HAL
open science

Étude préliminaire utilisant l'eye-tracking pour l'évaluation orthophonique des adultes implantés cochléaires

Aurélie Petithomme

To cite this version:

Aurélie Petithomme. Étude préliminaire utilisant l'eye-tracking pour l'évaluation orthophonique des adultes implantés cochléaires. Sciences cognitives. 2013. dumas-00868678

HAL Id: dumas-00868678

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00868678v1

Submitted on 30 Oct 2015

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.

ACADEMIE DE PARIS
UNIVERSITE PARIS VI PIERRE ET MARIE CURIE

MEMOIRE POUR LE CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPHONISTE

ETUDE PRELIMINAIRE UTILISANT L'EYE-TRACKING POUR L'EVALUATION ORTHOPHONIQUE DES ADULTES IMPLANTES COCHLEAIRES

Sous la direction de **Madame Emilie ERNST**
Orthophoniste, Docteur en psychologie cognitive
HÔPITAL ROTHSCHILD – Service du Pr B. FRACHET

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012-2013

Aurélie PETITHOMME
Née le 18/09/1988

ETUDE PRELIMINAIRE UTILISANT L'EYE-TRACKING POUR L'EVALUATION ORTHOPHONIQUE DES ADULTES IMPLANTES COCHLEAIRES

Auteur : **Aurélie PETITHOMME**

Maître de mémoire : **Emilie ERNST**

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je soussignée Aurélie Petithomme, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sous toutes formes de support, y compris Internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Aurélie Petithomme

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier chaleureusement pour leur aide précieuse :

Ma maître de mémoire, Madame Emilie ERNST, orthophoniste et docteur en psychologie cognitive, pour m'avoir d'abord accueillie en stage et ensuite pour son implication, sa disponibilité, ses conseils avisés durant toute cette période.

Tous les professionnels du CRIC de l'hôpital ROTHSCHILD :

Le Professeur Brunot Frachet

Les Docteurs Christine Poncet, Esther Harboun-Chohen, Yves Ormezzano et Jean Vasseur

Madame Céline Lux, orthophoniste pour son aide et son accueil en stage

Madame Emilie Vormès, orthophoniste pour son aide

Monsieur Rémi Pottier, psychologue

Madame Céline Gros, secrétaire de l'équipe d'implantation cochléaire, pour sa patience et son amabilité

Monsieur Vincent Péan, ingénieur biomédical

Madame Martine Smadja, directrice de l'Institut Francilien des Implantés Cochléaires (IFIC) et Madame Emilie Thiévenaz secrétaire de l'IFIC pour leur accueil au sein de leurs locaux.

Tous les sujets qui ont accepté de participer à cette étude.

Et tous mes proches pour m'avoir soutenue.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 1

PARTIE THEORIQUE 4

I] L'audition et la surdité 4

A- Anatomo-physiologie de l'audition 4

1) Le système auditif périphérique 4

2) Le système auditif central 5

B- Classification des surdités 7

1) Les types de surdité 7

2) Les étiologies des surdités 7

3) Les degrés de surdité 8

4) L'âge de survenue de la surdité 9

II] Réhabilitations auditives 10

A- L'appareil de correction auditive 10

1) Définition 10

2) Rééducation orthophonique 10

B- L'implant cochléaire 11

1) Définition, fonctionnement et indications 11

2) Déroulement de l'implantation cochléaire 14

3) Résultats, perspectives et activité cérébrale 18

III] La lecture labiale 20

A- Perception visuelle de la parole 20

1) Définition 20

2) Limites et complexité de la lecture labiale 21

3) Développement de la lecture labiale 24

B- Perception audiovisuelle de la parole 26

1) Perception audiovisuelle de la parole chez les normo-entendants 26

2) Perception audiovisuelle de la parole chez les sujets implantés 28

IV] L'eye-tracking 30

A- La vision et ses troubles 30

1) Anatomo-physiologie de la vision 30

2) Les mouvements oculaires 33
3) Troubles et corrections visuels 34
B- Explications de l'eye-tracking 37
1) Définition 37
2) Domaines d'application et études 38
3) Les différents systèmes 41
4) Fonctionnement 42

PARTIE PRATIQUE 47

I] Problématique et hypothèses 47
A- Problématique 47
B- Hypothèses 48

II] Méthodologie 50
A- Description de la population étudiée 50
B- Matériel 52
1) Support technologique 52
2) Protocole 56
3) Passation 57
4) Cotation 58

III] Analyse des résultats 59
A- Résultats obtenus grâce à l'eye-tracking 60
1) Résultats globaux 61
2) Résultats spécifiques 68
B- Scores obtenus aux tests orthophoniques 72
1) Scores vidéo et orthophoniste réelle 72
2) Scores en lecture labiale 76

DISCUSSION 83

I] Validation des hypothèses 83

II] Limites de l'étude 86

CONCLUSION 88

BIBLIOGRAPHIE 89

ANNEXES 97

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Anatomie du système auditif périphérique 4
Figure 2 : Système auditif central 6
Figure 3 : Classification audiométrique des déficiences auditives 9
Figure 4 : Modèles d'appareil de correction auditive 10
Figure 5 : Partie interne de l'implant cochléaire Figure 6 : Partie externe 12
Figure 7 : Fonctionnement de l'implant cochléaire 12
Figure 8 : Représentation des phonèmes voyelles 22
Figure 9 : Coupe du globe oculaire 30
Figure 10 : Voies optiques 32
Figure 11 : Localisation des cortex visuel et auditif 32
Figure 12 : Mouvements oculaires 33
Figure 13 : L'œil normal ou emmétrope Figure 14 : L'œil myope 34
Figure 15 : L'œil hypermétrope 35
Figure 16 : L'œil astigmate 35
Figure 17 : L'œil présentant une cataracte 36
Figure 18 : Fixations d'enfants dyslexiques et d'enfants non dyslexiques 39
Figure 19 : Fixations d'enfants autistes et d'enfants tout-venant 40
Figure 20 : Fixations de bébés au cours de l'acquisition du langage 40
Figure 21 : Eye-tracker « tobii glasses » 41
Figure 22 : Eye-tracker X120 42
Figure 23 : Méthode par réflexion cornéenne 42
Figure 24 : Résultats de la calibration 43
Figure 25 : Etat du suivi oculaire 44
Figure 26 : Représentation des données en « gaz-plot » et en « heat-map » 44
Figure 27 : Deux dispositifs technologiques 52
Figure 28 : Configuration du dispositif vidéo 53
Figure 29 : Configuration du dispositif avec l'orthophoniste réelle 53
Figure 30 : Réglages de l'eye-tracker 54
Figure 31 : Gros plan 55
Figure 32 : Aires d'intérêt 59

Figure 33 : Taux de fixation visage, hors visage et hors écran 61
Figure 34 : Latéralisation chez tous les sujets 62
Figure 35 : Comportement oculaire des sujets gauchers 62
Figure 36 : Taux de fixation bouche par modalité et par groupe..... 63
Figure 37 : Nombre de visites bouche par modalité et par groupe 64
Figure 38 : Fixation et visites bouche par modalité et par groupe 65
Figure 39 : Aire d'intérêt bouche par groupe de sujets 67
Figure 40 : Aire d'intérêt bouche par modalité et unités langagières 69
Figure 41 : Aire d'intérêt yeux par modalité et unités langagières 70
Figure 42 : Comparaison des sujets réhabilités 71
Figure 43 : Scores par modalité et par item langagier 72
Figure 44 : Matrice de confusion des consonnes en dispositif vidéo 74
Figure 45 : Matrice de confusion des consonnes en dispositif face à face 74
Figure 46 : Matrice de confusion des voyelles en dispositif vidéo 74
Figure 47 : Matrice de confusion des voyelles en dispositif face à face 75
Figure 48 : Scores en lecture labiale des femmes et des hommes 77
Figure 49 : Age et lecture labiale chez les normo-entendants 78
Figure 50 : Âge et lecture labiale chez les sourds non corrigés..... 78
Figure 51 : Âge et lecture labiale chez les sourds corrigés..... 78
Figure 52 : Âge et lecture labiale 79
Figure 53 : Niveau socio-culturel et lecture labiale chez les sourds corrigés..... 79
Figure 54 : Niveau socio-culturel et lecture labiale chez les sourds corrigés..... 80
Figure 55 : Scores en lecture labiale et qualité de fixation..... 80
Figure 56 : Etiologies des surdités et lecture labiale..... 81

INTRODUCTION

La surdité, atteinte sensorielle, est un handicap lourd et invisible. Elle modifie les habiletés de communication et l'organisation corticale ainsi que les habiletés sociales ce qui peut provoquer l'isolement de la personne sourde. C'est pour cela que la prise en charge doit être précoce et adaptée au patient afin de lui proposer une réhabilitation auditive (prothèse conventionnelle, implant d'oreille moyenne, implant cochléaire) associée à une rééducation orthophonique auditive, cognitive et entraînant la lecture labiale. En effet, la surdité implique le recours à un traitement visuel de la parole comme moyen de compensation.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons à une population d'adultes présentant une surdité sévère ou profonde, suivis dans un service ORL spécialisé en implantation cochléaire. Nous nous demandons quelles sont les stratégies visuelles mises en place par les sujets adultes sourds. Quelle partie du visage de leur interlocuteur regardent-ils au cours de la communication ? Les sujets réhabilités ont-ils un comportement visuel qui redevient similaire aux sujets normo-entendants ? Nous nous intéressons également à la possibilité d'utiliser la vidéo pour systématiser l'évaluation orthophonique des sujets porteurs d'un implant cochléaire.

Pour répondre à ces questions, nous avons mis au point un protocole d'évaluation utilisant la technique d'eye-tracking. Nous comparons les performances en intelligibilité de la parole de sujets adultes, sourds appareillés et/ou implantés cochléaires, sourds non appareillés et normo-entendants dans trois modalités : audiovision avec une voix à intensité confortable, audiovision avec une voix faible et lecture labiale seule. Nous procédons à deux phases de test : avec un support vidéo puis avec une orthophoniste en face à face. Dans les deux cas, le comportement visuel des sujets est enregistré via un eye-tracker qui nous renseigne sur les parties du visage regardées par les sujets testés.

Nous faisons tout d'abord un rappel sur l'audition et la surdité puis sur les réhabilitations auditives (appareil de correction auditive et implant cochléaire). Nous posons ensuite les jalons théoriques définissant la lecture labiale, seule en tant que perception visuelle de la parole, puis associée à l'audition pour former la perception audiovisuelle de la parole. Enfin, nous expliquons succinctement la vision et ses

troubles puis la technique d'eye-tracking. Nous présentons ensuite, dans une partie pratique, la méthodologie de notre démarche puis les résultats obtenus grâce à l'eye-tracking sur les comportements visuels des sujets ainsi que leurs scores aux tests d'intelligibilité de la parole.

PARTIE THEORIQUE

PARTIE THEORIQUE

I] L'audition et la surdité

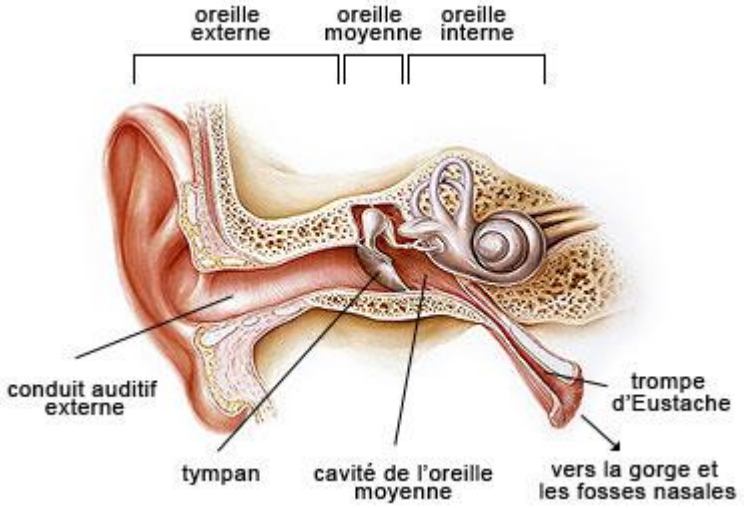
A- Anatomo-physiologie de l'audition

La fonction auditive est assurée par deux systèmes : le système auditif périphérique et le système auditif central.

1) Le système auditif périphérique

Le système auditif périphérique est divisé en trois composantes fonctionnelles : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne.

Figure 1 : Anatomie du système auditif périphérique



[81]

a. L'oreille externe

L'oreille externe est constituée du pavillon et du conduit auditif externe. Elle a une fonction protectrice de l'oreille moyenne et d'amplification (de 5 à 10 dB) atteignant son maximum sur les fréquences de 250 à 5000 Hz, incluant celles de la voix conversationnelle (essentiellement entre 1000 et 4000 Hz). [24]

b. L'oreille moyenne

L'oreille moyenne est composée du tympan et de la chaîne ossiculaire (marteau, enclume, étrier). Elle a plusieurs rôles :

- La transformation des vibrations aériennes arrivant sur le tympan en variation de pression dans le milieu liquidien de l'oreille interne
- La protection de l'oreille interne grâce au réflexe stapédien
- Une amplification du signal sonore pouvant aller jusqu'à 30 dB, principalement due à la différence de taille entre le tympan (9 mm) et la fenêtre ovale (environ 3 mm). [24]

c. L'oreille interne

L'oreille interne comprend une partie auditive, la cochlée, et une partie impliquée dans le contrôle de l'équilibre, composée du vestibule et des canaux semi-circulaires.

Elle est le siège de la perception, de l'analyse et de l'envoi vers le cortex auditif du signal sonore. L'oreille interne permet la transformation de l'information mécanique (onde liquidienne) en information électrique par le biais des cellules ciliées internes, neurosensorielles. Elles sont reliées par leur pôle basal aux fibres du nerf auditif (huitième paire crânienne). Les cellules ciliées externes, neuromotrices, permettent de réduire ou d'amplifier les conséquences d'un son d'un point de vue perceptif, en tempérant les mouvements de l'onde liquidienne dans l'oreille interne. L'oreille interne traite la durée, l'intensité et la fréquence du son. La tonotopie, permettant la sélectivité fréquentielle, code les graves à l'apex de la cochlée et les aigus à sa base. [24]

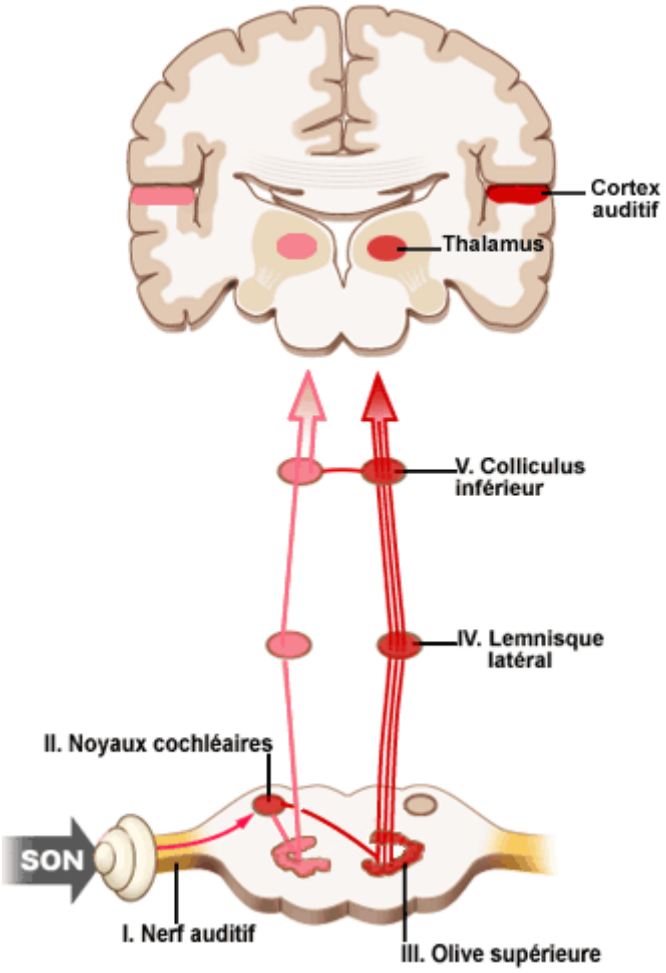
2) Le système auditif central

Le système auditif central, ou traitement auditif, comprend l'ensemble du système nerveux auditif, du ganglion spiral jusqu'au lobe temporal du cerveau.

Le trajet de l'influx nerveux est le suivant : noyaux cochléaires du tronc cérébral, complexe olivaire supérieur, faisceau du lemnisque latéral, mésencéphale au niveau du colliculus inférieur, diencéphale, corps genouillés du noyau thalamique. De là, l'information sonore est transmise au cortex auditif, situé dans les parties supérieures et moyennes du lobe temporal. [24] [29] L'aire auditive primaire (aire 41 de Brodmann), localisée au niveau du gyrus de Heschl est entourée de l'aire auditive

secondaire (aire 42 de Brodmann). [42] La tonotopie cochléaire est retrouvée tout au long des voies auditives jusqu'au cortex. [59]

Figure 2 : Système auditif central



[82]

Le système auditif périphérique permet d'entendre et le système auditif central d'accéder à la compréhension (« On entend avec ses oreilles et on comprend avec son cerveau. »).

B- Classification des surdités

1) Les types de surdité

Il faut distinguer trois types de surdité [24] :

- Les surdités de transmission affectent l'oreille externe et/ou l'oreille moyenne. Sur l'audiogramme tonal, la conduction osseuse est normale mais la courbe aérienne est abaissée entraînant au maximum une perte auditive de 60 dB.
- Les surdités de perception affectent l'oreille interne (endocochléaires) et/ou les voies nerveuses périphériques (rétrocochléaires). Sur l'audiogramme tonal, les courbes en conduction osseuse et aérienne sont abaissées.

  Les surdités de transmission et de perception peuvent se combiner, on parle alors de surdités mixtes.
- Les surdités centrales affectent la transmission et/ou le traitement du signal acoustique, du tronc cérébral au cortex temporal.

2) Les étiologies des surdités

Les étiologies des surdités sont multiples. Nous décrivons ici les principales des surdités de transmission et de perception, habituellement retrouvées chez les patients adultes. [57 ; 65 ; 37]

Surdité de transmission

L'otospongiose est une affection héréditaire qui se manifeste par une fixation de la platine de l'étrier à l'os de la fenêtre ovale. L'atteinte peut rester limitée à l'étrier mais il existe des cas où l'atteinte touche l'os entourant la cochlée, entraînant alors des surdités de perception.

L'otite chronique est une inflammation persistante et récidivante de l'oreille moyenne qui occasionne souvent des lésions séquellaires. L'otite cholestétomateuse est une forme d'otite chronique qui peut entraîner une surdité de transmission, de perception voire de dangereuses complications méningées. [13]

Surdité de perception

La presbyacousie, cause la plus fréquente de surdité chez l'adulte, est une détérioration progressive de la fonction auditive résultant du processus normal de

vieillissement des cellules sensorielles. L'atteinte est initialement restreinte aux fréquences aiguës.

La maladie de Ménière se définit comme une affection de l'oreille interne membraneuse de cause inconnue. Elle se caractérise par une triade clinique associant surdité fluctuante, acouphènes et vertiges. Si dans un premier temps la surdité est fluctuante, elle devient permanente au fil des crises, atteignant toutes les fréquences.

La surdité brusque se traduit par la survenue, en moins de trois jours, d'une surdité de perception, transitoire ou définitive, sans cause évidente. Cependant, on la suppose d'origine virale, vasculaire ou immunitaire.

L'exposition à des bruits forts de manière prolongée et/ou répétée peut entraîner un traumatisme sonore et donc générer des lésions cochléaires. Le travail en atmosphère bruyante, l'exposition au bruit dans les concerts, l'utilisation à fort volume d'un baladeur sont des situations à risque pour l'audition.

Lors d'un traumatisme crânien, l'onde de choc induite peut engendrer des lésions importantes des cellules ciliées. Lorsqu'il existe une fracture du rocher, si le trait de fracture traverse la cochlée, les déchirures des tissus provoqueront en général des fuites des liquides endolabyrinthiques et une destruction immédiate des cellules sensorielles. La conséquence est une surdité totale définitive (cophose).

La surdité peut également être due à des infections, comme les méningites qui entraînent une ossification de la cochlée.

Les surdités ototoxiques correspondent à une altération de l'audition résultant de l'action directe de certains médicaments tels que la streptomycine ou la quinine par exemple sur les structures cochléo-vestibulaires.

Les surdités congénitales sont soit héréditaires soit la conséquence d'une infection contractée par la mère lors de la grossesse telle que la toxoplasmose, la rubéole ou les infections par cytomégalovirus.

Les surdités génétiques constituent la cause la plus fréquente chez l'enfant. Elles sont dans un tiers des cas syndromiques et dans deux tiers des cas isolées.

3) Les degrés de surdité

Le Bureau International d'AudioPhonologie (BIAP) classe les surdités en fonction de la Perte Auditive tonale Moyenne (PAM), qui est la moyenne des seuils de quatre fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 Hz. [83]

Figure 3 : Classification audiométrique des déficiences auditives

Niveau d'audition	PAM (en dB)	Conséquences sur la communication
Audition normale ou subnormale	De 0 à 20	Aucune
Déficience auditive légère	De 21 à 40	Si la voix est faible ou le locuteur éloigné, le message est mal perçu.
Déficience auditive moyenne	I : de 41 à 55 II : de 56 à 70	La voix à intensité normale (60 dB) est entendue mais le discours n'est pas compris. Les bruits environnants ne sont pas tous perçus.
Déficience auditive sévère	I : de 71 à 80 II : de 81 à 90	Seule la parole criée et les bruits de forte intensité sont perçus.
Déficience auditive profonde	I : de 91 à 100 II : de 101 à 110 III : de 111 à 119	Pas de perception de la parole. Seuls les bruits environnants de très forte intensité sont perçus.
Déficience auditive totale – Cophose	Dès 120	Aucun son n'est perçu.

4) L'âge de survenue de la surdité

On parle de surdité pré-linguale lorsque l'enfant est sourd à la naissance ou le devient avant l'âge de 2 ans. La surdité apparaît donc avant le début de l'acquisition du langage.

La surdité péri-linguale survient entre l'âge de 2 et 4 ans. Le langage est alors en cours d'acquisition.

Dans le cadre de surdité post-linguale, la surdité apparaît après 4 ans. Le sujet a eu le temps de développer le langage oral.

Selon l'âge de survenue, la cause, le mode d'installation de la surdité et son degré, les répercussions seront différentes. Divers traitements et appareillages seront alors proposés : des médicaments à la chirurgie, des aides auditives externes à l'implant cochléaire. [57]

II] Réhabilitations auditives

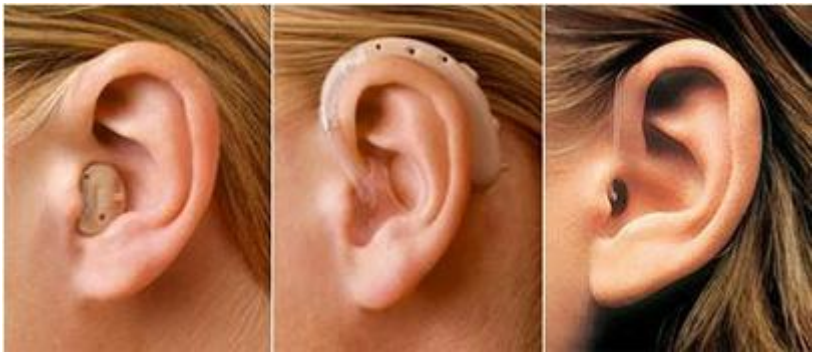
Les réhabilitations auditives des patients de notre étude sont principalement l'appareil de correction auditive et l'implant cochléaire.

A- L'appareil de correction auditive

1) Définition

L'appareil de correction auditive (noté désormais ACA) est l'appareillage conventionnel adapté au patient par l'audioprothésiste. Il est doté d'un microphone qui enregistre les vibrations sonores, puis un amplificateur intègre et retransmet les sons à l'oreille à l'aide d'un haut-parleur. Le rôle de l'ACA est donc d'amplifier le son sur les fréquences fonctionnelles. Il corrige un déficit auditif avec une perte minimale de 30-35 dB (surdité moyenne à légère). Il existe différents types d'ACA : l'intra-auriculaire, le contour d'oreille à embout fermé, le contour d'oreille à embout déporté et le contour d'oreille à embout ouvert (open-fit). [2]

Figure 4 : Modèles d'appareil de correction auditive



Intra-auriculaire, contour d'oreille, et open-fit [84]

2) Rééducation orthophonique

Au terme du bilan orthophonique de surdité, l'optimisation de la perception auditive avec des ACA conventionnels peut être une des pistes de rééducation à suivre si l'on estime que le bénéfice prothétique peut être amélioré : c'est le cas par exemple en cas de discordance entre l'audiométrie tonale et vocale ou en cas de difficulté majeure en environnement bruyant par rapport aux scores obtenus dans le silence. La rééducation orthophonique aura alors pour objectif de faciliter l'adaptation

prothétique et d'exploiter au mieux les restes auditifs. D'autres axes seront souvent travaillés lors de cette rééducation : développement de la lecture labiale pour compenser ce qui ne peut pas être perçu par l'audition, conservation de la voix et de la parole. De nombreux conseils peuvent être donnés au patient et à son entourage : se placer en face de la personne, avoir une articulation précise mais pas exagérée, parler à une intensité moyenne, choisir ses mots et en changer rapidement, faire des phrases courtes et intensifier le langage para-verbal (les gestes ainsi que les mimiques) pour faciliter la compréhension de la parole. Enfin il est important d'informer le patient et son entourage de l'existence d'autres systèmes facilitateurs, comme les boucles magnétiques ou les micros directionnels par exemple. [85]

B- L'implant cochléaire

1) Définition, fonctionnement et indications

a. Définition et fonctionnement de l'implant cochléaire

L'implant cochléaire (noté désormais IC) est une aide auditive électronique constituée d'une partie interne placée chirurgicalement sous anesthésie générale et d'une partie externe. La partie interne est composée d'un récepteur implanté sous la peau et d'un porte-électrodes placé dans la cochlée. Le porte-électrodes ne couvre pas complètement les deux tours et demi de spires de la cochlée. Selon les marques d'IC, le nombre d'électrodes varie de 16 à 24. Chaque électrode code pour une bande de fréquences du signal sonore. L'emplacement de ces électrodes le long de la cochlée recrée un certain degré de tonotopie fréquentielle : celles posées à la base de la cochlée stimulent les fibres du nerf auditif codant originellement pour les hautes fréquences et celles placées à l'apex de la cochlée stimulent les fibres pour les basses fréquences. La partie externe est composée d'un microphone, d'un processeur et d'une batterie (ou piles) posés en contour d'oreille et d'une antenne de transmission. [24] [35]

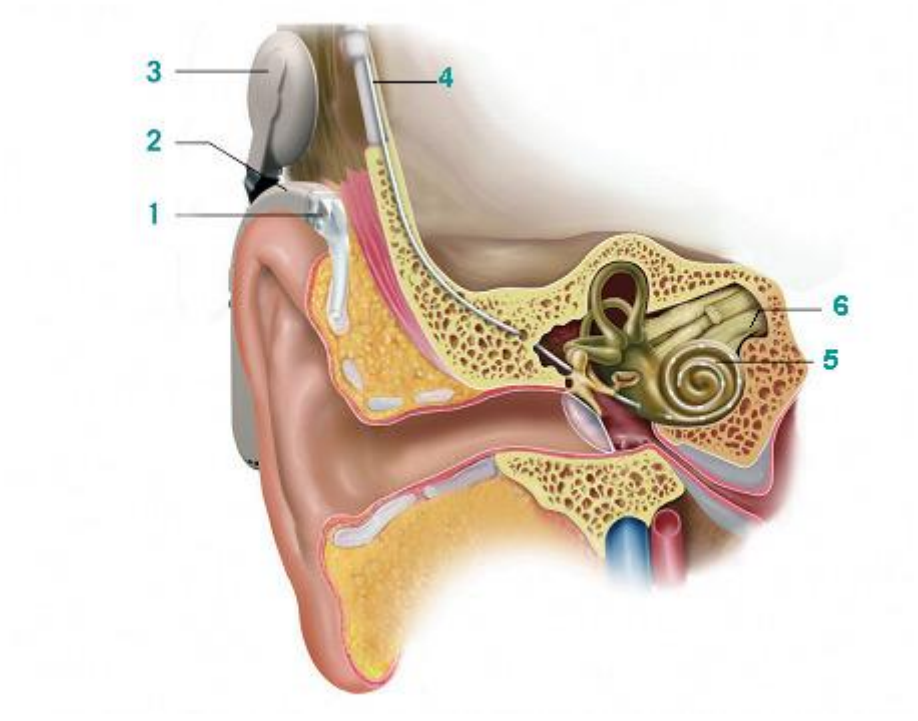
Figure 5 : Partie interne de l'implant cochléaire

[86]

Figure 6 : Partie externe

[87]

Figure 7 : Fonctionnement de l'implant cochléaire



1. Le microphone capte le signal acoustique et le transmet au processeur vocal.
2. Le processeur transforme le signal acoustique en signal électrique et l'envoie à l'antenne.
3. L'antenne, fixée par aimantation en regard du récepteur, transmet ce signal à travers la peau au moyen d'ondes radio.
4. Le récepteur capte les ondes radio, les décode, puis envoie des impulsions électriques au faisceau d'électrodes implanté dans l'oreille interne – la cochlée.

5. Les électrodes implantées dans la rampe tympanique de la cochlée stimulent les fibres du nerf auditif, et le nerf auditif transmet à son tour ces signaux au cerveau.
6. Le cerveau analyse et interprète ces signaux dans ses aires auditives. [88]

Lorsque le processeur est éteint ou que l'antenne ne fait plus contact, le nerf auditif ne reçoit plus aucune stimulation.

Il existe également des implants électroacoustiques ou hybrides. Ils sont proposés aux patients dont la surdité de perception sévère à profonde porte sur les fréquences aiguës tandis que des restes auditifs subsistent sur les fréquences graves (courbe en pente de ski). Cette technique combine une double stimulation, électrique pour les fréquences aiguës (comme un IC) et acoustique pour les fréquences graves (comme un ACA conventionnel intra-auriculaire). Le porte-électrodes est plus court et n'est inséré qu'à la base de la cochlée. [7]

Advanced Bionics (USA), Cochlear (Australie), Med-El (Autriche) et Neurelec (France) sont les quatre fabricants d'IC dans le monde.

b. Indications de l'implantation cochléaire

Les IC sont destinés à traiter des surdités de perception sévères à profondes unilatérales ou bilatérales lorsque l'essai prothétique effectué au préalable dans les meilleures conditions n'a pas donné satisfaction. Les indications de l'IC chez l'adulte selon la Haute Autorité de Santé concernent l'âge de l'implantation, l'audiométrie et l'implantation bilatérale.

Il n'y a pas de limite d'âge supérieure à l'implantation cochléaire chez l'adulte. Chez le sujet âgé, l'indication est posée après une évaluation psychocognitive. Il n'y a en général pas d'indication de primo-implantation chez l'adulte ayant une surdité pré-linguale.

Les indications audiométriques de l'implantation cochléaire sont :

- **Discrimination inférieure ou égale à 50 %** lors de la réalisation de tests d'audiométrie vocale avec une liste de Fournier (ou liste de mots de deux syllabes équivalente). Les tests doivent être pratiqués à 60 dB, en champ libre, avec des appareils auditifs bien adaptés.
- En cas de fluctuations, une implantation cochléaire est indiquée si le retentissement sur la communication est majeur.

Une implantation bilatérale peut être indiquée :

- dans les cas de méningite bactérienne, fracture du rocher bilatérale et autres causes de surdité risquant de s'accompagner à court terme d'une ossification cochléaire bilatérale. Il faut intervenir avant que l'ossification ne soit trop avancée.
- chez un adulte porteur d'un IC unilatéral lorsque la perte du bénéfice audio-prothétique du côté opposé provoque des conséquences socioprofessionnelles ou une perte d'autonomie chez une personne âgée. [39]

2) Déroulement de l'implantation cochléaire

L'implantation cochléaire se déroule en trois temps principaux, assurés par une équipe multidisciplinaire : le bilan pré-implantation, l'intervention chirurgicale et la prise en charge post-implantation composée de suivi post-implantation, de séances de réglages et de rééducation orthophonique. [38]

a. Bilan pré-implantation

C'est au terme d'un bilan complet que la décision d'implanter est prise :

- Bilan ORL (examen clinique ORL)
- Bilan vestibulaire (équilibre et vertiges) : vidéonystagmographie, tests caloriques, potentiels évoqués otolithiques
- Bilan audiométrique : audiométrie tonale et vocale permettant de déterminer le degré de surdité du patient
- Bilan électrophysiologique : potentiels évoqués auditifs (recueil de l'activité du nerf crânien VIII), recherche d'oto-émissions acoustiques
- Bilan radiologique : scanner des rochers en coupes osseuses fines, IRM cérébrale et des rochers. Ces examens permettent d'éliminer une pathologie tumorale, de visualiser les éventuelles malformations ou ossifications de l'oreille interne et d'apprécier les possibilités chirurgicales de réaliser l'implantation cochléaire.
- Evaluation psychologique et psychiatrique
- Bilan gériatrique (évaluation neuropsychologique) éventuellement
- Bilan génétique éventuellement
- Bilan orthophonique

L'orthophoniste commence par s'entretenir avec le patient pour retracer l'histoire de la surdité (anamnèse), déterminer sa plainte, ses attentes et sa motivation par rapport à l'IC qui est un élément majeur à prendre en compte dans la décision d'implantation. L'orthophoniste évalue les difficultés de compréhension dans la vie quotidienne (milieu bruyant, réunions, conférences, téléphone, télévision, cinéma, radio, etc.). Il définit le contexte socio-professionnel et les répercussions de la surdité sur le statut social. Il définit les besoins de communication du patient qu'il ne peut plus réaliser (« Qu'est-ce que vous voulez faire que vous n'arrivez plus à faire ? »). Les besoins varient d'une personne à l'autre (du cadre qui veut comprendre en réunion et au téléphone en anglais à la dame âgée qui veut entendre les voitures dans la rue, la sonnette de sa porte et sa voisine). Il faut également mesurer le réalisme des attentes. L'orthophoniste détermine les centres d'intérêt et l'appétence du sujet pour les activités linguistiques (lecture, écriture, jeux de langage, apprentissage de langues étrangères…) Il informe le patient sur l'IC et l'importance du suivi rééducatif après l'intervention et lui conseille vivement de rencontrer des implantés qui lui feront part de leur expérience.

L'orthophoniste apprécie la communication du sujet :

- Mode de communication : oralisation, langue des signes, langage écrit, gestes familiaux
- Qualité de l'échange : appétence à la communication, respect des tours de parole, demande de répétition, adaptation à la situation
- Contrôle vocal (intensité, timbre et débit) et prosodie
- Intelligibilité de la parole
- Niveau d'intégration auditive en appareil(s) auditif(s) seul(s) ou audition seule si le patient ne porte pas d'ACA, en audition et lecture labiale et en lecture labiale seule.
- Processus attentionnels et mnésiques
- Niveau de langage oral sur le versant expressif (lexique, syntaxe et pragmatique) et sur le versant réceptif (capacités de compréhension)

Plus précisément, le bilan orthophonique comporte une évaluation qualitative et quantitative, au moyen de tests :

- L'identification de phonèmes et la reconnaissance de mots triphonémiques en liste ouverte dans les listes cochléaires (Lafon).
- L'identification de phonèmes et la reconnaissance de mots dissyllabiques en liste ouverte (Fournier).
- La reconnaissance de mots et la compréhension de phrases en liste ouverte dans le silence et dans le bruit (protocole d'étude MBAA). [85]

Il peut être conseillé au patient de suivre une rééducation orthophonique avant l'implantation cochléaire notamment pour entraînement de la lecture labiale. On sait que c'est un des facteurs prédictifs d'une bonne réhabilitation par l'IC. [57]

b. L'intervention chirurgicale

L'intervention chirurgicale est réalisée sous microscopie et anesthésie générale. La durée est en moyenne de 2 heures et demie. L'opération consiste à mettre en place la partie interne de l'IC, c'est-à-dire le faisceau d'électrodes dans la cochlée et le porte-électrodes sous la peau. La cicatrice est dans le pli de l'oreille. Après incision cutanée, mastoïdectomie, tympanotomie postérieure, cochléostomie, le porte-électrodes est inséré dans la rampe tympanique et le récepteur dans une cavité fraisée dans la partie postérieure de l'os temporal. [38]

c. Les réglages

Plusieurs séances de réglage sont nécessaires. La première séance s'effectue entre deux et quatre semaines après la chirurgie lorsque la cicatrisation est bien avancée. Cette séance est le moment de l'activation de chaque électrode par le biais d'un ordinateur relié à la partie externe de l'IC. Il s'agit de déterminer le seuil minimum de détection des différents sons ainsi que l'intensité maximale à laquelle ces sons sont confortables. Avec le temps, les sensations sonores du patient évoluent et le régleur optimise les performances du processeur. Certains programmes sont adaptés à des situations acoustiques particulières : environnement bruyant, écoute focalisée, écoute de la télévision ou radio, utilisation du téléphone, etc. Les réglages sont spécifiques à chaque personne implantée et leur nombre et fréquence varient selon les patients. Les premiers réglages sont rapprochés car il faut observer comment le patient s'habitue au type d'information sonore spécifique et prend des repères. Les réglages s'espacent ensuite peu à peu jusqu'à ce qu'un réglage annuel de contrôle suffise. [28]

d. La rééducation orthophonique

Les performances de perception de la parole des patients implantés s'améliorent grâce aux prouesses technologiques des processeurs d'IC. Toutefois, l'implantation cochléaire seule ne permet pas au patient de tirer le maximum de bénéfices de son IC. La rééducation orthophonique participe à l'optimisation des performances auditives. [34] En effet, l'IC ne restitue pas une audition normale. De plus, entendre n'est pas comprendre, l'orthophoniste doit donc aider le patient à mettre du sens sur les sons entendus.

La première séance de rééducation orthophonique post-implantation commence juste après l'activation de l'IC. La rééducation débute systématiquement par un travail sans lecture labiale (bas du visage caché) ni ACA controlatéral pour solliciter au maximum la perception auditive, réafférenter les réseaux corticaux et permettre au patient de retrouver des repères auditifs avec son IC. Au cours de la prise en charge, il peut s'avérer judicieux d'introduire ponctuellement la lecture labiale et/ou l'ACA controlatéral, notamment pour les explications et dans un souci de renforcement (pour soutenir la motivation). Avec certains patients (par exemple parlant mal le français, âgés, avec un trouble de l'intégration), on propose des séances entièrement écologiques avec l'IC, l'ACA et/ou la lecture labiale.

L'attention du patient est attirée sur le fait que tout « fait du bruit ». Tous les sons sont entraînés, des bruits environnants (clés, papier froissé, bruits de pas, porte qui claque, sonnerie du téléphone…) à la parole (mots, phrases et conversation). Une progression, du plus simple au plus complexe, est établie : détection (son perçu ou pas), discrimination (pareil/pas pareil), identification (choix dans une liste fermée), reconnaissance (répétition dans une liste semi-ouverte, ouverte) et compréhension. En cas d'échecs répétés à une étape, on revient à l'étape précédente. L'orthophoniste s'attache à confirmer les bonnes réponses, expliquer les erreurs et travailler les confusions en les opposant.

Une fois que le patient a retrouvé une bonne compréhension de la parole, un travail spécifique est entrepris sur les situations qui demeurent habituellement difficiles avec un IC, comme la compréhension dans le bruit ou avec plusieurs interlocuteurs, les voix enregistrées, le téléphone et la perception de la musique.

La récupération est variable selon les individus. La motivation, l'état psychologique, le temps quotidien de port de l'implant, le degré de socialisation, la

maîtrise de plusieurs langues, une durée de surdité brève apparaissent comme étant des facteurs de bon pronostic. [24]

3) Résultats, perspectives et activité cérébrale

a. Résultats de l'implantation cochléaire

Efficacité chez l'adulte : Les IC sont des dispositifs de réhabilitation auditive destinés à permettre la restauration de la communication orale chez l'adulte. Une amélioration significative de la compréhension du langage est observée après implantation cochléaire. L'objectif de l'implantation bilatérale par rapport à l'implantation unilatérale est d'apporter une meilleure perception de la parole, en particulier dans un environnement bruyant, et une meilleure localisation sonore (binauralité). [39]

Sécurité : Le taux de complication, analysé sur plus de 2 000 patients, est faible (moins de 5 %). La complication la plus sévère recensée est la méningite bactérienne, pour laquelle des mesures prophylactiques ont été mises en place (vaccination antiméningococcique préopératoire). Les autres complications sont de gravité moindre (problèmes de lambeau, migration des électrodes, parésie du nerf facial…). [39]

Résultats des réimplantations : Une réimplantation peut être indiquée en cas de dysfonctionnement de l'implant. Elle n'expose pas le patient à plus de complications que la primo-implantation. Les performances obtenues lors de la primo-implantation sont maintenues. [39]

Cas des acouphènes : L'implantation cochléaire unilatérale permet de diminuer voire de faire disparaître les acouphènes bilatéraux chez des patients présentant une surdité profonde. [79]

Cas du traumatisme crânien : L'implantation cochléaire est une méthode efficace pour la réhabilitation auditive des patients devenus sourds profonds suite à un traumatisme crânien. Cependant, il faut tenir compte en bilan pré-implant de certains facteurs négatifs tels que les lésions significatives des voies centrales auditives, la destruction du tour basal de la cochlée, la durée importante de la surdité et l'absence de stimulation auditive. [43]

b. Perspectives de l'implantation cochléaire

Concernant les extensions des indications, des études comparatives bien menées sont encore nécessaires pour évaluer l'apport de l'implant chez les patients ayant une surdité moins importante, une surdité unilatérale, ainsi que l'intérêt d'une implantation bilatérale dans des circonstances autres que celles recommandées. [39]

c. Activité cérébrale et implant cochléaire

La réhabilitation auditive par l'IC provoque une réorganisation fonctionnelle de l'activité cérébrale au repos au cours de la première année post-implant. Un changement du flux sanguin est observé dans le cortex auditif, le cortex visuel, l'aire de Broca et le cortex temporal postérieur. [71]

Chez les sourds implantés, la perception auditive seule, liée à l'expérience spécifique de l'IC, provoque l'activation du cortex auditif et du cortex visuel. [36]

Le traitement de la voix s'effectue bilatéralement dans le sillon temporal supérieur. En effet, ces régions ont une plus grande activité neuronale lors de l'écoute de sons vocaux (parole ou bruits humains) que lors de l'écoute de sons environnementaux non humains. [6] L'activation bilatérale du sillon temporal supérieur est mise en évidence, grâce à la tomographie par émission de positons et lors de l'écoute de stimuli vocaux (parole ou sons humains), chez les patients implantés cochléaires obtenant de bons résultats. En revanche, l'activation de ce sillon est unilatérale à gauche chez les patients implantés cochléaires ayant des performances moindres. [22]

Les données objectives et cliniques (quantitatives et qualitatives) récoltées lors du bilan pré-implant ne permettent pas d'établir un pronostic certain des résultats futurs de l'IC. Selon une étude réalisée en 2010 [46], les données obtenues lors d'une imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) effectuée pendant une tâche de lecture en pré-IC seraient prédictives des résultats attendus en post-IC. L'IRMf va déceler la voie prédominante de lecture chez le patient ; si ce dernier utilise la voie dorsale phonologique, il aura alors de meilleurs résultats post-IC que celui utilisant la voie ventrale temporo-frontale (processus lexico-sémantique).

III] La lecture labiale

A- Perception visuelle de la parole

1) Définition

La lecture labiale est traditionnellement définie comme la perception visuelle du langage oral par la reconnaissance des mouvements articulatoires du locuteur. Elle permet au sujet sourd de naissance, comme au devenu sourd, de compléter les éléments auditifs perçus grâce à la réhabilitation, et d'accéder ainsi à un meilleur niveau de compréhension du langage parlé.

Les mouvements articulatoires visibles concernent les lèvres (ouverture/fermeture/élévation), les joues, la mâchoire (déplacement haut/bas, avant/arrière), les dents, la langue (étirement/protrusion) et le menton.

De plus, la reconnaissance visuelle de la parole fait intervenir également le décodage des mouvements de la gorge (déplacement de la pomme d'Adam), du front, des yeux et des mouvements corporels (gestes, orientation du corps…). Les mouvements faciaux traduisent la mimique faciale.

Ainsi, la définition de l'Unesco est très large : « Procédé permettant de comprendre ce que dit une autre personne en tenant compte d'indications visuelles telles que les mouvements des muscles faciaux, des lèvres, des mains et du corps en général ». [12]

Nous continuerons cependant à parler de lecture labiale (tout en ayant conscience de la définition moins restrictive) car c'est le terme le plus communément admis.

Les indices visuels, traduisant la perception de la parole, sont répartis suivant deux zones. La partie basse du visage (lèvres, menton, haut des joues, gorge) permet l'indentification des informations segmentales (phonèmes/mots/verbal) tandis que la partie supérieure du visage (yeux, sourcils et front) exprime les informations suprasegmentales (intonation/stylistique/ponctuation). [12] Les mouvements des sourcils sont : élévation pour l'interrogation ou la surprise, froncement pour la colère, le mécontentement, la désapprobation.

2) Limites et complexité de la lecture labiale

a. Visibilité des phonèmes

Phonèmes consonantiques

Selon la forme visuelle produite, les phonèmes consonnes du français peuvent être répartis en six groupes : [p, b, m], [t, d, n], [k, g, ʁ], [f, v], [s, z], [ʃ, ʒ].

Les consonnes [k, g, ʁ] sont « invisibles ». Leur articulation postérieure fait qu'ils ne sont pas directement visibles. On ne voit que leur effet sur les phonèmes qui les entourent (exemples : allongement de la voyelle qui précède, modification de l'aperture de la voyelle précédente si le son invisible est en fin de mot).

Les consonnes [p, b, m], [f, v], et [ʃ, ʒ] sont des formes stables. Elles sont toujours visibles quel que soit l'entourage phonétique, dans la mesure où les lèvres sont mises en jeu (respectivement bilabiale, labiodentale, arrondissement et projection des lèvres vers l'avant).

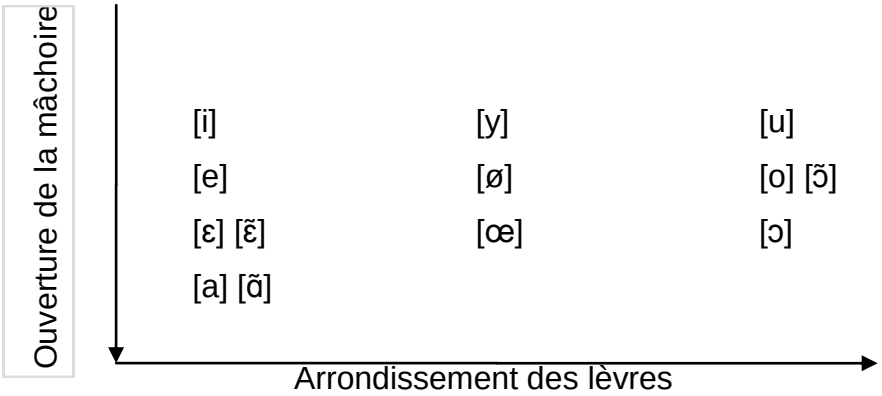
Les consonnes [t, d, n], [s, z] et [l] sont des formes instables. En effet, selon la structure de la syllabe, ces consonnes sont parfois visibles avec la présence d'une voyelle ouverte ou semi-ouverte et parfois non visibles si elles sont entourées de voyelles fermées, semi-fermées ou prises dans un groupe consonantique. Par exemple, dans « elle a » [l] est visible tandis que dans « le loup » [l] est invisible. Cela peut aussi dépendre de la position au sein du mot. En effet, elles sont peu visibles en position initiale mais reconnaissables en position finale. Par exemple, [s] n'est pas visible dans « statue », mais est visible dans « tasse ».

Les consonnes constituant chaque groupe sont appelées sosies labiaux car elles partagent une image labiale similaire. Nous pouvons tout de même observer une différence entre ces sosies labiaux. Prenons par exemple le groupe [p, b, m]. [p] a une explosion forte et brève ; [b] a une explosion moins forte et plus longue ; [m] a encore moins d'énergie.

Phonèmes vocaliques

Les traits distinctifs discriminants des phonèmes voyelles en lecture labiale sont l'étirement labial (voyelles étirées versus arrondies), l'ouverture de la mâchoire (voyelles fermées versus ouvertes) et la descente et/ou la contraction du menton (voyelles nasales versus orales).

Figure 8 : Représentation des phonèmes voyelles



La voyelle orale et la voyelle nasale correspondante (par exemple [a] et [ɑ̃]) ont une image labiale semblable. Plus les voyelles sont proches sur le triangle vocalique, plus elles sont difficiles à différencier.

b. Phénomène de coarticulation

L'enchaînement des phonèmes dans la chaîne parlée influe nécessairement sur la réalisation de leurs mouvements articulatoires, notamment celui des lèvres. Exemple : « Je suis sûr » prononcé « J'suis sûr » voire « ch'ui sûr ». Dans ce sens, le contexte phonémique (vocalique ou consonantique) permet ou empêche l'identification visuelle d'un phonème. Le phénomène de coarticulation transforme donc l'image labiale canonique attendue des phonèmes. La coarticulation par anticipation (régressive) est la modification d'un phonème par le suivant, c'est le cas de la protrusion des lèvres qui se trouve anticipée dès le [s] dans [sy]. Au contraire, la coarticulation par persévération (progressive) est la modification d'un phonème par le précédent, c'est le cas de la protrusion labiale qui persiste dans le [i] de [ʃi]. [12] Le continuum visuel (et acoustique) ainsi créé peut pourtant être décodé.

c. Facteurs influençant la lecture labiale

Des variations liées à la situation de communication, au locuteur et au labiolecteur peuvent altérer l'intégration visuelle du message. [12]

Variations liées à la situation de communication

Les variations externes concernent les conditions d'éclairage et de visibilité du visage parlant, la distance entre les interlocuteurs, l'angle et la hauteur sous lesquels est vu le locuteur. Ces conditions sont réunies lors de l'entraînement à la lecture

labiale en orthophonie, mais pas forcément dans toutes les situations de la vie quotidienne.

Variations internes au locuteur

Tout locuteur a sa propre manière de parler ; les variations de débit (lent versus rapide), de tonicité, d'intensité, d'articulation sont donc nombreuses. Il a également ses propres caractéristiques physiques : épaisseur er forme des lèvres, articulé dentaire.

Variations propres au labiolecteur

La lecture labiale met en jeu toutes les capacités du labiolecteur : acuité visuelle, niveau culturel, niveau de compréhension, capacité de suppléance mentale, attention, mémoire, maîtrise de la langue et de la communication, vitesse d'accès au lexique interne, maîtrise des habiletés sociales, motivation. De plus, la fréquence des situations de communication influe sur les capacités en lecture labiale. Par ailleurs, le niveau en lecture labiale dépend du mode de survenue de la surdité ; les sujets devenus sourds de façon progressive obtiennent bien souvent de meilleures performances que les sujets devenus sourds de façon brusque. [57] Les capacités de lecture labiale seraient également en lien avec l'âge. [5] En revanche, le niveau de lecture labiale ne dépendrait ni du degré de surdité [5], ni de la durée de la surdité. [57]

d. La suppléance mentale

Il convient de distinguer « devinette » et « suppléance mentale ».

Faire de la « devinette » est une transformation de l'image vue d'après ce que le sujet s'attend à voir ; les yeux tentent d'associer ce qui est vu à ce qui est attendu. Le risque d'erreur est élevé.

En revanche, la suppléance mentale est le processus cognitif qui s'applique après analyse correcte des indices visuels et auditifs perçus. Elle s'appuie sur les données contextuelles et sur les connaissances du sujet permettant ainsi de reconstruire le message reçu. Son efficacité dépend des capacités cognitives (attention, mémoire de travail, etc.) des sujets. Elle implique une maîtrise de la langue à ses différents niveaux (lexical, syntaxique, sémantique), ainsi qu'une maîtrise des habiletés pragmatiques. [57] La suppléance mentale est tout

particulièrement sollicitée lorsqu'un sujet entend avec une déficience auditive et/ou lorsqu'il doit recourir à la lecture labiale. Certains phonèmes sont mal perçus dans l'une ou l'autre modalité ce qui nécessite une « restauration phonémique », terme utilisé notamment en anglais.

e. Régions cérébrales activées lors de la lecture labiale

La lecture labiale est un processus cognitif complexe. Elle active des régions spécifiques et spécialisées. [15]

La lecture labiale active chez les normo-entendants le cortex visuel et légèrement le cortex auditif. [72] [16] [14] La lecture labiale active également les aires motrices et notamment les neurones miroirs) situées dans la partie postérieure du lobe frontal. [33]

L'altération, voire la perte d'une modalité sensorielle, entraîne une réorganisation corticale au profit des modalités préservées. De ce fait, le sujet développe des capacités supérieures dans les modalités sensorielles efficientes par rapport à celles des systèmes fonctionnels. [48] En cas de surdité acquise, la lecture labiale suractive le cortex visuel et le cortex auditif. En effet, dans des conditions de lecture labiale seule, les temps de latence d'activation du cortex auditif sont plus courts chez les adultes devenus sourds que chez les normo-entendants. [72]

Chez les personnes implantées cochléaires, la lecture labiale active autant le cortex visuel et le cortex auditif. Si la plasticité de réhabilitation leur permet de se rapprocher des activations des normo-entendants, il demeure tout de même certaines différences d'activation corticale. [62]

3) Développement de la lecture labiale

a. La lecture labiale : une capacité précoce

L'observation des mouvements des lèvres est présente dès la naissance dans les interactions entre le bébé et sa mère. [8] Les enfants d'âge préscolaire (entre 2.10 et 4.11 ans) sont sensibles à la lecture labiale. Leurs performances en lecture labiale, évaluées par désignation d'image, sont corrélées au niveau de vocabulaire. [25]

A 4 mois, les bébés regardent les yeux du locuteur tandis que de 6 à 12 mois ils regardent sa bouche. [50] De plus, les bébés de 6 mois ont la capacité de distinguer les langues grâce à la lecture labiale. [68] A 12 mois, les bébés regardent

de nouveau les yeux si le locuteur s'exprime dans leur langue maternelle et ils regardent la bouche s'il s'exprime dans une autre langue. [50]

b. La lecture labiale : une capacité qui s'accroît avec l'âge

Cette capacité se développe en partie avec l'âge chez les enfants, quelle que soit la langue utilisée. Une étude comparant 1 groupe d'adultes et 1 groupe d'enfants de 9 ans indique que les performances en lecture labiale sont meilleures chez les adultes que chez les enfants. Il en est donc déduit que les capacités de lecture labiale se développent avec l'âge. [21] La discrimination des contrastes phonologiques (traits phonétiques caractérisant les phonèmes) par la lecture labiale suit également une trajectoire développementale. Une étude comparant 3 groupes (des enfants de 8-9 ans, de 11-12 ans et des adultes de 20-29 ans) montre ainsi que les adultes perçoivent mieux les traits phonétiques distinctifs importants que les enfants. [44]

c. Intérêt de l'entraînement à la lecture labiale

La lecture labiale, capacité précoce, se développe en cas de surdité acquise : il y a un surinvestissement de la modalité visuelle pour compenser les difficultés liées à l'altération de la modalité auditive. Cette compétence nécessite tout de même un entraînement afin d'être entièrement fonctionnelle. L'entraînement à la lecture labiale est d'ailleurs entré dans la nomenclature des orthophonistes en 1972. Plusieurs études prouvent l'efficacité de cet entraînement. [5] [57] [45]

L'apprentissage de la lecture labiale, formel, est dans un premier temps basé sur l'analyse et la mémorisation des images labiales correspondant aux phonèmes de la langue. Sont ensuite proposées des tâches plus complexes autour de la dimension pragmatique de la communication. [85]

Les performances en lecture labiale augmentent avec la pratique et davantage encore lorsque les apprenants deviennent de plus en plus familiers avec le même locuteur. [45]

Si les capacités en lecture labiale diminuent avec l'âge chez les personnes âgées, cela se passe dans une moindre mesure chez les patients entraînés. [5]

B- Perception audiovisuelle de la parole

Nous avons expliqué précédemment que la perception visuelle de la parole est une capacité précoce et que son développement est nécessaire pour les personnes devenues sourdes. En fait, la perception de la parole est multimodale et intègre tant l'information auditive que visuelle. Selon la théorie motrice de la perception de la parole [53], un module est même spécialisé dans la reconnaissance anticipée des gestes produits lors de la parole ce qui indique un lien fort entre perception et production.

Tout comme la perception visuelle de la parole, la perception audiovisuelle de la parole est précoce. En effet, les nouveau-nés fixent souvent la bouche de l'adulte surtout quand celui-ci parle. A 5 mois, les bébés repèrent la correspondance entre des paroles ou des sons et des mouvements de la bouche. Cette aptitude à lier la vision et l'audition est d'une importance extrême au cours de l'acquisition du langage. En regardant le visage et la bouche de l'adulte lorsqu'il leur parle, les bébés approfondissent leurs connaissances des relations entre la perception des sons et leur articulation. [8]

1) Perception audiovisuelle de la parole chez les normo-entendants

a. En situation écologique

Les entendants ignorent pour la plupart qu'ils lisent sur les lèvres lors de la perception de la parole. Pourtant, de nombreuses situations le prouvent. [47] [12] L'illusion provoquée par le ventriloque fonctionne car nous prêtons attention aux mouvements des lèvres de la poupée tandis que les lèvres du ventriloque sont immobiles. Nous pouvons échanger quelques mots simples avec une personne à travers la vitre d'un train en privilégiant des énoncés à forte suppléance mentale. La désynchronisation entre le son et l'image est particulièrement gênante (film mal doublé, chanteur en play-back, acteur doublé par une voix attribuée habituellement à un acteur plus connu, désynchronisation en streaming). L'écoute radiophonique ou téléphonique oblige l'auditeur à renforcer son attention auditive.

De plus, la lecture labiale apporte un bénéfice dans diverses situations. Elle améliore l'intelligibilité en milieu bruyant. [14] En effet, l'utilité de la vision dans la perception de la parole est reconnue lorsque le bruit devient plus élevé que le signal, le bruit de fond réduisant l'intelligibilité de l'énoncé par le masquage de l'information

auditive. Toutefois, ce bénéfice est présent davantage à des niveaux intermédiaires de bruit gênant plutôt qu'à des niveaux élevés. [52]

La perception audiovisuelle de la parole est de meilleure qualité que la perception auditive seule. [4]

La lecture labiale améliore la perception de la parole, même quand le signal auditif est clair. [4] Elle améliore l'intelligibilité de la parole lorsque le contenu est sémantiquement complexe, comme par exemple un texte philosophique, [60] [4] ou prononcé dans une langue étrangère [60] [26] [4] ou encore prononcé dans la langue maternelle mais par un locuteur parlant avec un accent étranger [11] [4] L'intérêt de la lecture labiale, contrairement à la gestuelle, est attesté au cours de l'apprentissage d'une langue seconde. [40]

b. En situation expérimentale

L'effet McGurk, permet d'attester de l'intégration visuelle et auditive de la parole. Une vidéo associant un locuteur articulant [ga] et une séquence audio [ba] est interprétée comme [da]. C'est une réponse « fusionnée » car le phonème [d] obtenu n'appartient à aucune des deux modalités présentées ; le sujet restitue un phonème intermédiaire. MacDonald et McGurk établissent une théorie pour expliquer cet effet. L'audition identifie le mode d'articulation tandis que la vision détecte le lieu d'articulation. [54] [12] Cet effet se produit dans un grand nombre de contextes : au sein de structures syllabiques [27] de mots [27], de phrases [55] et avec des consonnes et des voyelles. [51] [1]

L'effet McGurk semble d'autant plus fort lorsque les conditions d'écoute sont dégradées (en diminuant l'intensité sonore ou en ajoutant du bruit) et lorsque l'aspect dynamique des stimuli visuels est respecté. [23]

Cet effet est particulièrement robuste puisqu'il persiste lorsque les sujets connaissent la nature des informations unimodales. Lors d'une étude, des sujets ont dû focaliser leur attention soit sur la modalité auditive soit sur la modalité visuelle et inhiber l'autre modalité au cours de la perception audiovisuelle de la parole. Il en découle une influence de la consigne donnée sur les résultats obtenus (capacité de l'attention sélective) et une forte propension à intégrer les deux modalités. [10]

De plus, il est présent précocement, dès l'âge de cinq mois. [63]

Cet effet présente des différences interlangues. [12] Par exemple, les Japonais y sont moins réceptifs que les Anglais car ils regardent culturellement moins le visage de leur interlocuteur. [66]

c. Corrélats neuronaux

La perception audiovisuelle de la parole entraîne une plus grande activité cérébrale que la seule perception auditive ou visuelle. [73] Les temps de latence, obtenus par magnétoencéphalographie, sont plus courts en situation audiovisuelle qu'en situation auditive seule. [3]

L'IRM met en évidence l'existence d'un circuit entre le cortex auditif, le cortex visuel et le cortex moteur (aires motrices spécifiques au langage [41]) situé dans le lobe frontal. Les informations visuelles sont utilisées pour améliorer la perception auditive. Le cerveau prédit les informations visuelles qu'il va recevoir et il les compare avec les informations auditives reçues pour améliorer la perception auditive. [3] Cette influence de la perception visuelle (lecture labiale) sur la perception auditive au cours de la perception de la parole est régie par deux circuits, le circuit direct sensori-sensoriel et le circuit indirect sensori-moteur. Le circuit direct traite les signaux sensoriels, auditifs et visuels, et les intègre dans les aires sensorielles concernées. Le circuit indirect permet d'abord le traitement de ces informations sensorielles dans le cortex moteur puis le traitement dans le sillon temporal supérieur. [58]

2) Perception audiovisuelle de la parole chez les sujets implantés

a. Intégration sensorielle optimisée

[36] [61] [70]

La surdité entraîne le développement de la lecture labiale afin de compenser la modalité atteinte. Toutefois, les capacités de lecture labiale des adultes devenus sourds sont maintenues après l'implantation cochléaire, y compris chez les sujets ayant de bonnes performances de compréhension de la parole avec l'IC. Ils obtiennent donc de meilleurs résultats que les normo-entendants en lecture labiale seule, et ce même des années après l'implantation. En effet, la réhabilitation par l'IC favorise l'interaction entre la lecture labiale développée au cours de la surdité et les expériences auditives acquises grâce au port de l'IC. L'IC permet une restauration auditive et une meilleure compréhension de la parole mais ne restitue pas une

audition normale. D’une surdité sévère à profonde, le sujet passe, grâce à l’IC, à une surdité légère.

Les sujets implantés développent alors de nouveaux profils d’intégration des informations sensorielles perçues. Les informations auditives fournies par l’IC sont analysées en parallèle des informations visuelles. La lecture labiale est utilisée comme aide dans le décodage des informations auditives spécifiques délivrées par l’IC. Ainsi, les performances de perception de la parole sont optimisées.

b. Corrélats neuronaux

La surdité entraîne une réorganisation corticale afin de pallier la privation sensorielle dans cette modalité. C’est pour cela que le cortex visuel participe autant au traitement de l’information auditive chez les sujets sourds. L’IC favorise de nouveau une réorganisation corticale. Les zones cérébrales se réorganisent en réponse à un nouvel apprentissage qui correspond à cette nouvelle façon de percevoir, d’entendre et de comprendre.

Initialement, le niveau d'activité dans l’aire de Broca est anormalement bas chez les patients implantés, mais augmente progressivement avec le temps post-implantation. [62] De plus, des activations anormales dans des régions antérieures du cortex temporal supérieur diminuent avec le temps post-implantation. [62] En effet, le fonctionnement cérébral des sujets implantés se rapproche de celui des normo-entendants à douze mois d’implantation cochléaire. [36]

La plasticité cérébrale après implantation cochléaire implique les réseaux auditif, visuel et audiovisuel dans le traitement de la parole. Cette réorganisation permet une intégration plus efficace de l'audiovisuel de la parole après implantation cochléaire. [62]

IV] L’eye-tracking

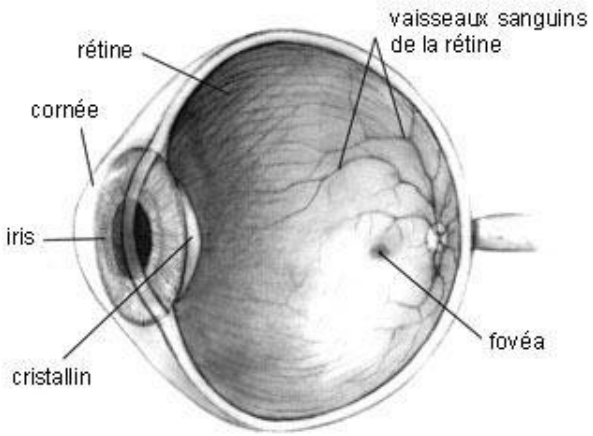
A- La vision et ses troubles

1) Anatomo-physiologie de la vision

Le système visuel est composé de deux parties : le globe oculaire et les voies optiques. [64]

a. Le globe oculaire

Figure 9 : Coupe du globe oculaire



[89]

Le globe oculaire est ainsi appelé car il a sensiblement la forme d’une sphère pleine de 2.5 centimètres de diamètre. Il est enchâssé dans l’orbite, cavité osseuse du crâne dont il occupe la partie antérieure. Il dispose d’un système oculomoteur et d’un appareil de protection. Il est composé d’un contenu et d’une enveloppe.

Le contenu comprend d’avant en arrière : l’humeur aqueuse, le cristallin et le corps vitré. Le cristallin focalise la lumière ; il a pour rôle de concentrer les rayons lumineux sur la rétine.

L’enveloppe est formée par l’accolement de trois membranes, qui sont de dehors en dedans :

- La scléro-cornée composée de la sclère, « blanc de l’œil », et de la cornée, couche translucide qui recouvre la partie externe du globe oculaire.

- L'uvée inclus la choroïde, le corps ciliaire et l'iris. La pupille est au centre de l'iris. L'iris s'ouvre et se ferme pour moduler la quantité de lumière entrant dans l'œil.
- La rétine.

b. La rétine

La rétine est le lieu de transformation de l'énergie lumineuse en activité nerveuse. Elle comprend la macula, la fovéa et la papille.

La fovéa forme une petite dépression au centre de la macula et permet la meilleure résolution optique. Ses champs récepteurs se trouvent au centre du champ visuel. Les données visuelles perçues par cette zone, qui représente moins de 8% du champ visuel, constituent 50% des informations visuelles transmises au cerveau.

La papille optique est une zone circulaire où les axones des cellules ganglionnaires donnent naissance au nerf optique. La papille mesure environ 1.5 mm de diamètre et est plus pâle que le reste de la rétine. Elle est également nommée « point aveugle » car cette région ne comporte pas de photorécepteurs.

Il existe deux types de photorécepteurs rétiniens : les cônes (5%) et les bâtonnets (95%). Les cônes, regroupés au sein de la macula, répondent à une lumière intense. Ils assurent une forte acuité visuelle. Ils sont impliqués dans la perception des couleurs et dans la capacité à distinguer les détails. Les bâtonnets fonctionnent à des intensités lumineuses faibles. Ils sont responsables de la vision périphérique et de la vision nocturne.

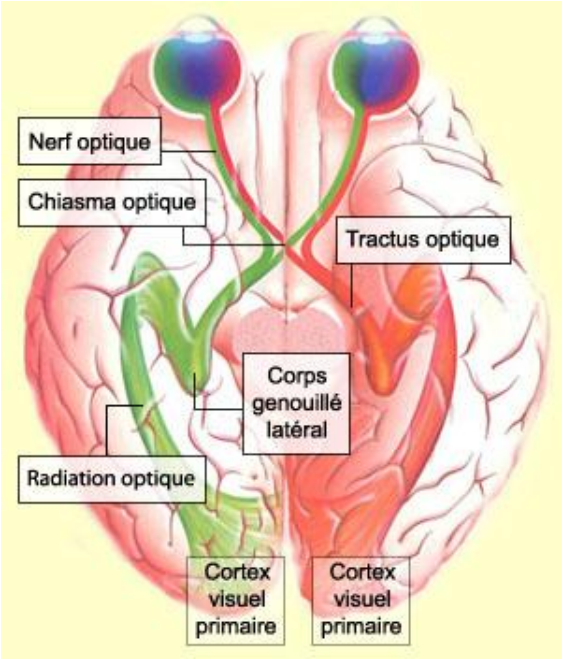
L'image visuelle se forme sur la rétine, à travers le système optique : cornée, cristallin. Puis l'influx nerveux naît au niveau de l'épithélium sensoriel de la rétine.

c. Les voies optiques

Les voies optiques correspondent aux structures nerveuses de l'épithélium sensoriel de la rétine au lobe occipital du cerveau via le nerf optique, le chiasma optique, les bandelettes optiques, le corps genouillé latéral (relais thalamique) et les radiations optiques. Le message est interprété par le cortex visuel primaire (ou cortex strié ou aire V1), le cortex visuel secondaire et le cortex visuel tertiaire (ou associatif), qui correspondent respectivement aux aires 17, 18 et 19 de Brodmann et qui sont situés dans le lobe occipital. Dans ce circuit, l'information visuelle est traitée simplement et conserve une organisation rétinotopique ; sa disposition au niveau

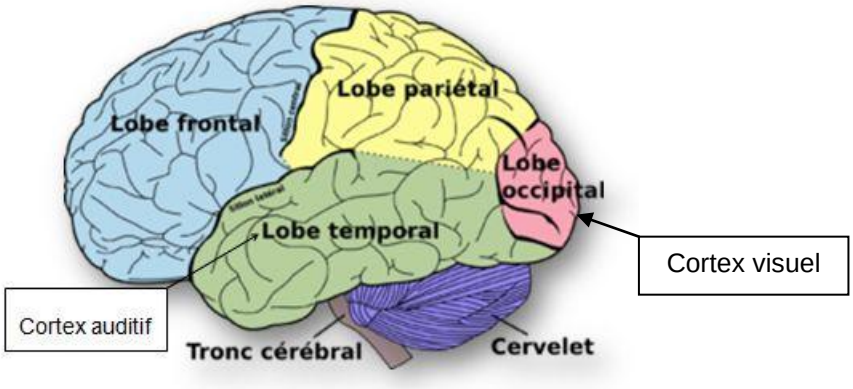
rétinien est retrouvée au niveau du cortex visuel primaire. Au-delà de ce cortex visuel primaire, l'information visuelle est traitée de manière plus complexe par la voie occipito-pariétale, ou dorsale, et par la voie occipito-temporale, ou ventrale. [18] Le cortex visuel est donc localisé dans le lobe occipital et empiète également sur les lobes temporal et pariétal.

Figure 10 : Voies optiques



[90]

Figure 11 : Localisation des cortex visuel et auditif



[91 ; 92]

2) Les mouvements oculaires

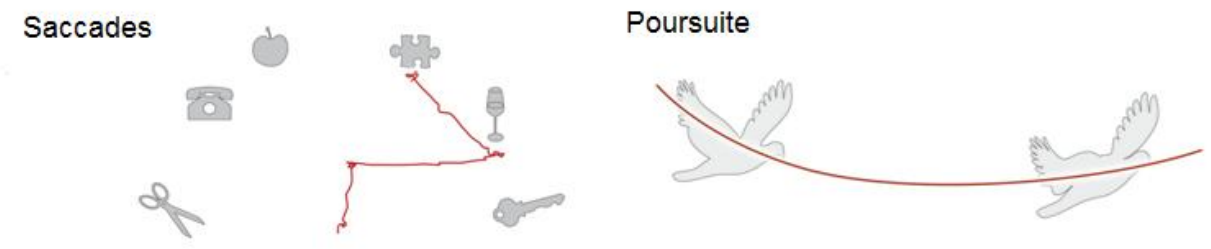
a. Les différents mouvements oculaires

Les globes oculaires effectuent des rotations autour de leur centre grâce aux muscles oculaires ce qui modifie la direction du regard. [76]

On distingue cinq types de mouvements oculaires :

- Les saccades sont des mouvements rapides entre deux positions stables. Elles permettent d'amener l'image cible sur la fovéa. L'exploration visuelle est principalement fondée sur d'incessantes saccades, en moyenne trois par seconde.
- La dérive est un mouvement lent et progressif.
- Les micro-saccades sont des mouvements de même nature mais d'amplitude plus faible que les saccades, et surviennent lors de la fixation.
- La micro-dérive est un mouvement de même nature que la dérive, mais d'amplitude plus faible.
- Le micro-tremblement est un mouvement d'oscillation rapide et de faible amplitude.

Figure 12 : Mouvements oculaires



[93]

b. Les fonctions assurées par les mouvements oculaires

Les mouvements oculaires se combinent pour assurer quatre fonctions principales dans le traitement de l'information visuelle : [76]

1. Placer l'information pertinente sur la fovéa. Pour ce faire, les saccades et les fixations sont utilisées. Une fixation est la stabilité des mouvements oculaires sur une zone spécifique du champ visuel. Lors de la lecture ou de la perception d'une scène, il en résulte une suite de fixations entrecoupées de saccades.

2. Empêcher le déclin perceptif des objets fixes grâce aux micro-saccades, aux micro-tremblements et à la dérive.
3. Conserver l'image fixe sur la rétine malgré les mouvements de la tête. Le réflexe oculo-vestibulaire compense les mouvements brefs de la tête pour maintenir le regard fixé sur son objectif.
4. Conserver l'image fixe sur la rétine malgré les mouvements de la cible.

Le réflexe opto-cinétique compense les mouvements rotationnels continus de la cible.

La poursuite lisse, qui fait intervenir essentiellement la dérive, permet de maintenir sur la fovéa une cible en mouvement lent, comme suivre un oiseau voler. Lorsqu'on observe le paysage à travers la fenêtre d'un train, le processus enclenché est une suite de dérives (correspondant à la poursuite lisse) entrecoupée régulièrement par une saccade ramenant l'œil à une position plus centrale.

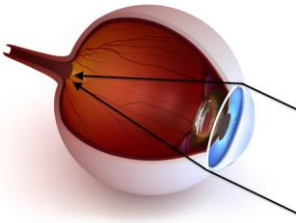
3) Troubles et corrections visuels

a. Troubles visuels

Les disparités optiques entre les différentes composantes de l'œil occasionnent des anomalies de la réfraction ou amétropie, telles que la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme. [42] [64]

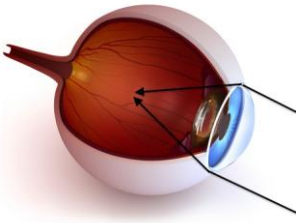
La myopie est l'incapacité de voir nettement les objets éloignés. Elle peut être due à une courbure trop accentuée de la cornée ou à une longueur excessive du globe oculaire. Dans les deux cas, même avec un cristallin aplati au maximum, l'image des objets lointains se projette en avant de la rétine et non sur elle. [42]

Figure 13 : L'œil normal ou emmétrope



[94]

Figure 14 : L'œil myope

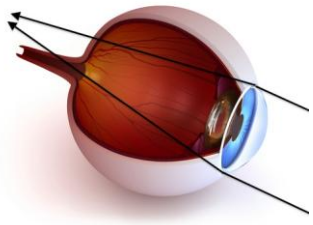


[95]

L'hypermétropie est l'incapacité de voir nettement les objets rapprochés. Elle peut être due à une longueur insuffisante de l'œil ou à une puissance insuffisante du

système réfringent. Même avec un cristallin bombé au maximum, l'image à la surface de la rétine est floue, la focalisation se faisant plus en arrière. [42]

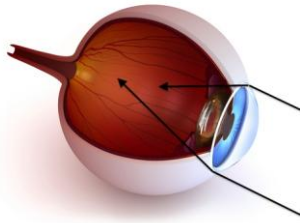
Figure 15 : L'œil hypermétrope



[96]

L'astigmatisme est caractérisé par une vision floue de près comme de loin. C'est la forme d'amétropie qui ne donne pas d'un point une image ponctuelle mais deux images linéaires, dites focales. [64] Il est le plus souvent causé par une absence de sphéricité de la face antérieure de la cornée (la cornée est comme un ballon de rugby au lieu d'un ballon de football). La réfraction de la lumière est donc inégale. [31]

Figure 16 : L'œil astigmate



[97]

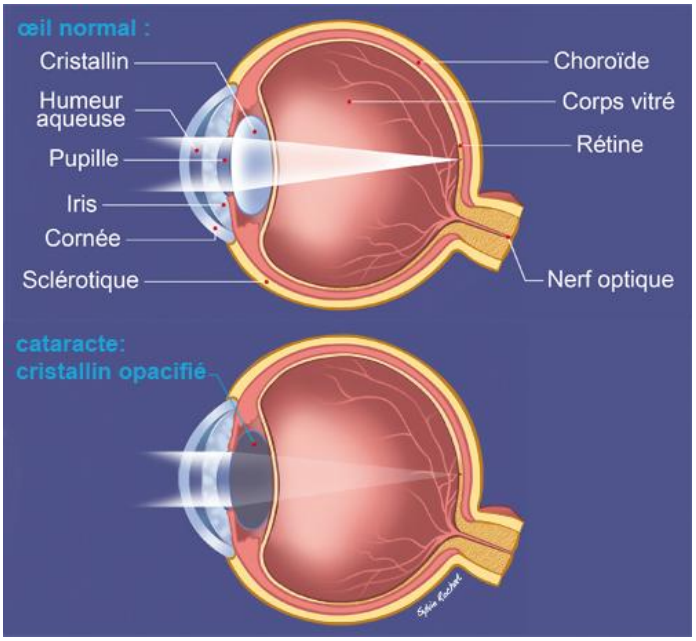
L'accommodation est la faculté que possède l'œil de modifier sa réfraction afin de voir net à différentes distances. [64] La diminution de l'accommodation avec l'âge est appelée presbytie.

La presbytie est la difficulté voire l'incapacité à voir nettement des objets rapprochés. Elle apparaît avec l'âge, habituellement autour de quarante-cinq ans. Avec l'âge, le cristallin perd de son élasticité, ce qui réduit la courbure maximum qu'il peut prendre lorsque les muscles ciliaires se contractent (capacité d'accommodation). Le point le plus proche dont l'œil puisse former une image nette

s'éloigne et il faut tenir les objets (un livre par exemple) de plus en plus loin pour que leur image se focalise sur la rétine. [42]

La cataracte se définit par l'opacification de tout ou partie du cristallin. Elle se manifeste chez l'adulte par une baisse de l'acuité visuelle avec impression de brouillard, de voile devant les yeux et par une gêne à la lumière forte qui entraîne une sensation d'éblouissement. [64]

Figure 17 : L'œil présentant une cataracte



[98]

Le glaucome est caractérisé par une destruction progressive des fibres du nerf optique sous l'influence de plusieurs facteurs dont le plus fréquent est l'hypertonie oculaire. Les trois signes principaux de la maladie sont : l'augmentation de la pression intraoculaire, l'élargissement de l'excavation papillaire et les altérations caractéristiques du champ visuel.

b. Corrections visuelles

La myopie peut être corrigée par le port de lunettes équipées de verres divergents dont la puissance mesure le degré de myopie [64], par le port de lentilles concaves (à puissance négative) ou par la chirurgie cornéenne. [42]

L'hypermétropie peut être corrigée par le port de lunettes équipées de verres convergents, [67] par le port de lentilles convexes (à puissance positive) ou par la chirurgie cornéenne. [42]

L'astigmatisme peut être corrigé par le port de lunettes équipées de verres cylindriques, ou par le port de lentilles de contact. [64]

La correction de la presbytie est assurée par des verres convergents à simple foyer ou verres unifocaux, ne servant qu'à la vision de près. Cette correction s'ajoute à la correction de loin ; il existe dans ce cas-là trois types de verres :

- des verres à double foyer ou verres bi-focaux pour lesquels la séparation est nette entre la vision de loin (segment supérieur) et la vision de près (segment inférieur)
- des verres à triple foyer ayant un segment intermédiaire en plus des verres à double foyer
- des verres progressifs dont la puissance varie de façon progressive depuis leur partie haute qui correspond à la vision de loin jusqu'à leur partie basse qui permet la vision de près.

La cataracte et le glaucome sont traitables chirurgicalement. [64]

B- Explications de l'eye-tracking

1) Définition

L'eye-tracking ou oculométrie est une technique permettant de mesurer, d'enregistrer et d'analyser les mouvements oculaires sur un stimulus visuel afin de déterminer l'ordre et la durée des points de fixation, c'est-à-dire les éléments observés. L'eye-tracking comprend un dispositif, l'eye-tracker, et un logiciel d'analyse des données à utiliser sur un ordinateur. [76]

2) Domaines d'application et études

a. Domaines d'application

L'eye-tracking date de la fin du 19ème siècle (Edmund Huey, 1898). [80] Les premières études à l'époque étaient consacrées aux mouvements oculaires au cours de la lecture.

L'eye-tracking est actuellement largement répandu. Il est utilisé dans le cadre de différentes fonctions – marketing, ergonomie, communication, multimédia, recherche scientifique et industrielle, médecine et dans des domaines très variés tels que : [77]

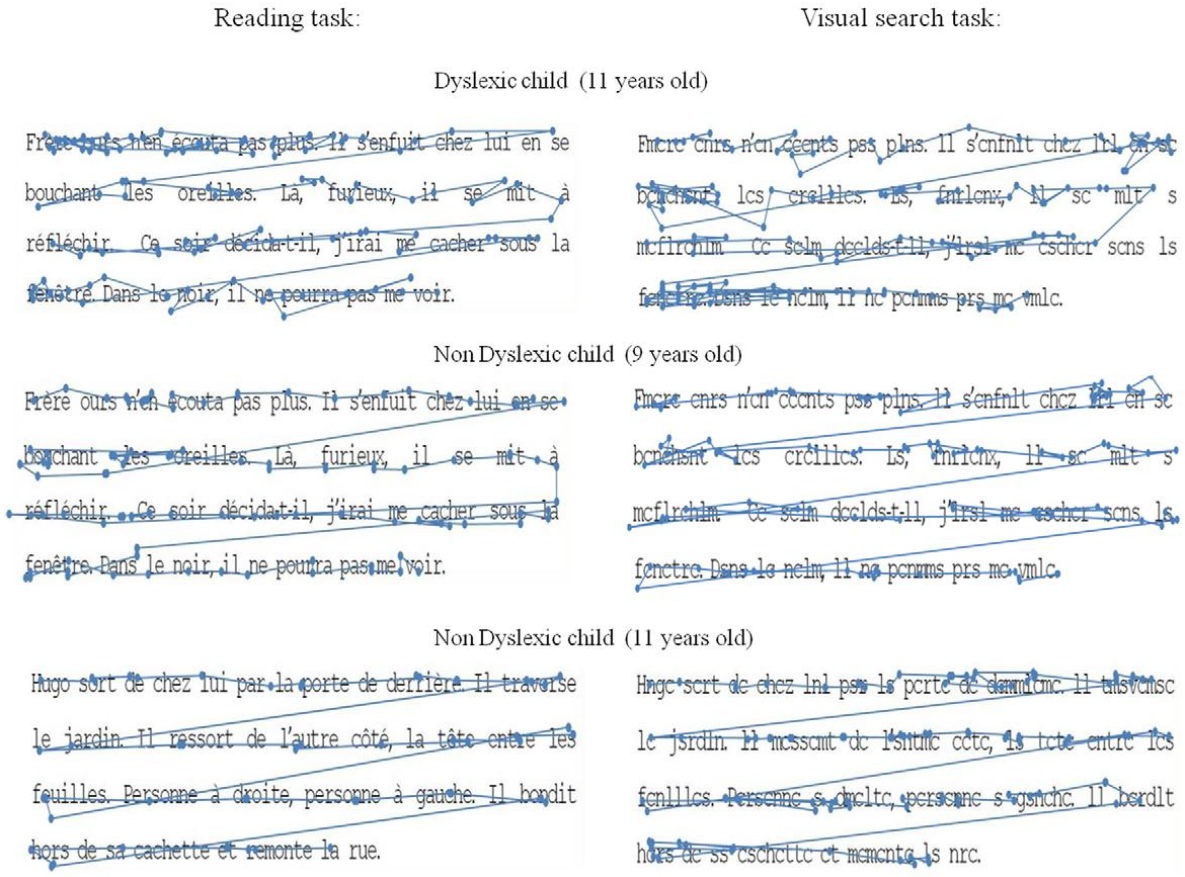
- le commerce : observer le comportement des clients sur les lieux de vente, soit quant à la position des produits dans les étalages (« merchandising »), soit quant à l'emballage des produits (« packaging »)
- le web : analyse des sites web, des emails, de la visibilité des emplacements publicitaires, des résultats proposés par les moteurs de recherche
- les transports : à titre d'exemple, il permet d'étudier dans l'industrie automobile la manière dont le conducteur interagit avec l'environnement intérieur (tableau de bord, rétroviseurs) et extérieur (les panneaux de signalisation, les feux, les piétons, les autres automobilistes etc.)
- le sport : utilisé à la fois en recherche et développement et par les formateurs et entraîneurs. Il permet d'analyser les techniques, les déplacements, les positions dans le but de l'optimisation des performances.
- la recherche en ophtalmologie, en psychologie cognitive, en psychologie du développement, psychopathologie, psycholinguistique ; par exemple, observer les interactions sociales, observer le comportement de lecture
- l'ophtalmologie. Il est compliqué de maintenir l'œil parfaitement fixe pendant longtemps. Le système informatique utilisé en chirurgie des yeux au laser est programmé pour que l'eye-tracking sécurise la procédure en suivant les moindres mouvements de l'œil. Ainsi le traitement est parfaitement centré tout au long de la procédure.

b. Exemples d'études en orthophonie avec eye-tracking

La littérature sur l'eye-tracking est abondante et variée. De nombreuses études s'appuient sur cette technique. En voici quatre exemples concernant le champ de l'orthophonie.

L’eye-tracking peut renseigner sur les stratégies de lecture et de recherche d’informations d’enfants dyslexiques. Des enfants dyslexiques de 11 ans font en effet plus de fixations et de régressions que des enfants normo-lecteurs du même âge, leur comportement visuel étant globalement comparable à celui d’enfants de 9 ans, même s’ils manquent de précision par rapport à ces derniers. [9]

Figure 18 : Fixations d’enfants dyslexiques et d’enfants non dyslexiques



[9]

L’eye-tracking permet également d’étudier la perception des interactions sociales par des enfants autistes de trois à six ans (photo de gauche), comparés à des enfants tout-venant de trois ans (photo de droite). L’enregistrement de leur comportement visuel (points et temps de fixation) lors du visionnage d’une vidéo de deux femmes qui dialoguent montre que les fixations des enfants autistes sont plus dispersées que celles des enfants tout-venant. [30]

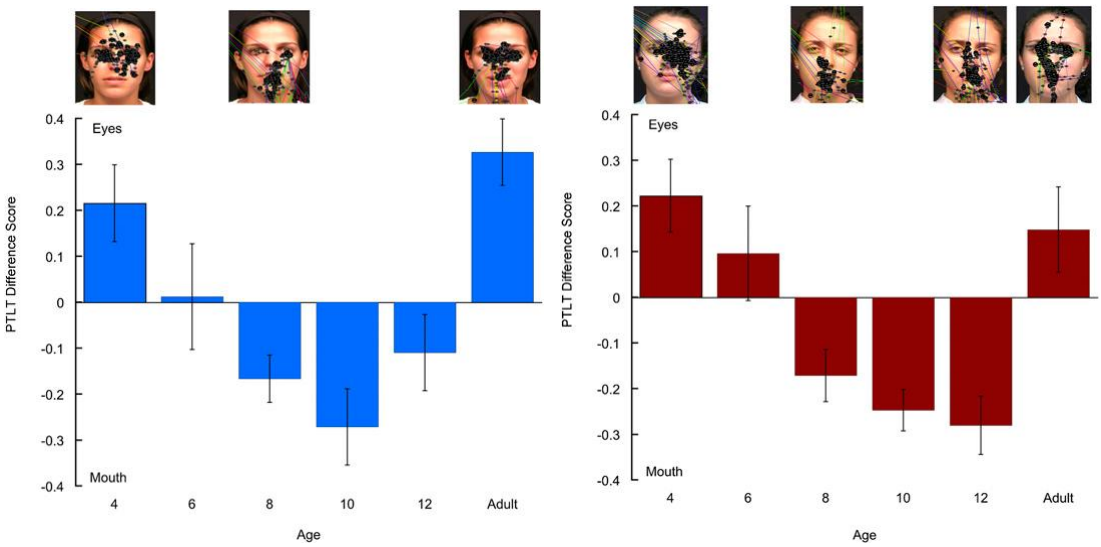
Figure 19 : Fixations d'enfants autistes et d'enfants tout-venant

[78]

L'eye-tracking a aussi pu montrer [49] que la capacité de l'homme à suivre le regard d'autrui n'est pas simplement due à la position des yeux au centre du visage observé mais qu'elle dépend d'un module neuronal distinct se focalisant sur les yeux. Ainsi, des sujets visionnant des images de personnes, de créatures non humaines avec les yeux au milieu du visage (« humanoïdes) et de créatures dont les yeux sont positionnés ailleurs (« monstres »), regardent les yeux des humains, des humanoïdes et également ceux des monstres et non le milieu de leur tête.

L'eye-tracking a permis d'analyser le comportement visuel de bébés âgés de 4 à 12 mois regardant une vidéo d'une personne qui parle leur langue puis une autre langue (cf. partie lecture labiale, capacité précoce). [50]

Figure 20 : Fixations de bébés au cours de l'acquisition du langage



Locutrice native Locutrice non native

3) Les différents systèmes

Le procédé d'eye-tracking se décline en différents systèmes : intégré dans un écran de télévision, pouvant être monté sur différentes interfaces (ordinateur portable, écran d'ordinateur, tablette numérique…), lunettes et boîtier. Nous avons écarté les dispositifs reliés directement à une interface car nous voulions enregistrer les mouvements oculaires des sujets lors d'une passation habituelle de bilan orthophonique.

a. Le système lunettes

Le système lunettes est composé d'une paire de lunettes, d'un boîtier qui gère l'enregistrement et d'un fil reliant les deux. Les lunettes, assez grosses mais relativement légères, sont à ajuster avec un élastique. Ce dispositif, mobile, permet d'étudier les mouvements oculaires au cours de déplacements du sujet dans un environnement réel. Le port de ses propres lunettes sous celles de l'eye-tracker n'est pas confortable voire empêche de recueillir les données. Etant donné le nombre de patients portant des lunettes dans le service et que ce système soit monoculaire (œil droit), nous avons décidé, après essai du système « tobii glasses », de ne pas opter pour cet eye-tracker.

Figure 21 : Eye-tracker « tobii glasses »

[99]

b. Le système X120

Le système X120 est un dispositif fixe qui permet l'enregistrement par un boîtier des mouvements oculaires d'un sujet immobile (assis sur une chaise ou debout par exemple) qui regarde un stimulus stable d'un environnement réel ou d'un

écran de télévision. Après essai, nous avons retenu ce système X120 (cf. les caractéristiques techniques du système X120 en annexe).

Figure 22 : Eye-tracker X120

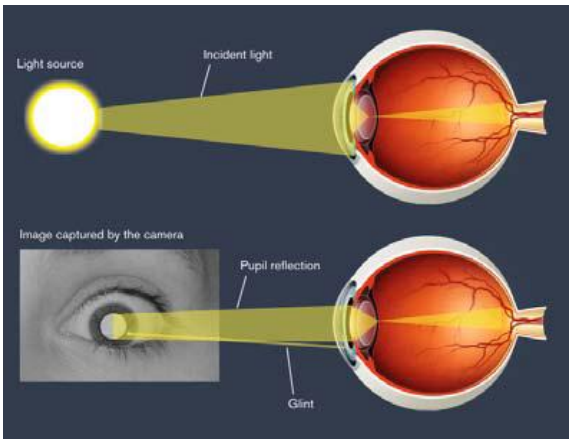
[100]

4) Fonctionnement

a. Méthode de l'eye-tracker

L'eye-tracker X120 utilise la méthode dite par réflexion cornéenne. Des diodes projettent des faisceaux de lumière infrarouge au centre de la pupille du sujet. La réflexion de ces rayons infrarouges sur la cornée et la pupille provoque deux types de reflet : des reflets fixes sur la cornée et des reflets mobiles sur la pupille. Les capteurs optiques de la micro-caméra infrarouge, intégrée dans l'eye-tracker, recueillent ces reflets pour déterminer la position de l'œil. Les mouvements des yeux sont enfin calculés en utilisant les angles et les distances à l'aide de calculs trigonométriques. Il est possible de calculer le vecteur formé par l'angle compris entre les réflexions de la cornée et de la pupille. [19] [76]

Figure 23 : Méthode par réflexion cornéenne

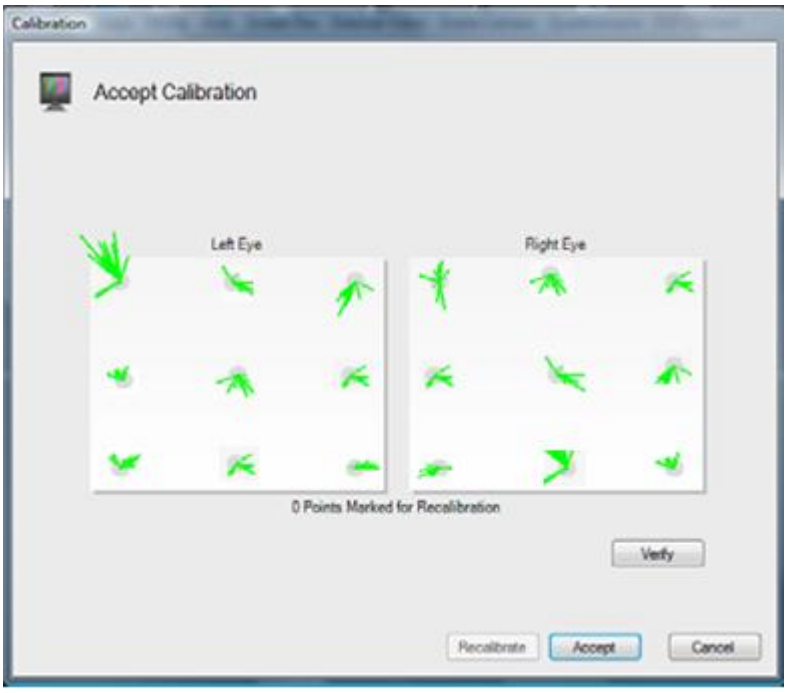


[76]

Même lors de l'observation d'un stimulus stable, nos yeux sont en mouvement. L'eye-tracker tient compte de ces variations en calculant une moyenne de plusieurs points de fixation dans un espace visuel restreint. [76]

Au préalable de l'enregistrement, une calibration des yeux du sujet testé est effectuée. L'eye-tracker crée un modèle 3D de l'œil pour pouvoir mesurer les mouvements oculaires verticaux et horizontaux. Pour cela, le sujet fixe neuf points donnés sur l'écran, permettant à l'eye-tracker de collecter puis d'analyser une série de données sur le mouvement des yeux : une image toutes les 8,3 ms avec une fréquence d'échantillonnage de 120 hertz pour le modèle X120. Le résultat obtenu est ensuite intégré au modèle de l'œil du sujet testé créé par l'eye-tracker. [76]

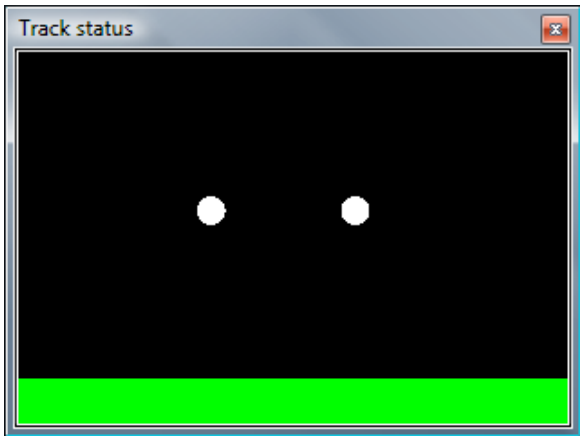
Figure 24 : Résultats de la calibration



[75]

Nous pouvons vérifier en temps réel l'état du suivi oculaire avant de commencer la calibration puis tout au long de l'enregistrement. Pour ce faire, une fenêtre apparaît avec les deux yeux du sujet testé détectés par l'eye-tracker. La barre de couleur située en dessous indique la qualité de l'enregistrement (de vert à rouge).

Figure 25 : Etat du suivi oculaire



[75]

b. Représentation des données

Il existe deux façons de visualiser les données du logiciel d'eye-tracking : « gaze-plot » (ou l'image scanpath) et « heat-map » (carte de chaleur).

Généralement, les fixations sont représentées graphiquement par des points et les saccades par des droites reliant les points de fixation. La taille des points indique la durée de fixation. Les nombres indiqués au-dessus des points correspondent à l'ordre des fixations.

La carte de chaleur utilise différentes couleurs : des plus chaudes au plus froides, du rouge au vert. Elle indique ainsi le nombre et la durée des fixations des zones de la scène. Une zone sans couleur sur la carte signifie qu'il n'y a pas de fixation. Mais cela ne veut pas dire que cette région n'a pas été vue du tout ; elle a pu être détectée de manière floue par la vision périphérique. [76]

Figure 26 : Représentation des données en « gaz-plot » et en « heat-map »

Notre revue de la littérature nous a permis d'explorer les spécificités de la perception visuelle et audiovisuelle de la parole. La lecture labiale est une capacité utilisée par les normo-entendants notamment dans les situations gênantes. Elle est particulièrement sollicitée par les sujets devenus sourds.

Dans la partie pratique, nous nous demandons si les sujets sourds implantés et/ou appareillés continuent à utiliser la lecture labiale autant que les sourds non appareillés et/ou non implantés ou si leur comportement visuel se rapproche de celui des entendants. En d'autres termes, quels scores obtiennent les adultes devenus sourds et que regardent-ils ? Nous cherchons à savoir également si les entendants ont recours à la lecture labiale dans des circonstances plus ou moins confortables de communication, ainsi que cela est décrit dans la littérature.

PARTIE PRATIQUE

PARTIE PRATIQUE

I] Problématique et hypothèses

A- Problématique

La plasticité cérébrale est la capacité du cerveau à organiser et réorganiser ses aires au cours de la vie. On parle de plasticité de privation et de plasticité de réhabilitation.

Dans la partie précédente, nous avons exposé, chez les adultes devenus sourds, d'une part l'efficacité de l'implant cochléaire et d'autre part l'intérêt de la lecture labiale. Nous nous interrogeons donc sur les performances en lecture labiale des sujets adultes sourds implantés et/ou appareillés. Les sujets implantés conservent-ils de bonnes performances en lecture labiale ? L'utilisation de l'eye-tracking permet-elle de savoir ce que regardent les sujets selon leur niveau d'audition et leur éventuelle réhabilitation en fonction de différentes modalités de communication ? Quel dispositif, vidéo ou face à face, est le plus adapté ? Existe-t-il une différence entre la perception de la parole en 2D (vidéo) et celle en 3D (face à face) ? Est-ce que le processus d'identification des phonèmes est le même selon les deux dispositifs ? Est-il utile d'ajouter l'eye-tracking à la panoplie des tests orthophoniques afin de mieux comprendre le comportement de compréhension des patients ?

L'objet de la partie pratique de ce mémoire est de confronter les temps de fixation oculaire, les nombres de visite des aires d'intérêt et les scores obtenus aux tests orthophoniques, afin d'observer l'utilisation de la lecture labiale chez des sujets adultes devenus sourds.

Pour ce faire, nous avons élaboré un protocole soigneusement contrôlé qui objective les performances des sujets sourds, du niveau analytique (phonème) au niveau global (phrases), dans trois modalités de reconnaissance de la parole : audiovisuelle en situation confortable, visuelle seule et audiovisuelle en situation gênante.

B- Hypothèses

❖ **Hypothèse 1 relative aux zones du visage regardées**

- **a.** Les zones du visage sont plus regardées que les zones hors visage ou hors écran.
- **b.** Les sujets normo-entendants regardent plus les yeux et peu la bouche.
- **c.** Les sujets sourds réhabilités regardent plus les yeux que la bouche.
- **d.** Les sujets sourds réhabilités ont un comportement qui se rapproche de celui des normo-entendants.
- **e.** Les sujets sourds non réhabilités regardent essentiellement la bouche.

❖ **Hypothèse 2 relative aux zones du visage regardées en fonction des situations**

La lecture labiale étant utilisée par tout le monde (cf. partie théorique), nous faisons l'hypothèse que :

- **a.** Les sujets normo-entendants regardent peu la bouche en situation confortable mais davantage en situation gênante.
- **b.** Les patients réhabilités par l'IC et/ou l'ACA ont un comportement similaire aux normo-entendants. Ils regardent plus les yeux que la bouche en situation confortable et dans une moindre mesure en situation gênante.
- **c.** Les sujets sourds non appareillés regardent essentiellement la bouche en situation confortable et encore plus en situation gênante.

❖ **Hypothèse 3 relative aux dispositifs orthophoniste réelle et vidéo**

Les sujets étant plus précis de manière générale dans la condition 3D que dans la condition 2D [20], nous faisons l'hypothèse que les scores obtenus avec le dispositif orthophoniste réelle (3D) sont meilleurs qu'avec le dispositif vidéo (2D).

❖ **Hypothèse 4 relative à la matrice de confusion**

- **a.** Les matrices de confusion du dispositif vidéo sont différentes de celles du dispositif avec l'orthophoniste réelle car certains éléments passent mal en 2D (par exemple projection et arrondissement des lèvres).

b. Les phonèmes [p, b, m, f, v, ʃ, ʒ] sont mieux perçus que les phonèmes [t, d, n, ɲ, s, z, l] eux-mêmes mieux vus que les phonèmes [k, g, ʁ] pour les raisons détaillées en partie théorique.

c. Les phonèmes [i, a, u] sont davantage perçus que les phonèmes [e, y, œ, o, ɑ̃, ɔ̃, j, w, ɥ] car ce sont les trois voyelles cardinales.

❖ **<u>Hypothèse 5 relative aux scores en lecture labiale</u>**

a. Le niveau de lecture labiale dépend du mode de survenue et du degré de la surdité mais pas de la durée de la surdité.

Les sujets devenus sourds de façon progressive ont de meilleures performances en lecture labiale que les sujets devenus sourds de façon brusque. [57]

L'activation des zones cérébrales dans la modalité lecture labiale seule diffère selon le niveau de surdité [17] et les sujets sourds ont de meilleures compétences en lecture labiale que les sujets normo-entendants. [24] [61] Nous posons donc l'hypothèse suivante : le niveau de lecture labiale dépend du degré de surdité.

Le niveau de lecture labiale ne dépend pas de la durée de la surdité. [57] [61]

b. Le niveau de lecture labiale dépend du sexe, de l'âge et du niveau socio-culturel.

Les femmes ont de meilleures performances en lecture labiale que les hommes. [57] [69]

Les sujets jeunes ont de meilleures performances en lecture labiale que les sujets plus âgés. [32] [57]

Le niveau de lecture labiale dépend du niveau socio-culturel.

c. Le niveau de lecture labiale est corrélé avec le degré d'attention et de concentration visuelle estimé par le taux de fixation de l'écran.

Les sujets ayant un taux de fixation supérieur à 80% ont une meilleure lecture labiale que ceux ayant un taux de fixation inférieur à 80%.

II] Méthodologie

A- Description de la population étudiée

Notre étude est réalisée au sein du service ORL – CRIC (Centre de Réglage des Implants Cochléaires) du Professeur Frachet à l'hôpital Rothschild (Paris 12ème). Ce service est un centre d'implantation cochléaire pour adultes. Notre population est donc constituée d'adultes sourds âgés d'au moins 18 ans. 72 sujets ont participé à notre étude.

- 43 femmes (59.72%) et 29 hommes (40.28%) ont participé à l'étude.
- Nous procédons à un découpage d'âge en trois groupes : les actifs (18-64 ans), les jeunes retraités (65-79) et les retraités âgés (supérieur à 80 ans).
  - 41 actifs (56.94%)
  - 26 retraités jeunes (36.11%)
  - 5 retraités âgés (6.94%)
- Concernant la vision, le jour de la passation, 29 personnes n'ont pas de correction visuelle (40.28%) et 43 personnes ont une correction visuelle (59.72%) dont 42 personnes portent des lunettes (parfois avec des verres progressifs). On retrouve :
  - 14 myopies et presbyties
  - 12 myopies seules
  - 7 presbyties seules
  - 2 myopies, presbyties et DMLA
  - 1 greffe de cornée et traitement par laser
  - 1 myopie associée à un glaucome
  - 1 myopie, presbytie et glaucome non opéré
  - 4 myopies, presbyties et cataracte
  - 1 étiologie inconnue
- Concernant la latéralité, 64 sujets se déclarent droitiers (88.88%), 4 gauchers (5.56%) et 4 ambidextres (5.56%).

3 sous-groupes ont été créés :

a) 19 sujets normo-entendants

- 11 sujets sont des femmes et 8 des hommes.
- L'âge moyen est de 36 ans, l'âge minimum est de 19 ans et l'âge maximum est de 70 ans.

b) 10 sujets sourds non appareillés

- 7 sujets sont des femmes et 3 des hommes.
- L'âge moyen est de 61 ans, l'âge minimum est de 30 ans et l'âge maximum est de 85 ans.
- Degré de perte auditive moyenne, établi selon le critère du BIAP (cf. partie théorique)
  - 8 sujets présentent une surdité légère.
  - 2 sujets présentent une surdité moyenne.
- Les étiologies des surdités sont[1] : otite chronique (1), presbyacousie (8), surdité brusque (1), inconnue (1).

c) 43 sujets sourds appareillés

- 25 sujets sont des femmes et 18 des hommes.
- L'âge moyen est de 62 ans, l'âge minimum est de 28 ans et l'âge maximum est de 86 ans.
- Degré de perte auditive moyenne
  - 2 sujets présentent une surdité moyenne.
  - 3 sujets présentent une surdité sévère.
  - 38 sujets présentent une surdité profonde.
- Les étiologies des surdités sont diverses[2] : otite chronique (5), otospongiose (4), presbyacousie (1), surdité ototoxique (6), maladie de Ménière (3), surdité brusque (2), traumatisme sonore (3), surdité génétique (8), surdité congénitale (6), inconnue (8).
- Appareillage

[1] N.B. Le total n'est pas de 10 car certains patients n'ont pas la même cause sur chaque oreille.

[2] N.B. Le total n'est pas de 43 car certains patients n'ont pas la même cause sur chaque oreille.

- 2 sujets porteurs d'1 ACA
- 1 sujet porteur d'ACA bilatéral
- 13 sujets porteurs d'IC unilatéraux
- 19 sujets porteurs d'IC unilatéraux avec ACA controlatéral
- 8 sujets porteurs d'IC bilatéraux

B- Matériel

1) Support technologique

a. Support technologique lors de la passation

Nous disposons d'un matériel de dernière technologie lors des passations et nous utilisons deux dispositifs, vidéo et avec l'orthophoniste réelle.

Figure 27 : Deux dispositifs technologiques

2 systèmes	Vidéo	Orthophoniste réelle
Présentation des stimuli	écran de télévision présentant les vidéos et deux haut-parleurs situés de part et d'autre du sujet testé	orthophoniste
Mode d'enregistrement	eye-tracker	eye-tracker
Sauvegarde des données	ordinateur équipé du logiciel d'eye-tracking	• ordinateur équipé du logiciel d'eye-tracking • caméra filmant l'orthophoniste

Figure 28 : Configuration du dispositif vidéo

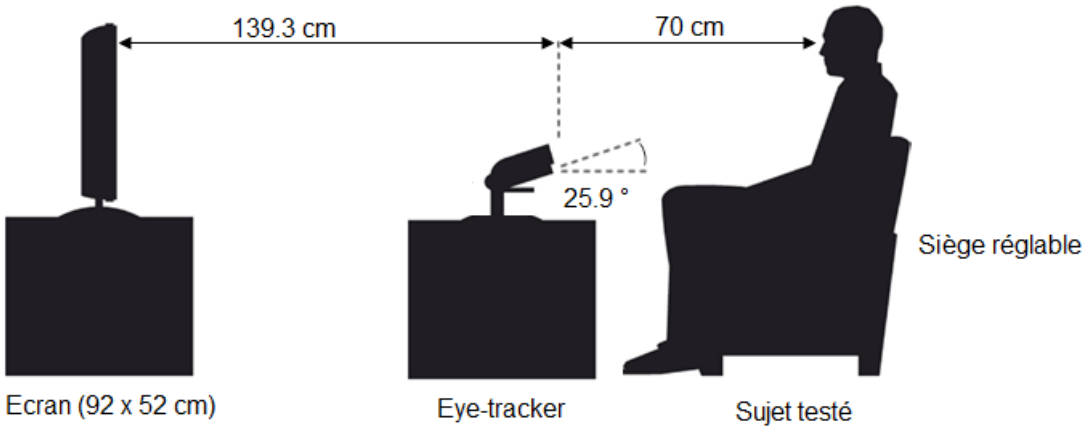
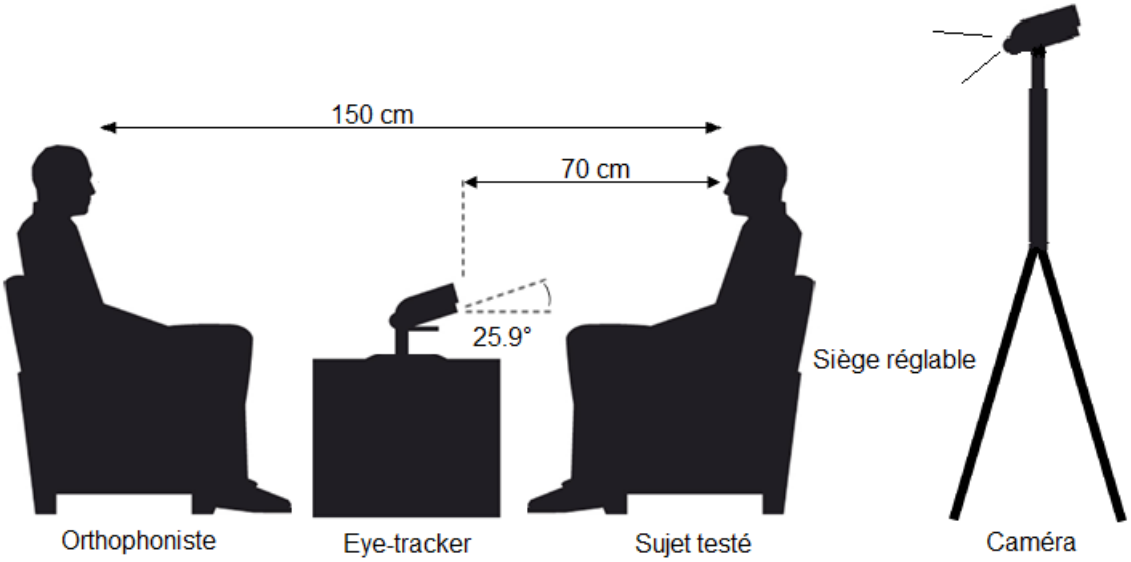


Figure 29 : Configuration du dispositif avec l'orthophoniste réelle

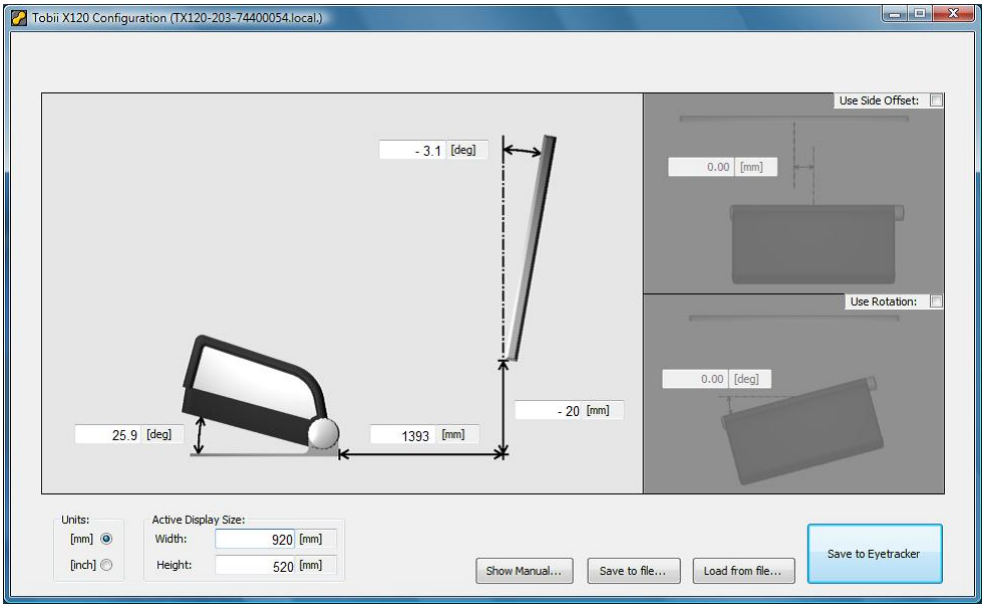


b. Réglages de l'eye-tracker

Les paramètres de positionnement à indiquer dans l'outil de configuration X120 sont :

- l'angle d'inclinaison de l'eye-tracker
- la distance entre l'eye-tracker et l'écran
- l'angle d'inclinaison de l'écran
- la différence de hauteur entre l'écran et l'eye-tracker
- la zone d'affichage active (longueur * largeur de l'écran)

Figure 30 : Réglages de l'eye-tracker



[74]

Les conditions de passation respectent les critères favorisant la communication avec un malentendant :

- un éclairage direct sur l'examinateur, sans ombre sur son visage ou contre-jour, d'intensité confortable pour le sujet
- une distance d'environ 1.5 mètre entre le sujet et l'examinateur installés en face à face de chaque côté d'un bureau
- un environnement sonore calme.

c. Enregistrement des vidéos

Deux orthophonistes du service et moi-même avons été filmées. Chaque enregistrement vidéo correspond à une liste de mots, de phrases ou à une présentation de consignes décrites dans le protocole. Nous avons enregistré deux présentations de consignes, la première correspond à une introduction générale suivie des consignes « mots », la deuxième à celles des « phrases ». Après chaque consigne orale, une instruction écrite apparaît. Voici le déroulement du scénario présenté aux sujets (cf. annexe pour les consignes) :

1. Présentation générale suivie des consignes « mots »
2. Instructions écrites « mots »
3. Liste de mots « Année »
4. Présentation des consignes « phrases »
5. Instructions écrites « phrases »

6. Liste de phrases « Embrasse »
7. Instruction écrite « mots »
8. Liste de mots « Abbé »
9. Instruction écrite « phrases »
10. Liste de phrases « Quelqu'un »
11. Instruction écrite « mots »
12. Liste de mots « Ami »
13. Instruction écrite « phrases »
14. Liste de phrases « Leçon »

Les conditions de l'enregistrement sont :

- utilisation d'un fond bleu derrière la personne filmée. Plusieurs couleurs ont été testées pour le fond ; par exemple le rose a été éliminé car il écrase les contrastes du visage et les reliefs.
- caméra sur un trépied
- la personne se place à un mètre de la caméra et est filmée en gros plan (visage en entier et haut des épaules visibles)

Figure 31 : Gros plan

Nous avons suivi les instructions suivantes lors de l'enregistrement :

- Rester immobile.
- Fixer toujours le regard au même endroit.
- Laisser un intervalle de 4 secondes entre chaque mot ou phrase pour que le sujet testé ait le temps de répéter le stimulus.

2) Protocole

a. Les modalités

Les performances des sujets sont évaluées dans trois modalités différentes :

- en audition (avec réhabilitation auditive) et lecture labiale à une intensité confortable pour le sujet
- en lecture labiale seule
- en audition (avec correction auditive) et lecture labiale à une intensité faible, gênante pour le sujet. Nous choisissons une modalité gênante dans laquelle les sujets seraient amenés à utiliser la lecture labiale. Nous optons de les gêner non pas en ajoutant un bruit de fond mais en diminuant l'intensité sonore de la voix de l'orthophoniste (qu'elle soit virtuelle par support vidéo ou réelle en face à face).

L'intensité sonore des haut-parleurs et l'intensité vocale de l'orthophoniste varient selon les trois modalités. L'intensité (cf. en annexe) est déterminée à partir de l'audiogramme vocal en champ libre avec les aides auditives pour les sujets sourds appareillés. Pour les sujets sourds non appareillés et les sujets normo-entendants, l'intensité est déterminée à partir de l'audiogramme vocal en champ libre. Pour les tests en lecture labiale seule, avec l'orthophoniste réelle, les sujets normo-entendants mettent des boules-quiès et un casque.

b. Les unités langagières

Trois unités langagières sont testées :

- le phonème, via la cotation habituelle des listes de mots triphonémiques cochléaires de Lafon (afin d'éviter tout effet de suppléance mentale)
- le mot, sans contexte, via la cotation des mots des listes cochléaires de Lafon (limiter au maximum la suppléance mentale) et en contexte dans des phrases (utilisation plus importante de la suppléance mentale)
- la phrase.

c. Les listes

Nous utilisons 6 listes de mots et 6 listes de phrases (cf. en annexe) [24], issues des listes de Lafon et des listes MMBA. Contrôlées en terme de fréquence

d'occurrence des phonèmes et des mots dans la langue, elles sont équivalentes pour pouvoir comparer les modalités.

Chaque modalité (audiovision à intensité confortable, lecture labiale seule puis audiovision à intensité gênante) est testée avec une liste de 17 mots triphonémiques et une liste de 15 phrases d'environ 100 mots.

3) Passation

a. Bilan audiométrique

Au préalable des tests, un bilan audiométrique est réalisé avec :

- un audiogramme tonal de chaque oreille
- un audiogramme tonal binaural en champ libre avec les aides auditives dans le silence sur les fréquences : 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 hertz
- un audiogramme vocal en champ libre avec les aides auditives dans le silence à l'aide des listes dissyllabiques de Fournier avec une voix de femme.

b. Test orthophonique

Avant de commencer la passation, l'examinateur s'entretient quelques minutes avec le sujet. Ainsi celui-ci se familiarise avec le visage de son interlocuteur, son articulation et sa voix.

Chaque sujet se voit présenter des listes de mots et de phrases à répéter, avec le système vidéo puis avec l'orthophoniste réelle dans chacune des trois modalités (audiovision à intensité confortable, lecture labiale seule puis audiovision à intensité gênante).

Un seul examinateur par sujet est retenu pour les trois modalités et lors des deux temps du test. Ainsi, il n'y a pas de biais lié à des différences d'articulation, de débit de parole, de mouvements faciaux, etc.

L'eye-tracking enregistre pendant ces deux moments de test la durée et la localisation des mouvements oculaires du sujet sur l'orthophoniste réelle ou filmée.

Ces deux phases du test sont entrecoupées d'une pause pendant laquelle l'orthophoniste recueille les données personnelles du sujet (date de naissance, niveau d'étude, catégorie socio-professionnelle, latéralité, audition, vision) Pour les patients les plus fatigables, nous prenons deux rendez-vous différents pour passer les deux parties du test.

4) Cotation

Les mots triphonémiques ne sont proposés qu'une seule fois tandis que les phrases sont dites une deuxième fois si cela est nécessaire, sans pénalité au niveau du score. Certaines phrases sont longues et nous ne voulons pas évaluer la mémoire de travail en même temps que les modalités choisies.

a. Listes de mots triphonémiques

Nous calculons deux scores pour les mots triphonémiques :

- Le premier est le score de phonèmes correctement répétés soit un maximum de 3 par mot et 51 par liste.
- Le second est le score de mots correctement répétés soit un maximum de 1 par mot et 17 par liste. Nous obtenons ainsi un score de compréhension de mots hors contexte.

Par exemple, [ane] perçu [ane] est coté 3/3 au premier score et 1/1 au second, [sil] perçu [si] est coté 2/3 au premier score et 0/1 au second, [ʁɔ̃d] perçu [ʁɔ̃dɛ̃] est coté 3/3 au premier score et 0/1 au second.

b. Listes de phrases

Nous calculons deux scores pour les phrases :

- Le premier est le score de mots correctement répétés entre 101 et 110 mots par liste. Nous obtenons ainsi un score de compréhension de mots en contexte.
- Le second est le score de phrases correctement répétées soit un maximum de 1 par phrase et 15 par liste.

c. Score global

Nous calculons un score global correspondant à la moyenne des performances aux quatre épreuves dans une modalité.

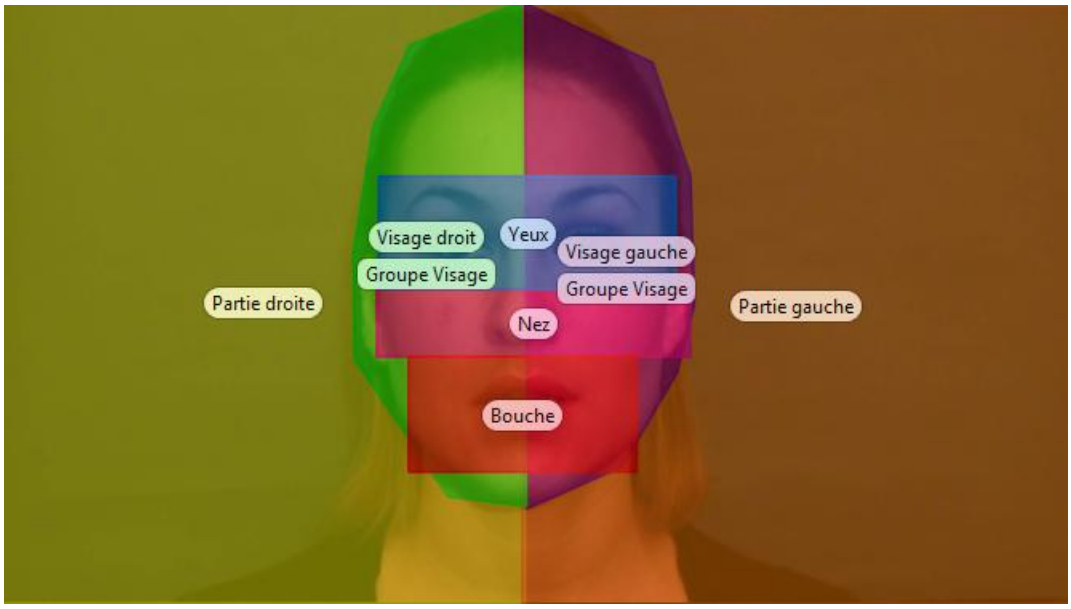
Tous les scores bruts sont ramenés à des pourcentages.

III] Analyse des résultats[1]

Nous étudions les résultats de la population totale et ceux des trois groupes : les normo-entendants (désormais nommés NE), les sujets sourds corrigés (désormais nommés SC) et les sujets sourds non corrigés (SNC).

Nous sélectionnons des aires d'intérêt qui sont traitées par le logiciel d'eye-tracking. Nous définissons les zones yeux, nez, bouche, visage (total yeux, nez et bouche), visage droit, visage gauche, partie droite et partie gauche.

Figure 32 : Aires d'intérêt



Sont analysés :

- d'une part les temps de fixation oculaire dans chaque zone. Le logiciel fait bien la différence entre les saccades oculaires et les taux de fixation.
- d'autre part le nombre de visites fait par le sujet dans chaque zone.

L'intérêt d'avoir ces deux données est de distinguer par exemple un sujet qui fait des va-et-vient entre les yeux et la bouche d'un sujet qui reste longuement sur les yeux

[1] Cette partie du mémoire a fait l'objet d'une présentation orale au 20ème congrès mondial de l'International Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies à Séoul du 1er au 5 juin 2013 et fait l'objet d'une soumission pour le 120ème congrès de la Société Française d'Oto-Rhino-Laryngologie à Paris du 12 au 14 octobre 2013.

puis longuement sur la bouche. Si leurs temps de fixation sont comparables, en revanche le nombre de visites dans chaque aire d'intérêt sera différent.

Les résultats obtenus par les sujets sont comparables quel que soit le visage observé lors des tests (chaque sujet passe les tests avec le même visage).

Les sujets déclarent préférer passer les tests avec l'orthophoniste en face à face (83%) plutôt qu'avec le support vidéo (10%) ; 7% des sujets n'ont pas de préférence.

A- Résultats obtenus grâce à l'eye-tracking

Les résultats obtenus par l'eye-tracking décroissent globalement au cours de l'évaluation. Nous pouvons émettre plusieurs hypothèses pour l'expliquer :

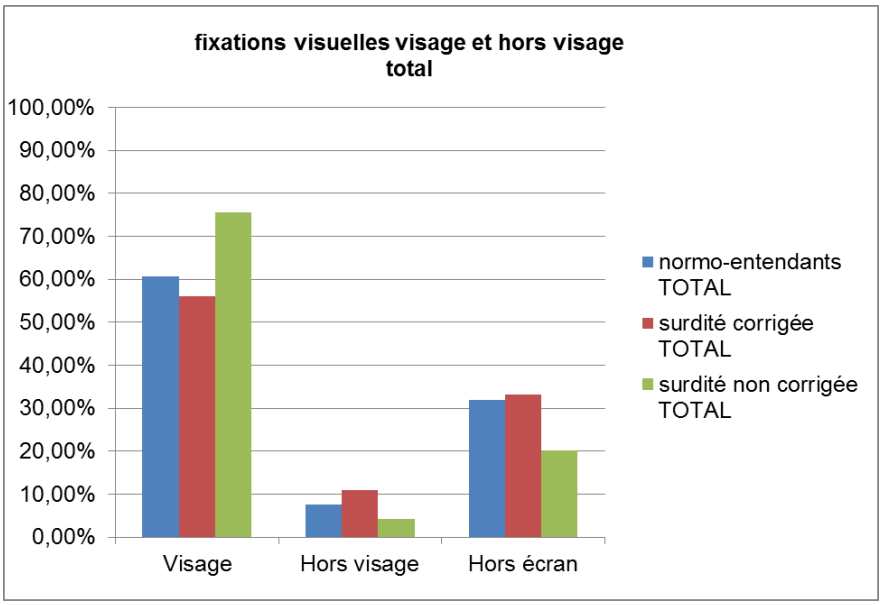
- Les sujets ont bougé et l'eye-tracker ne peut plus traiter correctement les données.
- Les sujets se lassent au fur et à mesure de l'évaluation et regardent moins l'orthophoniste en face à face ou en support vidéo. Il serait intéressant de faire une étude en faisant varier les intervenants, les supports, le contenu, etc.
  N'observons-nous pas tout compte fait la traduction d'un comportement normal : nous regardons davantage attentivement quelqu'un ou quelque chose d'inconnu (découverte, curiosité) puis d'une manière moins attentive ou moins constante ensuite ?
- Les sujets relâchent leur attention car ils s'attendaient à quelque chose de beaucoup plus difficile et se rendent compte que la tâche n'est pas aussi ardue que prévue. Il serait intéressant de faire passer les mêmes tests mais dans un ordre différent, en faisant varier l'ordre de présentation entre les éléments les plus simples ou les plus complexes.

Nous exploitons les résultats du dispositif vidéo obtenus grâce à l'eye-tracking. Des soucis de qualité d'enregistrements des mouvements visuels des sujets face à face avec l'orthophoniste réelle nous empêchent d'exploiter les données de ce dispositif (problème lié à l'effet de parallaxe). Toutefois les comportements visuels sont identiques dans les deux dispositifs.

1) Résultats globaux

a. Aires d'intérêt visage, hors visage et hors écran

Figure 33 : Taux de fixation visage, hors visage et hors écran



Les NE regardent le visage à 60.58% (versus 7.52% et 31.90% respectivement hors visage et hors écran), les SC à 56.06% (versus 10.85% et 33.09%) et les SNC à 75.53% (versus 4.30% et 20.17%).

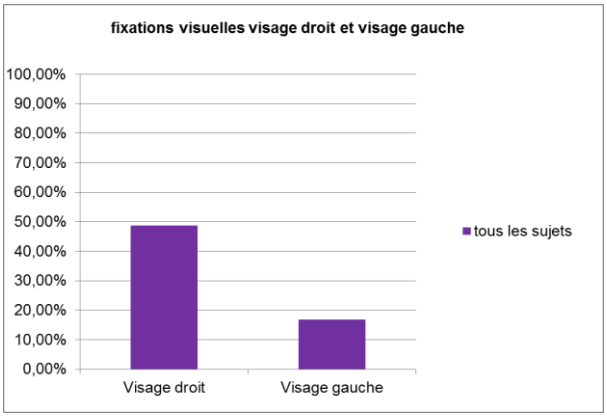
Les SNC regardent plus le visage que les NE ou les SC.

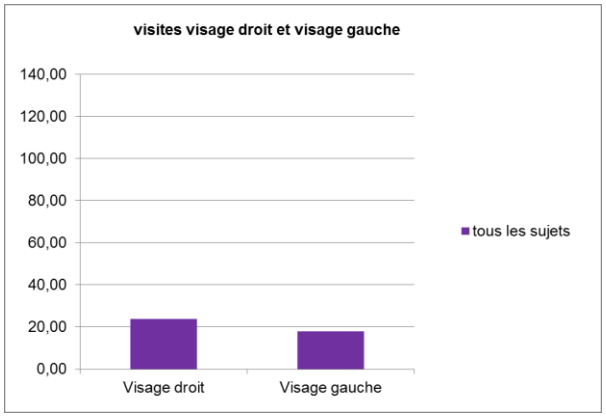
Tous les sujets regardent de façon significative préférentiellement le visage. **L'hypothèse 1a est donc validée.**

b. Aires d'intérêt visage droit et visage gauche

Au cours de la passation des tests il est apparu que les sujets ne regardent pas le centre du visage mais que leur regard se pose préférentiellement sur un côté. Nous voulons donc comprendre si ce comportement est fréquent ou non et s'il est lié à la latéralisation des sujets.

Figure 34 : Latéralisation chez tous les sujets





Tous les sujets fixent le visage droit (48.71%) plus que le visage gauche (16.85%). De même, ils regardent légèrement plus de fois le visage droit que le visage gauche, ce qui signifie qu'ils le regardent à chaque fois beaucoup plus longtemps.

Figure 35 : Comportement oculaire des sujets gauchers

	Taux de fixation		Nombre de visites	
	Visage droit	Visage gauche	Visage droit	Visage gauche
Gaucher 1	81.60%	0.80%	13	2
Gaucher 2	33.16%	3.81%	28	9
Gaucher 3	16.25%	0.67%	10	5
Gaucher 4	51.76%	27.36%	28	29

Sur 4 sujets gauchers, 3 ont un comportement identique aux droitiers. Seul 1 sujet (gaucher 4) regarde davantage le visage gauche. Mais au total son taux de fixation le plus important est sur le visage droit.

Il serait peut-être judicieux dans une étude ultérieure d'observer ce phénomène plus en détail par rapport à tous les travaux liés à la cognition des gauchers.

c. Aire d'intérêt bouche

Nous avons vu que les sujets regardent préférentiellement le visage de l'orthophoniste. Observons maintenant sur quelle zone du visage leur attention se porte (yeux, nez ou bouche). Sont présentés pour chaque sous-test (exemple : audition et lecture labiale de mots ou de phrases, lecture labiale seule de mots et de phrases, etc.) et chaque groupe de sujets (NE, SNC et SC) les taux de fixation sur

chaque zone (bouche, nez et yeux), ainsi que les scores de significativité pour la variable taux de fixation en fonction des zones (Anova à mesures répétées).

Figure 36 : Taux de fixation bouche par modalité et par groupe

Modalité et groupe	**Aires d'intérêt**			**Test Anova**
	Bouche	**Nez**	**Yeux**	
présentation[1]	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants (n=19)[2]	35.70%	13.71%	24.28%	Taux de fixation
sourds corrigés (n=42)	43.85%	13.34%	10.62%	F=49.44, p<0.0001
sourds non corrigés (n=10)	55.13%	12.00%	12.97%	
audition + lecture labiale mots	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants (n=19)	42.90%	12.62%	18.55%	F=68.15, p<0.0001
sourds corrigés (n=41)	40.62%	11.56%	7.80%	
sourds non corrigés (n=10)	64.80%	8.57%	5.65%	
audition + lecture labiale phrases	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants (n=19)	23.14%	11.58%	19.55%	F=23.11, p<0.0001
sourds corrigés (n=40)	30.73%	10.00%	7.36%	
sourds non corrigés (n=10)	44.04%	15.11%	9.19%	
lecture labiale mots	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants (n=19)	39.79%	10.17%	5.64%	F=85.25, p<0.0001
sourds corrigés (n=39)	45.76%	6.49%	2.99%	
sourds non corrigés (n=10)	68.76%	4.54%	5.70%	
lecture labiale phrases	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants (n=19)	44.38%	6.57%	8.38%	F=122.43, p<0.0001
sourds corrigés (n=38)	42.04%	5.23%	6.09%	
sourds non corrigés (n=10)	74.85%	2.78%	2.82%	
audition + lecture labiale voix faible mots	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants (n=18)	41.20%	7.33%	6.15%	F=129.24, p<0.0001
sourds corrigés (n=38)	46.26%	6.91%	3.24%	
sourds non corrigés (n=10)	71.82%	4.42%	2.02%	
audition + lecture labiale voix faible phrases	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants (n=18)	34.21%	9.73%	8.48%	F=82.69, p<0.0001
sourds corrigés (n=38)	37.24%	9.75%	4.55%	
sourds non corrigés (n=10)	53.57%	8.10%	1.85%	
TOTAL	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants	37.33%	10.25%	13.00%	
sourds corrigés	40.93%	9.04%	6.09%	
sourds non corrigés	61.85%	7.93%	5.74%	

[1] Moment où l'orthophoniste ne demande pas de répéter ; le sujet est passif devant l'écran.

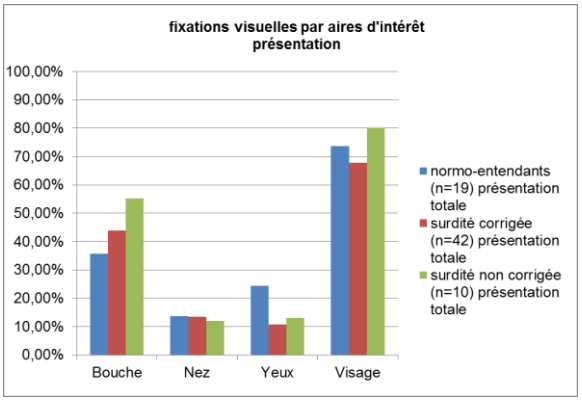
[2] Le nombre de sujets peut varier d'une modalité à l'autre en raison de la perte de données si le sujet a bougé.

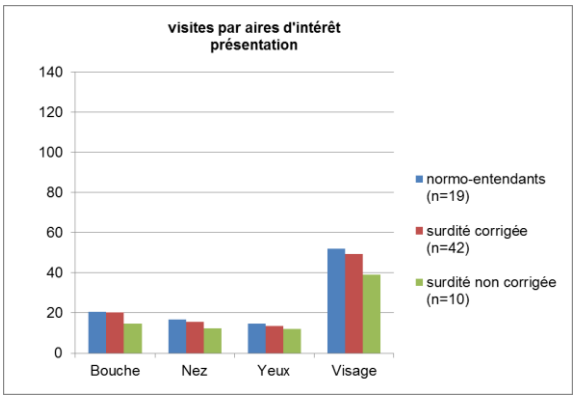
Ci-dessous figurent les mêmes facteurs susceptibles d'influencer la variable dépendante du nombre de visites dans chaque zone. Là encore, le test statistique utilisé est une Anova à mesures répétées.

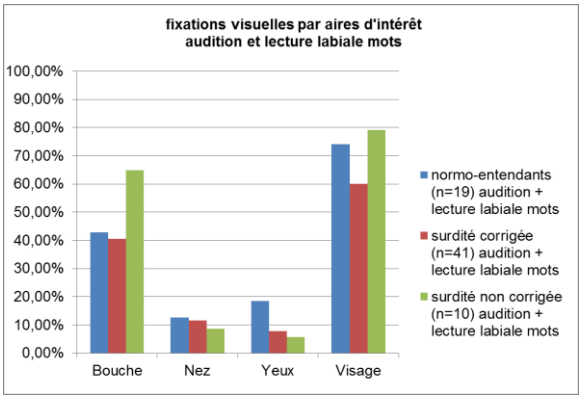
Figure 37 : Nombre de visites bouche par modalité et par groupe

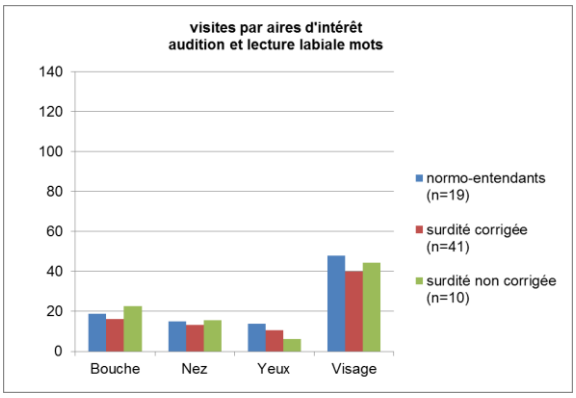
Modalité et groupe	**Aires d'intérêt**			**Test Anova**
	Bouche	**Nez**	**Yeux**	
présentation	Bouche	Nez	Yeux	
normo-entendants (n=19)	20.68	16.63	14.68	Non significatif
sourds corrigés (n=42)	20.21	15.60	13.50	
sourds non corrigés (n=10)	14.60	12.30	12.20	
audition + lecture labiale mots				
normo-entendants (n=19)	18.95	14.89	13.95	F=9.022, p<0.000
sourds corrigés (n=41)	16.32	13.10	10.51	
sourds non corrigés (n=10)	22.70	15.50	6.20	
audition + lecture labiale phrases				
normo-entendants (n=19)	30.11	31.21	33.53	F=6.28, p<0.002
sourds corrigés (n=40)	35.00	29.38	20.73	
sourds non corrigés (n=10)	60.60	50.30	23.70	
lecture labiale mots				
normo-entendants (n=19)	11.74	8.74	8.26	F=5 p<0.008
sourds corrigés (n=39)	13.08	8.51	6.18	
sourds non corrigés (n=10)	10.40	6.70	2.70	
lecture labiale phrases				
normo-entendants (n=19)	43.58	23.16	25.00	F=11.49, p<0.0001
sourds corrigés (n=38)	39.58	26.32	23.87	
sourds non corrigés (n=10)	48.10	24.30	16.40	
audition + lecture labiale voix faible mots				
normo-entendants (n=18)	13.39	9.44	7.28	F=12.25, p<0.0001
sourds corrigés (n=38)	16.13	11.47	6.55	
sourds non corrigés (n=10)	19.10	9.90	4.70	
audition + lecture labiale voix faible phrases				
normo-entendants (n=18)	42.67	36.83	26.56	F=18.76, p<0.0001
sourds corrigés (n=38)	44.24	35.16	21.18	
sourds non corrigés (n=10)	65.80	46.10	12.90	
TOTAL				
normo-entendants	25.87	20.13	18.46	
sourds corrigés	26.37	19.93	14.65	
sourds non corrigés	34.47	23.59	11.26	

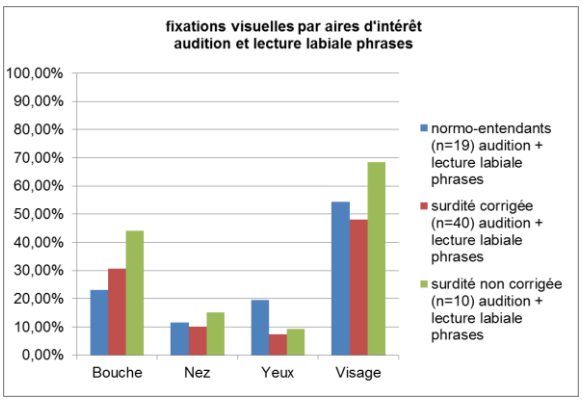
Figure 38 : Fixation et visites bouche par modalité et par groupe

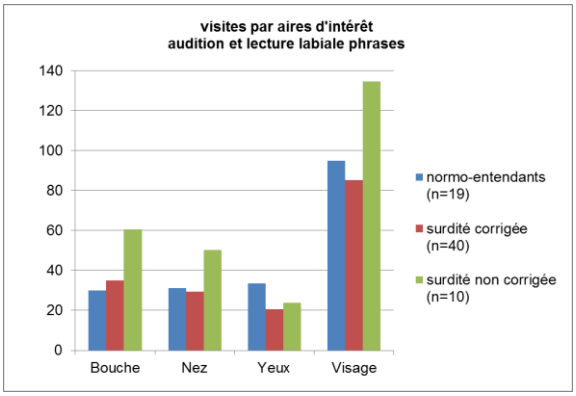


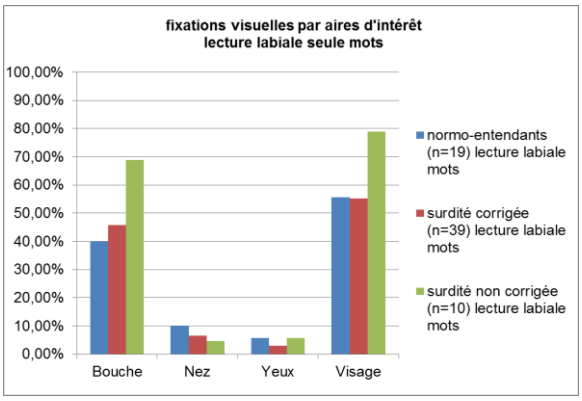


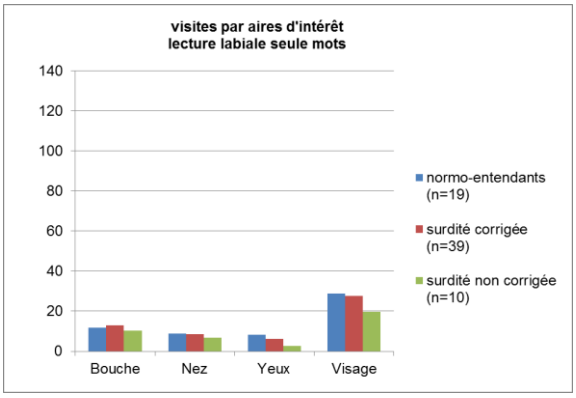


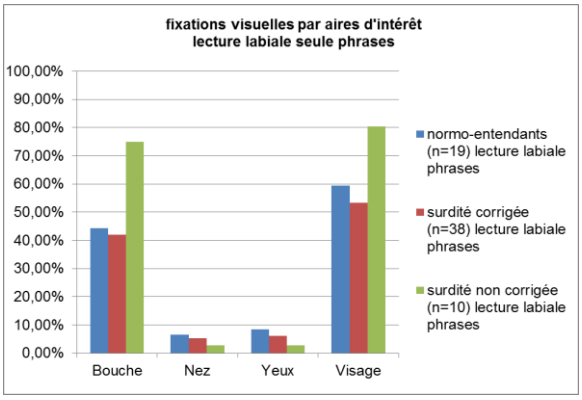


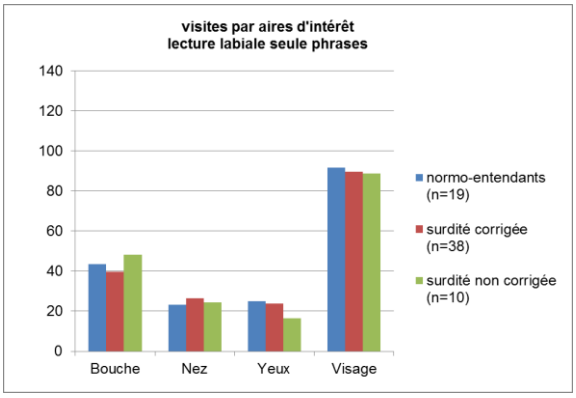


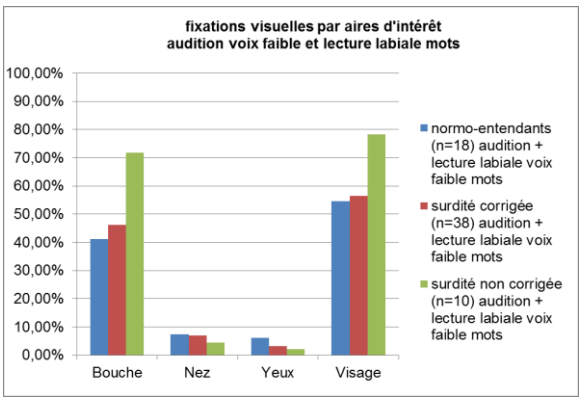


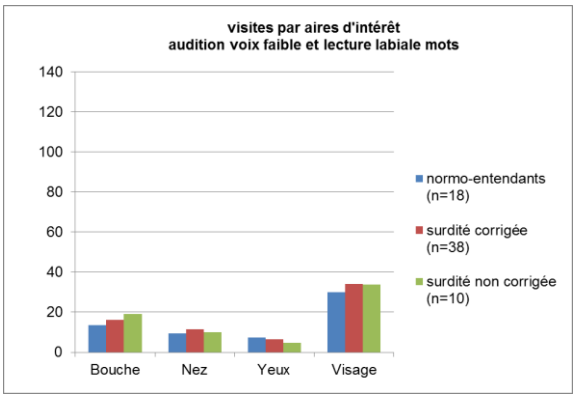


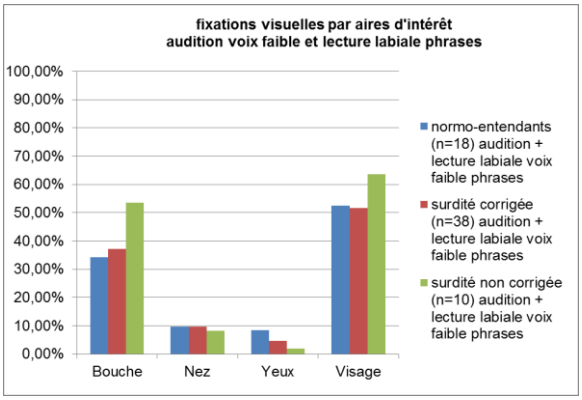


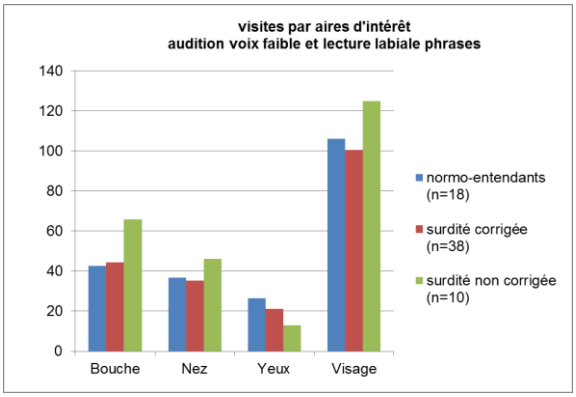

fixations visuelles par aires d'intérêt
lecture labiale seule phrases
100,00%
90,00%
80,00%
70,00%
60,00%
50,00%
40,00%
30,00%
20,00%
10,00%
0,00%
Bouche
Nez
Yeux
Visage
normo-entendants (n=19) lecture labiale phrases
surdité corrigée (n=38) lecture labiale phrases
surdité non corrigée (n=10) lecture labiale phrases


visites par aires d'intérêt
lecture labiale seule phrases
140
120
100
80
60
40
20
0
Bouche
Nez
Yeux
Visage
normo-entendants (n=19)
surdité corrigée (n=38)
surdité non corrigée (n=10)


fixations visuelles par aires d'intérêt
audition voix faible et lecture labiale mots
100,00%
90,00%
80,00%
70,00%
60,00%
50,00%
40,00%
30,00%
20,00%
10,00%
0,00%
Bouche
Nez
Yeux
Visage
normo-entendants (n=18) audition + lecture labiale voix faible mots
surdité corrigée (n=38) audition + lecture labiale voix faible mots
surdité non corrigée (n=10) audition + lecture labiale voix faible mots


visites par aires d'intérêt
audition voix faible et lecture labiale mots
140
120
100
80
60
40
20
0
Bouche
Nez
Yeux
Visage
normo-entendants (n=18)
surdité corrigée (n=38)
surdité non corrigée (n=10)

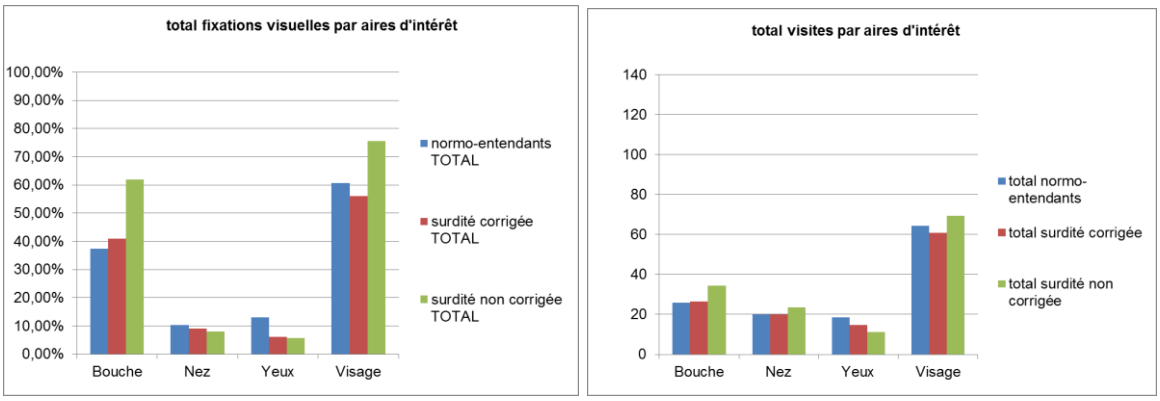

fixations visuelles par aires d'intérêt
audition voix faible et lecture labiale phrases
100,00%
90,00%
80,00%
70,00%
60,00%
50,00%
40,00%
30,00%
20,00%
10,00%
0,00%
Bouche
Nez
Yeux
Visage
normo-entendants (n=18) audition + lecture labiale voix faible phrases
surdité corrigée (n=38) audition + lecture labiale voix faible phrases
surdité non corrigée (n=10) audition + lecture labiale voix faible phrases


visites par aires d'intérêt
audition voix faible et lecture labiale phrases
140
120
100
80
60
40
20
0
Bouche
Nez
Yeux
Visage
normo-entendants (n=18)
surdité corrigée (n=38)
surdité non corrigée (n=10)

L'analyse statistique par Anova montre que les taux de fixation diffèrent significativement les uns des autres en fonction des zones d'intérêt (F=49.44, p<0.0001). Pour chaque modalité (présentation – audition, lecture labiale et voix confortable – lecture labiale seule – audition, lecture labiale et voix faible) et dans chaque groupe, les taux de fixation les plus importants sont observés sur la zone bouche. De même, la bouche est regardée pour tous les types d'items langagiers (mots de Lafon et phrases MMBA).

Voici ci-dessous le total des fixations globales observées par zones sur tout le test par chacun des groupes de sujets ainsi que le nombre de visites réalisées sur chaque zone.

Figure 39 : Aire d'intérêt bouche par groupe de sujets



Au total, les SNC fixent majoritairement la bouche (à 61.85% versus 7.93% et 5.74%, respectivement pour le nez et les yeux). Ils font 26 visites sur la bouche (versus 20 et 15 respectivement pour le nez et les yeux) L**'hypothèse 1d est donc validée.**

Les SC fixent également majoritairement la bouche (à 40.93% versus 9.04% et 6,09% respectivement pour le nez et les yeux) et font plus de visites sur cette zone (34 versus 24 et 11) ce qui **invalide l'hypothèse 1c**.

Quant aux NE, contrairement à nos attentes, ils regardent eux aussi plus la bouche que les autres parties du visage (37.33% sur la bouche, versus 10.25% et 13.00% respectivement pour le nez et les yeux) et font plus de visites sur la zone bouche (26 versus 20 pour le nez et 18 pour les yeux). **Ce résultat invalide notre hypothèse 1b** puisque les sujets NE ne regardent pas plus les yeux (13%) que la bouche (37.33%), même dans les situations confortables de présentation ou

d'audition + lecture labiale. Toutefois, l'écart observé chez les NE entre bouche et yeux est le plus faible. Les groupes de sujets sourds regardent de façon plus marquée la bouche que les normo-entendants. Cela peut venir du fait que ces derniers regardent la bouche pour s'aider de la lecture labiale mais surtout parce que c'est l'élément saillant du visage de l'orthophoniste : il est en mouvement par rapport au reste du visage qui reste relativement statique dans les tâches proposées. Or on sait que cognitivement, un élément mobile est plus saillant qu'un élément statique.

2) Résultats spécifiques

Nous avons vu précédemment que les sujets regardent tous majoritairement le visage de l'orthophoniste et plus spécifiquement sa bouche. L'objectif de cette partie est de comparer le comportement visuel des 3 groupes de sujets.

a. Comparaison par groupe (cf. figures 36 et 37)

L'analyse par Anova montre qu'il existe une corrélation entre le groupe de sujets (NE, SC ou SNC) et la zone regardée (yeux, nez ou bouche) ($F=3.82$, $p=0.005$).

Le groupe des SNC a un comportement très centré sur la bouche. En effet, les sujets de ce groupe regardent le plus longtemps et le plus souvent la bouche (61.85% et 34 visites). De même, c'est le groupe de sujets qui regarde le moins longtemps et le moins souvent les yeux (5.74% et 11 visites). Ceci est vrai dans toutes les modalités. Le groupe des SNC ne peut donc pas se passer de la lecture labiale et ne regarde que très peu les yeux de l'orthophoniste.

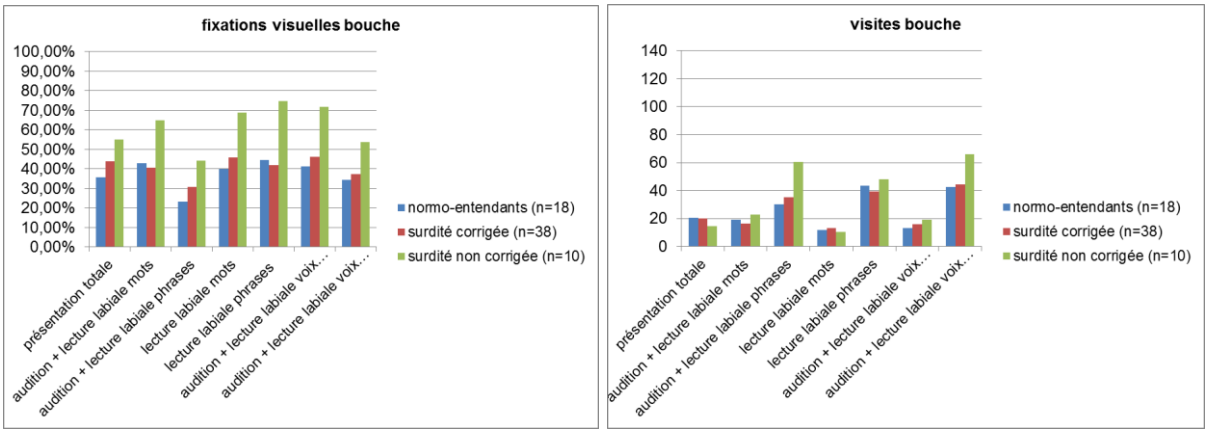
En revanche, le comportement des groupes de NE et de SC est plus proche. Ainsi, le nombre de visites sur la bouche est le même chez les NE que chez les SC (26). Le temps de fixation de la bouche des SC (40.93%) tend à se rapprocher de celui des NE (37.33%) même s'il reste néanmoins supérieur. La principale différence entre ces deux groupes concerne le temps et le nombre de visites sur la zone yeux. En effet, les SC regardent moins longtemps et moins souvent les yeux que les NE (6.09% versus 13% de temps de fixation ; 15 versus 18 visites) dans toutes les modalités. Ainsi, si le comportement des SC se différencie de celui des SNC et se rapproche de celui des NE, il reste une différence entre ces deux derniers groupes. Les SC ont moins besoin de fixer les lèvres que les SNC mais ne parviennent

toujours pas à fixer les yeux comme les NE, ce qui semble aller dans le sens que la réorganisation corticale liée à l'appareillage auditif n'est pas totale.

Les sujets SC ont un comportement se rapprochant des NE donc **l'hypothèse 1d est validée**.

b. Comparaison par modalité et unités langagières

Figure 40 : Aire d'intérêt bouche par modalité et unités langagières



L'analyse statistique par Anova montre que le test réalisé a un impact significatif sur le taux de fixation ($F=5.71$, $p<0.0001$). Par ailleurs, il y a une interaction significative entre le test réalisé et les aires d'intérêt sur le taux de fixation ($F=15.40$, $p<0.0001$).

Dans la condition audition et lecture labiale, les NE, les SC et les SNC regardent plus longtemps la bouche pour les mots que pour les phrases (respectivement 42.90% versus 23.14%, 40.62% versus 30.73% et 64.80% versus 44.04%). Ceci va dans le sens d'une attention plus forte pour des items langagiers courts, sur lesquels il y a plus de risque d'erreur que sur des phrases dans lesquelles la suppléance mentale peut jouer.

Dans la condition lecture labiale seule, les NE et les SNC regardent légèrement plus longtemps la bouche pour les phrases que pour les mots (respectivement 44.38% versus 39.79% et 74.85% versus 68.76%) tandis que les SC regardent légèrement plus longtemps la bouche pour les mots que pour les phrases (45.76% versus 42.04% de taux de fixation). Les écarts sont donc moins marqués

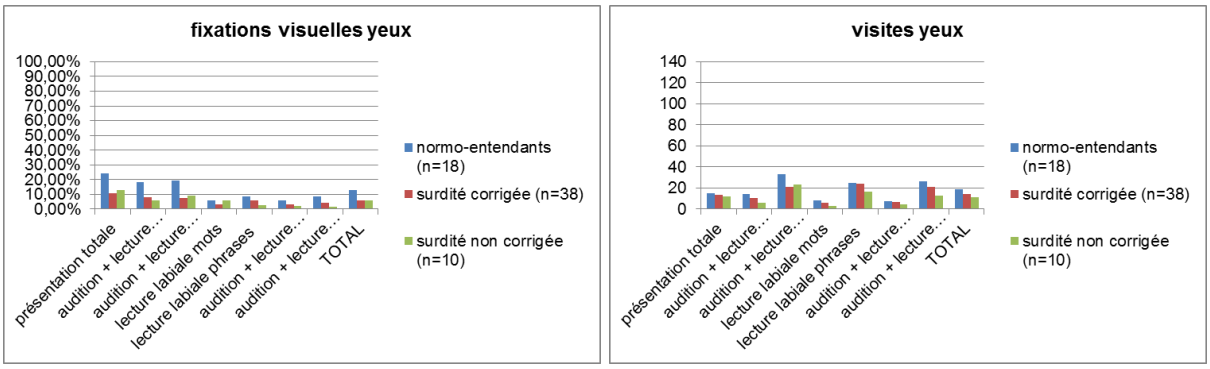
entre les temps de fixation des mots et des phrases dans cette condition qui est la plus difficile où l'attention sur la bouche doit être maximale.

Dans la condition audition et lecture labiale voix faible, les NE, les SC et les SNC regardent plus longtemps la bouche pour les mots que pour les phrases (respectivement 41.20% versus 34.21%, 46.26% versus 37.24% et 71.82% versus 53.57%). Cela reprend le pattern des résultats observés dans la condition audition et lecture labiale avec une voix d'intensité normale. Les sujets sont plus attentifs sur la zone bouche pour les items les plus courts où la suppléance mentale joue le moins.

En revanche, si l'on compare les taux de fixation sur la zone bouche entre les modalités, il apparaît que les temps les plus courts sont obtenus pour la situation la plus simple, à savoir audition + lecture labiale. Des temps équivalents de fixation sur la zone bouche sont obtenus pour les 3 groupes entre les modalités lecture labiale seule et audition+lecture labiale en voix faible. Cela montre que cette dernière modalité a bien mis les sujets en difficulté. Une voix d'intensité faible les a poussés à fixer leur attention sur les lèvres. Ceci montre l'intérêt écologique de ce type d'épreuve qui correspond à une réalité du quotidien (interlocuteur qui ne parle pas assez fort) et qui déstabilise moins les sujets que des épreuves de lecture labiale seule.

Il apparaît donc que les sujets regardent la bouche en situation confortable et davantage encore en situation gênante : **nous validons donc partiellement l'hypothèse 2**.

Figure 41 : Aire d'intérêt yeux par modalité et unités langagières



Lorsqu'on regarde le total des moyennes des taux de fixation de la zone yeux, il apparaît que les NE ont des taux de fixation plus longs que les SNC ou que les SC

(13% versus 6.09 versus 5.74%). De même, les NE font plus de visites en moyenne sur cette aire d'intérêt que les SNC ou que les SC (18.46 versus 14.65 versus 11.26).

Les NE, les SC et les SNC regardent plus longtemps les yeux dans la condition présentation que dans la condition audition et lecture labiale de phrases. Lors de la présentation, le sujet n'a rien à répéter, c'est une condition passive : la concentration est moins importante et il peut regarder les yeux.

c. Comparaison par type de réhabilitation

Figure 42 : Comparaison des sujets réhabilités

	Condition présentation		
	Bouche	Nez	Yeux
2 IC (n=8)	44.22%,	11.81%	20.06%
IC seul (n=13)	42.09%	14.37%	7.96%
IC + ACA (n=19)	40.02%	13.58%	7.80%

Nous comparons les sujets réhabilités avec 2 IC, 1 IC et 1 ACA et 1 IC seul dans la condition présentation afin d'avoir une idée du comportement visuel des sujets dans une situation habituelle de communication et non dans une situation de test où il doit répéter ce qui lui est dit. Rappelons que dans cette condition, le sujet testé doit simplement écouter l'orthophoniste qui lui explique le but de l'étude et les conditions de passation des tests. L'intensité de la voix de l'orthophoniste est normale.

Les sujets ayant 2 IC regardent légèrement plus la bouche (44.22%) que ceux portant 1 IC (42.09%) et eux-mêmes plus que ceux ayant 1 IC et 1 ACA (40.02%), sans que les différences ne soient significatives.

Les sujets ayant 2 IC regardent nettement plus les yeux (20.06%) que ceux ayant 1 IC et un ACA (7.80%) et que ceux ayant 1 IC seul (7.96%). Ils se rapprochent ainsi davantage du comportement visuel des NE (24.28%).

Concernant les autres modalités, les résultats sont beaucoup plus homogènes, nous ne pouvons donc pas tirer de conclusion.

Il ressort donc de l'analyse de ces résultats spécifiques que les SNC ont un comportement différent de celui des autres groupes. Ils regardent beaucoup plus la bouche. Le comportement des SC se rapproche de celui des NE pour le taux et le

nombre de fixations de la zone bouche. En revanche seuls les sujets porteurs de 2 IC ont un comportement approchant celui des NE pour le taux de fixation de la zone yeux. Globalement les SC regardent tout de même moins les yeux que les NE, ce qui semble montrer que la réhabilitation auditive ne restitue pas un comportement identique à celui des NE.

Par ailleurs, pour tous les groupes la concentration visuelle sur la bouche est plus forte pour les mots que pour les phrases, montrant que l'attention est plus forte pour les items exempts de suppléance mentale. Pour tous les groupes, la modalité audition, lecture labiale avec une voix d'intensité faible a été gênante puisque tous ont alors eu un comportement visuel comparable à celui observé dans la condition lecture labiale seule. Ceci montre l'intérêt d'intégrer de telles épreuves dans les évaluations orthophoniques. Elles sont plus écologiques et mettent moins le sujet en difficulté que les épreuves de lecture labiale seule.

B- Scores obtenus aux tests orthophoniques

Après avoir observé les comportements oculaires des sujets lors des tests, nous nous intéressons aux scores qu'ils obtiennent.

1) Scores vidéo et orthophoniste réelle

a. Scores par modalité

Nous présentons dans le tableau ci-dessous les scores obtenus dans les 2 dispositifs, par modalité et par item langagier.

Figure 43 : Scores par modalité et par item langagier

LAFON	Vidéo	Face à face	Anova	Vidéo	Face à face	Anova
Modalité et groupe	Lafon phonèmes	Lafon phonèmes		Lafon mots	Lafon mots	
audition + lecture labiale Normo-entendants (n=19) Sourds corrigés (n=41) Sourds non corrigés (n=10)	 100% 85.02% 94.80%	 100% 90.57% 93.80%	F=15.13, p<0.001	 100% 63.21% 83.53%	 100% 77.15% 88.24%	NS (F=0.76)
lecture labiale mots Normo-entendants (n=19) Sourds non corrigés (n=40) Sourds non corrigés (n=10)	 33.58% 29.21% 24.20%	 43.79% 40.60% 37.40%		 7.74% 9.03% 9.41%	 12.69% 9.71% 8.24%	
audition + lecture labiale voix faible Normo-entendants (n=19) Sourds corrigés (n=40) Sourds non corrigés (n=10	 64.32% 53.35% 61.20%	 81.79% 64.65% 69.00%		 30.65% 21.61% 32.94%	 55.08% 30.10% 34.71%	

MMBA	Vidéo	Face à face		Vidéo	Face à face	
	MMBA mots	MMBA mots		MMBA phrases	MMBA phrases	
audition + lecture labiale Normo-entendants (n=19) Sourds corrigés (n=40) Sourds non corrigés (n=10	 100% 94.31% 98.12%	 100% 96.30% 99.42%		 100% 86.51% 96%	 100% 92.71% 98.67%	
lecture labiale Normo-entendants (n=19) Sourds corrigés (n=40) Sourds non corrigés (n=10	 20.23% 24.43% 27.06%	 32.58% 40.52% 41.82%	F=15.68, p<0.001	 9.47% 11.47% 14.67%	 12.63% 21.55% 21.33%	F=6.83, p<0.010
audition + lecture labiale voix faible Normo-entendants (n=19) Sourds corrigés (n=40) Sourds non corrigés (n=10	 81.13% 63.76% 81.21%	 92.56% 78.71% 81.63%		 59.65% 43.04% 64%	 80.00% 54.11% 59.96%	

Pour les phonèmes des mots de Lafon, les scores sont significativement meilleurs en version face à face qu'en vidéo (F=15.125, p<0.001).

Pour les mots de Lafon, les scores sont meilleurs en version face à face qu'en vidéo mais cette différence n'est pas significative. Ceci peut être expliqué par le fait que globalement les scores exprimés en nombre de mots de Lafon correctement perçus sont trop faibles pour que des différences apparaissent.

Pour les mots des phrases MMBA, les scores sont significativement meilleurs en version face à face qu'en vidéo (F=15.675, p<0.005).

Pour les phrases MMBA, les scores sont significativement meilleurs en version face à face qu'en vidéo (F=6.829, p<0.016).

Les tests réalisés avec une orthophoniste en face à face sont bien mieux réussis que les tests réalisés face à un écran. **L'hypothèse 3 est donc validée**.

b. Matrices de confusion

Nous analysons les patterns d'erreurs des phonèmes consonnes et voyelles des deux dispositifs, d'abord avec le dispositif vidéo puis avec l'orthophoniste réelle. Il s'agit ensuite de voir si les erreurs sont les mêmes dans les deux dispositifs et de conclure à l'éventuelle possibilité d'automatiser les tests orthophoniques en recourant à une vidéo.

Certains phonèmes étant nettement sous représentés, leur inclusion dans l'analyse est impossible. Ils apparaissent sur fond bleu dans les matrices de confusion.

Figure 44 : Matrice de confusion des consonnes en dispositif vidéo

Réponses						Réponses effectives (ce qui est répondu)													
attendues	p	t	k	b	d	g	f	s	ʃ	v	z	ʒ	m	n	ʁ	l	ɲ	-	+
p	**62,15%**	0,00%	0,00%	4,21%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,93%	0,00%	0,00%	6,54%	0,00%	0,00%	0,47%	0,00%	25,70%	2
t	0,00%	**25,69%**	0,00%	0,00%	5,56%	0,00%	0,69%	3,47%	6,25%	0,69%	0,69%	4,86%	1,39%	0,00%	2,08%	0,69%	0,00%	47,92%	13
k	1,40%	0,70%	13,99%	1,40%	1,40%	6,99%	0,00%	3,50%	0,00%	0,00%	2,10%	2,80%	0,00%	2,80%	6,29%	2,10%	0,00%	**53,15%**	7
b	16,67%	0,00%	0,00%	**29,17%**	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	26,39%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	27,78%	3
d	0,69%	5,56%	1,39%	0,00%	18,06%	0,69%	0,69%	5,56%	2,78%	0,69%	0,69%	5,56%	0,00%	2,78%	1,39%	4,17%	0,00%	**49,31%**	6
g	0,00%	2,78%	9,72%	0,00%	2,78%	5,56%	0,00%	4,17%	0,00%	0,00%	4,17%	6,94%	0,00%	1,39%	2,78%	8,33%	1,39%	**50,00%**	7
f	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	1
s	0,00%	0,47%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	21,40%	12,09%	0,00%	0,00%	**33,02%**	0,00%	0,00%	0,47%	0,47%	0,00%	32,09%	12
ʃ	0,00%	0,00%	0,00%	1,39%	1,39%	2,78%	0,00%	5,56%	19,44%	0,00%	1,39%	5,56%	0,00%	0,00%	1,39%	0,00%	4,17%	**55,56%**	2
v	1,41%	1,41%	0,00%	0,70%	0,00%	0,00%	19,72%	0,00%	0,00%	28,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,41%	0,70%	0,00%	**46,48%**	0
z	0,00%	8,33%	1,39%	0,00%	4,17%	0,00%	0,00%	5,56%	1,39%	0,00%	16,67%	16,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**45,83%**	1
ʒ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**50,00%**	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%	7
m	26,76%	0,00%	0,00%	15,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,41%	0,00%	0,00%	23,94%	0,00%	0,00%	0,47%	0,00%	**32,39%**	3
n	0,00%	15,28%	1,39%	0,00%	4,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,50%	1,39%	9,72%	0,00%	**54,17%**	11
ʁ	0,00%	0,69%	1,03%	0,34%	1,72%	0,69%	0,00%	1,03%	0,69%	0,00%	1,03%	0,34%	0,00%	3,79%	27,59%	7,24%	0,00%	**53,45%**	123
l	0,00%	0,69%	0,69%	0,35%	0,35%	0,69%	0,00%	0,00%	1,04%	0,35%	0,00%	0,35%	0,00%	1,74%	11,46%	35,07%	0,00%	**45,49%**	47
ɲ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0

Figure 45 : Matrice de confusion des consonnes en dispositif face à face

Réponses						Réponses effectives (ce qui est répondu)													
attendues	p	t	k	b	d	g	f	s	ʃ	v	z	ʒ	m	n	ʁ	l	ɲ	-	+
p	**46,58%**	0,00%	0,00%	26,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,68%	0,00%	0,00%	9,59%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	16,44%	4
t	0,00%	21,53%	3,47%	1,39%	9,72%	0,69%	0,00%	10,42%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	11,11%	3,47%	7,64%	0,00%	**29,17%**	10
k	0,00%	4,86%	11,81%	0,00%	2,08%	8,33%	0,69%	2,78%	1,39%	0,00%	0,00%	1,39%	0,00%	2,08%	4,86%	25,00%	1,39%	**31,94%**	23
b	33,33%	0,00%	0,00%	**43,06%**	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,50%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	11,11%	3
d	0	**32,64%**	0,69%	0,00%	11,11%	0,69%	0,00%	10,42%	0,00%	1,39%	2,78%	2,78%	0,00%	3,47%	0,69%	3,47%	0,00%	29,17%	6
g	0	0,00%	4,17%	0,00%	9,72%	9,72%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,39%	0,00%	0,00%	20,83%	12,50%	2,78%	0,00%	**38,89%**	9
f	1,43%	2,86%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**55,71%**	0,00%	0,00%	27,14%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,86%	2
s	0	6,85%	0,68%	0,00%	5,48%	0,00%	0,00%	**43,84%**	9,59%	0,00%	0,00%	6,16%	0,00%	0,68%	0,68%	0,68%	0,00%	25,34%	5
ʃ	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	4,17%	**52,78%**	0,00%	0,00%	20,83%	0,00%	0,00%	0,00%	2,78%	0,00%	19,44%	1
v	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	14,86%	0,00%	0,00%	**77,03%**	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,35%	0,00%	6,76%	3
z	0,00%	9,72%	5,56%	0,00%	11,11%	0,00%	0,00%	**18,06%**	1,39%	0,00%	11,11%	1,39%	0,00%	6,94%	2,78%	1,39%	0,00%	30,56%	3
ʒ	0,00%	0,00%	1,43%	0,00%	2,86%	4,29%	0,00%	7,14%	4,29%	0,00%	4,29%	17,14%	0,00%	2,86%	2,86%	7,14%	7,14%	**35,71%**	0
m	**56,16%**	0,00%	0,00%	17,81%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	16,44%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	9,59%	3
n	0,00%	2,74%	1,37%	0,00%	0,00%	1,37%	0,00%	0,00%	0,00%	1,37%	9,59%	1,37%	1,37%	**36,99%**	5,48%	15,07%	0,00%	23,29%	6
ʁ	0,28%	0,28%	1,40%	0,00%	0,00%	0,28%	0,00%	0,28%	0,00%	0,00%	0,28%	0,00%	0,56%	0,00%	**58,26%**	14,29%	0,00%	23,81%	75
l	0,00%	0,35%	2,08%	0,00%	0,00%	0,35%	0,00%	0,35%	0,00%	0,00%	0,00%	0,69%	0,00%	3,13%	6,94%	**56,60%**	0,00%	27,78%	89
ɲ	0,00%	7,25%	1,45%	0,00%	2,90%	1,45%	0,00%	**37,68%**	0,00%	0,00%	8,70%	4,35%	1,45%	1,45%	0,00%	7,25%	8,70%	11,59%	0

Figure 46 : Matrice de confusion des voyelles en dispositif vidéo

Réponses						Réponses effectives (ce qui est répondu)									
attendues	i	e	a	y	oe	u	o	ɛ̃	ɑ̃	ɔ̃	j	w	ɥ	-	+
i	36,57%	11,11%	3,24%	0,00%	0,46%	0,00%	0,46%	0,93%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**47,22%**	12
e	9,78%	38,83%	5,87%	0,28%	0,00%	0,56%	0,56%	0,56%	0,28%	0,00%	0,00%	0,28%	0,00%	**43,02%**	20
a	0,00%	6,48%	**50,93%**	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,31%	0,00%	0,00%	0,93%	0,00%	0,00%	39,35%	21
y	0,00%	0,70%	0,00%	4,93%	1,41%	30,28%	10,56%	0,70%	0,00%	2,82%	0,00%	0,00%	0,00%	**48,59%**	1
oe	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	27,08%	0,00%	28,47%	0,00%	16,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**27,78%**	7
u	0,00%	0,00%	0,00%	**43,48%**	1,45%	40,58%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	14,49%	7
o	0,69%	0,69%	0,69%	0,00%	8,33%	0,00%	27,08%	0,00%	15,97%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**46,53%**	7
ɛ̃	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3
ɑ̃	0,00%	0,69%	0,69%	0,69%	0,00%	2,78%	28,47%	0,00%	15,28%	4,86%	0,00%	0,00%	0,00%	**46,53%**	7
ɔ̃	1,41%	1,41%	0,00%	0,00%	4,23%	12,68%	15,49%	1,41%	0,00%	12,68%	0,00%	0,00%	0,00%	**50,70%**	5
j	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	8
w	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	8
ɥ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1

Figure 47 : Matrice de confusion des voyelles en dispositif face à face

Réponses attendues	Réponses effectives (ce qui est répondu)														
	i	e	a	y	oe	u	o	ɛ̃	ɑ̃	ɔ̃	j	w	ɥ	-	+
i	**65,90%**	12,90%	0,92%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,38%	0,00%	0,00%	0,46%	0,00%	0,00%	18,43%	9
e	11,39%	**61,39%**	5,28%	0,00%	0,28%	0,00%	0,00%	0,83%	0,00%	0,28%	0,00%	0,00%	0,00%	20,56%	30
a	0,93%	29,17%	**42,59%**	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,39%	0,46%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	25,46%	11
y	1,35%	0,00%	0,00%	14,86%	0,00%	**52,70%**	6,76%	0,00%	0,00%	6,76%	0,00%	0,00%	0,00%	17,57%	3
oe	0,00%	0,69%	0,00%	0,69%	50,00%	0,69%	32,64%	0,00%	1,39%	3,47%	0,00%	0,00%	0,00%	10,42%	3
u	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	**100,00%**	3
o	0,00%	0,00%	0,00%	2,80%	10,49%	3,50%	**44,06%**	0,00%	8,39%	11,89%	0,00%	0,00%	0,00%	18,88%	13
ɛ̃	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3
ɑ̃	0,69%	0,00%	1,39%	0,00%	0,69%	0,69%	41,67%	0,00%	**31,25%**	5,56%	0,00%	0,00%	0,00%	18,06%	19
ɔ̃	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	8,45%	14,08%	28,17%	0,00%	4,23%	**29,58%**	0,00%	0,00%	0,00%	15,49%	6
j	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	7,14%	0,00%	1,43%	**52,86%**	35
w	0,00%	0,00%	0,00%	4,29%	0,00%	**34,29%**	1,43%	0,00%	0,00%	0,00%	2,86%	15,71%	30,00%	11,43%	0
ɥ	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0

Dispositif vidéo

Les phonèmes [p, b, m, f, v, ʃ, ʒ] sont significativement mieux reconnus que les phonèmes [t, d, n, s, z, l, ɲ] ($p<0.056$ – procédure de Marascuilo). Ils sont également significativement mieux reconnus que les phonèmes [k, g, ʁ] ($p<0.062$ – procédure de Marascuilo). Les phonèmes [t, d, n, s, z, l, ɲ] sont mieux reconnus que les phonèmes [k, g, ʁ] mais cette différence n'est pas significative.

Les phonèmes [i, a] sont significativement mieux reconnus que les phonèmes [e, y, oe, o, ɑ̃, ɔ̃] ($p<0.0001$).

Dispositif orthophoniste réelle

Les phonèmes [p, b, m, f, v, ʃ, ʒ] sont significativement mieux reconnus que les phonèmes [t, d, n, s, z, l, ɲ] ($p<0.069$ – procédure de Marascuilo). Ils sont aussi significativement mieux reconnus que les phonèmes [k, g, ʁ] ($p<0.079$ – procédure de Marascuilo). Les phonèmes [t, d, n, s, z, l, ɲ] sont mieux reconnus que les phonèmes [k, g, ʁ] mais cette différence n'est pas significative.

Les phonèmes [i, a] sont significativement mieux reconnus que les phonèmes [e, y, oe, o, ɑ̃, ɔ̃] ($p<0.006$).

Comparaison des deux dispositifs (test t de Student significatif à 5%)

Les patterns de résultats obtenus en dispositif vidéo sont comparables à ceux obtenus en face à face. Dans les deux dispositifs, les consonnes aux formes stables mettant en jeu les lèvres, à savoir [p, b, m, f, v, ʃ, ʒ] sont mieux perçues que les consonnes aux formes instables [t, d, n, s, z, l, ɲ] ou invisibles [k, g, ʁ]. Les résultats

valident partiellement l'hypothèse 4b. De même, dans les deux dispositifs, les voyelles cardinales [i, a] sont mieux perçues que les voyelles intermédiaires [e, y, oe, o, ɑ̃, ɔ̃]. **L'hypothèse 4c est validée.**

Il existe néanmoins des différences d'intelligibilité de la parole selon le dispositif utilisé.

Les phonèmes [p, s, ʃ, v, n, ʁ, l, i, e, y, oe, o, ɑ̃, ɔ̃] sont significativement mieux perçus avec le dispositif orthophoniste réelle qu'avec le dispositif vidéo. Ces mêmes phonèmes sont significativement moins manqués avec le dispositif orthophoniste réelle qu'avec le dispositif vidéo.

Les phonèmes [p, b, m, f, v, ʃ, ʒ] sont significativement mieux perçus avec le dispositif orthophoniste réelle qu'avec le dispositif vidéo ($p<0.024$).

Les phonèmes [t, d, n, s, z, l, ɲ] sont significativement mieux perçus avec le dispositif orthophoniste réelle qu'avec le dispositif vidéo ($p<0.0001$).

Les phonèmes [k, g, ʁ] sont significativement mieux perçus avec le dispositif orthophoniste réelle qu'avec le dispositif vidéo ($p<0.0001$).

De façon globale, les phonèmes consonnes sont significativement mieux perçus avec le dispositif orthophoniste réelle qu'avec le dispositif vidéo. Il en est de même pour les phonèmes voyelles.

Les résultats sont meilleurs avec le dispositif orthophoniste réelle qu'avec le dispositif vidéo. Toutefois, les matrices de confusion ne sont pas différentes. **L'hypothèse 4a n'est donc pas validée**.

2) Scores en lecture labiale

a. Divers facteurs en lien avec la lecture labiale ?

- Mode de survenue de la surdité

Les effectifs de groupe sont trop réduits pour exploiter les données (3 surdités brusques).

- Degré de surdité

Les sujets SC obtiennent un score en lecture labiale (28.10%) plus élevé que les sujets SNC (27.20%), lui-même plus élevé que les sujets NE (25.42%).

- Durée de la surdité (durée de surdité moyenne de 28 ans)

Les 8 sujets présentant une durée de surdité de 0 à 10 ans ont des meilleurs scores en lecture labiale (31.79%) que les 15 sujets dont la durée de surdité est supérieure à 40 ans (26.86%). Les 22 sujets dont la durée de surdité est de 10 à 40 ans ont un score moyen de lecture labiale de 27.26%. Il semble donc y avoir un effet de la durée de la surdité sur les scores en lecture labiale. Les sujets devenus sourds depuis longtemps ont de moins bons scores en lecture labiale que les sujets devenus sourds plus récemment. Néanmoins, les différences ne sont pas significatives. Par ailleurs, les sujets les plus performants en lecture labiale sont également les sujets les plus jeunes. Il est donc difficile de faire la part des choses entre ces deux facteurs.

⇨ **L'hypothèse 5a est partiellement vérifiée** : trop peu de sujets sont devenus sourds de façon brusque dans notre population, nous empêchant de conclure sur ce point. La durée de la surdité semble avoir un effet (les devenus sourds depuis le plus longtemps ont de moins bons scores en lecture labiale), tout comme l'appartenance à l'un des 3 groupes de sujets (les SC ont un meilleur score que les SNC et que les SC). Mais les différences observées ne sont pas significatives.

- Sexe

Figure 48 : Scores en lecture labiale des femmes et des hommes

Dispositif	Femmes (n 43)	Hommes (n 29)
Support vidéo	18.75%	17.80%
Orthophoniste réelle	26.43%	28.51%

Les scores étant équivalents, nous n'observons pas de lien entre sexe et scores en lecture labiale.

- Age

Figure 49 : Age et lecture labiale chez les normo-entendants

Parmi les 19 normo-entendants, on observe les données suivantes :

	Nombre de sujets	Scores en lecture labiale	Âge
19 à 25 ans	11 sujets	26.58% (éty 9.98, min 13.98, max 50.07)	22 ans (éty 2, min 19 ans, max 24 ans)
35 à 70 ans	8 sujets	23.84% (éty 12.83, min 10.82%, max 43.43%	55 ans (éty 11, min 35 ans, max 70 ans)
Total	19 sujets	25.42% (éty 11.01, min 10.82%, max 50.07%)	36 ans (éty 18, min 19 ans, max 70 ans)

Les sujets normo-entendants les plus jeunes ont les meilleurs scores en lecture labiale mais cela n'atteint pas le seuil de significativité.

Figure 50 : Âge et lecture labiale chez les sourds non corrigés

Parmi les 10 sujets malentendants non appareillés, on observe les données suivantes :

	Nombre de sujets	Scores en lecture labiale	Âge	Degré surdité
30 à 60 ans	5 sujets	26.58% (éty 9.98, min 13.98, max 50.07)	50 ans (éty 12, min 30 ans, max 60 ans)	31.5 dB de perte moyenne en champ libre
65 à 85 ans	5 sujets	23.84% (éty 12.83, min 10.82%, max 43.43%	72 ans (éty 9, min 65 ans, max 85 ans)	31.55 dB de perte moyenne en champ libre
Total	10 sujets	27.20 % réussite (ety 11.42, min 14.67%, max 51.23%)	61 ans (éty 15, min 30 ans, max 85 ans)	30.69 dB de perte moyenne en champ libre

Les sujets malentendants non appareillés les plus jeunes ont les meilleurs scores en lecture labiale. Mais cela n'atteint pas le seuil de significativité.

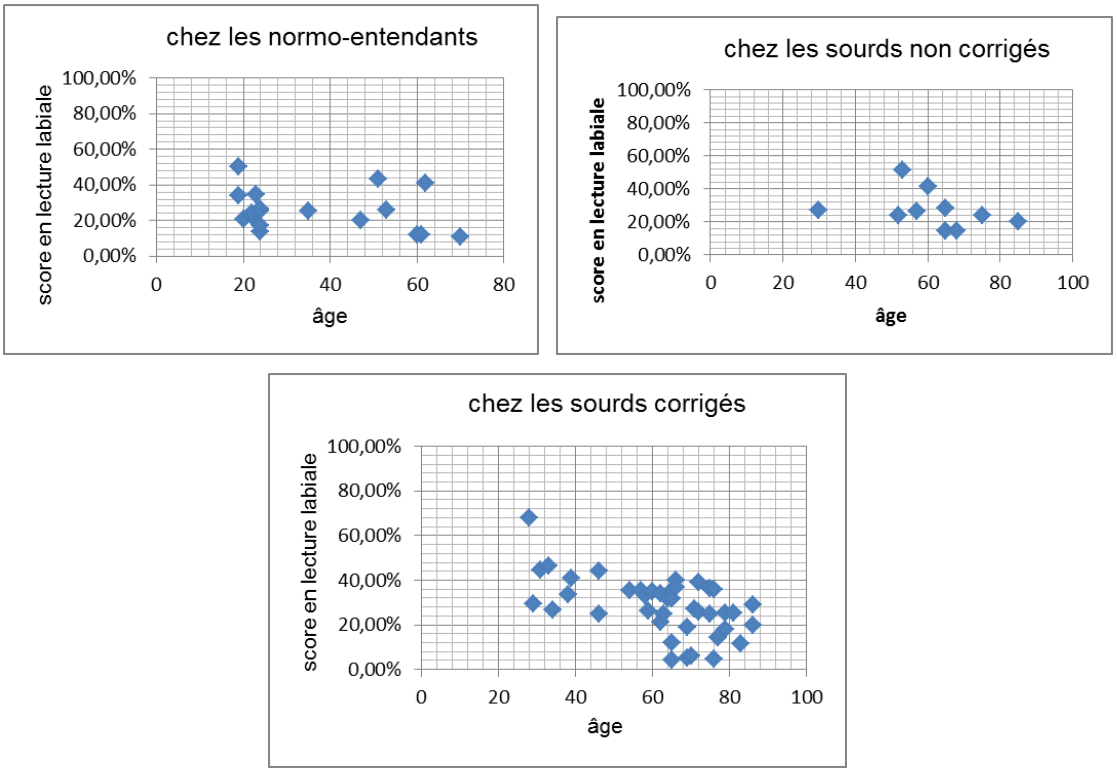
Figure 51 : Âge et lecture labiale chez les sourds corrigés

Parmi les 43 SC, on observe les données suivantes :

	Nombre de sujets	Scores en lecture labiale	Age	Degré surdité
28 à 65 ans	23 sujets	32.60% (éty 12.45%, min 4%, max 68.02%)	52 ans (éty 13.74, min 28 ans, max 65 ans)	28 dB de perte moyenne en champ libre
66 à 80 ans	16 sujets	23.29% (éty 12.20, min 4.77%, max 39.99%)	55 ans (éty 4.28, min 66 ans, max 79 ans)	34 dB de perte moyenne en champ libre
81 et plus	4 sujets	21.44% (éty 7.53%, min 11.76%, max 29.02	84 ans (éty 2.45, min 81 ans, max 86 ans	30.69 dB de perte moyenne en champ libre
Total	19 sujets	28.10% (éty 12.75, min 4%, max 68.02%)	62 ans (éty 16, min 28 ans, max 86 ans)	

Les sujets malentendants appareillés les plus jeunes ont les meilleurs scores en lecture labiale. Mais cela n'atteint là encore pas le seuil de significativité.

Figure 52 : Âge et lecture labiale



Dans la population étudiée, il semble bien y avoir un effet de l'âge sur les performances en lecture labiale. Les meilleurs scores en lecture labiale sont obtenus par les sujets jeunes. Mais cet effet n'est pas significatif (test t de Student).

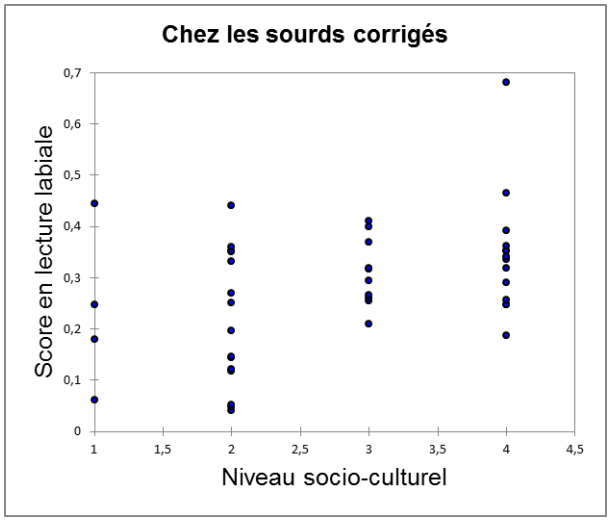
- Niveau socio-culturel

L'effectif n'est pas assez grand pour conclure pour les groupes NE et SNC.

Figure 53 : Niveau socio-culturel et lecture labiale chez les sourds corrigés

Niveau socio-culturel	Nombre de sujets	Scores en lecture labiale
1	4 sujets	53.01%
2	15 sujets	53.05%
3	10 sujets	56.65%
4	14 sujets	62.28%
Total	43 sujets	56.89%

Figure 54 : Niveau socio-culturel et lecture labiale chez les sourds corrigés



En revanche, il existe un lien entre niveau socio-culturel et scores en lecture labiale chez les sujets SC et cela est significatif (corrélation de Spearman).

⇨ **L'hypothèse 5b n'est que partiellement validée**.

- Qualité de fixation

L'eye tracker enregistre le taux de fixation visuelle de chaque sujet. Il est d'usage de fixer à 80% la limite en deçà de laquelle la qualité de fixation est considérée comme moins bonne. Le tableau ci-dessous montre les scores de lecture labiale en fonction de la qualité de la fixation visuelle des sujets.

Figure 55 : Scores en lecture labiale et qualité de fixation

Normo-entendants		
Qualité de fixation moyenne Vidéo et face à face	Nombre de sujets	Scores en LL
-80% de fixation	13 sujets	25.58%
+80% de fixation	6 sujets	25.09%
Sourds non corrigés		
Qualité de fixation moyenne Vidéo et face à face	Nombre de sujets	Scores en LL
-80% de fixation	4 sujets	29.08%
+80% de fixation	6 sujets	25.94%
Sourds corrigés		
Qualité de fixation moyenne Vidéo et face à face	Nombre de sujets	Scores en LL
-80% de fixation	28 sujets	27.85%
+80% de fixation	15 sujets	28.56%

Les différences entre la qualité de fixation et les scores en lecture labiale (test t de Student) ne sont pas significatives. **L'hypothèse 5c n'est donc pas validée**.

- Etiologies des surdités

Figure 56 : Etiologies des surdités et lecture labiale

Etiologies	Scores
Maladie de Ménière (3)	20.82%
Presbyacousie (9)	22.90%
Otite chronique (6)	22.97%
Inconnue (7)	24.95%
Surdité ototoxique (5)	27.62%
Otospongiose (4)	27.71%
Surdité génétique (7)	30.95%
Surdité brusque (3)	34.21%
Maladie professionnelle (1)	35.27%
Surdité congénitale (6)	38.65%
Traumatisme sonore (2)	39.09%

Les effectifs des groupes sont trop réduits pour exploiter les données.

- Scores en lecture labiale en pré-IC et post-IC

Nous n'avons pas les données pour tous les sujets, seulement 2/3. Les scores sont très variables (augmentent, diminuent ou stagnent) après implantation cochléaire mais en moyenne sont constants.

b. Aires d'intérêt et scores en lecture labiale seule

	Taux de fixation bouche	Score moyen en lecture labiale
Normo-entendants	37.33%	25.42%
Sourds corrigés	40.93%	28.10%
Sourds non corrigés	53.85%	27.20%

Les moins bons scores en lecture labiale seule sont logiquement obtenus par les sujets NE qui sont également ceux qui regardent le moins les lèvres (37.33%). Mais Il n'y a pas de corrélation entre le temps passé à fixer la bouche et les scores obtenus en lecture labiale. En effet, les meilleurs scores en lecture labiale seule sont obtenus par les sujets sourds corrigés (28,10%) alors que ce ne sont pas eux qui regardent le plus les lèvres. Ce sont les sujets sourds non appareillés qui regardent le plus la bouche avec 61.85% des taux de fixation et 34.47 visites. Ils obtiennent pourtant un score de lecture labiale moyen (27.10%)

Les sourds appareillés ont les meilleurs scores de lecture labiale et ont pourtant moins besoin de fixer les lèvres. Cela peut s'expliquer par le fait de leur perception multimodale de la parole : renforcer les indices auditifs par un

appareillage permet également de renforcer les capacités du traitement du signal visuel de la parole. Par ailleurs, ayant a priori moins besoin de la lecture labiale pour comprendre en situation audiovisuelle normale, ils prennent l'habitude de se contenter des informations labiales en vision périphérique qui demeurent tout à fait efficaces chez ces sujets ayant dû développer leur lecture labiale.

DISCUSSION

I] Validation des hypothèses

En confrontant nos résultats avec les hypothèses que nous avions posées, nous obtenons les éléments suivant :

Tous les sujets regardent le visage, ce à quoi nous nous attendions en situation duale par écran interposé ou en face à face.

Nous nous attendions à ce que les sujets normo-entendants regardent les yeux de manière prépondérante dans toutes les situations. Or, ils regardent la bouche dans toutes les modalités, et évidemment davantage dans les modalités gênantes. Cela est-il dû au fait que la bouche est l'élément le plus saillant du visage regardé resté immobile ? Cela peut être causé par le fait que nous avons mis les sujets en situation de test ou d'écoute mais pas dans une communication traditionnelle. Il serait intéressant d'analyser les zones regardées au cours d'une conversation. Nous avions d'ailleurs, à la fin de la passation des tests, converser quelques minutes avec le sujet afin d'observer ultérieurement son comportement visuel dans cette situation naturelle. Malheureusement, ainsi que nous l'avons expliqué, nous n'avons pas pu exploiter ces données. Il serait judicieux de poursuivre l'étude en ce sens.

Les comportements visuels des sujets sourds réhabilités s'apparentent à ceux des sujets normo-entendants (notamment pour les sourds implantés bilatéralement) mais ils regardent légèrement plus la bouche. Ceci nous conforte dans l'idée des performances acquises grâce à la réhabilitation auditive. Toutefois, les sujets réhabilités utilisent toujours autant cette capacité de lecture labiale.

Quant aux sujets non réhabilités, ils regardent davantage la bouche que les sujets normo-entendants et que les sujets réhabilités.

En cela, **notre hypothèse 1 est donc partiellement validée.**

Nous avons réussi à gêner les sujets dans la modalité intensité faible puisque leurs scores sont moins bons dans cette modalité que dans la modalité intensité confortable. A cela s'ajoute l'augmentation des temps de fixation dans la zone bouche. Les comportements visuels des sujets lors de la modalité gênante sont comparables à ceux observés au cours de la modalité lecture labiale seule : des temps de fixation plus importants sur la bouche et des scores plus faibles.

Nous observons donc bien des différences de comportements visuels selon la difficulté de la modalité et selon la réhabilitation ou non des sujets.

Tous les sujets regardent la bouche dans toutes les modalités, et ce davantage en situation gênante que confortable et selon le degré de surdité. **Notre hypothèse 2 est donc partiellement validée.**

Les scores obtenus avec le dispositif orthophoniste réelle sont meilleurs qu'avec le dispositif vidéo. **Notre hypothèse 3 est donc validée.**

Le dispositif sur écran vidéo semble donc moins performant. Il serait judicieux de poursuivre l'exploitation des données [56] pour voir si certains traits, notamment les traits pertinents pour la 3D, seraient perdus sur le support vidéo.

L'analyse des matrices de confusion nous indique que la perception des phonèmes, consonnes et voyelles, est meilleure avec le dispositif en face à face qu'avec le support vidéo. Toutefois, les matrices de confusion ne sont pas différentes d'un système à l'autre. Les consonnes de forme stable et les voyelles cardinales sont les mieux perçues, ce qui est conforme à ce que l'on retrouve dans la littérature (cf. partie théorique).

Notre hypothèse 4 est partiellement validée.

Les sujets sourds ont de meilleures compétences en lecture labiale que les sujets normo-entendants. Dans la population étudiée, il semble bien y avoir un effet de l'âge sur les performances en lecture labiale, tel que cela est décrit dans la littérature. Les meilleurs scores en lecture labiale sont obtenus par les sujets jeunes. Mais la différence n'est pas significative. Il en est de même pour la durée de la surdité, l'âge, le sexe. Il est par ailleurs impossible de conclure sur le mode de survenue de la surdité du fait d'un effectif trop faible. Le lien entre niveau socio-

culturel et lecture labiale, en faveur de meilleurs scores pour les sujets au niveau socio-culturel plus élevé, n'est significatif que pour le groupe des sourds appareillés, les effectifs des deux autres groupes étant trop réduits pour conclure. Le niveau de lecture labiale n'est pas corrélé avec le degré d'attention et de concentration visuelle estimé par le taux de fixation de l'écran.

Notre hypothèse 5 est partiellement validée.

II] Limites de l'étude

- Limite liée à l'échantillon de notre population

L'eye-tracking a été loué pendant un mois. Nous avons donc dû faire toutes les passations pendant ce mois-ci ; c'est pour cela que notre population n'est pas composée de groupes appareillés en âge, sexe, etc.

- Limites liées à l'eye-tracking

L'eye-tracking est un système technologique, fiable mais imparfait. Les performances du système X120, et de tout dispositif fixe, sont sensibles aux mouvements du sujet testé. Ils sont donc à limiter autant que possible. Pourtant, en situation de communication, même en étant assis, tous les sujets bougeaient le corps, les bras, etc. ; il est donc très difficile pour le sujet testé de rester statique.

Parmi les sujets qui ont participé à notre étude, un grand nombre a des troubles visuels et des corrections visuelles, ce qui peut parasiter l'enregistrement des mouvements oculaires par l'eye-tracking. Nous avons remarqué que le port de verres progressifs nuit particulièrement à l'enregistrement des données.

Nous avons rencontré des difficultés dans l'analyse des données avec le logiciel d'eye-tracking pour le dispositif orthophoniste réelle. Il serait donc intéressant de poursuivre cette étude en établissant un meilleur calibrage avec le dispositif orthophoniste en face à face pour exploiter ces données-là. Pour ce faire, il faudrait un système qui calcule en temps réel les mouvements des sujets (sujet testé et testeur) et qui se recalibre en fonction.

- Limites liées au dispositif vidéo

Les temps passés avec le dispositif vidéo sont identiques à tous les sujets tandis qu'ils sont différents avec le dispositif orthophoniste réelle. De plus, durant le scénario vidéo, on ne peut ni mettre pause, ni avancer en fonction de la vitesse de réponse du sujet. L'intérêt d'évaluer tous les patients exactement de la même manière grâce au support vidéo est en fait très compliqué à mettre en place et ne permet pas de souligner réellement et qualitativement les difficultés du patient. Ceci prouve bien l'importance d'une évaluation faite avec une orthophoniste en face à face, qui peut adapter l'évaluation en fonction du patient (laisser des temps de

latence pour les personnes ayant besoin de se reconcentrer comme par exemple les personne âgées).

- Limites liées à l'orthophoniste

Les deux orthophonistes du service et moi-même avons essayé autant que possible d'adapter l'intensité sonore de notre propre voix en fonction des différentes modalités (confortable et gênante) et en fonction du sujet testé. Malgré le protocole élaboré à ce propos et mis en commun, il est bien évident que cela est très difficile et demande des années d'entraînement pour parvenir à ce contrôle vocal. De plus, baisser le volume d'une voix enregistrée est différent que de parler à voix faible. C'est pour cela que nous n'avons pas analysé en détail la modalité voix faible car les sujets ne sont pas forcément comparables les uns les autres. En revanche, les analyses ont montré que cette modalité pouvait être utilisée pour placer les sujets en situation de gêne.

Il serait pertinent, dans une recherche future, d'analyser les paramètres de la voix faible (les occlusives sourdes passent très bien) et de la voix chuchotée (qui renforce certains phonèmes). De même, il serait intéressant d'ouvrir les situations gênantes à la parole dans un milieu bruyant.

CONCLUSION

Le but de ce travail était d'observer, par le biais de l'eye-tracking, les comportements visuels d'adultes sourds appareillés et/ou implantés selon différentes modalités, écoute passive, répétition de mots et de phrases en situation confortable et en situation gênante pour le sujet.

L'analyse des résultats met en évidence que les sujets sourds réhabilités ont un comportement visuel se rapprochant des sujets normo-entendants par rapport aux sujets sourds non appareillés. Ceci prouve l'efficacité des réhabilitations auditives. Les sujets réhabilités regardent moins la bouche que les sujets non corrigés. Toutefois, leurs performances en lecture labiale restent stables après implantation.

Nous observons que les scores sont meilleurs avec l'orthophoniste en face à face plutôt qu'en support vidéo. L'évaluation orthophonique par support vidéo ne peut pas se faire de manière systématique avec tous les patients. En effet, l'orthophoniste adapte le débit de sa parole, son vocabulaire, toutes ses compétences en fonction de chaque patient. Toutefois, nous n'avons pas mis en évidence des matrices de confusion différentes entre ces deux dispositifs, ce qui pourrait être l'objet d'une étude future.

L'eye-tracking complète l'évaluation orthophonique classique en nous renseignant sur les stratégies visuelles mises en place par les patients.

Tous les sujets regardent la bouche, y compris les sujets normo-entendants et quelle que soit la modalité de communication. Tous les sujets sollicitent donc la vision dans la perception de la parole. Ceci nous confirme l'importance de l'intégration sensorielle multi-modale dans la perception de la parole, tant au niveau comportemental que cérébral.

De plus, cette étude utilisant l'eye-tracking apporte des données générales sur la cognition et les mécanismes à l'œuvre dans la communication. Les sujets regardent préférentiellement le visage, et le côté droit du visage. Les sujets regardent beaucoup la bouche, ce qui nous interpelle sur la saillance d'éléments mobiles par rapport aux éléments plus statiques.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Abry, C., Lallouache, MT., Cathiard, MA. (1996) How can coarticulation models account for speech sensitivity to audio-visual desynchronisation ? In *D. Stork et M. Hennecke* (Edit.), Speechreading by Humans and Machines,NA TO ASI Series F : Computer and Systems Sciences, Springer- Verlag,150, 247-255

[2] Alleman, A. (2010). Analyser les écrits spontanés d'adultes implantés cochléaires pour améliorer leur suivi orthophonique. Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste de l'Université de Paris, 102 p.

[3] Arnal, LH., Morillon, B., Kell, CA., Giraud, AL. (2009). Dual neural routing of visual facilitation in speech processing. *J Neurosci*., 28;29(43):13445-53

[4] Arnold, P., Hill, F. (2001). Bisensory augmentation : A speechreading advantage when speech is clearly audible and intact. *Br J Psychol*., 92 Part 2:339-355

[5] Bajeux, A. (2006). Mesure des effets de l'apprentissage de la lecture labiale chez l'adulte devenu sourd : étude comparative. Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste de l'Université de Paris

[6] Belin, P., Zatorre, RJ., Lafaille, P., Ahad, P., Pike, B. (2000). Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature*, 403(6767):309-12

[7] Bouccara, D., Avan, P., Mosnier, I., Bozorg Grayeli, A., Ferrary, E., Sterkers, O. (2005). Réhabilitation auditive. *Médecine/Sciences*, 21:190-7

[8] Boysson Bardies, B. (1996). *Comment la parole vient aux enfants : de la naissance jusqu'à deux ans*. Paris : O. Jacob, 289 p.

[9] Bucci MP, Nassibi N, Gerard C-L, Bui-Quoc E, Seassau M (2012) Immaturity of the Oculomotor Saccade and Vergence Interaction in Dyslexic Children : Evidence from a Reading and Visual Search Study. *PLoS ONE* 7(3):e33458

[10] Buchan, JN., Munhall, KG. (2011). The influence of selective attention to auditory and visual speech on the integration of audiovisual speech information. *Perception*, 40(10):1164-82

[11] Burnham, D. (1998). Language specificity in the development of auditory visual speech perception. In R.Campbell, B. Dodd, & D. Burnham (Eds.), *Hearing by eye II : Advances in the psychology of speechreading and auditory-visual speech* (pp.27±60). Hove, UK Psychology Press

[12] Calbour, C., Dumont, A. (2002). *Voir la parole : lecture labiale, perception audiovisuelle de la parole*. Paris : Masson, 231 p.

[13] Callies, A., De Bergh, M. (2009). La communication téléphonique chez les adultes devenus sourds et implantés cochléaires. Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste de l'Université de Paris, 96 p.

[14] Calvert, GA., Bullmore, ET., Brammer, MJ., Campbell, R., Williams, SC., McGuire, PK., Woodruff, PW., Iversen, SD., David, AS. (1997). Activation of auditory cortex during silent lipreading. *Science*, 276(5312):593-6

[15] Campbell, R. (1992). The neuropsychology of lipreading. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 335(1273):39-44

[16] Campbell, R. (1998). Speechreading : advances in understanding its cortical bases and implications for deafness and speech rehabilitation. *Scand Audiol Suppl*., 49:80-6

[17] Capek, CM., Macsweeney, M., Woll, B., Waters, D., McGuire, PK., David, AS., Brammer, MJ., Campbel,l R. (2008). Cortical circuits for silent speechreading in deaf and hearing people. *Neuropsychologia*, 46(5):1233-41

[18] Cavézian, C., Chokron, S. (2010) Troubles neurovisuels et troubles des apprentissages. *Entretiens de Bichat d'Orthophonie*.

[19] Chalon, R., David, B., Beldame, M., Cherief, N., Lasalle, J., Moinard, J. L'oculomètre comme support d'évaluation et d'interaction.

[20] Chelnokova, O., Laeng, B. (2011). Three-dimensional information in face recognition: an eye-tracking study. *J Vis*., 11(13):27

[21] Chen, Y., Hazan, V. (2009). Developpemental factors and non native speaker effect in auditory-visual speech perception. *J Acoust Soc Am*., 126(2):858-65

[22] Coez, A., Zilbovicius, M., Ferrary, E., Bouccara, D., Mosnier, I., Ambert Dahan, E., Bizaguet, E., Syrota, A., Samson, Y., Sterkers, O. (2008). Cochlear implant benefits in deafness rehabilitation. *J Nucl Med*, 49(1):60-7

[23] Colin, C., Radeau, M. (2003). Les illusions McGurk dans la parole : 25 ans de recherche. In *L'année psychologique*, 103(3)497-542

[24] Cousin Boschetti, S., De Laubier, E. (2008). Lecture labiale et audiovision avant et après implantation cochléaire chez des adultes devenus sourds. Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste de l'Université de Paris, 83p.

[25] Davies, R., Kidd, E., Lander, K. (2009). Investigating the psycholinguistic correlates of speechreading in preschool age children. *Int J Lang Commun Disord*., 44(2):164-74

[26] Davis, C., Kim, J. (1998). Repeating and remembering foreign language words : does seeing help ? *AVSP*1998.

[27] Dekle, DJ., Fowler, CA., Funnell, MG. (1992). Audiovisual integration in perception of real words. *Percept Psychophys*, 51(4):355-62

[28] Dumont, A. (1997). *Implantations cochléaires. Guide pratique d'évaluation et de rééducation*. Isbergues : Ortho-Edition, 143 p.

[29] Dumont, A. (2008). *Orthophonie et surdité. Communiquer, comprendre, parler*. (3e éd.) Issy-les-Moulineaux : Elsevier, Masson, 241 p.

[30] Falck Ytter, T., Von Hofsten, C., Gillberg, C., Fernell, E. (2013). Visualization and analysis of eye movement Data from Children with Typical and Atypical Development. *J Autism Dev Disord*.

[31] Farhi, D., Smadja, R. (1996) *Biophysique : PCEM1*. Paris : ESTEM, 286 p.

[32] Feld, JE., Sommers, MS. (2009). Lipreading, processing speed, and working memory in younger and older adults. *J Speech Lang Hear Res*., 52(6):1555-65

[33] Fridriksson, J., Moss, J., Davis, B., Baylis, GC., Bonilha, L., Rorden, C. (2008). Motor speech perception modulates the cortical language areas. *Neuroimage*, 41(2):605-13

[34] Fu, Q.J., Galvin, J. 3rd. (2008). Maximizing cochlear implant patients' performance with advanced speech training procedures. *Hearing Research*, 242(1-2):198-208

[35] Giraud, AL., Price, C., Truy, E., Graham, J., Frackowiak, R. (2000). Réorganisation fonctionnelle après implantation cochléaire : études en Tomographie par Emission de Positions. *Revue de Neuropsychologie*, 10(4):583-602.

[36] Giraud, AL., Price, CJ., Graham, JM., Truy, E., Frackowiak, RS. (2001). Cross-modal plasticity underpins language recovery after cochlear implantation. *Neuron*, 30(3):657-63

[37] Grosbois, J., Le Pellec, M. (2004). *Surdités, acouphènes et troubles de l'audition. Tome 1, Maladies et traitements*. Québec : Option santé, Labège (Haute-Garonne), 155 p.

[38] Haute autorité de santé (2007). *Traitement de la surdité par pose d'implants cochléaires ou d'implants du tronc cérébral*, 152 p.

[39] Haute autorité de santé (2012). *Le traitement de la surdité par implants cochléaires ou du tronc cérébral*, 4 p.

[40] Hirata, Y., Kelly, SD. (2010). Effects of lips and hands on auditory learning of second-language speech sounds. *J Speech Lang Hear Res*., 53(2):298-310

[41] Jääskeläinen, IP. (2010). The role of speech production system in audiovisual speech perception. *Open Neuroimag J*., 8(4):30-6

[42] Jeannerod, M., Coquery, JM. (2005). *Neurosciences*. Bruxelles : De Boeck, 840p.

[43] Khwaja, S., Mawman, D., Nichani, J., Bruce, I., Green, K., Lloyd, S. (2012). Cochlear implantation in patients profoundly deafened after head injury. *Otol Neurotol*, 33(8):1328-32

[44] Kishon Rabin, L., Henkin, Y. (2000). Age-related changes in the visual perception of phonologically significant contrasts. *Br J Audiol*., 34(6):363-74.

[45] Lander, K., Davies, R. (2008). Does face familiarity influence speechreadability ? *Q J Exp Psychol (Hove)*, 61(7):961-7

[46] Lazard, DS., Lee, HJ., Gaebler, M., Kell, CA., Truy, E., Giraud, AL. (2010). Phonological processing in post-lingual deafness and cochlear implant outcome. *Neuroimage*, 15;49(4):3443-51

[47] Lepot Froment, C., Clerebaut, N. (1996). *L'enfant sourd : communication et langage*. Paris, Bruxelles : De Boeck Université, 672 p.

[48] Levänen, S., Hamdorf, D. (2001). Feeling vibrations : enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans. *Neurosci Lett*., 301(1):75-7

[49] Levy, J., Foulsham, T., Kingstone, A. (2013). Monsters are people too. *Biology Letters*, 9(1):20120850

[50] Lewkowicz, DJ., Hansen Tift , AM. (2012). Infants deploy selective attention to the mouth of a talking face when learning speech. *Proc Natl Acad Sci USA*., 109(5):1431-6

[51] Lisker, L., Rossi, M. (1992). Auditory and visual cueing of the [+/- rounded] feature of vowels. *Lang Speech*, 35 (Pt 4):391-417

[52] Ma, WJ., Zhou, X., Ross, LA., Foxe, JJ., Parra, LC. (2009). Lip-reading aids word recognition most in moderate noise : a Bayesian explanation using high-dimensional feature space. *PLoS One*, 4(3):e4638

[53] Mattingly, I., Liberman, A. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21(1)1–36

[54] McGurk, H., MacDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264(5588) : 746-748

[55] McGurk, H. (1981) Listening with eye and ear. *In T. Myers, J. Laver et J. Anderson (Eds)*, The Cognitive Representation of Speech, North Holland, 336-337

[56] Miller, G., Nicely, P. (1955). An Analysis of Perceptual Confusions Among Some English Consonants. *The Journal or the acoustical society of America*, 27(2)

[57] Noel, C. (2011). Variabilité des résultats de l'intelligibilité de la parole chez des adultes porteurs d'un implant cochléaire. Mémoire pour l'obtention du Certificat de Capacité d'Orthophoniste de l'Université de Paris, 98 p.

[58] Okada, K., Hickok, G. (2009). Two cortical mechanisms support the integration of visual and auditory speech: a hypothesis and preliminary data. *Neurosci Lett*., 452(3):219-23

[59] Pellet, J., Orsini, JC. (2005). *Introduction biologique à la psychologie*. (2e éd.). Rosny : Bréal, 552 p.

[60] Reisberg, D., McLean, J., Goldfield, A. (1987). Easy to hear but hard to understand : A lipreading advantage with intact auditory stimuli. *In R. Campbell and B. Dodd (Eds.)*, Hearing by Eye : The Psychology of Lip-Reading (pp. 97-114). Hillsdale, N.J.: Erlbaum Associates

[61] Rouger, J., Lagleyre, S., Fraysse, B., Deneve, S., Deguine, O., Barone, P. (2007). Evidence that cochlear-implanted deaf patients are better multisensory integrators. *Proc Natl Acad Sci USA*, 104(17):7295-300

[62] Rouger, J., Lagleyre, S., Démonet, JF., Fraysse, B., Deguine, O., Barone, P. (2012). Evolution of crossmodal reorganization of the voice area in cochlear-implanted deaf patients. *Hum Brain Mapp*., 33(8):1929-40

[63] Rosenblum, L., Schmuckler, M. , Johnson, J. (1997). The McGurk effect in infants. *Perception & Psychophysics*, 59(3), 347-357

[64] Saraux, H., Biais, B. (1969). *Précis d'ophtalmologie*. Paris, Masson. 977 p.

[65] Sauvaget, E., Tran Ba Huy, P. (2005). Surdités de perception. *In Dulguerov, P., Remacle, M., (Eds)*, Précis d'audiophonologie et de déglutition. Tome 1, L'oreille et les voies de l'audition. Marseille : Solal, 376 p.

[66] Sekiyama, K, Tohkura, Y. (1991). McGurk effect in non-English listeners : few visual effects for Japanese subjects hearing Japanese syllables of high auditory intelligibility. *J Acoust Soc Am*., 90(4 Pt 1):1797-805

[67] Serway, R. (1992). *Physique 3 : Optique et physique moderne* (3e ed). De Boeck Université, 776 p.

[68] Soto-Faraco, S., Navarra, J., Weikum, W., Vouloumanos, A. , Sebastián Gallés, N., Werker, J. (2007). Discriminating languages by speech-reading. *Perception & Psychophysics*, 69(2): 218-231

[69] Strelnikov, K., Rouger, J., Lagleyre, S., Fraysse, B., Deguine, O., Barone, P. (2009). Improvement in speech-reading ability by auditory training : Evidence from gender differences in normally hearing, deaf and cochlear implanted subjects. *Neuropsychologia*, 47(4):972-9

[70] Strelnikov, K., Rouger, J., Barone, P., Deguine, O. (2009). Role of speechreading in audiovisual interactions during the recovery of speech comprehension in deaf adults with cochlear implants. *Scand J Psychol*., 50(5):437-44

[71] Strelnikov, K., Rouger, J., Demonet, JF., Lagleyre, S., Fraysse, B., Deguine, O., Barone, P. (2010). Does brain activity at rest reflect adaptive strategies? Evidence from speech processing after cochlear implantation. *Cereb Cortex*, 20(5):1217-22

[72] Suh, MW., Lee, HJ., Kim, JS., Chung, CK., Oh, SH. (2009). Speech experience shapes the speechreading network and subsequent deafness facilitates it. *Brain*, 132(Pt 10):2761-71

[73] Szycik, GR., Tausche, P., Münte, TF. (2008). A novel approach to study audiovisual integration in speech perception : localizer fMRI and sparse sampling. *Brain Res*., 18;1220:142-9.

[74] Tobii® Technology. (2008). Tobii X60 & X120 Eye Trackers. User manual.

[75] Tobii® Studio. (2008). Manual version 1.0. User Manual.

[76] Tobii® Technology. (2010). Tobii Eye Tracking. An introduction to eye tracking and Tobii Eye Trackers. White paper.

[77] Tobii® Technology. (2010). Tobii T/X series Eye Trackers. Product Description.

[78] Tobii ® Technology. Eye-tracking research.

[79] Vallés Varela, H., Royo López, J., Carmen Sampériz, L., Sebastián Cortés JM, Alfonso Collado, I. (2012). The cochlear implant as a tinnitus treatment. *Acta Otorrinolaringol Esp*.

[80] Wade, N., Tatler, B. (2005). *The Moving Tablet of the Eye : The Origins of Modern Eye Movement Research*. New York : Oxford University Press, 312 p.

Sites internet

[81] http://www.passeportsante.net/documentsproteus/images/otite_moyenne_pm-2.jpg consulté le 18/02/2013

[82] http://www.neuroreille.com/promenade/francais/explo/ex_voies/p_pea2_ok.gif consulté le 20/03/2013

[83] http://www.biap.org/fr/recommandations/65-ct-2-classification-des-surdites/5-recommandation-biap-021-bis consulté le 22/02/2013

[84] http://www.mon-audition.fr/ftp/Image/formes.jpg consulté le 20/03/2013

[85] http://aichb.fr/articles_rubrique_medicale/aichb.fr2darticle01.html consulté le 24/02/2013

[86] http://www.cochlear.com/files/assets/lp_products_ci24re_04.jpg consulté le 22/02/2013

[87] http://www.cochlear.com/files/assets/CI_processor.jpg consulté le 22/02/2013

[88] http://cric.hug-ge.ch/informations/fonctionnement.html consulté le 22/02/2013

[89] http://www.e-semio.uvsq.fr/modules/ophtamo/img/1_coupe_oeil.jpg consulté le 20/03/2013

[90] http://lecerveau.mcgill.ca/flash/d/d_02/d_02_cr/d_02_cr_vis/d_02_cr_vis_2a.jpg consulté le 20/03/2013

[91] http://comprendre-son-cerveau.e-monsite.com/medias/images/cerveau-lobes.jpg consulté le 20/03/2013

[92] http://python.sm.u-bordeaux2.fr/ter/2012/sc/lagoute-macali-martin/images/cx.jpg consulté le 20/03/2013

[93]http://www.eyebrainpedia.com/Fr/Oculomotricite/images/PrincipauxMouvements.png consulté le 23/03/2013

[94] http://www.ophtalmologieparis.com/uploads/images/oeil-emmetrope.jpg consulté le 16/04/2013

[95] http://www.ophtalmologieparis.com/uploads/images/oeil-myope.jpg consulté le 16/04/2013

[96] http://www.ophtalmologieparis.com/uploads/images/oeil-hypermetrope.jpg consulté le 16/04/2013

[97] http://www.ophtalmologieparis.com/uploads/images/oeil-astigmate.jpg consulté le 16/04/2013

[98]http://www.docvadis.fr/docteur-massy/content/default/j_ai_une_cataracte/fr/data/document_content_1228751689564Original.jpg consulté le 16/04/2013

[99] http://www.tobii.com/ImageVaultFiles/id_762/cf_60/Mobile-Eye-tracking-Tobii-System_WS619.jpg consulté le 25/03/2013

[100] http://www.tobii.com/ImageVaultFiles/id_128/cf_60/Tobii-X120-Eye-Tracker.jpg consulté le 22/03/2013

ANNEXES

1. Spécifications techniques de l'eye-tracker Tobii X120
2. Consignes présentées au patient oralement et par écrit
3. Listes utilisées lors des tests
4. Réglages de l'intensité sonore
5. Tableaux des matrices
6. Lettre d'information concernant l'étude remise au patient
7. Lettre de consentement

Spécifications techniques de l’eye-tracker Tobii X120

Dérive	<0,3 degrés
Fréquence d’échantillonnage (débit de données)	120 Hz
Latence	30-35 ms
Temps de récupération de suivi	Moyenne 100 ms
Max des angles du regard	35 degrés
Liberté de mouvement de la tête	30 x 22 x 30 cm à 70 cm (Largeur x Hauteur x Profondeur)
Suivi binoculaire	Oui
Tracker du champ de vision	22 x 22 x 30 cm à 70 cm (Largeur x Hauteur x Profondeur)
Vitesse max du mouvement de la tête	35 cm/seconde
Poids	~ 3 kg
Technique de l’eye-tracking	Suivi des pupilles à la fois lumineux et sombre
Firmware de l’eye-tracking	Intégré

Consignes orales

1. Présentation générale et consignes « mots »

Bonjour. Bienvenue à l'hôpital Rothschild, au Centre de Réglages des Implants Cochléaires. L'équipe du Professeur Frachet met actuellement en place un nouveau dispositif d'évaluation de l'audition. Vous avez accepté de participer à cette étude et nous vous en remercions. Dans un 1er temps, je vais vous dire une série de mots que vous devrez répéter après moi, en répétant tout ce que vous avez compris même si cela ne correspond pas à un vrai mot. Attention, chaque mot ne sera prononcé qu'une seule fois et vous aurez 4 secondes pour le répéter.

2. Présentation des consignes « phrases »

Je vais vous dire une série de phrases. Chaque phrase vous sera prononcée 2 fois. Vous aurez 4 secondes pour dire ce que vous avez entendu. Si vous n'avez pas compris toute la phrase, répéter les mots que vous avez compris.

Consignes écrites

1. Des mots vont vous être présentés. Répétez ce que vous avez compris même si cela ne veut rien dire. Les mots ne seront pas répétés. Vous aurez 4 secondes après chaque mot.

2. Des phrases vont vous être présentées. Répétez ce que vous avez compris même s'il vous manque des mots. Chaque phrase sera répétée une fois. Vous aurez 4 secondes après chaque phrase.

3. Des mots vont vous être présentés. Répétez ce que vous avez compris même si cela ne veut rien dire. Les mots ne seront pas répétés. Vous aurez 4 secondes après chaque mot. Attention, le son est coupé !

4. Des phrases vont vous être présentées. Répétez ce que vous avez compris même s'il vous manque des mots. Chaque phrase sera répétée une fois. Vous aurez 4 secondes après chaque phrase. Attention, le son est coupé !

5. Des mots vont vous être présentés. Répétez ce que vous avez compris même si cela ne veut rien dire. Les mots ne seront pas répétés. Vous aurez 4 secondes après chaque mot. Attention, le son est faible !

6. Des phrases vont vous être présentées. Répétez ce que vous avez compris même s'il vous manque des mots. Chaque phrase sera répétée une fois. Vous aurez 4 secondes après chaque phrase. Attention le son est faible !

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

LISTE DE 17 MOTS TRIPHONEMIQUES - LISTE 1

Mots	Transcription en API (Alphabet Phonétique International)	Nombre de phonèmes répétés	Mot correctement répété
Année	a n e		
Cil	s i l		
Ronde	ʀ ɔ̃ d		
Oser	o z e		
Natte	n a t		
Crin	k ʀ ɛ̃		
Sage	s a ʒ		
Fil	f i l		
Peur	p œ ʀ		
Menthe	m ɑ̃ t		
Soude	s u d		
Vieux	v j ø		
Raide	ʀ ɛ d		
Col	k ɔ l		
Rut	ʀ y t		
Signe	s i ɲ		
Epais	e p ɛ		
Total		/51	/17

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

LISTE DE 15 PHRASES - LISTE 1 (13 MMBA)

PHRASES	Nombre de mots correctement répétés	Phrase correctement répétée	Rép°
1-Embrasse tes parents de ma part.	/6		
2-Le coiffeur est fermé.	/4		
3-Où est la poste?	/4		
4-Il faut réparer ta voiture.	/5		
5-Vous trouverez ce que vous cherchez dans un grand magasin.	/10		
6-Il fait trop chaud pour sortir faire des courses.	/9		
7-C'est dangereux de rouler à cette vitesse.	/8		
8-Cet arbre va tomber un de ces jours.	/8		
9-Nous irons voir mes amis dans quelques jours.	/8		
10-N'oubliez pas de faire vos courses avant la fin des soldes.	/12		
11-Comment vas-tu?	/3		
12-Il n'y a plus de place.	/7		
13-Je suis content de te voir.	/6		
14-Tu es malade.	/3		
15-Est-ce-que tu fais toujours du sport ?	/8		
TOTAL	/101	/15	

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

LISTE DE 17 MOTS TRI PHONEMIQUES - LISTE 2

Mots	Transcription en API (Alphabet Phonétique International)	Nombre de phonèmes répétés	Mot correctement répété
Abbé	abe		
Mille	mil		
Soupe	sup		
Tank	tɑ̃k		
Ruse	ʀyz		
Vèle	vɛl		
Code	kɔd		
Epée	epe		
Sœur	sœʀ		
Molle	møl		
Riche	ʀiʃ		
Pente	pɑ̃t		
Amont	amɔ̃		
Dru	dʀy		
Gaine	gɛn		
Sol	sɔl		
Avis	avi		
Total		/51	/17

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

LISTE DE 15 PHRASES - LISTE 2 (29 MMBA)

PHRASES	Nombre de mots correctement répétés	Phrase correctement répétée	Répº
1-Quelqu'un doit garder les enfants jusqu'au retour des parents.	/10		
2-Arrête-toi là !	/3		
3-Avez-vous déjà visité le musée de l'automobile ?	/9		
4-Il est nécessaire que tu sois à l'heure.	/9		
5-Je suis content d'assister à cette conférence.	/8		
6-A-t-il obtenu une augmentation ?	/6		
7-On peut voir le soleil se coucher derrière la vieille ferme.	/11		
8-Est-ce qu'elle achètera un souvenir de son voyage ?	/10		
9-Ecoute ce qu'il te dit !	/6		
10-Vous a-t-il parlé de son problème ?	/8		
11-Nous sommes allés au cinéma.	/5		
12-Ils se sont promenés dans le parc.	/7		
13-Elle est sortie en même temps que moi.	/8		
14-Ce n'est pas possible.	/5		
15-Nous avions dîné avant.	/4		
TOTAL	/109	/15	

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

LISTE DE 17 MOTS TRIPHONEMIQUES - LISTE 3

Mots	Transcription en API (Alphabet Phonétique International)	Nombre de phonèmes répétés	Mot correctement répété
Ami	ami		
Suer	sɥe		
Coule	kul		
Beurre	bœʀ		
Gêne	ʒɛn		
Ride	ʀid		
Allait	alɛ		
Tempe	tɑ̃p		
Fade	fad		
Longe	lɔ̃ʒ		
Mare	maʀ		
Tôle	tol		
Rance	ʀɑ̃s		
Ville	vil		
Preux	pʀø		
Nier	nje		
Caisse	kɛs		
Total		/51	/17

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

LISTE DE 15 PHRASES - LISTE 3 (31 MMBA)

PHRASES	Nombre de mots correctement répétés	Phrase correctement répétée	Rép°
1-Il étudie une leçon difficile.	/5		
2-Je vous souhaite de réussir.	/5		
3-Prends un pull !	/3		
4-Nous avons réservé une chambre dans cet hôtel.	/8		
5-Est-ce qu'il a raconté des histoires drôles ?	/9		
6-Nous lui avons fait un cadeau pour son anniversaire.	/9		
7-Il est possible qu'elle ne puisse pas t'accompagner.	/10		
8-Nous avons demandé le dossier à la secrétaire.	/8		
9-S'il avait un jour de congé, il partirait à la campagne.	/12		
10-As-tu téléphoné à ta cousine ?	/6		
11-Nous prenons notre voiture malgré les embouteillages.	/7		
12-Ne te moque pas de lui !	/6		
13-Cet enfant n'est pas assez attentif.	/7		
14-As-tu acheté des fleurs pour sa fête?	/8		
15-Vous allez devoir attendre.	/4		
TOTAL	/107	/15	

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

RETEST DE 17 MOTS DE 3 PHONEMES – LISTE 1

Mots	**Transcription en API (Alphabet Phonétique International)**	**Nombre de phonèmes répétés**	**Mot correctement répété**
Route	ʀut		
Assaut	aso		
Naine	nɛn		
Sur	syʀ		
Meule	møl		
Vide	vid		
Lange	lɑ̃ʒ		
Port	pɔʀ		
Seul	sœl		
Raide	ʀɛd		
Acquis	aki		
Drap	dʀa		
Pince	pɛ̃s		
Fil	fil		
Monte	mɔ̃t		
Etang	etɑ̃		
Buée	bɥe		
TOTAL		/51	/17

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

RETEST LISTE DE 15 PHRASES – LISTE 1 (20 MMBA)

PHRASES	Nombre de mots correctement répétés	Phrase correctement répétée	Rép°
1- A qui avez-vous à faire ?	/6		
2- J'ai beaucoup aimé ce film.	/6		
3- Cette soupe de poisson est fameuse.	/6		
4- Combien de fois faut-il te le dire ?	/8		
5- Il faut que je passe l'aspirateur dans la chambre.	/10		
6- Ce restaurant est très bien.	/5		
7- Tu devrais lire ce livre.	/5		
8- Il y a longtemps qu'il n'a pas autant ri.	/11		
9- Qui t'as dit des bêtises pareilles ?	/7		
10- Mon mari fait du vélo tous les dimanches matin.	/9		
11- Dis-moi quelque chose.	/4		
12- On mangera des légumes bouillis avec du poulet.	/8		
13- La petite fille a fini ses devoirs.	/7		
14- Pour qui vous me prenez ?	/5		
15- Mon voisin va se marier bientôt.	/6		
TOTAL	/103	/15	

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

RETEST DE 17 MOTS DE 3 PHONEMES – LISTE 2

Mots	**Transcription en APl (Alphabet Phonétique International)**	**Nombre de phonèmes répétés**	**Mot correctement répété**
Elan	elɑ̃		
Tige	tiʒ		
Chêne	ʃɛn		
Rude	ʀyd		
Lègue	lɛg		
Mieux	mjø		
Rive	ʀiv		
Sotte	sɔt		
Agneau	aɲo		
Meurt	mœʀ		
Case	kaz		
Bouée	bwe		
Rampe	ʀɑ̃p		
Sec	sɛk		
Front	fʀɔ̃		
Dalle	dal		
Pile	pil		
TOTAL		/51	/17

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

RETEST LISTE DE 15 PHRASES – LISTE 2 (23 MMBA)

PHRASES	Nombre de mots correctement répétés	Phrase correctement répétée	Rép°
1- Il y a une jolie vue d'ici.	/8		
2- Le rôti brûle dans le four.	/6		
3- Mon canari chante toute la journée.	/6		
4 -Est-ce que ça va me coûter cher ?	/8		
5- La porte est fermée à clef.	/6		
6- Ces chaussures ne valent plus rien.	/6		
7- Qu'est-ce qu'il faut faire ?	/7		
8- J'ai vu tout de suite qu'il y avait un problème.	/12		
9- La vitre s'est cassée à cause du courant d'air.	/11		
10- Ne vous dérangez pas.	/4		
11- Je n'y suis pour rien.	/6		
12- Mon fils ne sait pas quel métier choisir.	/8		
13- C'est un souvenir que j'ai ramené de voyage.	/10		
14- Avez-vous des tickets de bus ?	/6		
15- Je n'ai pas le temps.	/6		
TOTAL	/110	/15	

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

RETEST DE 17 MOTS DE 3 PHONEMES – LISTE 3

Mots	**Transcription en API (Alphabet Phonétique International)**	**Nombre de phonèmes répétés**	**Mot correctement répété**
Soeur	sœʀ		
Saine	sɛn		
Ronge	ʀɔ̃ʒ		
Thèse	tɛz		
Veule	vøl		
Epais	epɛ		
Souk	suk		
Tir	tiʀ		
Amas	ama		
Pré	pʀe		
Vif	vif		
Bulle	byl		
Rôde	ʀod		
Année	ane		
Cil	sil		
Cure	kyʀ		
Lande	lɑ̃d		
TOTAL		/51	/17

Nom du patient : **Date de passation :**

Dispositif : écran ☐ camera ☐

Modalité :audition + LL +vx normale ☐ LL seule ☐ audition + LL+ vx faible ☐

RETEST LISTE DE 15 PHRASES – LISTE 3 (28 MMBA)

PHRASES	Nombre de mots correctement répétés	Phrase correctement répétée	Rép°
1- Je trouve que cette fille est plutôt sympathique.	/8		
2- C'est le plus travailleur de tous les assistants.	/9		
3- Viendras-tu nous voir dimanche prochain ?	/6		
4- L'année dernière, nous n'allions jamais au ski.	/9		
5- Quand part-il à Paris ?	/5		
6- La tempête a détruit les maisons.	/6		
7- Prends un bonbon !	/3		
8- Il y avait beaucoup de monde au spectacle.	/8		
9- Voulez-vous un café ?	/4		
10- Je veux que tu finisses ce travail avant de partir.	/10		
11- Il a tâché sa chemise.	/5		
12- Nous nous installerons bientôt dans notre nouvel appartement.	/8		
13- Il lit le journal en prenant son petit - déjeuner.	/9		
14- Elle a changé tous les meubles de place.	/8		
15-Attends les enfants devant le cinéma !	/6		
TOTAL	/104	/15	

Réglages de l’intensité sonore

1. Mesure de la PAM en audiogramme tonale.
2. Mesure du seuil d’intelligibilité en audiométrie vocale en champ libre.

L’intensité de la voix confortable pour le sujet est à 20 dB au-dessus de ce seuil et celle de la voix gênante à 20 dB sous ce seuil.

- Pour les sujets normo-entendants, l’intensité de la voix confortable est à 60dB et celle de la voix gênante à 40 dB.
- Pour les sujets implantés cochléaires et/ou appareillés, on cherche le seuil d'intelligibilité en audiométrie vocale en champ libre avec les prothèses.
- Pour les sujets sourds non corrigés, on cherche le seuil d’intelligibilité en audiométrie vocale en champ libre oreilles nues.

Tableau des matrices

	ortho	effectif ortho	vidéo	effectif vidéo	Diff. sign.	p
p	68	146	133	214	+	0,003
t	31	144	37	144	-	
k	17	144	20	143	-	
b	31	72	21	72	-	
d	16	144	26	144	-	
g	7	72	4	72	-	
f	39	70	0	2	out	
s	64	146	46	215	+	< 0,0001
ʃ	38	72	14	72	+	< 0,0001
v	57	74	40	142	+	< 0,0001
z	8	72	12	72	-	
ʒ	12	70	1	2	out	
m	24	146	51	213	-	
n	27	73	9	72	+	0,0004
ʁ	208	357	80	290	+	<0,0001
l	163	288	101	288	+	<0,0001
ɲ	6	69	0	2	out	
i	143	217	79	216	+	<0,0001
e	221	360	139	358	+	<0,0001
a	92	216	110	216	-	
y	11	74	7	142	+	0,028
oe	72	144	39	144	+	<0,0001
u	0	2	28	69	out	
o	63	143	39	144	+	0,002
ɛ̃	0	0	0	0	out	
ɑ̃	45	144	22	144	+	0,001
ɔ̃	21	71	9	71	+	0,012
j	5	70	0	2	out	
w	11	70	0	2	out	
ɥ	0	0	0	0	out	

Tableaux des matrices

consonnes	ortho	effectif ortho	vidéo	effectif vidéo	Diff. sign.	p
p	68	146	133	214		
t	31	144	37	144		
k	17	144	20	143		
b	31	72	21	72		
d	16	144	26	144		
g	7	72	4	72		
f	39	70	0	2		
s	64	146	46	215		
ʃ	38	72	14	72		
v	57	74	40	142		
z	8	72	12	72		
ʒ	12	70	1	2		
m	24	146	51	213		
n	27	73	9	72		
ʁ	208	357	80	290		
l	163	288	101	288		
ɲ	6	69	0	2		
total	816	2159	595	2159	+	< 0,0001

voyelles	ortho	effectif ortho	vidéo	effectif vidéo	Diff. sign.	p
i	143	217	79	216		
e	221	360	139	358		
a	92	216	110	216		
y	11	74	7	142		
oe	72	144	39	144		
u	0	2	28	69		
o	63	143	39	144		
ɛ̃	0	0	0	0		
ɑ̃	45	144	22	144		
ɔ̃	21	71	9	71		
j	5	70	0	2		
w	11	70	0	2		
ɥ	0	0	0	0		
total	684	1511	472	1508	0	< 0,0001

Étude « Compréhension de la parole »
dans le cadre d'un Mémoire d'Orthophonie de 4ème année

Aurélie Petithomme, étudiante en 4ème année d'orthophonie à Paris VI, site Pitié-Salpêtrière.

Maître de mémoire : Émilie Ernst, Orthophoniste, CRIC, service du Pr. Bruno Frachet, AP-HP, hôpital Rothschild.

I. Objectif de l'étude

Pour améliorer le suivi des adultes devenus sourds ou malentendants, il est indispensable de comprendre les difficultés que vous rencontrez. Cela passe par une évaluation régulière de vos compétences en compréhension de la parole, que vous portiez une prothèse conventionnelle et/ou un implant cochléaire.

L'originalité de cette étude est l'utilisation du système vidéo.

L'objectif de notre étude est de valider les résultats obtenus par le support vidéo en regard des résultats obtenus lors du bilan orthophonique.

II. Descriptif de l'étude

Des vidéos vous seront présentées. Il s'agit de comprendre et de répéter des mots et des phrases. La durée de passation sera approximativement de 45 minutes.

L'étude sera réalisée à l'hôpital Rothschild à Paris, au CRIC (Centre de Réglages des Implants Cochléaires) et à l'IFIC (Institut Francilien d'Implantation Cochléaire).

Toutes les données récoltées seront anonymes et feront l'objet d'un traitement statistique.

Les résultats globaux de cette recherche et ses perspectives pourront, si vous le souhaitez, vous être communiqués à la fin de l'étude.

Nous vous remercions chaleureusement de votre coopération si précieuse,

Bruno FRACHET Emilie ERNST Aurélie PETITHOMME

Hôpital Rothschild (Paris, AP-HP)
CRIC, Service du Pr B. Frachet
Année universitaire 2012/2013

FORMULAIRE DE RECUEIL DU CONSENTEMENT
ETUDE TOBII

Madame ou Monsieur ….....

Date de naissance : ….....(jour/mois/année)

Je confirme que l'équipe du Professeur Bruno FRACHET, exerçant en qualité de Chef de Service ORL à l'hôpital Rothschild m'a informé(e) de la nature et des objectifs de l'étude TOBII à laquelle j'accepte de participer.

J'ai lu un exemplaire de la lettre d'information du patient. J'ai bien compris les informations données oralement et par écrit.

Je déclare par la présente mon accord volontaire pour participer à une étude sur la compréhension de la parole réalisée dans le cadre d'un Mémoire d'Orthophonie de l'Université Paris VI (Pitié-Salpêtrière).

J'ai reçu un exemplaire de cette déclaration de consentement.

Fait en 2 exemplaires à …....., le ….....

Nom et prénom du médecin	Nom et prénom du patient
Cachet et signature	Signature

ETUDE PRELIMINAIRE UTILISANT L'EYE-TRACKING POUR L'EVALUATION ORTHOPHONIQUE DES ADULTES IMPLANTES COCHLEAIRES

Résumé

72 adultes, sourds appareillés ou implantés cochléaires, sourds non appareillés ou normo-entendants ont passé des évaluations orthophoniques, en face-à-face et sur support vidéo. Etaient enregistrés leurs scores d'intelligibilité de la parole ainsi que leurs mouvements visuels, par eye-tracking. Les scores et les zones du visage regardées diffèrent selon les groupes et selon les modalités (voix normale ou faible et lecture labiale, lecture labiale seule). L'eye-tracking s'avère être une technologie pouvant compléter les évaluations orthophoniques classiques.

Mots-clés : surdité, implant cochléaire, lecture labiale, eye-tracking, adultes devenus sourds

Abstract

72 adults, either deaf - fitted, non-fitted or with cochlear implants -, or normal hearing, were submitted to face-to-face and video-recorded speech and language evaluations. Speech intelligibility was scored and visual movements were assessed through the eye-tracking technique. Scores as well as the facial areas that were watched differ among groups and conditions (normal or low voice and lip-reading, lip-reading only). Eye-tracking proves to be a technique that can supplement conventional speech therapy evaluations.

Keywords : deafness, cochlear implant, speech-reading, eye-tracking, deafened adults

Nombre de pages : 88 pages et 19 pages d'annexes

Nombre de références bibliographiques : 80