HAL
open science

Etude de la fonction d'équilibration chez des patients implantés cochléaires unilatéraux

Dimitri Fabre

To cite this version:

Dimitri Fabre. Etude de la fonction d'équilibration chez des patients implantés cochléaires unilatéraux. Sciences de l'Homme et Société. 2015. hal-01828129

HAL Id: hal-01828129

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01828129v1

Submitted on 3 Jul 2018

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

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

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

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

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

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

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

LIENS

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

Master « Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives »

Spécialité **: Evaluation de la Performance et des Adaptations Motrices et Physiologiques**

Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du grade de master

Etude de la fonction d'équilibration chez des patients implantés cochléaires unilatéraux

Présenté par
Dimitri Fabre

Guidant universitaire : Professeur Gérome Gauchard, Université de Lorraine, Faculté des Sciences du Sport & EA 3450 DevAH « Développement, Adaptation, Handicap ».

Maitre de stage : Professeur Cécile Parietti-Winkler, Université de Lorraine, Faculté de Médecine & EA 3450 DevAH « Développement, Adaptation, Handicap ».

Année Universitaire 2014/2015

Sommaire

I. **Préambule** 1
1.1 *Généralités* 1
1.2 *La surdité* 1
1.3 *Traitement de la surdité par implantation cochléaire* 2
II. **Introduction** 2
2.1 Surdité et qualité de vie 2
2.2 Surdité et vertiges 3
2.3 Surdité et autonomie 3
2.4 Surdité et capacité posturale 3
2.5 Implantation cochléaire et posture 10
2.6 Surdité, implantation cochléaire et perception 12
2.7 **Objectif** 13
Hypothèses 15
III. Matériels et méthodes 15
3.1 Agréments 15
3.2 Population 16
3.2.1 Les critères d'inclusion 16
3.2.2 Les critères de non inclusion 16
3.3 **Dispositif d'évaluation** 16
3.3.1 Evaluation de la posture 16
3.3.2 Evaluation du RVO 18
3.3.3 Evaluation de la verticale gravitaire 18
3.4 **Protocole** 19
3.4.1 Groupe implanté 20
3.4.2 Groupe témoin 20
3.5 Statistiques 20
IV. **Résultats** 21
4.1 Performances posturales 21
4.2 Intégrité physiologique du vestibule 27
4.3 Perception de la verticale gravitaire 27
V. **Discussion** 30
VI. *Conclusion et perspectives* 34
VII. Références bibliographiques 37

Annexes 42
Annexe 1 : L'implant cochléaire 42
Annexe 2 : Les gravicepteurs 42
Annexe 3 : Statistiques 43
Annexe 4 : Graphique de Freyss 45

Liste des abréviations

DHI: Dizziness Handicap Inventory.

INSERM: Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale.

O.M.S. : Organisation Mondiale de la Santé.

RVO: Réflexe Vestibulo-Oculaire.

S.O.T.: Sensory Organization Test.

WHOQOL-BREF: The World Health Organization Quality Of Life.

I. **Préambule**

1.1 Généralités

La surdité se définit classiquement par l'affaiblissement ou l'abolition du sens de l'ouïe. En 2014, d'après l'Inserm (http://www.inserm.fr/dossiers-d-information/surdite) cette pathologie touche une personne sur dix en France et constitue un problème de santé publique. Elle atteint 6 % de la population âgée de 15 à 24 ans et 65 % des individus âgés de 65 ans et plus. A l'échelle mondiale, cette pathologie affecte 360 millions de personnes (soit 5 % de la population), à savoir 32 millions d'enfants et 328 millions d'adultes dont un tiers des personnes de plus de 65 ans, d'après les données de l'O.M.S. (http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/fr/). Cette pathologie touche aussi bien les hommes que les femmes : elle peut-être innée ou être la conséquence de pathologies comme l'otospongiose, la presbyacousie ou la maladie de Ménière. Cette atteinte neurosensorielle est très handicapante puisqu'elle engendre des troubles de l'intelligibilité de la parole conduisant à une détérioration de la communication avec autrui.

1.2 La surdité

La surdité peut être classée selon deux types (« le son et l'audition », 2007) :

- La surdité de transmission correspond à une altération de l'appareil de transmission du son vers l'oreille interne regroupant (l'oreille externe et moyenne, le tympan et les osselets).
- La surdité de perception correspond à une altération de la perception du signal sonore, soit au niveau de l'oreille interne correspondant à une surdité de perception endocochléaire (cochlée où sont situés les organes de Corti). Soit au niveau du nerf qui correspond à une surdité de perception rétrocochléaire (atteinte tumorale). Ces deux niveaux d'atteintes engendrent une détérioration de la traduction du message sonore en signal nerveux.

La classification de la gravité de la surdité se fait dans un ordre croissant en 6 stades (« le son et l'audition », 2007) :

Entre 5 et 20 décibels (dB) de perte auditive, l'audition est qualifiée de normale ou subnormale.

Entre 21 et 40 (dB) de perte auditive, il s'agit d'une surdité légère.

Entre 41 et 70 (dB) de perte auditive, il s'agit de surdité moyenne.

Entre 71 et 90 (dB) de perte auditive, il s'agit d'une surdité sévère.

Lorsque la parole n'est pas du tout perçue mais que certains bruits continuent de l'être, nous parlons de surdité profonde.

Enfin, lorsque ni bruit, ni parole ne sont perçus, il s'agit d'une surdité totale.

La réhabilitation de l'audition se fait par appareillage auditif pour les degrés d'atteinte faible de la perception sonore. Néanmoins lorsque l'appareillage ne suffit plus dans des cas de surdité bilatérale profonde ou totale, la réhabilitation de l'audition se fait par voie chirurgicale : l'implantation cochléaire.

1.3 Traitement de la surdité par implantation cochléaire

L'implant cochléaire se compose de deux parties (externe et interne), la partie interne est implantée à demeure dans le crane du patient et s'introduit à l'intérieure de la cochlée (annexe 1). Des études ont montré les bénéfices de l'implantation cochléaire en permettant une restauration de la perception du monde sonore chez des personnes sourdes profondes (Wyatt, Nyparko, Rothman & Delissovoy, 1996 ; Fugain, Ouayoun, Meyer & Chouard, 2000). L'implantation permet également la restauration de l'intelligibilité de la parole comme l'a montré Taly (2010), dans laquelle les enfants implantés présentaient une réapparition des différents stades du langage. Ainsi que Rumeau et al. (2014) qui ont montré que l'implantation cochléaire restaurait la capacité à téléphoner, qui est un indicateur d'une amélioration du niveau d'intelligibilité.

II. Introduction

La surdité a pour conséquence d'isoler les patients, entrainant un sentiment de rejet. Le retrait de la vie sociale participe une altération de la qualité de vie comme l'ont montré Rumeau et al. (2014). Cependant, la problématique n'est pas seulement sociologique puisque d'autres auteurs rapportent une atteinte physiologiques autre que la surdité elle-même diminuant la qualité de vie. Parmar et al. (2012), ont montré que la pathologie responsable de la surdité entrainait dans certains cas des vertiges et des nausées venant exacerber l'altération de la qualité de vie. Ces éléments viennent peu à peu diminuer l'autonomie des personnes sourdes (Rossi & Solero, 1994).

2.1 Surdité et qualité de vie

La déficience auditive entraine un retrait de la vie sociale (Rumeau et al., 2014), en effet, les personnes qui en sont atteintes réduisent leurs loisirs ainsi que leurs relations interindividuelles. Comme l'ont montré Rumeau et al. (2014), les candidats à l'implantation cochléaire présentant une surdité sévère ou profonde ont une dégradation de leur qualité de vie (WHOQOL-BREF[1])

[1] Questionnaire d'auto-évaluation de la qualité de vie, Leplège et al. (2013).

en comparaison à la population saine. Cette dégradation concerne les scores globaux de qualité de vie mais également l'ensemble des sous domaines tel qu'une baisse des aptitudes physiques. Cette détérioration n'est peut-être pas simplement due à la surdité elle-même, d'autres processus d'altération de la qualité de vie peuvent intervenir comme l'existence de vertiges et/ou de nausées.

2.2 Surdité et vertiges

Certaines personnes sourdes signalent l'apparition de vertiges ponctuels ou chroniques. Todt, Dietmar et Ernst (2008) ainsi que Parmar et al. (2012), ont montré que la population sourde présentait des scores élevés sur le questionnaire DHI[2] (score moyen de 12,5) en comparaison à la population saine (score allant de 0 à 4). Pour ces auteurs, les pathologies à l'origine de la surdité engendrerait des vertiges, provoquant une sensation d'instabilité ainsi que des nausées. Les vertiges ont un impact négatif sur la qualité de vie des sourds, les pertes de repères qu'ils engendrent ayant pour conséquence de diminuer leur autonomie. En effet, l'aptitude d'intégration individuelle dans la société est diminuée, en plus de leurs mises en retrait par la barrière de l'expression orale, comme l'ont montré Maner-Idrissi et al. (2008).

2.3 Surdité et autonomie

La sensation d'instabilité induit par les vertiges et la survenue de trouble de l'équilibre engendre une diminution de l'autonomie des sourds profonds (Rossi et al., 1994). Il devient alors difficile de gérer des activités de la vie quotidienne telle que faire les courses ou encore aller à pied chercher ses enfants à l'école. Le manque d'autonomie est le reflet de troubles physiologiques graves (chutes/instabilité), ce qui nous interroge sur la capacité des sourds profonds à maintenir leur équilibre. Une des fonctions essentielles de l'être humain est touchée, le contrôle de la posture.

2.4 Surdité et capacité posturale

Contrairement aux quadrupèdes l'Homme maintient une posture érigée bipodale. L'équilibre est la capacité de ce dernier à s'opposer à la force de gravité. En station debout, il doit en permanence contrôler sa posture afin de maintenir son centre de gravité dans le polygone de sustentation, ce qui sous-tend des mécanismes de régulations actifs. En effet, l'Homme oscille et déplace en permanence son centre de gravité afin de contrôler et maintenir la station debout. Pour ce faire, des capteurs organiques spécifiques renseignent le système nerveux central afin qu'il puisse s'adapter et réguler la posture. Il existe 3 capteurs sensoriels :

[2] Questionnaire d'auto-évaluation des vertiges et nausées, Nyabenda et al. (2004).

Le capteur visuel qui permet à l'individu de se stabiliser en fixant l'image sur sa rétine afin d'être plus stable (Berthoz et al., 1975 : Lestienne et al., 1977) ;-

Les capteurs proprioceptifs qui se définissent comme la perception des segments de notre corps les uns par rapport aux autres, ce qui permet des phénomènes de contractions musculaires régulant la posture érigée (Gurfinkel et al., 1995) ;-

Les capteurs vestibulaires renseignent sur l'accélération linéaire et angulaire de la tête (Black, Wall & Nashner, 1983).

Ces trois capteurs jouent un rôle dans l'équilibration du système, c'est-à-dire dans le maintien de la posture érigée par la coordination et le contrôle des mouvements réflexes de la tête, de la nuque, du tronc et des yeux. Ces afférences permettent de réguler activement la posture. L'Homme ne peut être assimilé à une statue immobile lorsque qu'il est debout en phase statique. Ces multiples capteurs (visuels, proprioceptifs et vestibulaires) sont spatialement dispersés afin de capter le plus d'informations possibles (Hytönen, Pyykkö, Aalto & Starck, 1993). Cette redondance informationnelle renseignent sur la position des segments corporels les uns par rapport aux autres et par rapport à l'environnement, selon le principe de convergence multi-sensorielle (Paillard, 1999). Ainsi cette faculté constitue un facteur essentiel pour l'orientation du corps par rapport à la verticale gravitaire et pour le maintien de la posture.

Ledebt (1997) souligne l'existence d'une complémentarité entre les différents capteurs sensoriels, c'est-à-dire que lorsqu'il y a une ambiguïté perceptuelle comme par exemple un déplacement de l'image sur la rétine qui peut être due, soit à un mouvement de l'environnement soit un mouvement de tête, l'afférence vestibulaire va permettre de savoir si notre environnement bouge ou alors si c'est notre tête qui est en mouvement. En revanche lorsqu'un conflit sensoriel apparait c'est-à-dire lorsqu'une information d'un des capteurs est faussée, il a été montré que le système délaisse la seule information qui rentre en conflit avec les autres dans le but de maintenir la station debout comme l'ont montré Roll, Vedel et Ribot (1989).

Enfin il a été montré qu'il existait une hiérarchisation des entrées sensorielles par rapport aux autres (Roll et al., 1989). Leur poids respectifs dans le contrôle de la posture varie d'un individu à un autre, cette hiérarchisation dépend de l'expérience de chacun et des différents apprentissages. Par exemple la pratique de l'équitation va davantage stimuler la voie visuelle (Olivier, 2012) tandis que la gymnastique va plutôt stimuler les modalités vestibulaires et proprioceptives (Hars, 2007).

Il existe deux propriétés de gestion des capteurs sensoriels (Massion, 1996) :

1) Un effet additif des capteurs permettant de lever une ambiguïté perceptuelle et de fournir le plus d'informations possibles au système nerveux central, c'est la redondance informationnelle.
2) Un effet compensatoire, qui supplante une information erronée ou absente.

Comme l'énonce Gauchard (2000), certaines pathologies peuvent modifier le poids des afférences sensorielles dans le contrôle de l'équilibre. Dans notre étude, nous nous intéressons à la capacité posturale de personnes atteintes de surdité profonde. L'atteinte posturale pourrait participer à l'altération de la qualité de vie et à la désocialisation des sourds profonds. Cette altération posturale serait alors due à une mauvaise régulation de la posture par le traitement d'une ou plusieurs informations erronées des capteurs sensoriels spécifiques. Cependant, en situation de conflit sensoriel nous avons vu que le système nerveux central complète, compense et additionne les informations sensorielles. Ces informations tendent à montrer que la population sourde profonde posséderait un ou plusieurs capteurs sensoriels défectueux engendrant une altération des performances posturales dans des conditions où les autres afférences sont discrètes.

Huang, Hsu, Kuan et Chang (2011), ainsi que Kluenter, Lang-Roth et Guntinas-Lichius (2009), ont étudié la fonction posturale statique, par un test de stabilométrie, chez des adolescents sourds profonds ou totaux. Ils ont mesuré la vitesse d'oscillation et l'aire des oscillations du centre de gravité dans différentes conditions sensorielles :

- Condition A : Toutes les informations sont disponibles.
- Condition B : Les informations visuelles sont indisponibles (yeux fermés).
- Condition C : Les informations proprioceptives sont erronées (support en mousse).
- Condition D : Les informations visuelles et proprioceptives sont faussées (support en mousse avec les yeux fermés).

Les résultats montrent que les participants « pathologiques » ont leur centre de gravité qui oscille significativement plus rapidement et dans un plus large périmètre que les participants « contrôles » dans les conditions A, C et D. Dans la condition A, les participants « pathologiques » ont besoin de plus d'informations afin de réguler leurs postures. Ils notent une redondance informationnelle différente chez les sourds profonds montrant une détérioration de la complémentarité des différents capteurs intervenant dans la régulation posturale. De plus les différences de performances posturales des sourds dans les conditions C et D montrent que les informations vestibulaires sont altérées, car dans ces conditions se sont les capteurs vestibulaires qui sont à priori dominant dans la régulation de la posture. Les résultats de ces

études montrent une plus grande oscillation dans un plus large périmètre signifiant une recherche plus importante d'informations sensorielles.

Dans ce sens Schwab, Durisin et Kontorinis (2010), ainsi que Parietti-Winkler et al. (2015), ont cherché à déterminer l'impact de la surdité sur la posture en effectuant un test d'organisation sensorielle (*SOT*). Ce test permet d'évaluer la capacité des individus à réguler leur posture lorsque leurs afférences sensorielles sont perturbées mais non annihilées.
Le S.O.T. se compose de 6 conditions :

- Condition 1, toutes les afférences sont disponibles.
- Condition 2, vision supprimée (yeux fermés)
- Condition 3, informations visuelles faussées
- Condition 4, informations proprioceptives faussées
- Condition 5, informations visuelles supprimées et informations proprioceptives faussées.
- Condition 6, informations visuelles et proprioceptives faussées.

Ce test mesure la capacité des individus à réguler leur posture statique en tentant de rendre plus discrètes certaines informations sensorielles comparées à d'autres. Les auteurs ont obtenu des résultats qui montrent une détérioration de la capacité posturale des sourds, c'est-à-dire une incapacité à maintenir le centre de gravité dans le polygone de sustentation. Il semblerait que dans les conditions où les informations vestibulaires sont dominantes sur les deux autres informations (visuelle et proprioceptive) les individus n'arrivent pas à réguler leur équilibre et chutent. Le S.O.T. permet d'initier des conflits sensoriels, dans le but de mettre en évidence l'effet compensatoire des différents capteurs. Ici, les résultats montrent que l'effet compensatoire n'a pas lieu lorsque la modalité vestibulaire est dominante.

Suarez et al. (2007) ont étudié le contrôle postural chez des enfants sourds profonds. Ils enregistrent les données stabilométriques grâce à une plateforme de force (n/d) dans deux conditions et les mettent en relation avec les réponses vestibulaires.

- Condition A : le sujet est en position de référence avec toutes les afférences sensorielles disponibles.
- Condition B : la vision est supprimée (yeux fermés) et la proprioception faussée (carré de mousse comme surface d'appui).

Les variables mesurées par la plateforme de force sont la vitesse d'oscillation (en $cm.s^{-1}$) et l'aire des oscillations (en cm^2). Tout d'abord, les auteurs mettent en avant que les sourds oscillent davantage et ce dans un plus large périmètre dans les conditions A et B en comparaison

à la population « contrôle ». Les participants sourds ayant des réponses vestibulaires faible ont des performances posturales significativement détériorées : ils oscillent plus vite et dans une aire supérieure. Cette étude montre une altération de la redondance informationnelle chez les sourds due au capteur vestibulaire.

Les données scientifiques montrent une diminution des performances posturales de la population sourde. Les résultats montrent une altération d'un capteur en particulier, le vestibule. Pour expliquer surdité et défaillance vestibulaire nous allons analyser l'anatomie de la zone lésée par la pathologie responsable de la surdité.

L'altération de la perception des sons (surdité) est due à altération d'un organe auditif, la cochlée, c'est cette zone qui va nous intéresser (illustration Simon, Perrot & Mertens (2009), figure n°2).

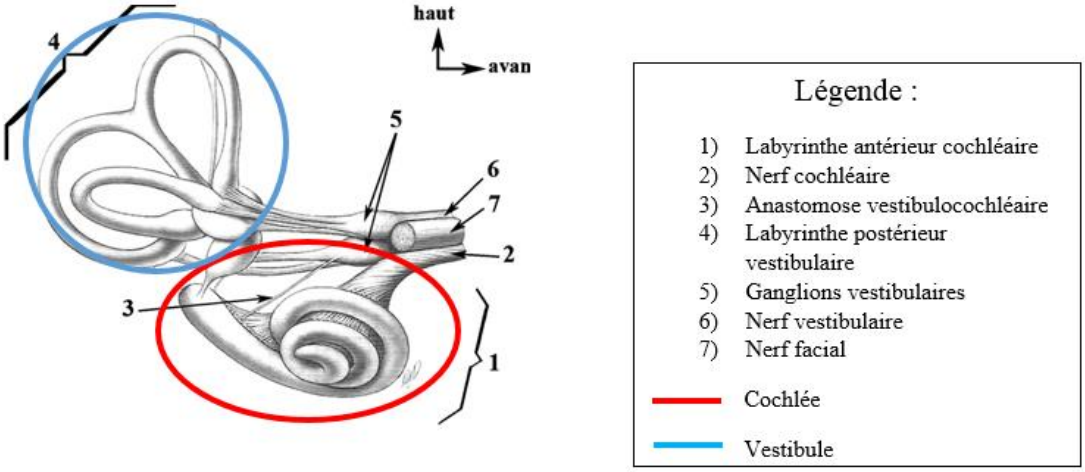

Figure n°2, anatomie de la région auditive

Nous remarquons d'après la figure n°2 que le complexe auditif est compartimenté au même endroit que le vestibule. Cette illustration montre que le système vestibulaire serait lésé par la pathologie responsable de la surdité à cause de sa relation anatomique avec la cochlée.

Néanmoins pour continuer notre réflexion nous allons étudier le vestibule afin de mieux appréhender son fonctionnement et connaitre les mécanismes responsables des troubles de l'équilibre observés.

Nashner (1972) énonce le vestibule comme intervenant dans la régulation posturale. Le système vestibulaire est un accéléromètre organique qui est sensible aux variations de vitesses angulaires et linéaires dans les plans antéro-postérieur et médio-latéral. Il rend compte au système nerveux central de la position de notre tête dans l'espace car il est situé anatomiquement sur la tête.

Son principal rôle est de coordonner et contrôler les mouvements réflexes de la tête, de la nuque et des yeux (Diener & Dichgans, 1988).
Les canaux semi-circulaires, disposés selon les trois axes orthogonaux (x, y et z) de l'espace, permettent de capter les accélérations angulaires, ainsi, lorsque nous effectuons un mouvement de tête (roulis, tangage et rotation), les fluides contenus dans l'endolymphe vont stimuler les canaux et ainsi renseigner le système sur le mouvement réalisé. Les canaux semi-circulaires permettent également de coordonner le mouvement des yeux en fonction du mouvement de la tête par une boucle réflexe (réflexe vestibulo-oculaire). Cette coordination oculaire permet la stabilisation du regard qui est essentielle dans le maintien de la posture érigée et constitue un moyen de contrôle de l'équilibre (Takahashi, Igarashi & Homick, 1977).

Le système vestibulaire se compose également du complexe utriculo-sacculaire, qui est sensible aux accélérations antéro-postérieure et médio-latérale linéaires et, ainsi, à l'attraction gravitationnelle (Trousselard, 2005). Le complexe utriculo-sacculaire est formé de cellules ciliées (cils engagés dans la membrane), à sa partie inférieure jusqu'aux cristaux à sa partie supérieure (otolithes). Sa sensibilité aux accélérations linéaires est liée au fait que les cellules ciliées, qui baignent dans le liquide endolymphatique contenu dans le saccule et l'utricule, ne sont pas orientées dans une seule et même direction. Cette disposition permet également de percevoir la force gravitationnelle dans toutes les directions.
Cian, Barraud, Paillard, Hidot, Denise et Ventre-Dominey (2014), ont montré que les otolithes jouent un rôle premier dans la détection de la gravité. Néanmoins les otolithes répondent après une inclinaison seuil et ne sont pas les seuls capteurs graviceptifs du corps humains (annexe 2).

En conclusion de cette partie, ces informations montrent que le vestibule est un capteur sensoriel actif dans la régulation posturale notamment parce qu'il capte les accélérations linéaires et angulaires, coordonne les mouvements de tête et des yeux et qu'il capte l'accélération gravitaire.
Nous nous demandons alors quelle fonction du vestibule est touchée chez notre population sourde. Est-ce l'ensemble, ou simplement une fonction spécifique ?

Chez l'Homme, la stabilité visuelle est assurée par le jeu des réflexes oculaires qui sont d'origine vestibulaire (réflexe vestibulo-oculaire : RVO) ou visuelle (réflexe optocinétique) (Tanguy, 2008). Concernant le RVO, son apparition est révélatrice d'un vestibule sain : il se manifeste par un nystagmus. Un nystagmus se définit comme un mouvement rapide, involontaire et conjugué des globes oculaires, caractérisé par une succession de mouvements composés d'une phase rapide et d'une phase lente. Le mouvement change de sens

alternativement, la phase rapide donne la direction du nystagmus. Par ailleurs, un nystagmus peut apparaitre soit de manière verticale, soit horizontale, (Perrin & Lestienne, 1994).
Sa mise en évidence se fait par plusieurs méthodes :

Une rotatoire, consistant en une stimulation physiologique des canaux semi-circulaires horizontaux par accélération angulaire horaire et antihoraire (tourner sur une chaise). Ces stimuli rotatoires touchent les deux labyrinthes simultanément.

Une méthode calorique qui utilise une stimulation non physiologique d'irrigation du conduit auditif par induction d'eau (chaude et froide) pour créer un gradient de température d'un côté du canal auditif. Une irrigation d'eau chaude crée un gradient de température au sein du canal semi-circulaire horizontal stimulé, induisant un nystagmus homolatéral à l'oreille testée. En revanche, une irrigation à l'eau froide entraîne un nystagmus controlatéral à l'oreille testée. Il est nécessaire de préciser que ce test déclenche un nystagmus sur des fréquences lentes. En effet la vitesse d'apparition sur ce test est plus longue que dans la méthode rotatoire, le temps que l'eau pénètre les conduits.

Plusieurs auteurs se sont donc intéressés à la réponse des canaux semi-circulaires afin de la corréler à la surdité. Par exemple, Thierry et al. (2015) ont montré des résultats variables sur l'apparition du RVO chez l'enfant ; en effet, ils montrent que 50 % des patients présentent une réponse normale et 50 % sans aucune réponse par un test rotatoire. Ce qui signifie qu'un individu sur deux, ne présente pas de réponse vestibulaire suite à une stimulation des canaux semi-circulaires. A noter que cette étude a été réalisée sur une population d'enfant et que l'effectif est faible ($n<10$). Buchman, Joy, Hodges, Telischi & Balkany (2004) ont également démontré les effets de la surdité sur le système vestibulaire des enfants en constatant des réponses variables (45 % d'apparition du RVO) quelle que soit la fréquence à laquelle ils testent le système (rotatoire ou calorique).
Jacot, Abbeele, Debre et Wiener-Vacher (2009), ont montré que la fonction otolithique chez des enfants sourds profonds présentait des réponses variables. Il a été démontré que seule la moitié de ces enfants présentaient une réponse bilatérale normale, tandis que 20 % présentaient une aréflexie bilatérale, 22.5 % présentaient une hypoexcitabilité asymétrique et 7,5 % présentaient une hypoexcitabilité symétrique. Cette étude montre donc une atteinte variable de la fonction otolithique des sourds profonds, mais aussi que la fonction utriculo-sacculaire peut être altérée par la surdité.

Ces résultats montrent une atteinte des canaux semi-circulaires ainsi que la fonction otolithique dans certains cas, cela semble dépendant de la pathologie responsable de la surdité.

Ces différents auteurs ne se sont intéressés qu'au capteur sensoriel que représente le vestibule. En effet, ils testent la capacité de celui-ci à capter les informations sensorielles de façon pertinente ou non. Nous notons que ces études portent sur une population d'enfant, car nous avons peu de littérature sur les séniors. Par conséquent, nous devons dans notre étude prendre en compte l'effet de l'âge, car plus la pathologie avance dans le temps, plus elle susceptible de détériorer le capteur vestibulaire.

Cependant, le RVO ne peut à lui seule expliquer la détérioration posturale des sourds profonds, car l'atteinte du capteur semble dépendant de l'individu et de son âge.

En conclusion de cette partie nous notons que la population sourde possède des réponses posturales inférieures à la population saine. Les études montrent une défaillance d'un capteur en particulier, le vestibule. Nous corrélons ces informations avec le fait que la cochlée et le vestibule ont une relation anatomique proche, les données montrent que la pathologie responsable de la surdité peut entraîner des problèmes vestibulaires. De plus, la fonction canalaire des sourds semble être altérée selon Buchman et al. (2004), ainsi que la fonction otolithique (Jacot et al., 2009).

Néanmoins, comme nous l'avons énoncé précédemment la surdité peut être traitée chirurgicalement par l'implantation cochléaire. Celle-ci permet la restauration de la perception des sons (Wyatt, et al., 1996.) ainsi que l'intelligibilité (Rumeau et al., 2014), mais qu'en est-il de son impact sur la posture ?

2.5 Implantation cochléaire et posture

L'implantation cochléaire vise à placer à demeure la partie interne de l'implant dans le crâne du patient mais également la partie constituée d'électrodes au sein même de la cochlée (Annexe 1 figure n°21 A). Cette intervention chirurgicale n'est pas sans conséquence, la pose de l'implant nécessite une légère intrusion dans le vestibule dans le but d'atteindre la cochlée, on parle d'effraction labyrinthique. Qu'en est-il des conséquences sur la capacité posturale des néo-implantés ?

Suarez et al. (2007), notent des différences significatives entre les résultats des implantés et la population « saine ». L'implantation entraîne une oscillation du centre de gravité plus rapide et dans un plus large périmètre que les participants témoins. L'opération altère la capacité posturale des sourds à court terme. De plus Suarez et al. (2007), montrent une corrélation entre l'absence de réponse vestibulaire et diminution des performances posturales. L'effraction que représente l'implantation entraîne une diminution des réponses vestibulaires. Néanmoins, ils nuancent leur discussion en énonçant ces effets quelques jours après l'opération.

Schwab et al. (2010) ainsi que Parietti-Winkler et al. (2015), ont montré que les implantés avaient une détérioration significative des performances posturales lors d'un test d'organisation sensoriel (*SOT)* comparé à la population « saine ». Ils notent une altération plus importante de la posture dans les conditions où les informations vestibulaires sont dominantes. Ils corrèlent cela à l'impact direct de l'opération sur la capacité posturale. Enfin, ils notent une nette amélioration des scores posturaux lorsque l'implant est allumé quelques mois après l'opération.
Buchman et al. (2004), ont étudié le contrôle postural, par l'intermédiaire d'un test *SOT*, chez une population sourde profonde implantée cochléaire unilatérale à différents instants : juste avant l'opération, 1 mois après l'opération, 4 mois après l'opération, 1 an après l'opération et enfin 2 ans après l'opération.
Ils se sont uniquement intéressés aux conditions 5 et 6 du test d'organisation sensoriel, où les informations vestibulaires sembles prioritaires (informations visuelles et proprioceptives discrètes). Cependant, cette conception est discutable. En effet, dans ces conditions les afférences vestibulaires sont dominantes néanmoins, les afférences visuelles et proprioceptives sont atténuées mais ne sont pas complètement annihilées. Nous notons, l'absence des données posturales lorsque toutes les afférences sensorielles sont disponibles, ce qui représente une limite de cette étude. Nous ne pouvons pas appréhender les performances posturales globales des deux populations et montrer une altération seule du capteur vestibulaire. La différence des scores posturaux peut être expliquée par d'autres phénomènes que l'altération du capteur vestibulaire chez la population sourde. Nous serons alors prudents vis-à-vis de l'interprétation des résultats.
Buchman et al. (2004), montrent une amélioration des performances posturales après l'implantation. Cependant, la mesure des premières données post-opératoire s'effectue au bout de 1 mois. A cette période des mécanismes de compensation peuvent s'être enclenchés ou installés. L'impact de l'opération doit être mesuré avant ce délai, directement après l'implantation (quelques jours) afin de constater ces effets sur la posture. Néanmoins, ces résultats montrent une amélioration des performances posturales sur les conditions 5 et 6 d'un test d'organisation sensoriel après implantation cochléaire. A long terme (1 mois, 4 mois, 1 et 2 ans) l'implantation semble bénéfique pour la capacité posturale des sourds profonds, ils notent que cette amélioration est croissante dans le temps.

Melvin, Della, Santina, Carey et Migliaccio (2009) ainsi que Jacot et al. (2009) ont montré une variabilité des réponses vestibulaires après opération, allant de 6 à 70%. Les canaux semi-circulaires semblent être altérés par l'opération mais les résultats présentés semblent refléter

une variabilité interindividuelle forte. Le faible effectif lors de ces études ne permet pas de dégager une réelle implication de l'implantation sur une défaillance vestibulaire.

Psillas et al. (2014), montrent que l'implantation cochléaire engendre une dégradation de la fonction sacculaire avec 70% d'absence de réponse. Cela signifie que la fonction otolithique est touchée par l'implantation et comprend une altération de la perception des accélérations linéaires et de la représentation de la verticale gravitaire.

En conclusion de cette partie, nous remarquons que les individus implantés cochléaires unilatéraux ont des performances posturales différentes avec une altération des canaux semi-circulaires et de la fonction otolithique comparé à la population saine. Ceci est à nuancer compte tenu du faible effectif de la population étudiée. Ici, les auteurs s'intéressent à la fois au capteur vestibulaire qui semble responsable des troubles comme les vertiges, les nausées et les troubles posturaux et dans un autre versant ils intéressent aux performances motrices des sourds néo-implantés. Mais la posture ne peut être seulement assimilée à la capacité à maintenir son centre de gravité dans le polygone de sustentation dans le but de lutter contre la force de gravité, elle est aussi un interfaçage permanent entre l'Homme et l'environnement. Les informations environnementales nous permettent de percevoir et de nous orienter dans le but de maintenir notre système à l'équilibre, elle est indissociable de la posture : c'est la perception.

2.6 Surdité, implantation cochléaire et perception

Afin de générer une réponse motrice adaptée aux contraintes de la situation ou à une perturbation quelconque, le système nerveux doit interpréter les différentes afférences sensorielles issues des différents capteurs spécifiques de la régulation posturale. La perception se rapporte au traitement cognitif des différentes informations sensorielles issues des différents canaux sensoriels permettant de produire une réponse motrice efficiente, et ainsi permettre à l'ensemble de notre système de s'orienter par rapport à notre environnement. En posture érigée, l'Homme régule les déplacements de son centre de gravité à l'intérieur du polygone de sustentation afin lutter contre la pesanteur. Afin de traiter les informations sensorielles de manière pertinente, nous possédons une représentation interne de notre corps qui nous renseigne mentalement sur notre posture, le schéma corporel (Massion, 1994). Ce schéma permet de réguler notre posture lorsque les informations sensorielles transmises diffèrent de la représentation interne de notre posture. Il est prédéfinit génétiquement et affiné tout au long de notre vie par apprentissage. Il comprend la représentation de notre géométrie corporelle propre, des forces de réactions sous nos pieds et de notre orientation corporelle par rapport à la gravité. L'Homme doit alors traiter des informations sensorielles en fonction de ce qu'il perçoit dans l'environnement, comme nous le décrit Massion (1994), figure n°1.

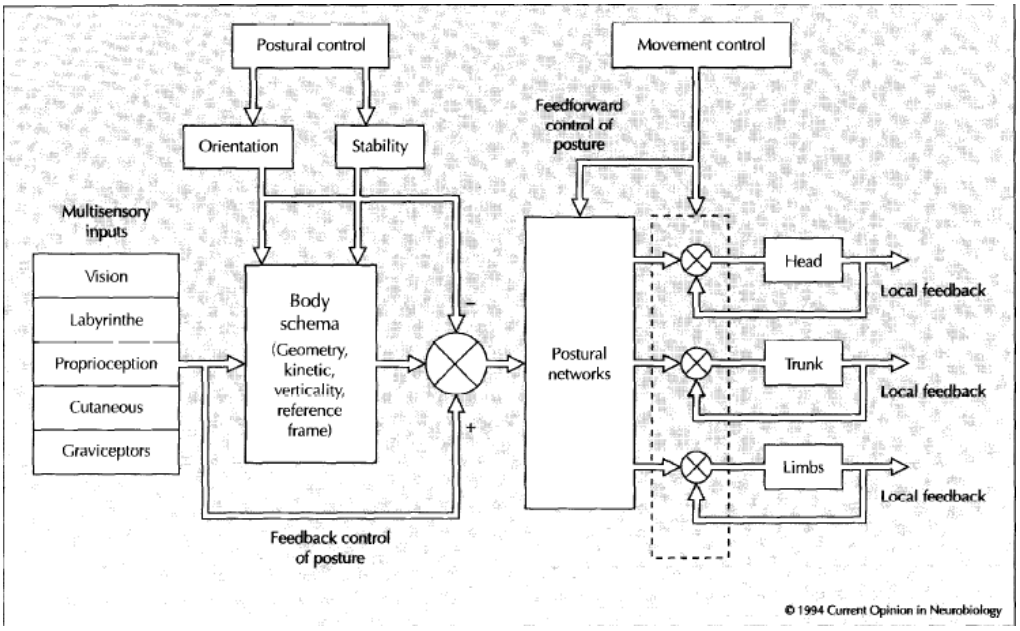

Figure n°1, Modèle de Massion, 1994.

Trousselard, Barraud, Nougier, Raphel & Cian, 2004 montrent que la perception de la verticale gravitaire renseigne sur le traitement de l'information sensorielle et plus particulièrement à l'orientation corporelle par rapport à la gravité. En effet, en demandant aux participants de manipuler une baguette lumineuse, nous sommes capables de savoir si les participants ont une représentation correcte ou non de verticale gravitaire. La capacité d'interfaçage avec l'environnement est corrélée à la perception du vecteur gravitaire. Dans notre étude, nous décrirons l'évolution des perceptions d'orientation spatiale avant et après opération. Cependant cette dernière n'est pas étudiée dans la littérature scientifique, cela nous permet d'énoncer nos objectifs.

2.7 **Objectif**

Pour interagir avec son environnement l'Homme utilise un schéma corporel interne, qui permet en fonction des différentes informations qui parviennent au système nerveux central de réguler la posture en direct, c'est le champ perception/action. Nous avons vu précédemment que la perception est un élément essentiel de la posture. Posture qui est elle-même modulée par les informations graviceptives envoyées depuis les différents capteurs. Ce sont ces informations qui vont nous intéresser, nous mettons en lien capacité de perception de l'environnement et perception de la verticale gravitaire. Dans le but de connaitre comment sont décodées les informations par le système nerveux central, il est important de définir un cadre de référence. Il permet de nous situer par rapport à notre environnement. Il se définit comme étant une unité ou un ensemble d'unités servant à définir un système de coordonnées par rapport auquel certaines propriétés des objets seront évaluées (Rock et al., 1990).

Nous trouvons alors 3 principaux cadres de références :

- Le référentiel égocentré : La référence égocentrée est lorsque nous orientons un objet par rapport à nous-même, c'est-à-dire que le centre c'est nous.
- Le référentiel allocentré : La référence allocentrée renvoie à l'orientation d'un objet par rapport à un autre objet.
- Le référentiel géocentré : La référence géocentrique est la gravité car elle est omniprésente sur terre et invariante en direction. Elle ordonne notre environnement mais également notre posture érigée. Le référentiel géocentré est dirigé du haut vers le bas, il correspond à l'accélération gravitaire. Lorsque nous orientons un objet par rapport à la gravité, nous sommes alors dans un référentiel semi-géocentré.

Pour comprendre le phénomène cognitif de la perception de la gravité nous utiliserons les référentiels géocentré et semi-géocentré comme cadre de référence. Nous avons montré précédemment que le système vestibulaire est un facteur essentiel des troubles observés chez des patients sourds profonds. Nous nous attacherons à faire le lien entre perception gravitaire par le système vestibulaire et traitement de l'information au niveau central.

Gurfinkel, Levik, Popov, Smetanin, et Shlikov. (1988), ont montré qu'une stimulation galvanique d'un vestibule engendrait une réaction posturale opposée à la stimulation. Ils montrent que la stimulation d'un vestibule change le schéma corporel et engendre une réponse motrice opposée. A contrario, Borel et al. (2014), ont montré que l'ablation d'un vestibule engendrait une perception erronée de la verticale gravitaire, mais cette fois du côté de la lésion (Figure n°3) à court terme (7 jours). Toutefois, les auteurs rapportent une compensation par le système nerveux central 30 jours après l'opération.

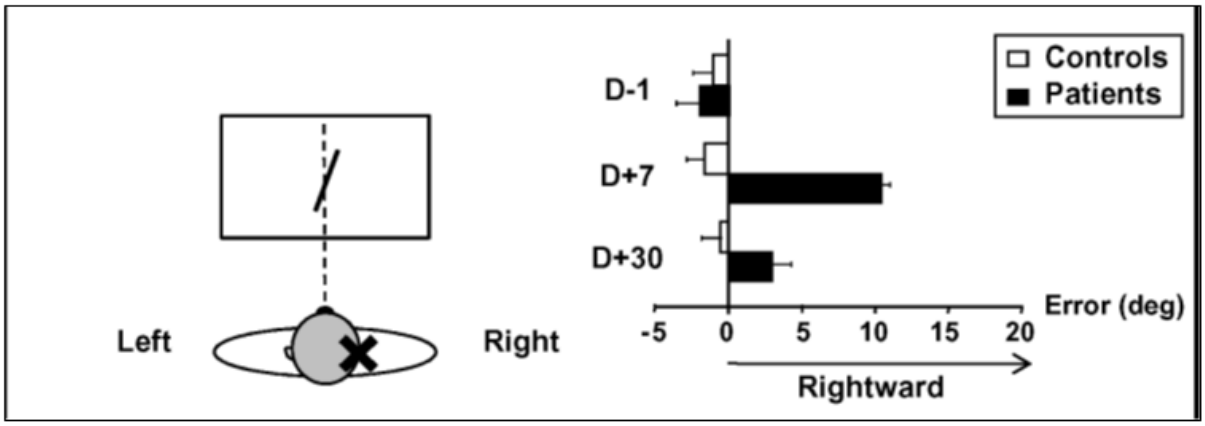

Figure n°3, Perception de la verticale gravitaire après ablation vestibulaire.

Concernant notre population implantée, nous souhaitons faire le lien entre pose de l'implant et traitement de l'information gravitaire. Ainsi, compte tenu de l'absence de littérature portant sur

un éventuel lien entre l'effraction labyrinthique due à la pose d'un implant cochléaire et la perception de la verticale gravitaire, notre étude vise à pallier ce manque.

Hypothèses

Afin de mieux comprendre les troubles posturaux des personnes atteintes de surdité profonde, il faut nous intéresser à trois composantes essentielles :

1) Capteurs sensoriels.
2) Traitement de l'information.
3) Performances motrices.

Plusieurs hypothèses peuvent être formulées :
Hypothèse préopératoire : Suarez et al, 2007 ont montré que les patients sourds profonds ont des performances motrices altérées comparativement à une population saine. Nous pouvons nous interroger sur l'origine d'une telle différence : est-elle due à une défaillance du capteur vestibulaire ? Ainsi, lorsque la modalité de régulation de la posture est davantage d'origine vestibulaire, nous nous attendons à observer une incapacité des patients à réguler leur posture. De plus si nous observons une absence de réponses physiologiques du vestibule, nous faisons l'hypothèse que les participants sourds auront une perception de la gravité erronée.

Hypothèse postopératoire : l'implantation cochléaire unilatérale implique une effraction labyrinthique, ce qui engendre une altération du vestibule du côté de l'opération. Nous constaterons alors une perception erronée de la verticale gravitaire car la fonction otolithique sera altérée comme l'ont montré Psillas et al. (2014). L'erreur de perception sera du côté opposé à l'implantation, comme l'ont énoncé Gurfinkel et al. (1988), car une stimulation du vestibule engendre une réaction posturale opposée. Nous nous attendons également à observer une aggravation des performances posturales dans des conditions où les informations vestibulaires sont à priori d'avantage utilisées après l'implantation.

III. Matériels et méthodes

3.1 Agréments

Le protocole ci-après a été soumis au comité de protection des personnes et a été accepté [ID RCB : 2013-A01086-39].

3.2 Population

Au moment de l'écriture de ce manuscrit, 10 participants volontaires ont réalisé le protocole. Ils étaient répartis en deux groupes : un groupe implanté (n = 5) constitué de patients sourds profonds (surdité sévère à totale) dont la candidature à l'implantation cochléaire a été retenue, et un groupe de participants témoins (n = 5) apparié en âge et en sexe au groupe implanté.
Il a été proposé à tous les patients retenus pour une implantation cochléaire et répondant aux critères d'inclusion et de non inclusion de participer au protocole. Les participants témoins ont quant à eux été recrutés par voie d'affichage dans le service ORL et CCF du CHU-hôpital central et à l'Université de Lorraine. Ces derniers ont fait l'objet d'une déclaration au fichier national.

3.2.1 Les critères d'inclusion

Les patients sourds profonds devaient remplir les exigences nécessaires à l'implantation cochléaire. Les patients sourds profonds et participants témoins devaient être âgés entre 18 et 65 ans. Ils devaient avoir signé un formulaire de consentement, être affiliés à un régime de sécurité sociale et avoir fait l'objet d'un examen médical préalable approfondi. A noter que les participants témoins ont une période d'exclusion à tout autre protocole de recherche pendant un an.

3.2.2 Les critères de non inclusion

Toutes les personnes présentant des contre-indications aux explorations prévues par le protocole, une pathologie au niveau de leurs membres inférieurs – proprio-somesthésique ou touchant l'appareil locomoteur – n'ont pas été retenu, ainsi que les personnes visées par les articles L. 1121-5 à L. 1121-8 et L. 1122-1-2 du code de la santé publique. Les participants témoins ne devaient présenter aucune pathologie vestibulaire ou proprio-somesthésique.

3.3 **Dispositif d'évaluation**

3.3.1 Evaluation de la posture

Les performances motrices des deux groupes ont été mesurées sur une plateforme de force en posture érigée (plateforme médicapteur), afin d'observer les oscillations de leur centre de pression des pieds au sein du polygone de sustentation. Cet examen nous a permis de comparer la surface et la longueur des oscillations du groupe implanté par rapport au groupe témoin lorsque que toutes les modalités sensorielles sont disponibles.

Ensuite, un test d'organisation sensoriel a été réalisé sur la plateforme Equitest (Nashner, Black & Wall, 1982), afin d'évaluer la capacité de maintien de la posture statique des deux groupes à

partir de l'oscillation de leur centre de gravité au sein de leur polygone de sustentation. Ce test comprenait 6 conditions composées de 3 essais chacune (figure n°4). A partir des oscillations produites, le système a calculé, pour chacun des participants, un score par condition et un score composite (regroupant chacune des six conditions avec une pondération en fonction des conditions).

Dans l'ensemble des conditions, les deux groupes avaient pour consigne de rester en position debout, d'être le plus immobile possible tout en étant détendu avec les bras le long du corps, la tête droite et les yeux fixant l'horizon.

Les 6 conditions sont :

1ère : Evaluation de la performance posturale lorsque les afférences visuelles, proprioceptives et vestibulaires sont disponibles.

2ième : Evalue la performance lorsque les afférences visuelles sont indisponibles (yeux fermés).

3ième : Evalue la performance lorsque que les informations visuelles sont faussées en faisant osciller le panorama en fonction des mouvements antéropostérieurs du participant.

4ième : Evalue la performance motrice lorsque les afférences proprioceptives sont faussées. La plateforme sous les pieds du participant oscille dans le plan antéro/postérieur en fonction de ses mouvements.

5ième : Evalue la performance en rendant discrètes les informations proprioceptives et supprime les informations visuelles (yeux fermés).

6ième : Evalue la performance en faussant à la fois la proprioception et la vision.

Dans ces 2 dernières conditions les informations vestibulaires sont à priori « dominantes » dans la régulation posturale.

Ce test a été réalisé en complément de la posturographie statique, afin d'évaluer l'effet de la discrétisation des modalités visuelles et proprioceptives sur les scores de performances posturales. Ainsi, ces tests ont permis de mettre en évidence la capacité posturale des participants.

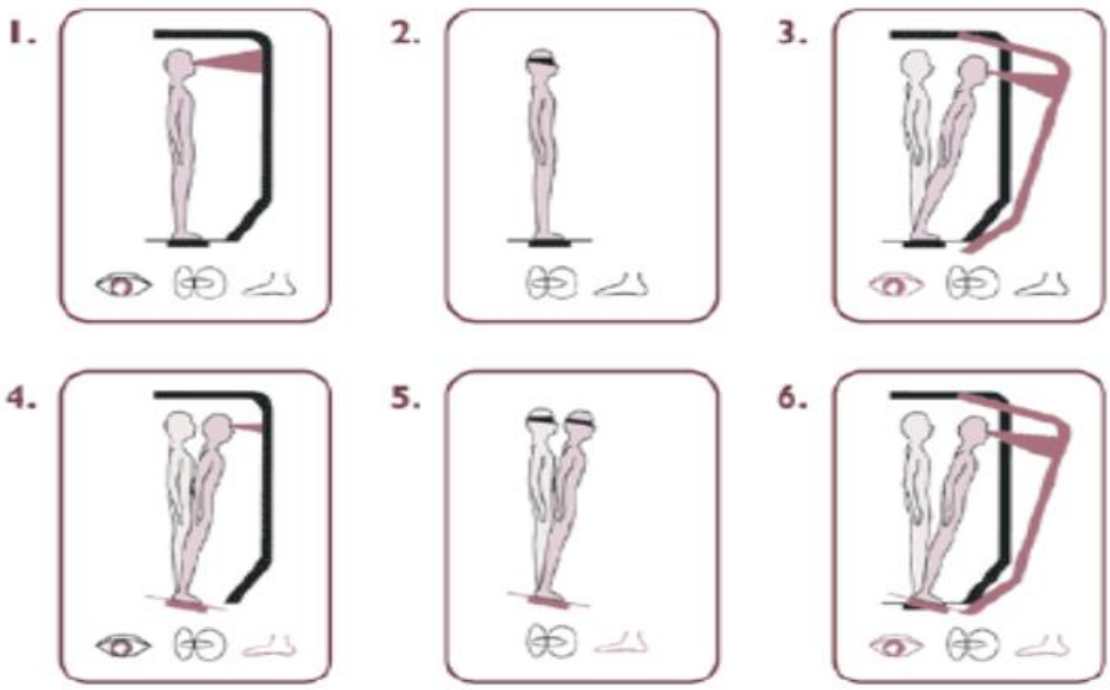

Figure n°4, Présentation des différentes conditions d'un test d'organisation sensoriel.

3.3.2 Evaluation du RVO

Nous avons testé la réponse vestibulaire à l'aide de deux méthodes de videonystagmographie. La méthode calorique est une méthode à fréquence lente stimulant les canaux semi-circulaires, au cours de laquelle l'expérimentateur introduit de l'eau chaude à 44°C ou froide 30°C dans les conduits auditifs droit et gauche. L'induction d'eau chaude va activer l'oreille interne tandis que l'eau froide va l'inhiber, cette différence de gradient de température va provoquer une sensation rotatoire. A ce moment l'examinateur observe les mouvements oculaires afin de mettre en évidence un nystagmus. Les réponses obtenues de part et d'autre sont comparés afin de mettre en évidence un problème vestibulaire (Graph de Freyss).

Ensuite par une épreuve rotatoire stimulant les canaux semi-circulaires, où le participant est en position assise dans le noir, l'obscurité empêchant l'inhibition du réflexe par la fixation du regard. L'examinateur va induire une rotation du siège, dans le but de provoquer des mouvements oculaires (nystagmus) sur fréquence rapide.

Nous avons testé la réponse physiologique du vestibule sur des fréquences rapides.

3.3.3 Evaluation de la verticale gravitaire

Nous avons testé la verticale gravitaire subjective, c'est-à-dire comment le sujet se perçoit et s'oriente dans l'environnement. Afin de décrire l'évolution des perceptions d'orientation spatiale avant et après l'implantation cochléaire chez des patients sourds profonds et comparer

le changement de score entre les patients et les sujets témoins, nous avons mis en place du test de perception de la verticale visuelle subjective.

Le test proposé utilise le dispositif de Ceyte, Trousselard, Barraud, Roux et Cian (2008), dans ce test les deux groupes devaient replacer une baguette lumineuse à la verticale par l'intermédiaire d'un joystick (figure n°5). Le sujet devra effectuer cette tâche 20 fois sachant que l'examinateur déplace la baguette aléatoirement de -20°, -10°, +10°, +20°, à noter que le sujet ne voit pas la baguette se faire déplacer, l'examinateur lui, mesure le degré d'erreur, c'est-à-dire à quelle angulation a été replacée la baguette par rapport à la verticale réelle (90°). Ce test se fait sur un référentiel semi-géocentré, puisque le sujet déplace la baguette lumineuse en fonction du vecteur gravitaire.

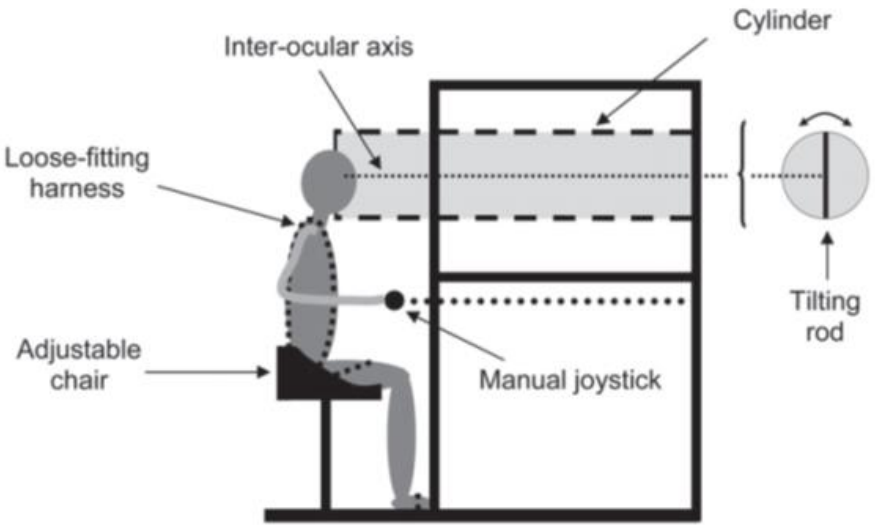

Figure n°5, Dispositif de perception de la verticale gravitaire.

3.4 **Protocole**

Le protocole est réalisé lors de deux demi-journées, les participants effectueront une évaluation de leurs posture sur plateforme de force et un test d'organisation sensoriel, un test calorique et rotatoire du vestibule et enfin un test de perception de la verticale gravitaire. Les tests d'évaluation de la posture sont systématiquement effectuer avant les tests calorique et rotatoire afin de ne pas induire de biais dans la mesure, car ces tests engendrent une légère perturbation vestibulaire qui peut entrainer un léger sentiment d'instabilité.

3.4.1 Groupe implanté

Le protocole expérimental comprenait deux visites : La première visite (V1) a eu lieu entre un et trois jours avant la date de l'implantation chirurgicale. La seconde visite (V2) survenait trois à six jours après la chirurgie lorsque le patient était encore en hospitalisation.

3.4.2 Groupe témoin

Le groupe témoin (apparié en âge et en sexe) a réalisé les mêmes examens que le groupe implanté, c'est-à-dire deux visites réparties sur le même intervalle de temps. Ainsi la V2 était réalisée quatre à neuf jours après la V1.

Lors de la seconde visite (V2) les sujets témoins vont réaliser exactement les mêmes tests à l'exception du test calorique et rotatoire. En effet les patients étant récemment opérés, leur conduit auditif externe était trop sensible à l'eau froide ou chaude que l'on y introduit. Les sujets témoins étant appariés aux sujets pathologiques, en sont eux aussi dispensés.

3.5 Statistiques

Concernant, le S.O.T. le faible effectif (5 témoins et 5 patients) représente une limite pour notre étude statistique. Nous souhaitions appliquer une ANOVA à trois facteurs afin de présenter plusieurs effets :

- L'effet Groupe (Témoins vs Pathologiques).
- L'effet Temps (Avant et après opération).
- L'effet Condition (C1 vs. C2 vs. C3 vs. C4 vs. C5 vs. C6)

Ensuite si des significativités apparaissaient, nous appliquions des tests post Hoc (*HSD de Tuckey*) afin de mettre en évidence des effets d'interactions.

Il apparait également que les données ne suivent pas la loi normale, l'ANOVA est somme toute robuste a une violation légère de la normalité mais en dehors de celle-ci, l'homogénéité des variances (pour les facteurs inter) et la sphéricité n'est pas respectée. Il est impossible d'appliquer ce test ici, nous présenterons alors les résultats de manière descriptive en utilisant un test non paramétrique tel que le test de Mann-Whitney pour échantillons indépendants (avec $p < 0.05$) pour les variables inter ainsi qu'un test de Wilcoxon pour les variables intra. Nous ciblerons des moyennes afin de révéler une différence significative entre elle, dans l'interprétation des résultats cela ne reflètera que des tendances sans enlever complétement toute pertinence statistique. Enfin, nous présenterons en annexe 3 la démarche statistique complète et détaillée pour un échantillon plus important (n>10).

Concernant les données stabilométriques et de perceptions nous effectuerons un test paramétrique (t de student) étant donné que le donnée suive la loi normale. Cela nous permettra de révéler des différences significatives entre les deux moyennes. Néanmoins, si l'échantillon avait été plus important nous aurions appliqué une ANOVA à deux facteurs que nous avons détaillés dans l'annexe 3.

IV. Résultats

Nous allons présenter les résultats selon les trois champs de mesure que nous avons définis précédemment (appréciation de la posture, évaluation du capteur vestibulaire et détermination de la verticale gravitaire (perception).

4.1 Performances posturales

Nous présentons tout d'abord les résultats du test de stabilométrie statique : Oscillation en longueur (mm) et surface (mm²) du centre de gravité entre nos deux groupes de sujets lorsque toutes les informations sensorielles sont disponibles. Les données respectant la loi normale (droite de henry, test de Kolmogorov-Smirnoff, sphéricité), nous appliquons un test paramétrique pour échantillons indépendants (t de student) afin de démontrer si une moyenne est significativement différente d'une autre.

La figure n°6, nous présente la longueur moyenne des oscillations du centre de gravité (en mm) par groupe (témoins vs patients) en posture statique avant opération. Nous remarquons que les sujets témoins ont une longueur moyenne d'oscillation significativement plus importante (*$p<0.05$, t de student*) que les sujets pathologiques, soit 300 mm en moyenne dans l'échantillon de population saine et 250 mm pour les sourds profonds.

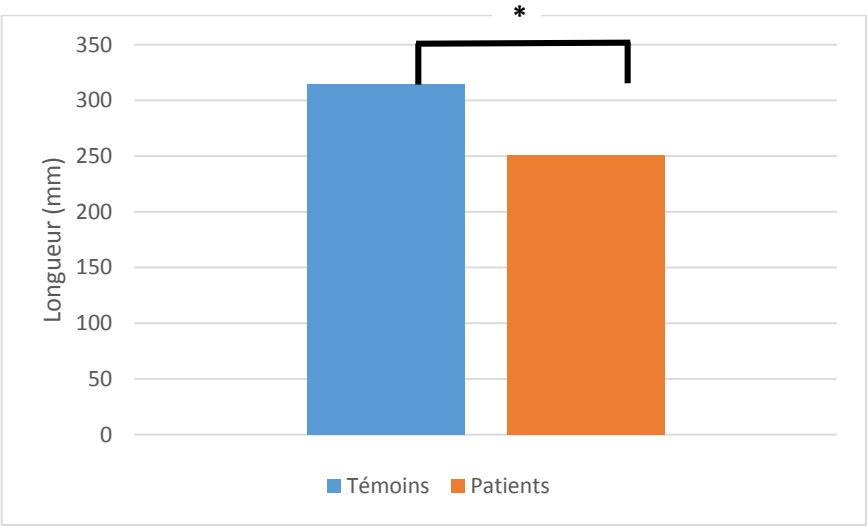

Figure n°6, Longueur moyenne des oscillations (mm) du centre de gravité en posture statique avant opération.

Après opération, la figure n°7 présente la longueur moyenne des oscillations du centre gravité par groupe. Nous constatons après opération, une longueur moyenne similaire (*p> 0.05, t de student*) entre les sujets témoins et les pathologiques, (250 mm en moyen de longueur de déplacement du centre de gravité).

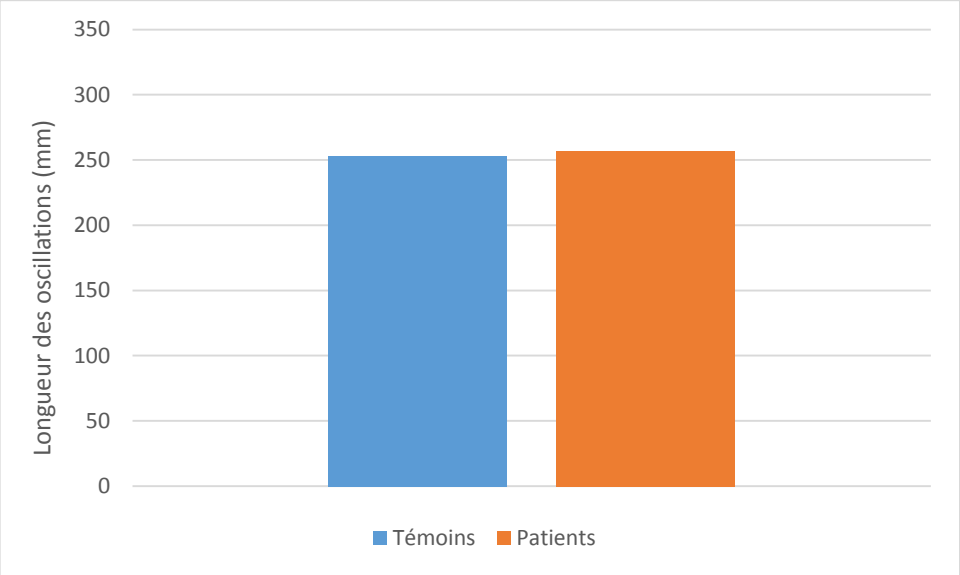

Figure n°7, Longueur moyenne des oscillations du centre de gravité (mm) après opération.

Ensuite nous nous sommes intéressés à la surface moyenne de déplacement du centre de gravité (en mm²) en fonction des groupes, figure n°8. On remarque que les sujets pathologiques ont une surface moyenne de déplacement de leurs centres de gravité significativement plus importante (*p<0.05, t de student*) comparé à la population saine.

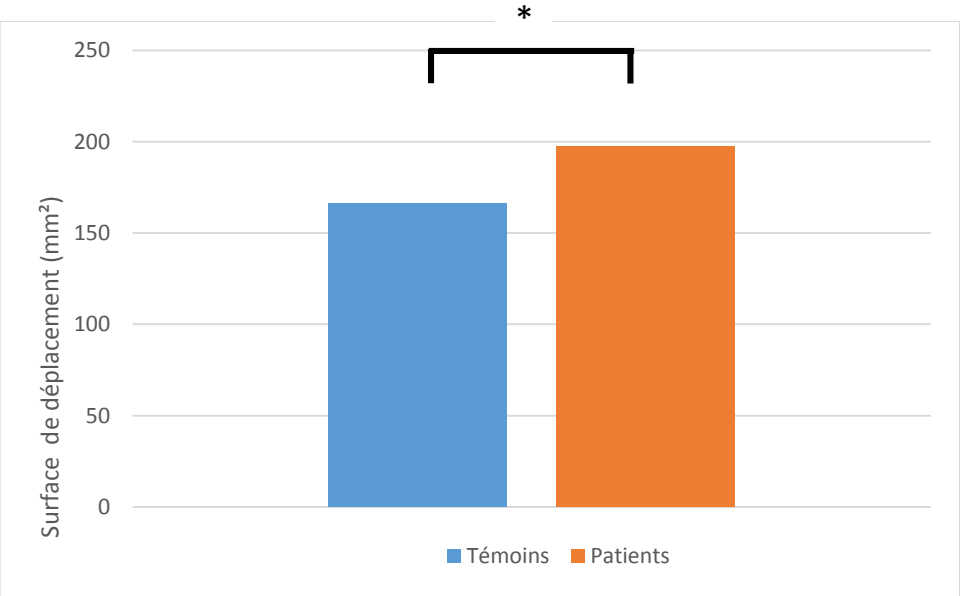

Figure n°8, Surface moyenne de déplacement (mm²) du centre de gravité en posture statique avant opération.

Après opération, la figure n°9 présente également une comparaison de la surface moyenne des déplacements du centre de gravité. Les patients présentent une surface de déplacement significativement (*p<0.05, t de student*) plus importante que les témoins (260 mm² contre 200 mm²).

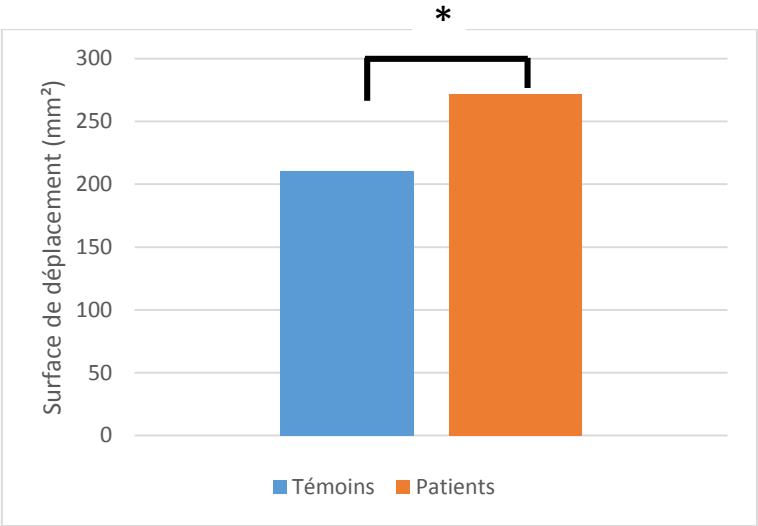

Figure n°9, Surface moyenne de déplacement du centre de gravité (mm²) après opération

Les résultats montrent également que les patients ont une surface d'oscillations plus grande après opération mais significativement (*p>0.05, t de student*) en comparaison à leurs résultats avant opération (250 mm² après contre 200 mm²), toutefois, nous notons également une évolution chez les témoins mais non significative (200 mm² après contre 150 mm² avant).

Ensuite, nous allons présenter les résultats du test d'organisation sensoriel qui arrivent en complément des données précédentes. Ce test nous permet de vérifier la capacité posturale statique en fonction des informations sensorielles disponibles.

La figure n° 10 présente les médianes obtenues par conditions et par groupe (témoins vs patients) sur le test d'organisation sensoriel avant opération, car les données ne suivent pas la loi normale. Une représentation par des valeurs moyennes seraient une erreur c'est pourquoi nous présentons les médianes avec comme par barre d'erreur positive le 3ième quartile et barre d'erreur négative 1er quartile.

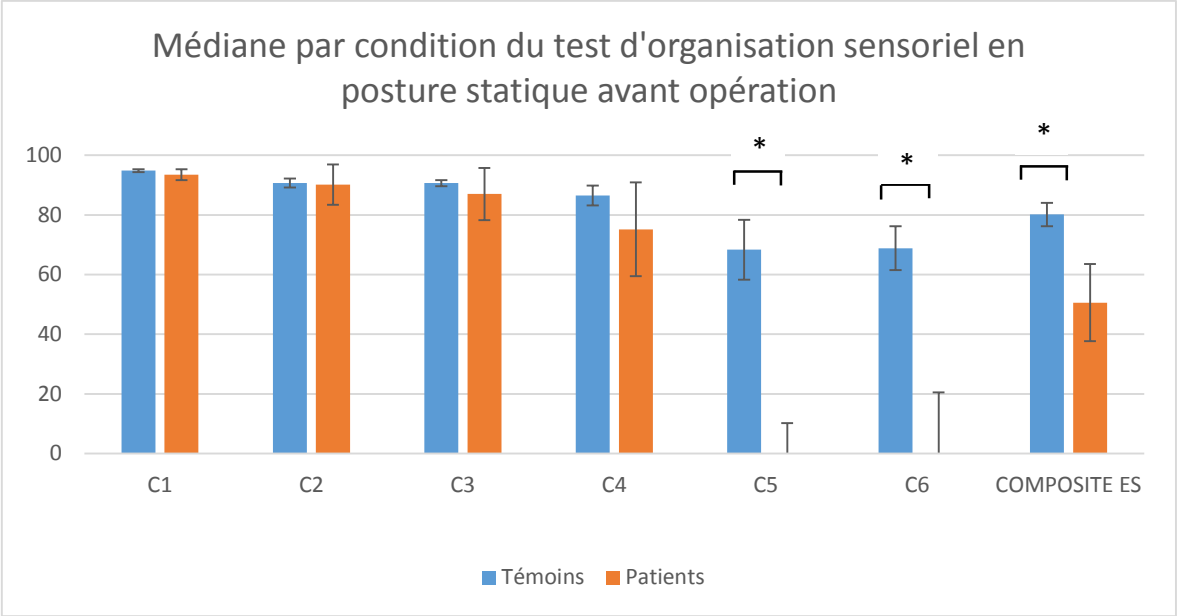

Figure n°10, Médiane par condition du test d'organisation sensoriel en posture statique avant opération.

Concernant les 3 premières conditions du test nous notons des résultats similaires entre les deux populations avec des écarts interquartiles faibles. Une première différence apparait à la condition 4 (yeux ouverts avec la plateforme qui oscille en fonction des mouvements), les témoins ont un meilleur score postural que les patients (84 contre 70) à nuancer par un écart interquartile important chez les pathologiques. Ensuite concernant les conditions 5 et 6 nous notons d'importantes différences, les témoins présentent des meilleurs scores posturaux en comparaison aux sourds. Ces conditions représentent les cas où le capteur vestibulaire est plus activé en comparaison aux deux autres capteurs sensoriels (visuels et proprioceptifs). En effet, nous remarquons une médiane nulle pour les patients signifiant des pertes d'équilibre, en revanche les témoins ont un score postural se situant entre 60 et 70 montrant leurs capacités à ne pas chuter dans ces conditions. Le score composite étant une moyenne des six conditions avec une pondération en fonction de chaque condition, montre que les sourds ont un score postural inférieur comparé aux sujets témoins.

La figure n°11 présente les médianes du test d'organisation sensorielle après opération chez les patients en comparaison à la population « saine ».

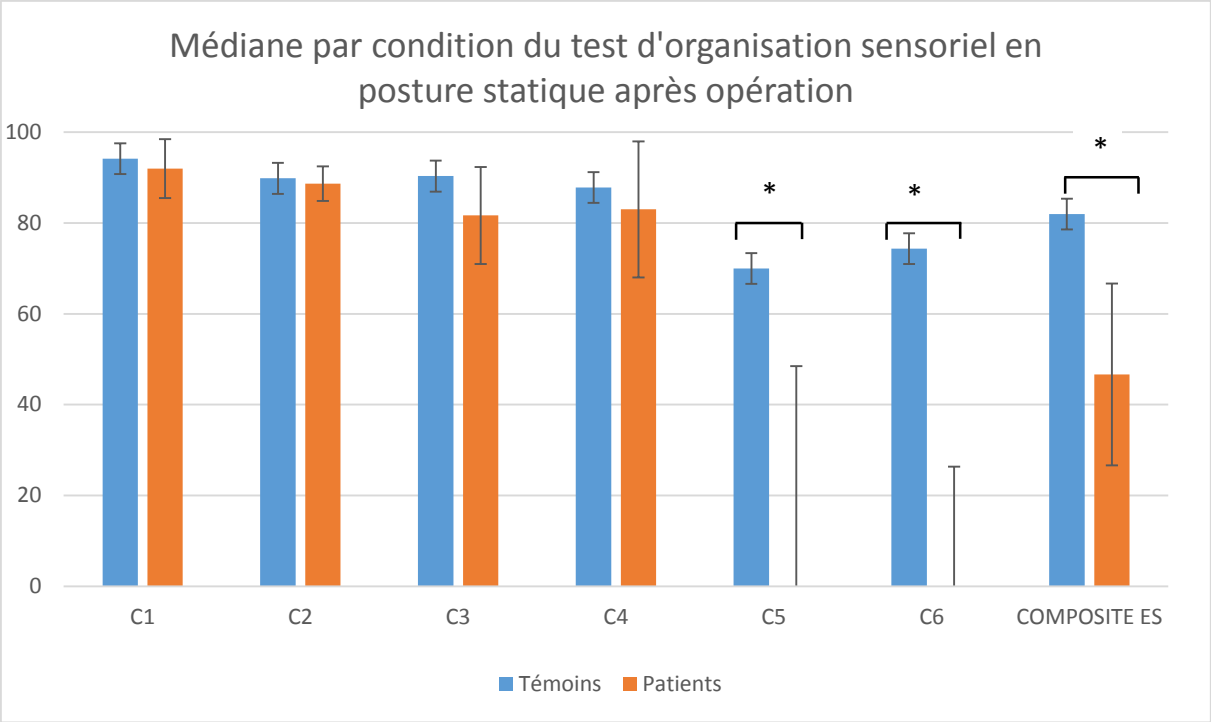

Figure n°11, Médiane par condition du test d'organisation sensoriel après opération.

Les résultats comparatifs témoins/patients (C1/C2) présentent des scores posturaux similaires avec des écarts interquartiles faibles, signifiant une bonne reproductibilité interindividuelle. Nous observons une diminution des scores de performance sur les conditions C3 et C4 chez les sujets pathologiques, avec des écarts interquartiles plus importants seulement chez les sourds profonds, c'est-à-dire que sur ces conditions il y a une différence interindividuelle forte. Après opération certains patients ont des scores posturaux similaires à la population « saine » tandis que d'autres présentent une baisse des scores.

Enfin, nous remarquons pour les deux dernières conditions (5 et 6) une diminution significative ($p<0.05$, U de Mann-Whitney) des scores posturaux de la population pathologique en comparaison avec les témoins. Nous notons également des écarts interquartiles faibles pour ces derniers et des écarts interquartiles plus importants chez les sourds profonds, montrant des différences interindividuelles fortes initiées par l'opération.

En comparant les données témoins aux deux instants, nous remarquons aucune différence entre toutes les conditions ainsi que sur le score composite. Ne bénéficiant pas de l'effet de l'opération, il est normal qu'il présente des scores posturaux similaires (Wilcoxon, $p>0.05$) ainsi que des écarts interquartiles faibles (figure n°12).

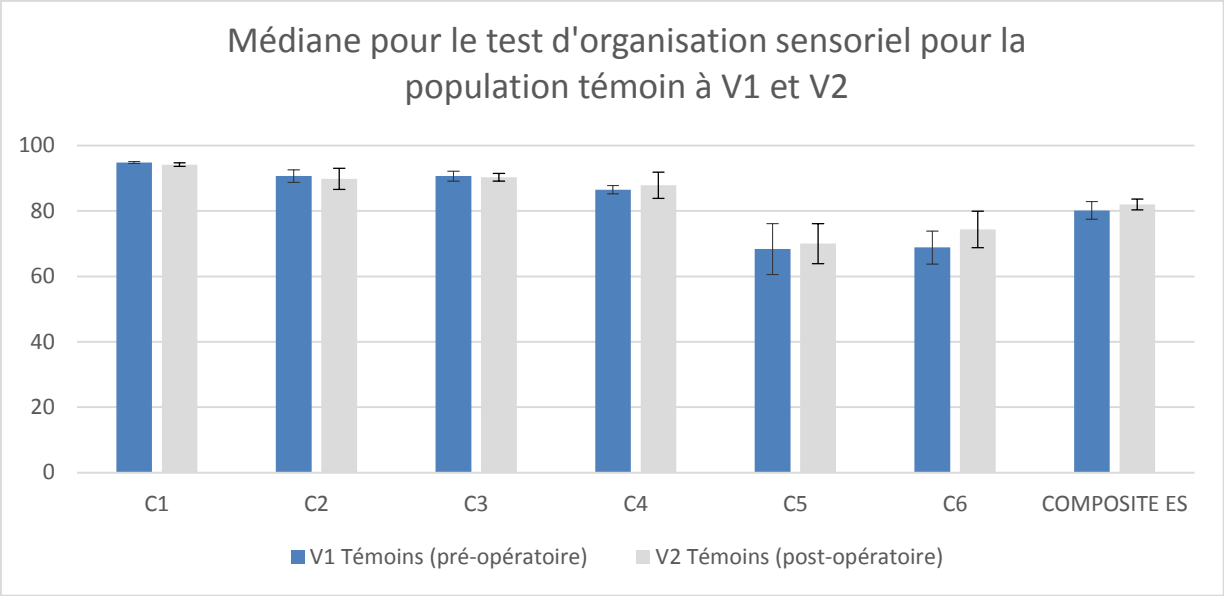

Figure n°12, Médiane du S.O.T. pour la population témoin (V1/V2).

Enfin nous comparons les données avant et après opération pour les sujets pathologiques dans le but de constater les effets éventuels de l'opération sur les performances posturales (figure n°13). Nous remarquons d'ores et déjà une différence sur le score composite, en effet, après opération nous constatons une diminution du score postural mais non significative ($p>0.05$, Wilcoxon). Egalement, nous notons des écarts interquartiles plus importants après opération. L'opération semble avoir un impact sur les conditions 3 et 4 car nous remarquons une baisse des scores posturaux. Néanmoins, il semble que dans les conditions 5 et 6 les sujets « pathologiques » chutes presque systématiquement. Sur ces conditions l'écart interquartiles est plus important, montrant la capacité de certains sujets à réaliser la tâche, sans pour autant avoir un score similaire aux sujets témoins.

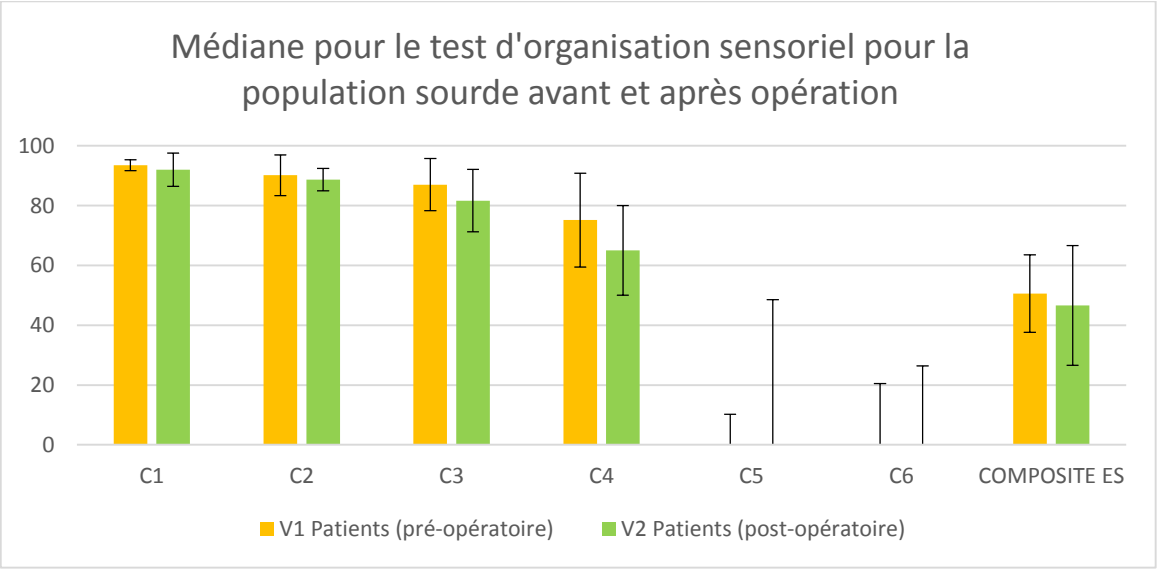

Figure n°13, Résultats S.O.T. pour la population sourde (V1/V2).

4.2 Intégrité physiologique du vestibule

Dans cette partie, nous présentons les résultats de l'évaluation physiologique du capteur vestibulaire entre la population pathologique et témoin avant opération.

Concernant l'épreuve rotatoire avant l'opération nous constatons que sourds et témoins répondent par l'apparition d'un nystagmus. Néanmoins lors de l'épreuve calorique nous obtenons des résultats différents. Nous remarquons l'apparition du RVO chez tous les participants témoins (100%), cependant, seul 25 % des patients présentent une apparition normale du RVO.

Nous observons le RVO par le graphique de Freyss (annexe 4), qui regroupe les réponses vestibulo-oculaire en fonction de la température et du côté d'introduction de l'eau. Nous remarquons des résultats variables, par exemple certains patients ne présentent aucune réponse vestibulaire, c'est-à-dire qu'aucun nystagmus n'apparait lors du test. D'autres patients présentent une absence de nystagmus d'un seul côté, nous parlerons d'aréflexie vestibulaire. Les résultats sont variables selon les individus mais dans la plupart des cas nous observons des données différentes en comparaison à la population témoin.

4.3 Perception de la verticale gravitaire

Dans le but de savoir comment les individus interagissent avec l'environnement nous avons mis en place le test de perception visuelle de la verticale gravitaire. Nous présentons dans un premier temps les résultats comparatifs entre la population pathologique et témoin, avant et après opération, afin de constater des différences entre ces deux types de population. La figure n°14 présente l'erreur moyenne entre les deux populations avant opération. Nous ne remarquons aucune différences significative (*Test t de student*, $p>0.05$) entre les groupes, de plus l'erreur n'excède pas 2 degrés, nous considérons que la perception de la verticale gravitaire est normale.

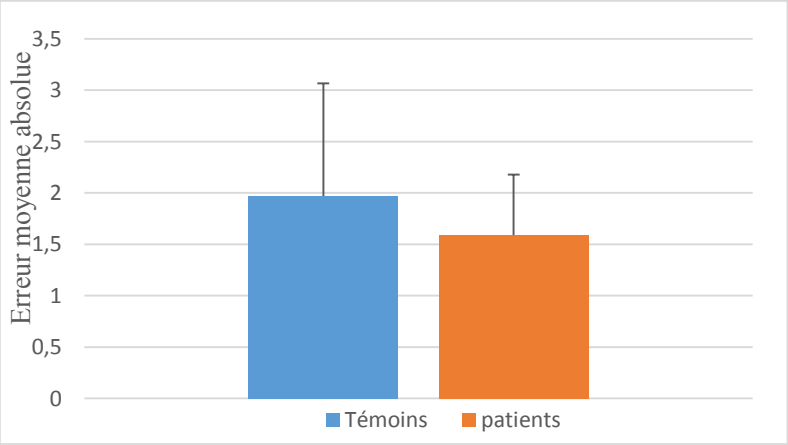

Figure n°14, Erreur moyenne de perception de la verticale gravitaire avant opération.

Ensuite, nous présentons les résultats entre ces deux populations à la deuxième visite suivant l'opération pour les patients. Nous notons une augmentation de la moyenne d'erreur absolue concernant la population sourde. En effet, nous remarquons une augmentation significative (*p<0.05 t de student*) de l'erreur moyenne absolue (~5°) par rapport à la population « saine ». Il semblerait que l'opération est un effet significatif sur l'altération de la représentation de la verticale gravitaire, elle augmente l'erreur de perception (figure 15). Enfin, l'écart type de la population pathologique est plus important que les témoins signifiant une variabilité plus importante.

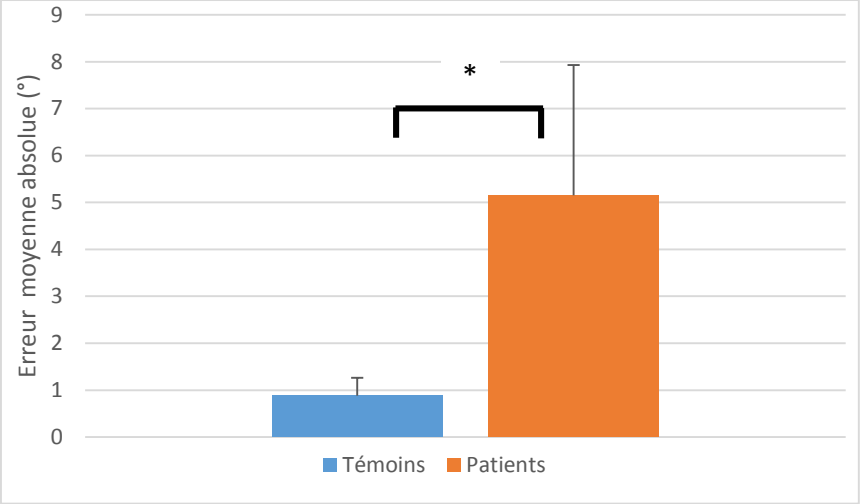

Figure n°15, erreur absolue de la perception de la verticale gravitaire après opération entre les deux populations.

Ensuite, nous prenons 2 sourds profonds ayant été implantés d'un côté et de l'autre, dans le but de constater une altération de la perception de la verticale gravitaire du côté opposé à la lésion après implantation cochléaire. Pour la représentation graphique nous les nommerons P1 (patient opéré à gauche) et P2 (patient opéré à droite).

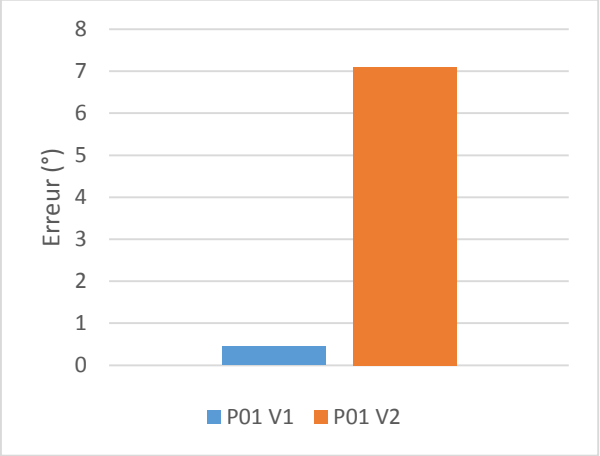

Figure n°16, évolution de la perception de la verticale pour P01 avant et après opération.

La figure n°16 montre la moyenne de l'erreur de perception de la verticale gravitaire chez un patient implanté au niveau de l'oreille gauche. Nous constatons avant opération une erreur moyenne se situant à 0,5°, puis après l'implantation l'erreur de perception augmente de 7°. Il semble que l'opération engendre une altération nette de la perception de la verticale gravitaire. De plus la figure n°17 présente les degrés d'erreurs moyennes et non l'erreur absolue. Il perçoit donc la verticale décaler du côté opposé à l'implantation.

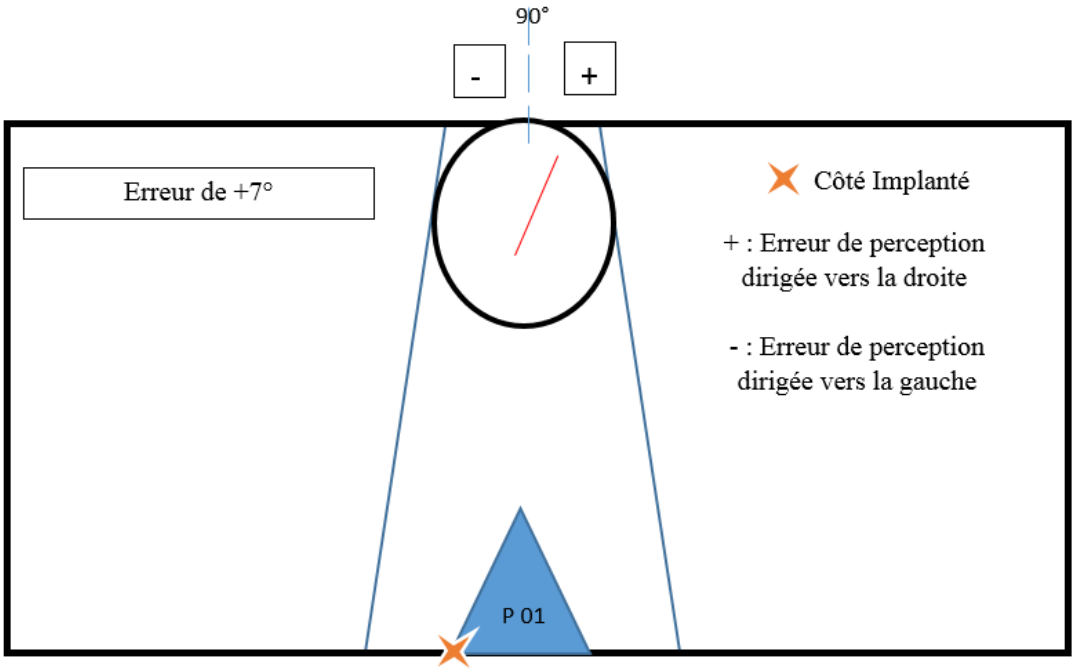

Figure n°17, représentation de la verticale gravitaire après opération à gauche pour P01.

Nous notons alors une altération du côté opposé à l'implantation. Ensuite nous présentons le P02 qui lui a subit une implantation côté droit (figure n°18).

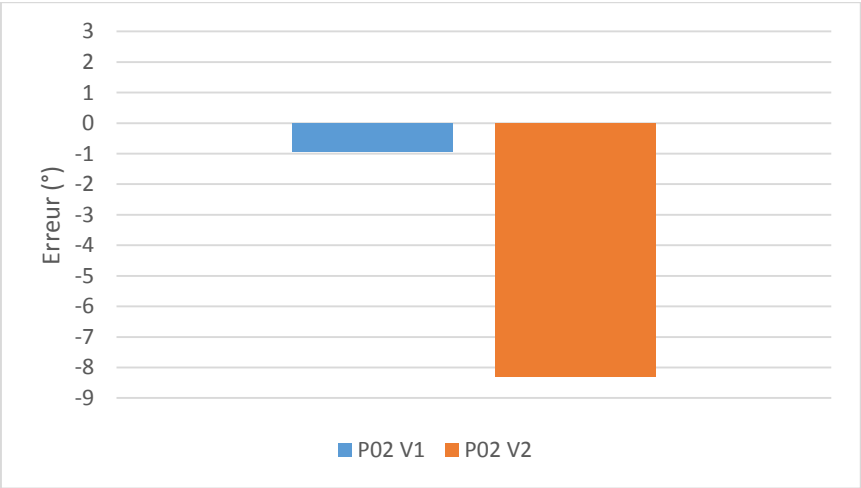

Figure n°18, représentation de la verticale gravitaire avant et après opération pour P02.

Comme nous le montre la figure n°19, le patient 2 avant opération à une erreur moyenne de -1° tandis qu'après opération il perçoit la gravité décalée de -8° en moyenne. L'opération a alors altérée la perception de la verticale vers la gauche.

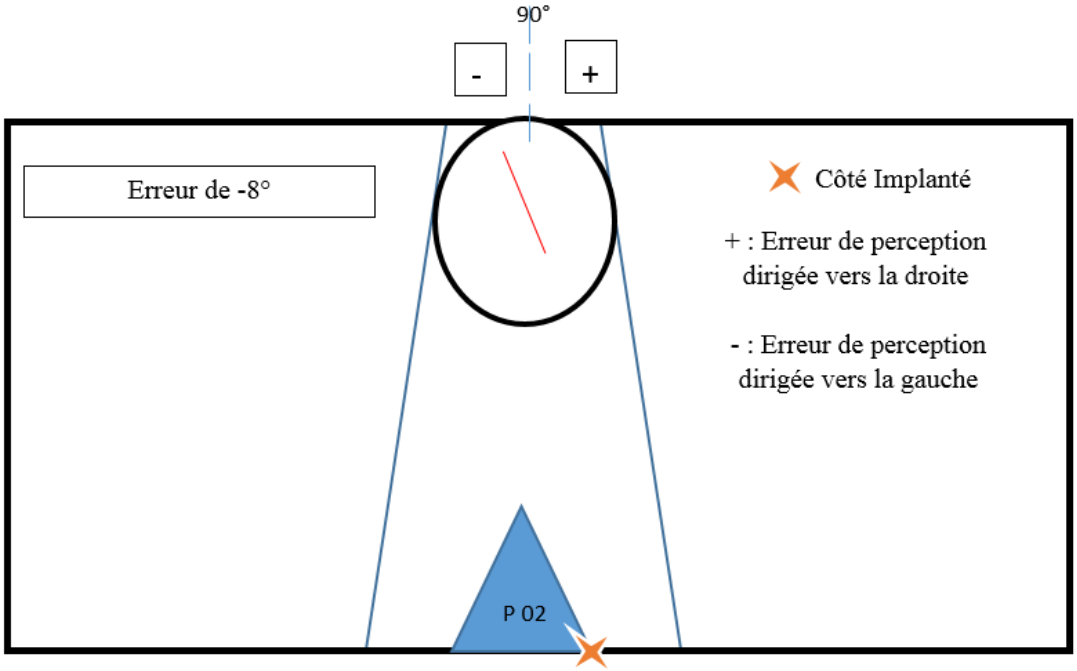

Figure n°19, représentation de la verticale gravitaire après opération à droite pour P02.

La figure n°19 montre que lorsque que le côté implanté change, l'erreur de perception change également et semble décalée du côté opposé à la zone implantée. Enfin, sur les 5 candidats à l'implantation nous en avions 3 opérés à gauche et 2 opérés à droite, nous remarquons que pour chacun d'eux l'erreur de perception est décalée du côté opposé à l'implantation.

Ces résultats semblent en accords avec notre hypothèse et les travaux de Gurfinkel et al. (1988).

V. Discussion

Tout d'abord, nous discuterons des performances posturales des sourds profonds avant et après opération (figure n°6 à 9). Nos résultats tendent à montrer avant même l'intervention chirurgicale des performances posturales significativement différentes en comparaison à la population « saine ». En effet, les sourds profonds ont une longueur de déplacement du centre de gravité moins importante que la population contrôle dans notre étude (figure n°6). Lorsque toutes les modalités sensorielles sont disponibles (vision, proprioception et vestibule), les patients déplacent moins leurs centre de gravité au sein même du polygone de sustentation, ceci tend à montrer qu'ils prennent l'information lentement en déplaçant doucement le centre de gravité. Ils ont alors besoin de plus d'informations pour réguler leur posture statique, les

oscillations lentes reflètent un traitement plus lent des informations sensorielles. Concernant la surface d'oscillation, nous remarquons qu'elle est significativement plus importante chez la population sourde (figure n°7). Les sourds profonds oscillent dans un plus large périmètre afin de fournir un maximum d'informations sensorielles. Nous notons alors qu'avant même l'implantation cochléaire des tendances entre population contrôle et pathologiques apparaissent (figure n°6 et n°7). Les performances posturales semblent différentes alors même que toutes les informations sensorielles sont disponibles. Cependant après l'opération, les résultats ne montrent pas d'altération significative de la longueur des oscillations du centre de gravité (figure n°8). La longueur d'oscillation moyenne du centre de gravité des sujets implantés est la même qu'avant l'opération. Toutefois, nous constatons une augmentation significative de la surface d'oscillation du centre de gravité chez les implantés cochléaires (figure n°9). Ce résultat serait une conséquence de l'opération, car les sourds profonds ont besoin d'osciller dans un plus large périmètre dans le but de prendre plus d'informations, l'implantation perturberait la prise d'information par les différents capteurs. Devant ces tendances, nous nous questionnons sur une possibles altération d'un système sensoriel, comme nous l'avons formulé dans nos hypothèses, le vestibule semble un élément de réponse. Il nous faut maintenant discuter des résultats du test d'organisation sensoriel, en effet, ce test permet de mettre en évidence la capacité à réguler sa posture lorsque nous sommes en conflit sensoriel. Il nous faut analyser les performances posturales lorsque l'information vestibulaire est dominante, cependant les informations visuelles et proprioceptives ne sont pas totalement annihilées lors du test d'organisation sensoriel. Avant même l'intervention chirurgicale les résultats globaux de posture tendent à montrer des différences significatives entre population témoins et pathologiques (figure n°10). Tout d'abord lorsque toutes les informations sensorielles sont disponibles nous ne remarquons aucunes différences entre les deux groupes (C1 =90). Dans le cas où les informations proprioceptives et/ou visuelles sont dominantes (C2, C3, C4), les résultats tendent à ne montrer aucune différence entre les deux populations. A partir des conditions 5 et 6, nous constatons une diminution significative des scores posturaux des sourds profonds. Sur ces conditions la modalité vestibulaire semble plus dominante, les résultats montrent des difficultés de maintien de la posture pour la population sourde. De plus, les écarts interquartiles pour les sourds sont plus importants que la population témoin, ce qui reflète une plus grande variabilité interindividuelle sur ces conditions. Les pathologiques sont, soit incapables de réguler leur posture et chute, soit la tâche à réaliser est très compliqué et les oscillations dans le plan antéro/postérieur augmente avec une fréquence plus importante. Il semblerait que la population sourde profonde n'arrive pas à réguler sa posture dans des

conditions où les informations vestibulaires sont à priori dominantes. Concernant le score composite, les sourds ont un score postural significativement inférieur à la population témoin (figure n°10).

Lors de la seconde visite pour les témoins (figure n°12), nous ne remarquons aucune différence des scores posturaux dans chaque condition pour la population témoin comparé à elle-même, les scores sont similaires avec des écarts interquartiles faibles, signifiant une bonne reproductibilité interindividuelle. En revanche les résultats postopératoires des participants sourds montrent une diminution significative des performances posturales totales (figure n°11). La tendance montre les mêmes différences qu'a la première visite, les conditions 5 et 6 engendrent une diminution significative des scores posturaux des implantés par rapport à la population témoin. D'autre part nous notons une diminution des performances posturales dans les conditions C4 et C3, avec des écarts interquartiles plus importants que lors du premier test. Toutefois, l'opération ne semblerait altérée légèrement la capacité posturale, les scores composite sont similaires. Dans la condition C5 et C6, les scores n'ont pas diminué comme nous en avions fait l'hypothèse. La tendance montre des scores similaires même si les écarts interquartiles ont augmenté, cette augmentation reflète une plus grande déstabilisation dans ces conditions. C'est-à-dire que dans l'effectif certains sont incapables de réaliser la tâche quand pour d'autres la tâche est réalisée, sommes toutes plus difficilement que la population témoin. La figure n°13 montre également une diminution des performances avant et après opération entre C3 et C4, avec des écarts interquartiles plus importants postopératoire. L'opération altérerait pas ou peu la capacité posturale des sourds profonds en comparaison aux données préopératoires (figure n°13).

Les performances posturographiques sont inférieures pour la population sourde. Avec toutes les afférences sensorielles disponibles nous constatons une altération des déplacements en longueur (diminution) et en surface (augmentation) du centre de gravité en comparaison à la population témoin. Le test d'organisation sensoriel vient en complément, et montre une diminution de la performance posturale lorsque les informations vestibulaires semblent dominantes. Après implantation les résultats montrent une diminution des scores des sourds comparés à la population témoin. Néanmoins en comparant le groupe pathologique a deux instants (pré et postopératoire), nous ne remarquons pas ou peu d'aggravation des performances posturales générales et dans les conditions 5 et 6 comme nous l'avons formulé dans nos hypothèses.

Les résultats concernant le réflexe vestibulo-occulaire tendent à montrer une variabilité des réponses lors du test calorique. En effet, sur des fréquences lentes nous remarquons que la population pathologique a pas ou peu de réponses vestibulaires. La population témoin présente 100% de réponse lors de ce test contre 25% pour les sourds. Ces résultats montrent l'absence de nystagmus soit d'un côté, soit des deux, reflétant une anomalie vestibulaire. Cependant les résultats montrent une apparition systématique d'un nystagmus sur des fréquences rapides (épreuve rotatoire) pour les deux populations. C'est-à-dire que le vestibule ne réagit pas ou peu chez les sourds lors d'une stimulation lente. Ceci peut expliquer l'incapacité à capter des faibles inclinaisons de tête lors de la régulation de la posture statique, engendrant des pertes d'équilibre. Nous pouvons mettre en lien ces données avec les scores de postures précédemment décrits, cette altération physiologique du vestibule sur des stimulations lentes détériore la capacité posturale des sourds, les rendant instables sur des modalités de régulations à priori vestibulaires. Les résultats posturaux postopératoires tendent à ne montrer aucune aggravation des performances. La fonction des canaux semi-circulaires ne semblent pas atteinte, ainsi, lorsque la modalité de régulation posturale est davantage vestibulaire les néo-implantés ne présentent pas plus de difficulté à réaliser la tâche.

Concernant la perception de la verticale gravitaire figure n°14, nous constatons aucune différence significative entre la population saine et pathologique. L'erreur moyenne absolue est similaire et se situe autour de 2°. Avant l'opération les sourds ont donc une perception identique de la verticale gravitaire en comparaison à la population témoin.

Après l'opération, les résultats tendent à montrer une augmentation significative de l'erreur absolue moyenne pour les participants pathologiques (figure n°15). C'est-à-dire que les néo-implantés font en moyenne +5° degrés d'erreur comparé à la verticale réelle (90°). Tandis que l'échantillon témoin commet environ 1,5 degré d'erreur lors de la seconde visite (figure n°16). Nous pouvons déduire que l'opération à un impact direct sur la perception de la gravité. L'effraction que représente l'intervention à détériorée le capteur graviceptif se situant dans le vestibule (otolithes).

Afin d'affirmer ou d'infirmer notre hypothèse nous devons prendre le cas typique de deux implantés afin de constater un décalage de la perception de la gravité opposé à l'implantation. Nous comparons donc deux participants implantés : à gauche P01 et à droite P02. La figure n°17 montre la représentation de la verticale du patient 01 après implantation. Nous remarquons un décalage de +7 degrés par rapport à la gravité, c'est-à-dire que P01 décale la baguette lumineuse vers la droite. La figure n°16 montre une augmentation de 6,5° d'erreur par rapport

à la première visite, l'opération a augmenté le décalage perceptif de manière importante. De plus cette augmentation du degré d'erreur s'est effectuée du côté opposé à la pose de l'implant (figure n°17).
Notre Hypothèse semble s'affirmer en démontrant les mêmes résultats de l'étude Gurfinkel et al. (1988), mais quand est-il des résultats pour le patient 02 implanté à droite ?

La figure n°18 montre une augmentation de l'erreur de perception, l'opération à altérée de 7° l'erreur par rapport à la première visite. Le décalage négatif présenté est la direction de l'erreur qui est ici décalée vers la gauche. Comme le montre la figure n°19 l'opération à droite a décalée la verticale gravitaire sur le côté gauche. Cela vient en complément des résultats précédent montrant une augmentation de l'erreur de perception en opposition par rapport au côté de l'implantation sur ces deux cas particuliers. Malgré le faible effectif de l'échantillon les résultats tendent à aller dans le sens des constatations de Gurfinkel et al. (1988). Ces résultats montrent que l'opération stimule le vestibule de manière importante. A contrario, nous aurions observé un décalage de la gravité du côté de l'opération comme Borel et al. (2014), nous aurions conclu que l'implantation cochléaire s'apparenterait à une ablation du vestibule, ce qui d'après nos résultats n'est pas le cas.

VI. Conclusion et perspectives

En conclusion de notre étude, nous avons mis en évidence des troubles posturaux chez la population sourde profonde. Ces diminutions des performances posturales sont observables par un test de stabilométrie dès lors que toutes les afférences sensorielles sont disponibles. Les sujets atteints de surdité ont une longueur d'oscillation du centre de gravité significativement moins importante que la population saine mais également une surface d'oscillation significativement plus importante. Cette diminution des performances motrices semble être corrélée à une défaillance vestibulaire puisque les participants sourds présentent des difficultés apparentes lorsque la modalité vestibulaire régule à priori la posture (C5 et C6 du test d'organisation sensoriel). De plus la réponse physiologique du vestibule des sourds par test calorique est plus faible que la population témoin. Les réponses sont variables et dans certains cas aucune réponse vestibulaire n'apparait. Pour répondre à notre première hypothèse, les sourds ont altération de leurs performances posturales due très probablement au capteur vestibulaire comme l'ont montré Suarez et al, 2007, cette hypothèse est confirmée au vue de nos résultats posturaux et physiologiques. Cependant les données de perception de la verticale gravitaire tendent à montrer que la population sourde perçoit correctement la verticale tout comme la population saine. Des phénomènes de compensation ont donc lieu dans le temps chez

les sujets pathologiques, l'erreur possible que nous pensions observer par le lien lésion vestibulaire et perception est certainement compensée par le système nerveux central.

En revanche, nous réfutons notre seconde hypothèse concernant l'aggravation des performances posturales. En effet, après l'implantation les sourds voient leurs performances posturales diminuer par rapport à la population saine. Toutefois, il n'y pas de différence significative entre avant et après l'opération sur les données posturales. La modalité vestibulaire est affectée certes, mais autant qu'avant l'implantation. L'opération semble ne pas aggraver les performances posturales comme nous le pensions. Par contre l'implantation semble détériorer la perception de la verticale gravitaire de manière significative, elle n'est pas sans conséquence sur la perception de l'environnement ce qui déstabilise les néo-implantés. De plus, la perception de la verticale gravitaire est déviée en fonction du côté de l'implantation. Nous pouvons confirmer l'hypothèse montrant une augmentation de l'erreur de perception de la verticale du côté opposé à l'opération.

Nos conclusions ne sont qu'une interprétation de tendances reflétées par un échantillon d'étude faible. C'est pour cela que certaines hypothèses s'affirment ou s'infirment à ce stade, il faut donc être prudent dans l'interprétation des données. Cela est peut être dépendant de la pathologie responsable de la surdité (maladie de Ménière, presbyacousie…), si elle est innée ou non, depuis combien de temps le participant est atteint et s'il pratique des activités sportives ou non. Un effectif plus important nous permettrait de ressortir des données en fonction de ces informations que nous n'avons pu prendre en compte ici. En perspectives, nous pourrions avec un échantillon plus important faire des groupes selon la pathologie, la durée de l'atteinte, si la pathologie est de naissance ou non ou encore en fonction de la pratique de certaines disciplines sportives.

Nous avons ici testé la représentation de la verticale gravitaire de manière visuelle, cependant, pour nous orienter dans l'espace, nous devons rapporter la perception à nous même. C'est-à-dire décorréler l'axe z des participants par rapport à la gravité et leur demander de replacer leur corps sur cet axe, ainsi le capteur graviceptif qu'est le vestibule sera seul capteur en action. Nous pourrions donc montrer l'atteinte réelle du vestibule avant et après opération sur la perception de la verticale chez des participants sourds profonds. Selon la figure n°20, nous mettrions en place un paradigme expérimental, le participant serait placé sur la plateforme *Maastricht instrument,* l'expérimentateur viendrait incliner la plateforme soit à gauche soit à droite. L'individu privé de ces informations sensorielles (visuelles et proprioceptives) devra à l'aide d'un joystick venir se replacer à la verticale. L'expérimentateur mesurerait l'erreur entre

la verticale réelle (90°) et celle déterminée par le participant. Nous pourrions également prendre en compte les informations de Trousselard et al. (2004), qui ont montré l'existence de gravicepteurs dans l'estomac. Il est donc envisageable de faire passer ce test à jeun dans un futur protocole.

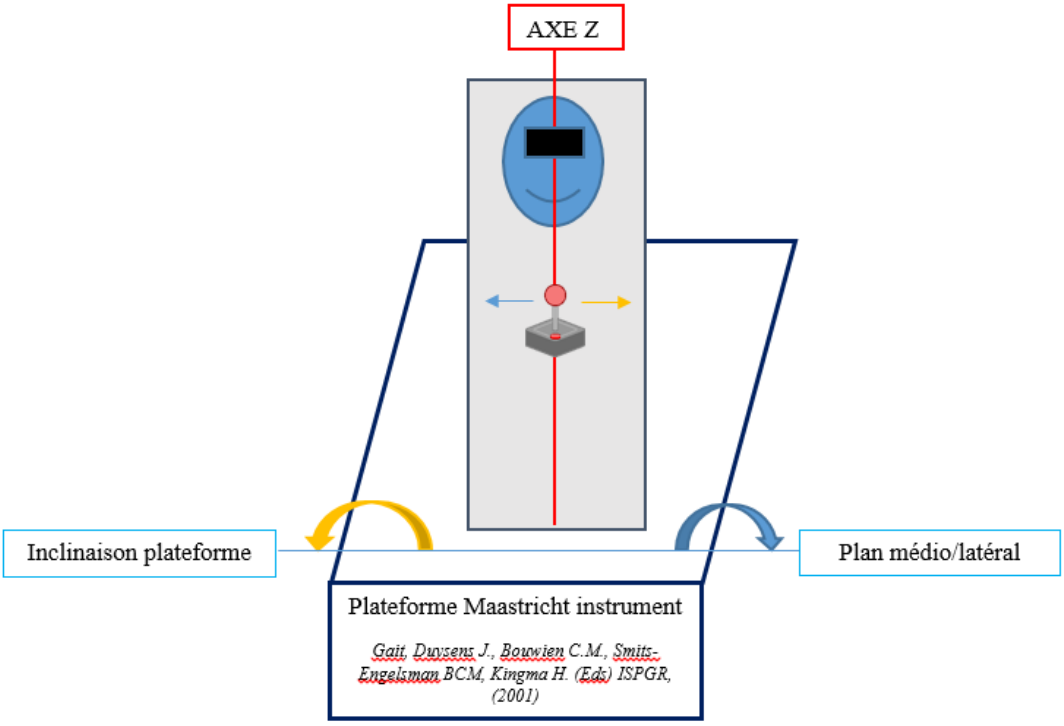

Figure n°20, Future expérimentation (décorrélation de l'axe Z).

VII. Références bibliographiques

Berthoz, A., Jeannerod, M., Vital-Durand, F., & Oliveras, J. (1975). Development of vestibulo-ocular responses in visually deprived kittens. *Exp Brain Res*, *23*(4). doi:10.1007/bf00238024.

Black, F., Wall, C., & Nashner, L. (1983). Effects of Visual and Support Surface Orientation References Upon Postural Control in Vestibular Deficient Subjects. *Acta Otolaryngol*, *95*(1-4), 199-210. doi:10.3109/00016488309130936.

Borel, L., Redon-Zouiteni, C., Cauvin, P., Dumitrescu, M., Devèze, A., Magnan, J., & Péruch, P. (2014). Unilateral Vestibular Loss Impairs External Space Representation. *Plos ONE*, *9*(2), e88576. doi:10.1371/journal.pone.0088576.

Buchman, C., Joy, J., Hodges, A., Telischi, F., & Balkany, T. (2004). Vestibular Effects of Cochlear Implantation. *The Laryngoscope*, *114*(S103), 1-22. doi:10.1097/00005537-200410001-00001.

Ceyte, H., Trousselard, M., Barraud, P., Roux, A., & Cian, C. (2008). Perceived Head-Trunk Angle During Microgravity Produced by Parabolic Flight. *Asem*, *79*(4), 420-423. doi:10.3357/asem.2137.2008.

Cian, C., Barraud, P., Paillard, A., Hidot, S., Denise, P., & Ventre-Dominey, J. (2014). Otolith signals contribute to inter-individual differences in the perception of gravity-centered space. *Exp Brain Res*,*232*(3), 1037-1045. doi:10.1007/s00221-013-3816-6.

Diener, H. C., & Dichgans, J. (1988). On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Progress in brain research*, *76*, 253-262.

Fugain, Ouayoun, Meyer & Chouard, 2000Chouard, C., Ouayoun, M., Meyer, B., & Fugain, C. (1995). Speech Coding Strategies of the Digisonic Fully Digitized Cochlear Implant. *Acta Oto-Laryngologica*, *115*(2), 264-268. doi:10.3109/00016489509139305.

Gauchard, G. (2000). *Précision et hiérarchie des afférences sensorielles dans la fonction d'équilibration selon l'âge, les pathologies et la pratique sportive* (Doctoral dissertation).

Gurfinkel, V., Gurfinkel, E., Shneider, A., Devjanin, E., Lensky, A., & Shtilman, L. (1981). Walking robot with supervisory control. *Mechanism And Machine Theory*, *16*(1), 31-36. doi:10.1016/0094-114x(81)90047-1.

Gurfinkel, V. S., Levik, Y. S., Popov, K. E., Smetanin, B. N., & Shlikov, V. Y. (1988). Body scheme in the control of postural activity. In *Stance and motion* (pp. 185-193). Springer US.

Gurfinkel, V., Ivanenko, Y., Levik, Y., & Babakova, I. (1995). Kinesthetic reference for human orthograde posture. *Neuroscience*, *68*(1), 229-243. doi:10.1016/0306-4522(95)00136-7.

Hars, M. (2007). *Contribution à l'étude du contrôle de l'équilibre à la poutre lors de la réalisation de mouvements acrobatiques de renversement par des gymnastes expertes* (Doctoral dissertation, Valenciennes).

Huang, M., Hsu, C., Kuan, C., & Chang, W. (2011). Static balance function in children with cochlear implants. *International Journal Of Pediatric Otorhinolaryngology*, *75*(5), 700-703. doi:10.1016/j.ijporl.2011.02.019.

Hytönen, M., Pyykkö, I., Aalto, H., & Starck, J. (1993). Postural Control and Age. *Acta* Otolaryngol, 113(2), 119-122. doi:10.3109/00016489309135778.

Jacot, E., Van Den Abbeele, T., Debre, H., & Wiener-Vacher, S. (2009). Vestibular impairments pre- and post-cochlear implant in children. *International Journal Of Pediatric Otorhinolaryngology*, *73*(2), 209-217. doi:10.1016/j.ijporl.2008.10.024.

Kluenter, H., Lang-Roth, R., & Guntinas-Lichius, O. (2009). Static and dynamic postural control before and after cochlear implantation in adult patients. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, *266*(10), 1521-1525. doi:10.1007/s00405-009-0936-5.

Ledebt, A. (1997). L'acquisition de la station debout et de la marche: contribution des informations sensorielles. *Evolutions psychomotrices*, (38), 183-190.

Le Maner-Idrissi, G., Pajon, C., Baligand, Z., Dardier, V., Deleau, M., Tan-Bescond, G., & Godey, B. (2008). Implant cochléaire et développement des échanges conversationnels. *Revue canadienne des sciences du comportement.*

Leplège, A., Perret-Guillaume, C., Ecosse, E., Hervy, M., Ankri, J., & von Steinbüchel, N. (2013). *Un nouvel instrument destiné à mesurer la qualité de vie des personnes âgées : le WHOQOL-OLD version française. La Revue De Médecine Interne, 34(2), 78-84. doi:10.1016/j.revmed.2012.07.011.*

Lestienne, F., Soechting, J., & Berthoz, A. (1977). Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes. *Exp Brain Res*, *28-28*(3-4). doi:10.1007/bf00235717.

Massion, J. (1994). Postural control system. *Current Opinion In Neurobiology*, *4*(6), 877-887. doi:10.1016/0959-4388(94)90137-6.

Massion, J., & Woollacott, M. H. (1996). Posture and equilibrium. *Clinical Disorders of Balance, Posture and Gait. London, United Kingdom: Arnold*, 1-18.

Melvin, T., Della Santina, C., Carey, J., & Migliaccio, A. (2009). The Effects of Cochlear Implantation on Vestibular Function. *Otology & Neurotology*, *30*(1), 87-94.

Mittelstaedt, M., & Mittelstaedt, H. (1997). The Effect of Centrifugal Force on the Perception of Rotation about a Vertical Axis. *Naturwissenschaften*, *84*(8), 366-369. Doi:10.1007/s001140050413.

Nashner, L. M. (1972). Vestibular postural control model. *Kybernetik*, *10*(2), 106-110.

Nashner, L. M., Black, F. O., & Wall, C. I. I. I. (1982). Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits. *The Journal of Neuroscience*, *2*(5), 536-544.

Nyabenda, A., Briart, C., Deggouj, N., & Gersdorff, M. (2004, April). [Normative study and reliability of French version of the Dizziness Handicap Inventory]. In *Annales de réadaptation et de médecine physique: revue scientifique de la Société française de rééducation fonctionnelle de réadaptation et de médecine physique* (Vol. 47, No. 3, pp. 105-113).

Olivier, A. (2012). *Contribution des informations visuelles dans le contrôle postural chez les cavaliers* (Doctoral dissertation, Caen).

Paillard, J. (1999). Les déterminants moteurs de l'intégration multi sensorielle. *Handicaps et Activités Physiques Adaptées*, 23-50.

Parietti-Winkler, C., Lion, A., Montaut-Verient, B., Grosjean, R., & Gauchard, G. C. (2015). Effects of Unilateral Cochlear Implantation on Balance Control and Sensory Organization in Adult Patients with Profound Hearing Loss. *BioMed Research International*, *2015*.

Parmar, A., Savage, J., Wilkinson, A., Hajioff, D., Nunez, D., & Robinson, P. (2012). The Role of Vestibular Caloric Tests in Cochlear Implantation. *Otolaryngology -- Head And Neck Surgery*, *147*(1), 127-131. doi:10.1177/0194599812442059.

Perrin PhP, Lestienne F, eds. Mécanismes de l'équilibration humaine : Exploration fonctionnelle, application au sport et à la rééducation. Paris : Masson, 1994.

Psillas, G., Pavlidou, A., Lefkidis, N., Vital, I., Markou, K., Triaridis, S., & Tsalighopoulos, M. (2014). Vestibular evoked myogenic potentials in children after cochlear implantation. *Auris Nasus Larynx*, *41*(5), 432-435. doi:10.1016/j.anl.2014.05.008.

Rock, I. (1990). The frame of reference. In I. Rock (Ed.), the legacy of Solomon Asch (pp. 243-268). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Roll, J. P., Vedel, J. P., & Ribot, E. (1989). Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: a microneurographic study. *Experimental Brain Research*, *76*(1), 213-222.

Rossi, G., & Solero, P. (1994). Cochlear implant: results of our experience. *Revue de laryngologie, d'otologie et de rhinologie*, *115*(4), 245-248.

Rumeau, C., Frère, J., Montaut-Verient, B., Lion, A., Gauchard, G., & Parietti-Winkler, C. (2014). Quality of life and audiologic performance through the ability to phone of cochlear implant users. *European Archives Of Oto-Rhino-Laryngology*. doi:10.1007/s00405-014-3448-x.

Schwab, B., Durisin, M., & Kontorinis, G. (2010). Investigation of Balance Function Using Dynamic Posturography under Electrical-Acoustic Stimulation in Cochlear Implant Recipients. *International Journal Of Otolaryngology*, *2010*, 1-7. doi:10.1155/2010/978594.

Simon, É., Perrot, X., & Mertens, P. (2009). Anatomie fonctionnelle du nerf cochléaire et du système auditif central. *Neurochirurgie*, *55*(2), 120-126. doi:10.1016/j.neuchi.2009.01.017.

Suarez, H., Angeli, S., Suarez, A., Rosales, B., Carrera, X., & Alonso, R. (2007). Balance sensory organization in children with profound hearing loss and cochlear implants. *International Journal Of Pediatric Otorhinolaryngology*, *71*(4), 629-637. doi:10.1016/j.ijporl.2006.12.014.

Taly, V. (2010). Le jeune enfant sourd implanté cochléaire et l'observation des précurseurs du langage. *Neuropsychiatrie De L'enfance Et De L'adolescence*, *58*(6-7), 398-404. doi:10.1016/j.neurenf.2010.06.002.

Takahashi, M., Igarashi, M., & Homick, J. (1977). Effect of Otolith End Organ Ablation on Horizontal Optokinetic Nystagmus, and Optokinetic Afternystagmus in the Squirrel Monkey. *ORL*, *39*(2), 74-81. doi:10.1159/000275338.

Tanguy, S. (2008). *Plasticité vestibulaire chez l'homme: approches écologique et expérimentale* (Doctoral dissertation, Caen).

Thierry, B., Blanchard, M., Leboulanger, N., Parodi, M., Wiener-Vacher, S., Garabedian, E., & Loundon, N. (2015). Cochlear implantation and vestibular function in children. *International Journal Of Pediatric Otorhinolaryngology*, *79*(2), 101-104. doi:10.1016/j.ijporl.2014.11.002.

Todt, I., Hennies, H., Basta, D., & Ernst, A. (2005). Vestibular dysfunction of patients with mutations of Connexin 26. *Neuroreport*, *16*(11), 1179-1181. doi:10.1097/00001756-200508010-00009.

Trousselard, M., Barraud, P., Nougier, V., Raphel, C., & Cian, C. (2004). Contribution of tactile and interoceptive cues to the perception of the direction of gravity. *Cognitive Brain Research*, *20*(3), 355-362. doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.03.008.

Trousselard, M. (2005). *Direction gravitaire visuelle: rôle de la perception d'orientation corporelle* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble I).

Widex (2007). *Le son et l'audition*. ISBN NO : 87-985233-9-2.

Wyatt, J., Niparko, J., Rothman, M., & deLissovoy, G. (1996). Cost Utility of the Multichannel Cochlear Implant in 258 Profoundly Deaf Individuals. *The Laryngoscope*, *106*(7), 816-821. doi:10.1097/00005537-199607000-00006.

Annexes

Annexe 1 : L'implant cochléaire

L'implant se compose d'une partie implantable (interne, Figure n°21 A) et d'une partie non implantable (externe, Figure n°21 B). La partie interne est composée d'électrodes traduisant le son reçu par la partie externe en signaux électriques perceptibles par le cerveau. La partie fixable de la partie interne ne possède pas d'électrodes et elle est directement vissée à l'os afin de maintenir l'appareil fixe. La partie externe permet de capter les sons extérieurs par un ou plusieurs microphones. Ces derniers captent en priorité les sons liés à la voix humaine pour les traduire en signaux électriques recevables par la partie interne.

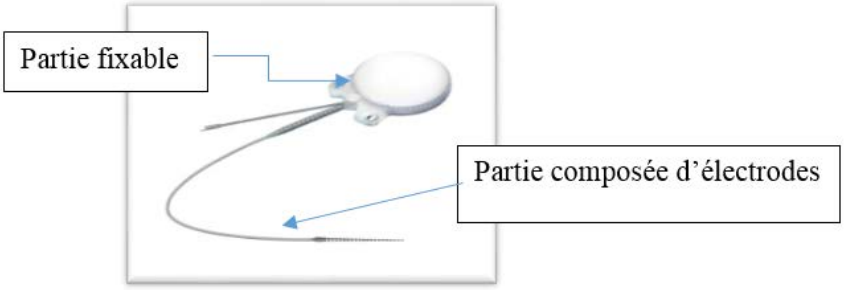

Figure n°21 A, Partie interne de l'implant

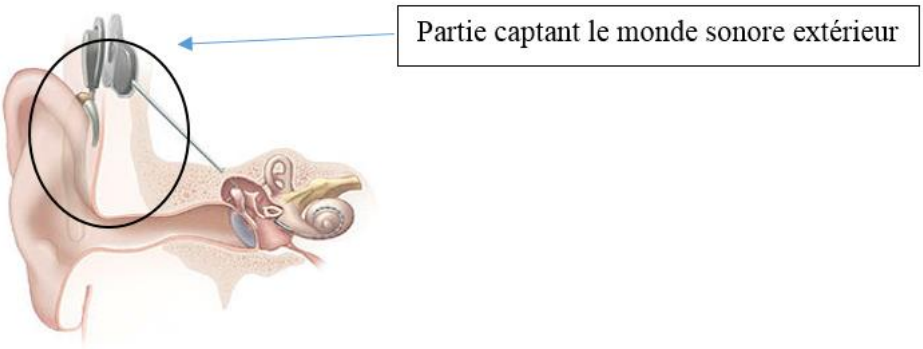

Figure n°21 B, Partie externe de l'implant

Annexe 2 : Les gravicepteurs

Ils font partie intégrante du corps humain, ils ne sont pas exclusivement concentré dans le système vestibulaire comme nous l'avons énoncé dans notre étude. Des auteurs tels que Trousselard, Barrauda, Nougierb, Raphela et Cian (2004) rapportent l'existence de gravicepteurs dans l'estomac, en effet un lestage gastrique permettrait d'avoir une meilleure sensibilité à la gravité. D'autres gravicepteurs sont localisés au niveau des reins comme le montre Gurfinkel et al. (1981) ainsi qu'au niveau du système vasculaire (Mittelstaedt et al., 1997).

Annexe 3 : Statistiques

Dans cette partie, nous allons présenter l'analyse statistique que nous réaliserons dès lors que la taille de notre échantillon le permettra (**n > 10**). Nous utilisons le logiciel STATISTICA 7.1 afin de réaliser l'ensemble des analyses.

Dans un premier temps, nous chercherons à identifier les données aberrantes que nous recalculerons, si nécessaire, à l'aide de la fonctionnalité « recodification des points atypiques ». Ensuite, nous testerons la normalité des données par l'intermédiaire du test de Kolmogorov-Smirnoff. Pour être considérée comme normale, la probabilité doit être supérieure à 0,05. L'analyse de la normalité sera complétée par la visualisation de la droite de Henry. Celle-ci correspond à une relation linéaire passant par l'origine et permet une visualisation graphique de la répartition des données. Si ces dernières suivent la loi normale alors elles se répartissent sur toute la longueur de la droite et non pas en paquet (*Cluster*). Puis nous effectuerons le test de Cocher afin de tester l'asymétrie et l'aplatissement des données. Si l'analyse présente un résultat différent de zéro alors la loi normale n'est pas respectée. Enfin, nous testerons l'homogénéité des variances (pour les facteurs inter) et la sphéricité.

Equitest : dans le cas où les données suivent la loi normale, nous appliquerons une ANOVA à 3 facteurs (Groupe : Pathologique vs. Témoin ; Condition : C1 vs. C2 vs. C3 vs. C4 vs. C5 vs. C6 ; Temps : Avant vs. Après l'opération). Cette analyse nous permettra de mettre en évidence :

- un éventuel effet principal « Groupe ». Cela signifierait que les deux groupes ont obtenu des scores posturaux différents lorsque l'on réduit les résultats obtenus à l'ensemble des conditions avant et après opération en un seul résultat,
- un éventuel effet principal « Condition ». Par exemple, les participants, sourds et témoins confondus, obtiennent des scores posturaux significativement différents entre deux ou plusieurs conditions,
- un éventuel effet principal « Temps ». Par exemple, les participants, sourds et témoins confondus, obtiennent des scores posturaux significativement différents, toutes conditions confondues, après par rapport à avant l'opération,
- ainsi qu'un potentiel effet d'interaction entre deux ou l'ensemble des facteurs.

Dans le cas d'effet principal et/ou d'interaction significatif, nous réaliserons des tests post-hoc (*HSD de Tuckey*) afin d'identifier les variables qui diffèrent. Pour l'ensemble des tests, le seuil de significativité sera fixé à $p < 0.05$.

Stabilométrie / Perception de la verticale gravitaire : dans le cas où les données suivent la loi normale, nous appliquerons une ANOVA à 2 facteurs (Groupe : Pathologique vs. Témoin ; Temps : Avant vs. Après l'opération). Si nécessaire, nous réaliserons des tests post-hoc (*HSD* de *Tuckey*) afin d'identifier les variables qui diffèrent.

Pour les trois tests précédents, dans le cas où les données ne suivent pas la loi normale, nous effectuerons une ANOVA de Friedman.

Réflexe vestibulo-oculaire : dans le cas où les données suivent la loi normale, nous effectuerons un test paramétrique tel que le test *t* de student pour échantillons indépendants afin de mettre en évidence une potentielle différence entre le groupe pathologique et le groupe témoin avant l'opération. Le seuil de significativité sera fixé à $p < 0.05$.

Dans le cas où les données ne suivent pas la loi normale, nous réaliserons un test non paramétrique tel que le test de Mann-Whitney pour échantillon indépendant. Le seuil de significativité sera fixé à $p < 0.05$.

Dans le cas où nous voudrions mesurer des différences entre des variables intra, nous effectuerons un test de Wilcoxon. Le seuil de significativité sera fixé à $p < 0.05$.

Annexe 4 : Graphique de Freyss

Ce graphique permet d'interpréter les résultats sur l'appartion d'un nystagmus sur l'épreuve calorique. Comme le décrit Pérez-Martin, Schuster et Dauzat (2006), sur le site de la faculté de médecine de Montpellier (figure n°21), il permet de rassembler les données en fonction du coté stimulé et de la température d'irrigation du canal.

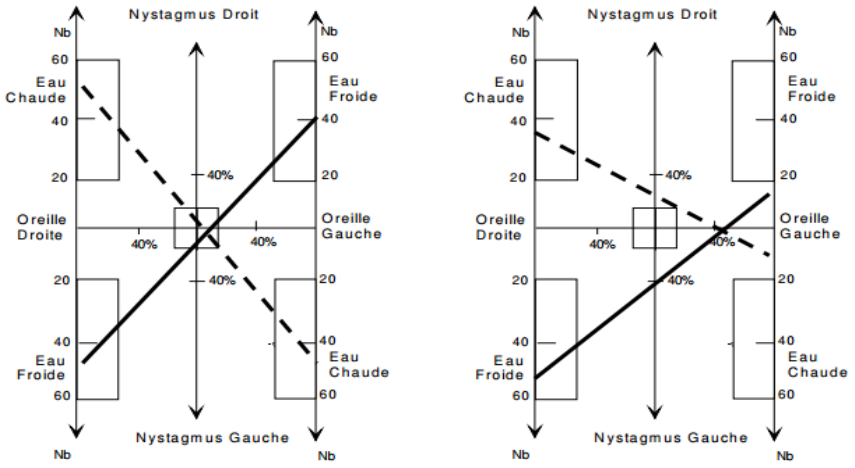

Figure n°21, Illustration graphique de Freyss.

Nous présenterons les réponses nystagmographiques obtenues au cours de notre étude pour montrer les différences entre les candidats à l'implantation et les témoins (figure n°22).

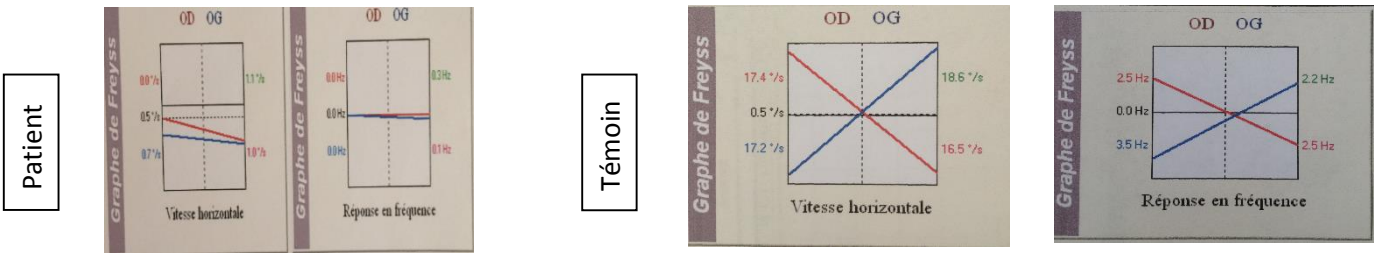

Figure n°22, comparaison graph de Freyss entre pathologique et témoin.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER

« Etude de la fonction d'équilibration chez des patients implantés cochléaires unilatéraux »

FABRE Dimitri.

UNIVERSITE DE LORRAINE Septembre 2015.

Mots clés: Implantation cochléaire – Posture – Perception – Surdité.

Contexte : La surdité est une atteinte neurosensorielle grave touchant 5% de la population mondiale et constitue un problème de santé publique. Cependant une solution de réhabilitation de la perception de l'environnement sonore existe : l'implantation cochléaire. Les sourds profonds présentent une altération de leur qualité de vie (Rumeau et al., 2014) ainsi que des vertiges et des nausées (Parmar et al., 2012). Ces atteintes ont pour conséquence d'altérer une fonction essentielle de l'être humain, la fonction d'équilibration. Néanmoins la capacité posturale ne se résume pas uniquement à une fonction antigravitaire, elle est aussi un interfaçage permanent avec l'environnement : la perception.
Objectif : Décrire l'évolution des perceptions d'orientation spatiale et l'évolution des performances posturales dans un contexte de stimulations multi-sensorielles avant et après l'implantation cochléaire chez des patients sourds profonds, le but étant de dégager des changements de score entre les patients et les sujets témoins appariés sur l'âge et le sexe.
Résultats : Les sourds profonds ne présentent pas de dégradation des perceptions d'orientation spatiale avant opération mais présentent une altération des performances posturales dans des conditions où le capteur vestibulaire est à priori dominant dans la régulation posturale. Après implantation, les résultats montrent une dégradation des perceptions de l'orientation du côté opposé à la lésion. Néanmoins l'implantation n'aggrave pas les performances posturales.
Conclusion : Les pathologies responsables de la surdité altèrent la fonction d'équilibration des sourds, qui s'explique par une détérioration du capteur vestibulaire. De plus, l'implantation semble atteindre la fonction graviceptive du vestibule décalant la perception de la verticale gravitaire du côté opposé à l'implantation.

Key words: Cochlear implant – Deafness – Posture – Perception.

Context: Deafness is a serious neuro-sensorial trouble affecting 5% of the world population and a public health matter. Nonetheless, cochlear implant is a solution re-establishing sound perception. Deeply deaf people experience a decrease in quality of life (Rumeau et al., 2014), as well as dizziness and nausea (Parmar et al., 2012). These problems result in altering one of the most important human functions, balance. Postural capacity cannot be summed up to anti-gravitational function. It also consists in an interface with the environment, i.e. perception.
Goal: Describing the evolution of spatial orientation perceptions and the evolution of postural performance for deeply deaf people in a context of multi-sensorial stimulation, before and after cochlear implant. The aim is to find changes in scores between test and control individuals. These people are paired by age and sex.
Results: Deeply deaf people do not show a decrease in spatial orientation perception before the surgery but experience a worsening in postural performance in cases where the vestibular sensor is dominant in postural regulation. After the surgery, results prove a worsening in orientation perception on the opposite side of the implant. However, the implant does not reduce postural performance.
Conclusion: The pathologies causing deafness reduce the balance function of deaf people, which is observed in a deterioration of the vestibular sensor. Moreover, the implant seems to affect the gravi-perceptive function of the vestibule. This results in altering the perception of the gravitational vertical on the opposite side of the implant.