devant le sujet et le bruit se trouve tout autour, l'OD se met en « Directionnel » et l'oreille gauche en « Omnidirectionnel »,
- Enfin, lorsque la parole se trouve à l'avant et les bruits se trouvent à l'arrière, les deux oreilles se mettent en « directionnel » [64].
  Ceci est représenté sur la figure 59 ci-dessous.

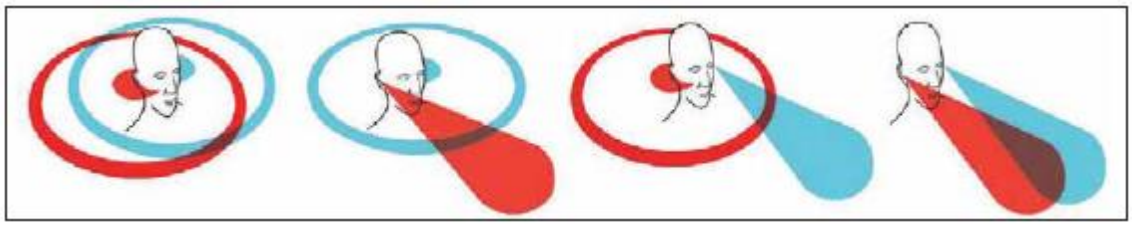


Figure 59 : Quatre réponses possibles de directionnalité microphonique [64]

CONCLUSION

Il est évident que la notion d'oreille directrice existe bel et bien, ce n'est pas juste une vue de l'esprit.

A l'issue de nos résultats, il semble que la dominance universelle de l'oreille droite pour l'être humain soit une idée un peu simpliste. Bien que nous n'ayons pas pu travailler sur un échantillon important, les propos de Tomatis, s'ils étaient exacts, auraient dû être vérifiés dans la majorité des cas au moins. Or, il semble que la latéralité auditive pour le langage ne laisse pas l'oreille droite, seule, à piloter l'audition, même si elle est majoritaire.

« Si l'oreille directrice est déficiente, ceci peut avoir des conséquences importantes pour le développement de la parole et du langage de l'individu » déclare la responsable d'une étude, Yvonne Sinninger de l'Université de Californie à Los Angeles [65].

La latéralité auditive est liée à la spécialisation hémisphérique, ce qui peut être mis en évidence grâce aux nouvelles technologies d'imagerie cérébrale à l'IRM permettant de mesurer l'arrivée du sang dans des zones bien déterminées du cerveau lors de la réalisation de tâches particulières.

De plus, il est incontestable que la latéralité manuelle est étroitement liée à la latéralité auditive. En effet, 19 sujets sur 25 sont droitiers et ont leur oreille directrice à droite. Cela grâce aux interactions des hémisphères cérébraux.

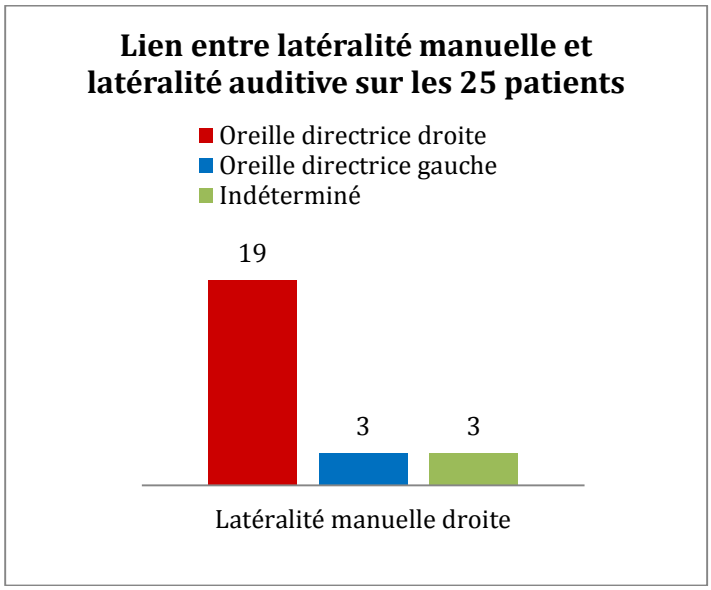


Figure 60 : Lien entre la latéralité manuelle et la latéralité auditive chez les 25 patients

Aussi, l'appareillage stéréophonique est une nécessité fonctionnelle. Ne pas appareiller les deux oreilles pour des raisons d'ordre économique ou esthétique est un non-sens pour la réhabilitation de l'audition. Ceci a été souvent souligné en ce qui concerne la localisation des sources sonores ou l'intelligibilité de la parole dans le bruit. Il convient aujourd'hui de rajouter à ces raisons le fait que la perception

phonétique catégorielle nécessite l'apport qualitatif des informations venant des deux oreilles. Celles-ci présentent en effet des caractéristiques fonctionnelles différentes et seule la fusion de leurs informations permet à la fonction de perception de la parole de se réaliser pleinement [41].

Autant l'appareillage bilatéral est essentiel dans notre métier et permet de réhabiliter la fonction auditive. Autant quelques exceptions pourraient entrainer la mise en place d'un seul appareil :

- Si le patient ne veut/peut pas payer deux appareils dans la même année, nous allons alors appareiller en premier lieu son oreille directrice,

- Si nous avons constaté au Phonoscan que l'oreille non dominante obtient un grand nombre de distorsions qui « court-circuitent » l'intelligibilité en stéréo,

- Dans le cas de perte profonde : il serait peut-être souhaitable de passer en BiCros, s'il n'y a plus d'activité suffisante pour intelligibilité de l'oreille non dominante et pas de gain en intelligibilité avec les tests dichotiques.

Une chose est certaine, lorsque nos sujets connaissent l'existence de leur oreille directrice, il faut que leur entourage se mette du côté de l'oreille dominante lors de conversations à plusieurs ou dans le bruit.

Nous pourrions nous demander, si dans le cas d'une perte auditive asymétrique, avec une baisse prédominante sur l'oreille directrice, si les hémisphères cérébraux arrivent à combler le manque d'information venant de l'oreille dominante et grâce à la plasticité du cerveau se réhabiliter et compenser la perte.

Enfin, pour obtenir des résultats complémentaires, il serait aussi intéressant de comparer un nombre équivalent de droitier et de gauchers ainsi que la différence de perception auditive de musiciens et de non musiciens avec tests musicaux pour analyser la gestion hémisphérique musicale. Il serait également approprié de tester les zones hémisphériques liées à la mémoire ou aux émotions.

Bibliographie

[1] Site internet : http://appareilauditifmontpellier.com : Site de l'Alliance Audition, [Consulté le : 05/2015]

[2] Montaut B., Cours d'Anatomie générale de l'oreille humaine, D.E. d'Audioprothésiste 1ère année, Nancy, 2013 – polycopié cours 1ère année – Nancy 2012.

[3] Campo P., Cours de Physiologie cochléaire, L'Audition : l'amplificateur cochléaire, D.E d'Audioprothésiste 3e année, Faculté de Pharmacie de Nancy, 2015

[4] Dulguerov P., Remacle M., Précis d'Audiophonologie et de déglutition, Tome 2, 2009, p104

[5] Dubois-Rande J-L., L'audition, Biophysique, Polycopié de Médecine de Créteil PCEM1, Université Paris 12 Henri Mondor Créteil, 2009

[6] Site internet : http://fr.m.wiktionary.org : Site Wiktionnaire (dictionnaire sur internet), [Consulté le 05/2015]

[7] Site internet : http://mon-audition.info : Site d'information lié à l'audition, [Consulté le 05/2015]

[8] Dulguerov P., Remacle M., Section basale d'une cochlée humaine, Précis d'Audiophonologie et de déglutition, Tome 1, 2005, p. 212

[9] Site internet : http://rio.orgerus.org : Site de l'Atelier du son, [Consulté le 06/2015]

[10] Korber C., Mercier R., Compréhension dans le bruit : Spatial Sound 2.0 & Speech, mémoire de fin d'étude au D.E. d'Audioprothésiste, Faculté de pharmacie de Nancy, 2011, p13

[11] Avan P., Mécanismes neurophysiologiques de la binauralité, Sciences & techniques, GEORRIC, Connaissances Surdités n°15, 2006

[12] Gabriel C., Psychoacoustique, Support Pédagogique, chapitre 8, p. 40

[13] Girault A., Tp Audioprothèse Spatialisation, D.E d'Audioprothésiste 3e année, 2013

[14] Collet L., Binauralité : Implant cochléaire et prothèse controlatérale : quelques bases physiologiques, UMR CNRS, Georric, Paris, 2002

[15] Site internet : http://www.cochlea.eu/son/psychoacoustique/localisation : Site du Voyage au centre de l'audition, [Consulté le 09/2015]

[16] Ducourneau J, Cours de Psychoacoustique, D.E d'Audioprothésiste 3e année, Nancy, 2014

[17] Rosso V., Évaluation des fonctions auditives centrales, de l'attention et de la mémoire de travail dans la compréhension de la parole dans le bruit chez des patients presbyacousiques appareillés, Mémoire de fin d'étude au diplôme d'Orthophoniste, Poitiers, 2013

[18] Site internet : http://www.med.univ-montp1.fr : Site de l'Université de Montpellier de Médecine, [Consulté le 07/2015]

[19] Renard C., Azéma B., Données fréquentielles et temporelles de la perception de la parole, Précis d'audioprothèse, p. 271-298

[20] Pradel S., L'équilibrage isosonique, Mémoire de fin d'étude au D.E. d'Audioprothésiste, Faculté de Claude Bernard, Lyon, 2005

[21] Purves D., Complex brain functions, Neuroscience, 3e édition, p.659

[22] Roulois P., Les bases de la neuropédagogie et neuroéducation, Article La chimie du cerveau, 2010

[23] Fagarded J., Droitiers/Gauchers : Des asymétries dans tous les sens, chapitre 6, Collection neurosciences cognitives, Marseille, 2004, p. 51

[24] Site internet : http://resodys.org : Site de La latéralisation cérébrale et ses facteurs de développement, [Consulté le 07/2015]

[25] Geschwind N., Levitsky W., Humain Brain : Left-Right Asymmetries in Temporal Speech Region – Science 12 July 1968, Vol. 161 n° 3837, p.186

[26] Schiller F., Paul Broca explorateur du cerveau, 1990, p. 427

[27] Broca P., Sur le siège de la faculté du langage articulé, Aphémie traumatique, Lésions de la troisième circonvolution frontale gauche, Bulletin de la Société d'Anthropologie de Paris 6, 1865, p. 377-395

[28] Leguebe A., Les méthodes statistiques de Paul Broca, Volume 4, N°4, p. 23-30

[29] Auriol B., Origine de la latéralité, Chapitre 3, p. 1970-1990

[30] Site internet : https://fr.m.wikipedia.org : Site Wikipedia, [Consulté le 12/2014]

[31] Site internet : http://lecerveau.mcgill.ca : Site Le cerveau à tous les niveaux, [Consulté le 12/2014]

[32] Tomatis A., L'oreille et la voix, Robert Laffont, 2006, p. 23

[33] Site internet : www.therapie-par-le-son.com : Site de la thérapie par le son, [Consulté le 11/2014]

[34] Wada J., Site internet : http://med.ubc.ca : Site de l'université de la Colombie-Britannique, [Consulté le 12/2014]

[35] Kimura D., Simon Fraser News, 4 Novembre 1999, Vol.16, N°5

[36] Kimura, « Functionnal Asymmetry of the Brain in Dichotic Listening », Cortex 3, 1967, p. 163-168

[37) Searleman A., Interrelationship among subjetc variables believed to predict cerebral organization, Brain and Language, 1979, p. 267-276

[38] Springer S., Le modèle d'écoute dichotique de Kimura sur des sujets normaux, Cerveau Gauche, Cerveau Droit, A La Lumière Des Neurosciences, 5ème Édition, 1980

[39] Ramier A-M., Les apports de la méthode d'écoute dichotique à l'étude de l'asymétrie fonctionnelle hémisphérique, Langage, 7e année, n°25, 1972, p. 6-28

[40] Kimura D., Cerveau Gauche, Cerveau Droit, Functionnel Asymmetry of the Brain in Dichotic Listening, 1967, p. 114

[41] Virole B., Phonétique acoustique appliquée en audioprothèse, thèses et travaux de Benoît Virole, 1999

[42] Auriol B., La clef des sons, Toulouse : Eres, 1991, p.136

[43] Springer S., Deutsch G., Cerveau gauche cerveau droit, 2000, p. 336-337

[44] Grapin P., Perpere C., Symétrie et latéralisation du nourrisson, Main droite et main gauche, 1968, p. 83-103.

[45] Vanhoucke E., Cousin E., Baciu M., Effet du vieillissement sur la spécialisation hémisphérique du langage, Geriatr Psychol Neuropsychiatr Vieil, volume 11, n°1, Mars 2013, p. 57-64

[46] Lazard DS., Collette JL., Sterkers O., et Perrot X., Conséquences et implications de l'asymétrie périphérique et hémisphérique du système auditif dans le traitement de la parole, Les Cahiers de l'Audition, n°6, 2010, p. 32-35

[47] Veuillet E., Thai-Van H., Collet L., Modifications d'activation du cortex auditif et conséquences perceptives, Monographie sur la surdité unilatérale, 2005

[48] Site internet : http://leblogaudiologie.hautetfort.com : Le Blog d'Audiologie, [Consulté le 09/2015]

[49] Parietti C., Cours sur l'Audiométrie Tonale Liminaire, D.E. d'Audioprothésiste 1ere année, 2013

[50] Bizaguet E., Dauman R., Del Rio M., Le Her F., Guide des Bonnes Pratiques de l'Audiométrie Vocale, Société Française d'Audiologie, 2013

[51] Philibert B., Veuillet E., Collet L., CNRS UMR 5020 « Neurosciences et Systèmes Sensoriels », Université Claude Bernard, 2012

[52] Site internet : http://fmri.uib.no : Site du groupe de recherche de l'Université de Bergen, [Consulté le 11/2014]

[53] Chow S., « Les chercheurs développent la version personnalisée d'iDichotic pour des patients présentant la schizophrénie », News medical, 2013

[54] Application Smartphone : the iDichotic App, Bergen fMRI Group

[55] Hugdahl K., Auditory laterality: From perception to cognition, Kenneth Hugdahl Department Biological and Medical Psychology, University of Bergen , Norway and Division of Psychiatry,

[56] Site internet : http://benoitvirole.com : Site personnel de Benoit Virole, [Consulté le 11/2014]

[57] Geschwind N., Behan P.O (1982). Left-handedness: association with immune disease, migraine and developmental learning disorder. USA, p. 5097-5100

[58] Bryden M.P., Hécaen H., De Agostini M. (1983). Patterns of cerebral organization. Brain Lang, p. 249-262

[59] Gootjes L, Scheltens P, Van Strien JW, Bouma A. Age effects in identifying and localizing dichotic stimuli : a corpus callosum deficit ? Neuropsychologia 2004, p. 826-837

[60] Hommet C., Mondon K., Berrut G., Processus auditifs centraux et vieillissement: intéret du test d'écoute dichotique, La revue de médecine interne, Volume 32, n°S, 2011, p. 46-47

[61] Site internet : www.college-nat-audio.fr : Site du Collège National D'Audioprothèse, [Consulté le 11/2014]

[62] Précis d'Audioprothèse, L'appareillage de l'adulte, Le Bilan D'orientation Prothétique, Collège National d'Audioprothèse, p. 244

[63] Cutting J.E., Two left-hemisphere mechanisms in speech perception, Perception & Psychophysics, 1974, p. 601-612

[64] Site internet : http://resound.com : Site internet du fabricant GN Resound, [Consulté le 07/2015]

[65] Sinninger Y., Parle à mon oreille droite, chante à mon oreille gauche, Université de Californie à Los Angeles, 2004

Annexes

Annexe 1 : Exemple d'audiogramme tonal réalisé sur l'un de nos sujets avec son seuil d'inconfort……72

Annexe 2 : Exemple de réponses d'un sujet au questionnaire d'Edinburgh……73

Annexe 3 : Imprimé écran du paramétrage vocal pour les tests dichotiques……74

Annexe 4 : Exemple de sujet ayant répondu au test dichotique……75

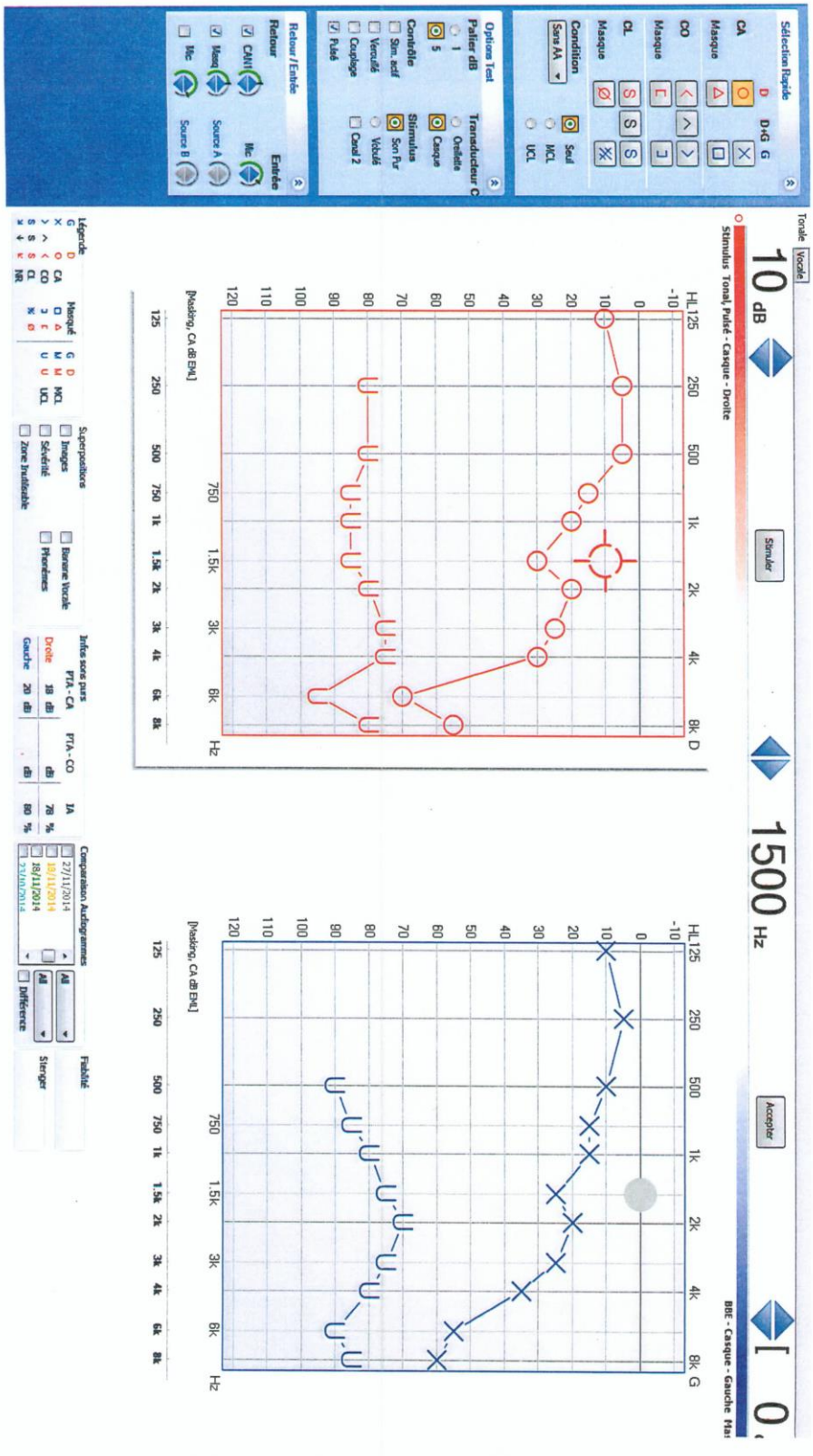
Annexe 5 : Imprimé écran du paramétrage vocal pour le phonoscan. ……76

Annexe 6 : Exemple de sujet ayant répondu au phonoscan……77

Annexe 7 : Paramétrage du logiciel de Beltone……78

Signature de Monsieur Cohen, Maître de mémoire :

Annexe 1


Annexe n° 1
Sélection Rapide
Options Test
Retour / Entrée
Simuler
Accepter
10 dB
1500 Hz
Stimulus Tonal Pulsé - Casque - Droite
BBE - Casque - Gauche
Légende
Superpositions
Infos score purs
Comparaison Audiogrammes
Fiabilité
Sterger

Annexe 2

Annexe n°2

D. Questionnaire de lateralite manuelle Edinburgh

(Expériences 1, 2, 3, 4 et 11)

Date : Nom du sujet : Mr B.

TEST DE LATERALITE

(Edinburgh Handedness Inventory)

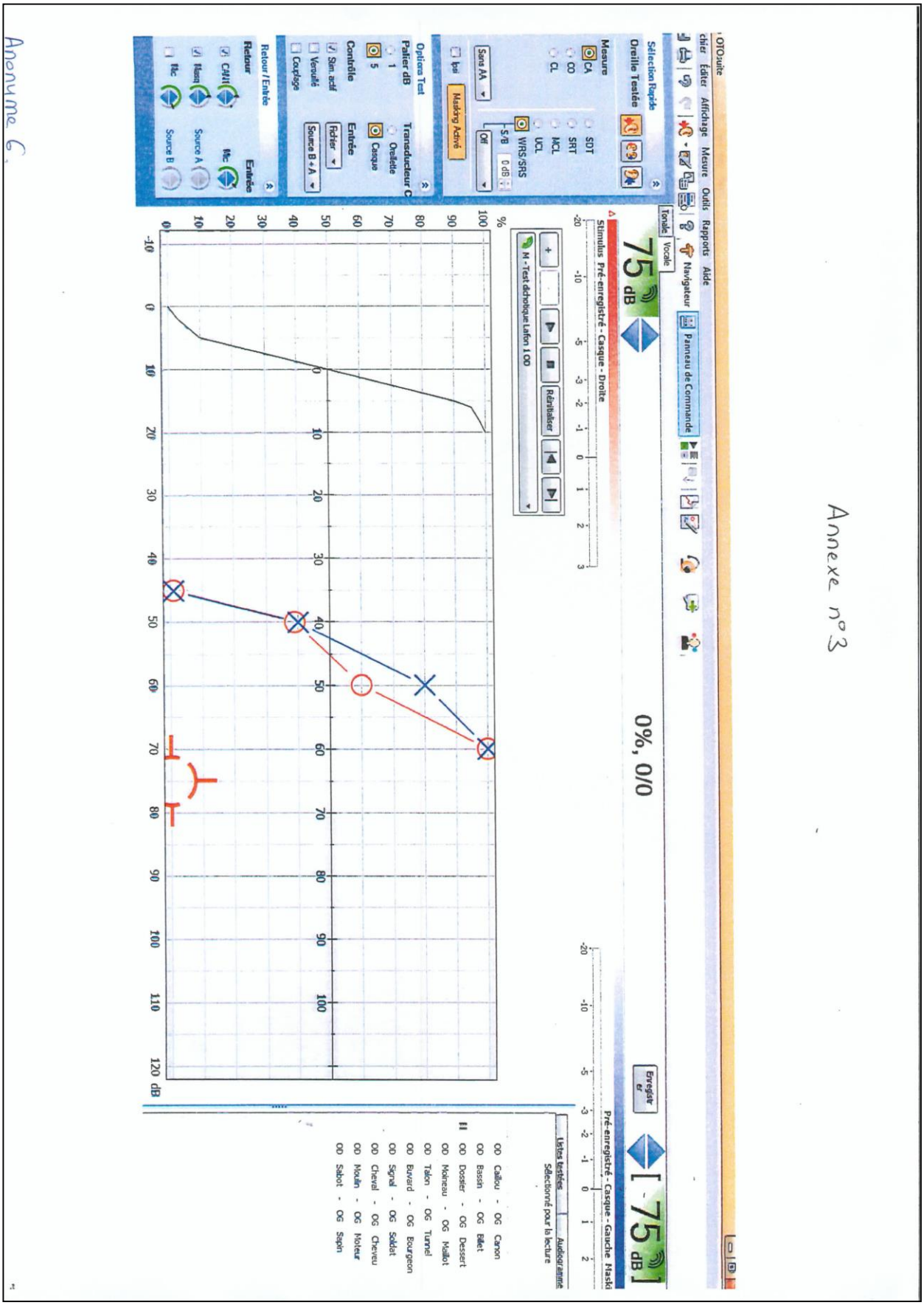
Prière d'indiquer votre préférence manuelle pour chacune des activités ci-dessous en inscrivant un signe plus dans la colonne appropriée. Si la préférence est si forte que vous n'utilisez l'autre main que si vous y êtes absolument forcé, inscrivez ++. Si vous utilisez l'une ou l'autre main indifféremment, inscrivez un + dans chaque colonne. Répondez s'il vous plaît à chaque question.

		Gauche	Droite
1	Ecrire		D++
2	Dessiner		D++
3	Coudre (main tenant l'aiguille)		D++
4	Tenir une paire de ciseaux		D++
5	Se brosser les dents		D+
6	Tenir un couteau		D++
7	Tenir un balai (main supérieure)		D+
8	Tenir une cuillère		D++
9	Allumer une allumette (main tenant l'allumette)		D++
10	Ouvrir une boîte (main tenant le couvercle)		D++

Prière de laisser en blanc

L . Q : Décile :

Annexe 3


Annexe n°3
Anonyme 6.
OTOSuite
Fichier Editer Affichage Mesure Outils Rapports Aide
Navigateur
Panneau de Commande
Sélection Rapide
Oreille Testée
Mesure
CA
CO
CL
SDT
SRT
MCL
UCL
WRS/SRS
S/B
0 dB
Sans AA
Masking Activé
Option Test
Palier dB
Transducteur C
Oreillette
Casque
Contrôle
Stim. actif
Verrouillé
Couplage
Entrée
Source B +A
Retour / Entrée
Retour
Source A
Source B
Tonale
Vocale
75 dB
0%, 0/0
Enregistrer
Stimulus Pré-enregistré - Casque - Droite
Réinitialiser
M - Test dichotique Lafon 100
Pré-enregistré - Casque - Gauche Maski
Listes testées
Audiogramme
Sélectionné pour la lecture
Caillou - OG Canon
Bassin - OG Bâtet
Dossier - OG Dessert
Moineau - OG Maillot
Talon - OG Tunnel
Buvard - OG Bourgeon
Signal - OG Soldat
Cheval - OG Cheveu
Moulin - OG Moteur
Sabot - OG Sapin
%
dB

Annexe n° 4

Tests dichotiques

Mr B.

CD 5			piste
1			66
OD			OG
/	caillou	canon	
/	bassin	billet	
/	dossier	dessert	/
/	moineau	maillot	/
	talon	tunnel	/
	buvard	bourgeon	/
	signal	soldat	
/	cheval	cheveu	
/	moulin	moteur	/
/	sabot	sapin	

80 dB

ODG

2			67
OD			OG
	devant	désert	
/	facteur	fagot	
/	jumeau	journal	
/	prénom	patron	
	concert	carré	/
/	genou	jeudi	
	repas	repos	/
/	sourcil	sommier	
	museau	maçon	/
/	boucher	berger	

80 dB

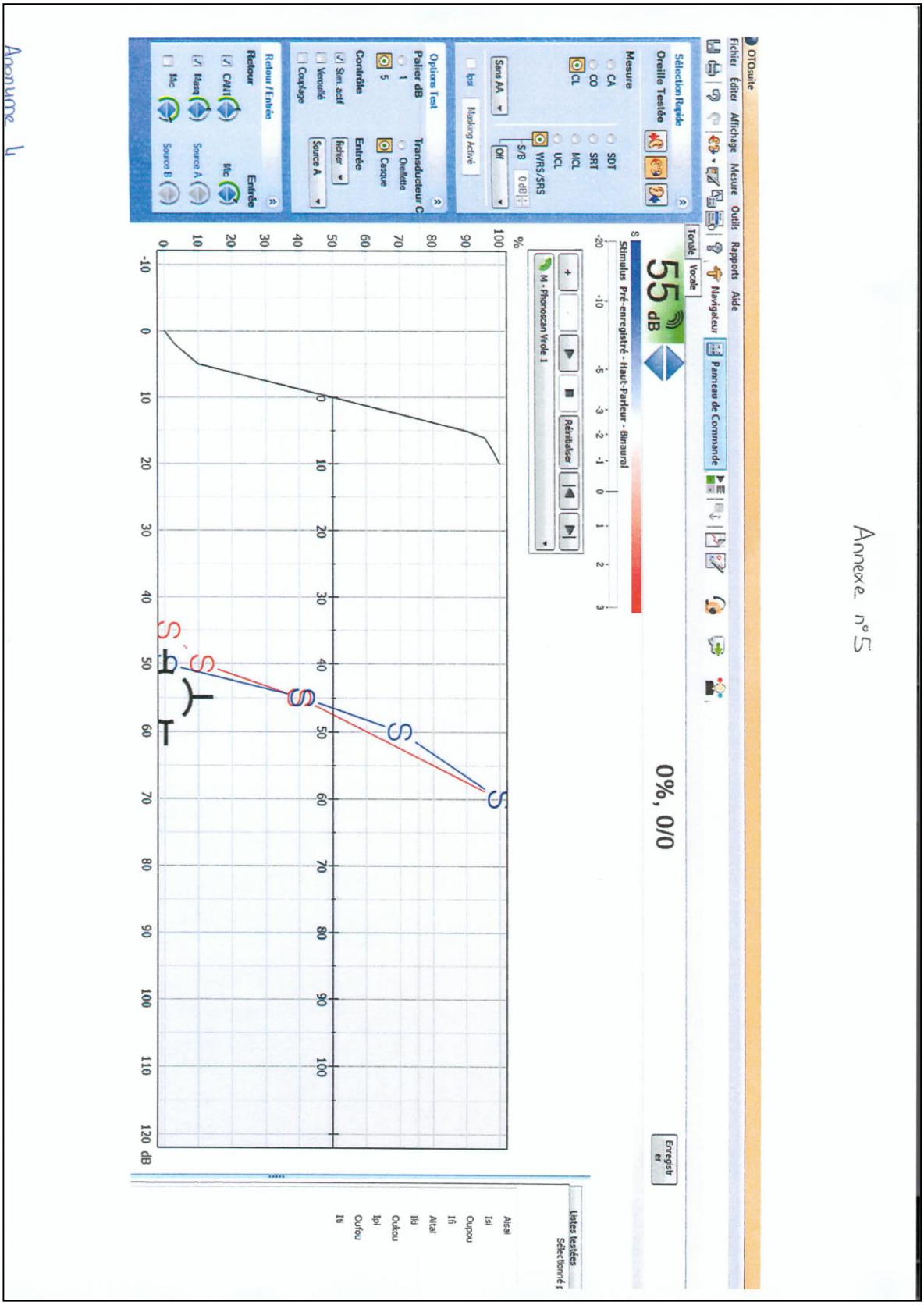
OD / OG

3			68
OD			OG
	citron	sifflet	
/	poulain	poussin	/
	ballon	balai	/
/	noyau	neveu	
	tailleur	traîneau	/
/	sommeil	salon	
/	mendiant	muguet	
/	bouquet	bijou	
	cadran	canard	
/	cerceau	serpent	

80 dB

OG / OD

Annexe 5


Annexe n°5
Anonyme 4
OTOsuite
Fichier Éditer Affichage Mesure Outils Rapports Aide
Sélection Rapide
Oreille Testée
Mesure
CA
CO
CL
SDT
SRT
MCL
UCL
WRS/SRS
S/B
Sans AA
Off
Ipsi
Masking Activé
Options Test
Palier dB
Transducteur C
Oreillette
Casque
Contrôle
Entrée
Sim. actif
Verouillé
Couplage
Fichier
Source A
Retour / Entrée
Retour
Entrée
CAM
Mic
Masq
Source A
Mic
Source B
Tonale
Vocale
55 dB
Stimulus Pré-enregistré - Haut-Parleur - Binaural
M - Phonoscan Virole 1
Réinitialiser
0%, 0/0
Enregistrer
Listes testées
Sélectionné
Alsal
Isi
Oupou
Ifi
Altai
Iki
Oukou
Ipi
Oufou
Iti
dB

Annexe 6

Annexe n° 6

Malentendant

CAS

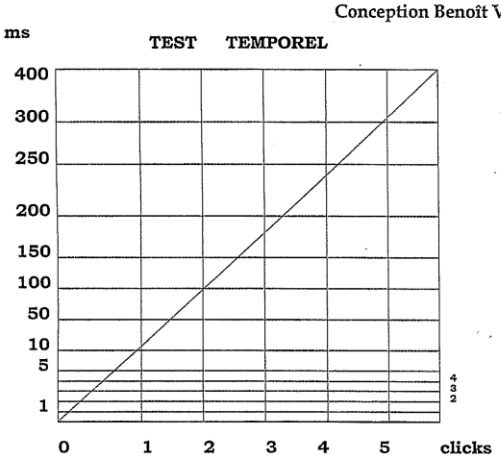
PHONO_SCAN

Nom: Anonyme 1 Date : 06/11/2014 Latéralité D G DG

AIDES AUDITIVES: Finst 1763

OREILLE DROITE	OREILLE GAUCHE	BINAURAL
aiSai	ouPou	ouFou
iSi F	iFi	iKi P
ouPou	aiTai	aiSai
iFi P	iKi T	iSi
aiTai	ouKou	ouPou T
iKi	iSi F	iPi T
ouKou	aiSai	aiTai
iPi	iTi S	iFi
ouFou	ouFou	ouKou
iTi P	iPi T	iTi
bruits	bruits	bruits
transitions	transitions	transitions
score total	score total	score total
AIDE AUDITIVE 55 dB	AIDE AUDITIVE 55 dB	AIDES AUDITIVES 50 dB

Conception Benoît Virole



ANALYSE DES CONFUSIONS

testeur	K	T	P	F	S
S	T	T	T	F-	
F	T	T	T		F+
P	E	F-		M	T
T	E		F+	T	T
K		E	E	T	T
sujet	K	T	P	F	S

F distorsions fréquentielles **+ trop aigu** / **- pas assez aigu**

T distorsions temporelles

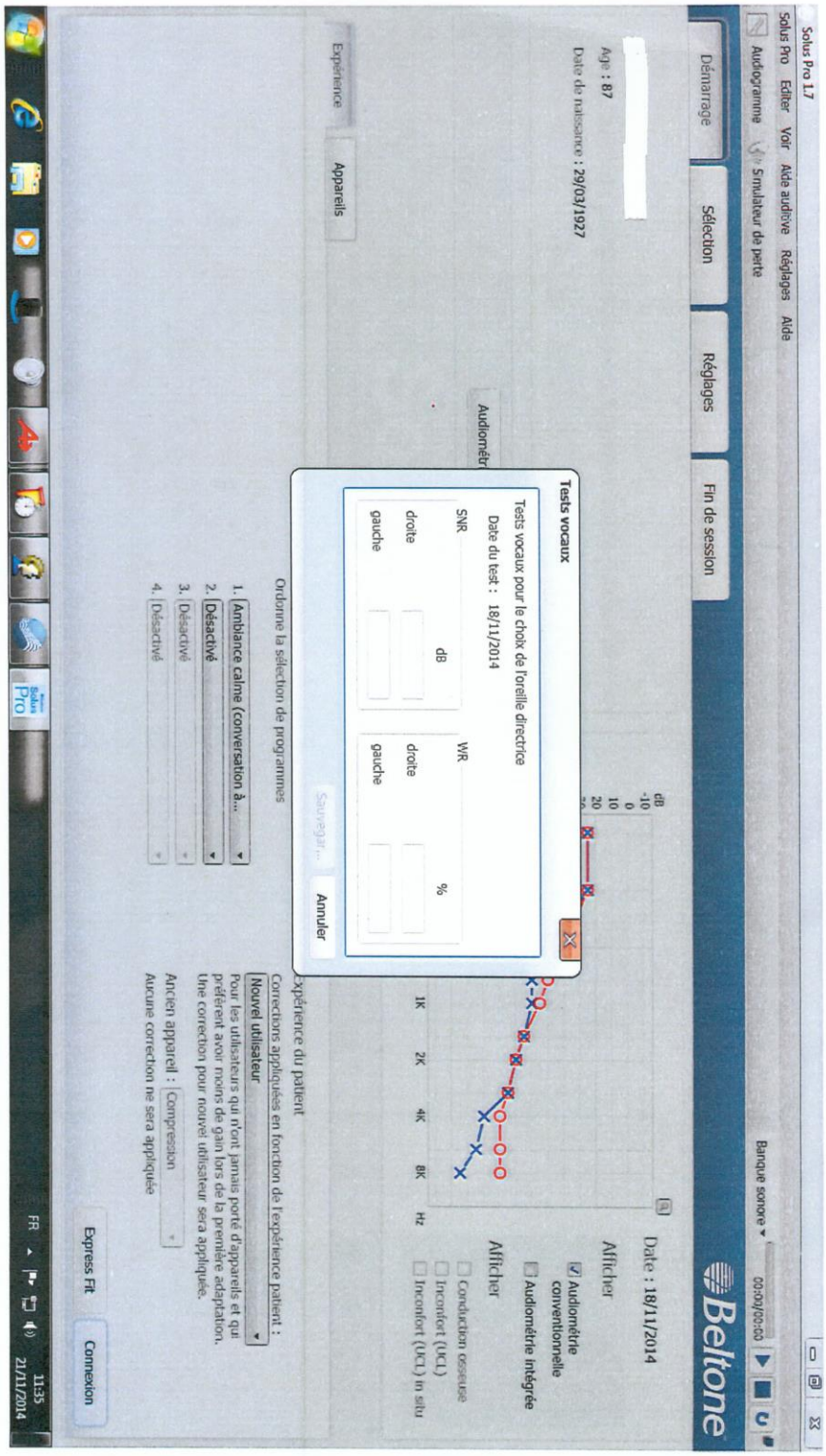
M masque (bruit de fond)

E distorsions énergétiques

	OD	OG	ODG
discrimination temporelle			
memoire instantanée			

Conception Benoît Virole

Annexe 7



Annexe n°7.

N° d'identification :

L'OREILLE DIRECTRICE : Vue de l'Esprit ou Réalité ?

Soutenue le 26 octobre 2015

Par Elodie PARIENTE

RESUME

C'est à l'aide de ses cinq sens (l'ouïe, la vue, le toucher, l'odorat et le goût) que l'enfant découvre le monde et réalise des apprentissages fondamentaux qui lui permettront de se développer.

A sa naissance, hormis les cas pathologiques, un enfant né avec une audition normale et symétrique. Puis, lors du vieillissement normal de l'adulte, la presbyacousie apparaît sur les deux oreilles et atteint l'oreille interne et ses voies nerveuses. La baisse d'audition liée à l'âge est généralement bilatérale et symétrique.

Cependant, on admet généralement l'existence d'une supériorité oculaire latérale réalisant le phénomène de « l'œil directeur ». Ce phénomène touche t-il l'audition ?

Le but de notre étude est de montrer qu'il existe bel et bien une oreille directrice chez l'Homme, dans le cas d'une audition symétrique, grâce à des connexions cérébrales interhémisphériques spécifiques. Nos tests vont permettre de mettre cela en évidence et de démontrer de nombreuses théories existantes.

MOTS CLES

OREILLE DIRECTRICE LATERALITE
DOMINANCE HEMISPHERES CEREBRAUX
INTERHEMISPHERIQUE DROITE GAUCHE

Directeur de thèse : M. Hervé COHEN

Thèmes :

1. Neurologie
2. Physiologie
3. Audiologie
4. Anatomie
5. Pratique Professionnelle