

**NANTES UNIVERSITÉ**

---

**FACULTÉ DE MÉDECINE**

---

Année : 2022

N°

**THÈSE**

Pour le

**DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE**

DES D'OTO-RHINO-LARYNGOLOGIE ET CHIRURGIE CERVICO-FACIALE

par

**Arthur DERIEPPE**

Né le 3 juillet 1994 à Cholet

---

Présentée et soutenue publiquement le 20 octobre 2022

---

**ETUDE RETROSPECTIVE DE LA PRESERVATION DE LA FONCTION  
VESTIBULAIRE APRES IMPLANTATION COCHLEAIRE ROBOTISEE**

---

Président du jury: Monsieur le Professeur Philippe BORDURE

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Guillaume MICHEL

## **COMPOSITION DU JURY :**

Président du jury : Monsieur le Professeur Philippe BORDURE

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Guillaume MICHEL

Monsieur le Docteur Adrien GENDRE

Madame la Docteure Kinnie BOURGET-AGUILAR



**A l'attention de Monsieur le Pr Bordure**, vous me faites l'honneur de présider ce jury. Vous transmettez à vos internes votre expertise, votre savoir et votre expérience de l'otologie, avec passion. Veuillez recevoir mon profond respect.

**A l'attention de Monsieur le Dr Michel**, tu me fais l'honneur de diriger ce travail. Merci infiniment pour la confiance que tu places en tes internes, tes enseignements. Tu es dévoué à tes devoirs professionnels mais aussi, et peut-être surtout, à ta famille, voilà un exemple sur tant d'aspects.

**A l'attention de Monsieur le Dr Gendre**, tu me fais l'honneur et l'amitié de constituer ce jury. Ton épanouissement dans le domaine de l'otologie est évident, et inspirant pour nous tous. Un attrait communicatif que tu sais nous inculquer avec énergie, comme lors des RCP du 1er étage.

**A l'attention de Madame la Dr Bourget-Aguilar**, tu me fais l'honneur de constituer ce jury. Il me semblait évident de t'y convier, compte tenu de ton expertise sur le domaine abordé ici. Tu transmets avec facilité des connaissances pourtant difficiles à acquérir, avec beaucoup de patience, je t'en remercie.

**A l'attention de Monsieur le Pr Malard**, ton dévouement au service, à tes patients, à l'enseignement de tes internes et ton expertise, sont communicatifs. Les valeurs de rigueur, de travail, que tu nous transmets, ne peuvent que nous porter. Je t'en remercie. Tu peux être assuré de mon profond respect.

**A l'attention de Monsieur le Pr Espitalier**, merci pour ta pédagogie, tu sais transmettre tes connaissances à tes internes avec talent, et toujours avec le mot pour rire (des préparations magistrales du mardi après-midi qui ne s'oublent pas...). Je te présente mon profond respect.

**A l'attention de Monsieur le Dr Ferron**, votre expertise, votre investissement auprès de vos patients, votre expérience et votre humour sont une source d'inspiration. Un semestre riche, passé à vos côtés, aussi bien sur le plan professionnel qu'humain, je vous en remercie et vous présente mon respect.

**A l'attention de Madame la Dr Boyer**, toi qui as été ma première "maman" d'adoption au CHU, merci pour tes enseignements, ta prévenance, et ta patience à l'égard du "1er semestre" que j'étais. Je ne pouvais pas mieux tomber.

**A l'attention de Madame la Dr Robard**, merci de te rendre disponible si souvent pour les internes, pour nous apporter ton savoir, ton aide, et toujours avec gentillesse.

**A l'attention de Madame la Dr Coutand**, la "grande sœur" des internes. Tu sais toujours te rendre disponible pour nous aider, avec une énergie communicative. Je garde en mémoire notre (super) semestre passé ensemble.

A mes anciens chefs, Pauline, Marine, toute l'équipe du CHM (Eric, Henri-Pierre, M. Girard, Charles, Catherine, Nadya), Kevin mon premier grand frère de chirurgie, l'équipe du CHD, Vincent merci pour ton soutien et tes enseignements pendant ce semestre si particulier

Je ne saurais aller plus loin sans remercier, avant tout, mes parents, Pierre et Sylvie, vous qui avez consenti à tant d'efforts et de sacrifices pour toujours donner le meilleur à vos enfants (et petits enfants désormais), je ne serais certainement pas ici sans vous. Je vous remercie et vous exprime toute ma reconnaissance. On ne peut rêver une meilleure enfance. Pour vous, il est venu le temps de profiter pleinement.

A toi Claire, ma sœur, maman forte et exemplaire, loin est le temps où tu pouvais me torturer avec Mr.B..... Merci pour ton soutien.

A toi Maxime, mon frère, le temps passe, et les "10 ans trop tôt" sont rattrapés.... :) Tu as su trouver ta moitié. Emilie, c'est un bonheur de te compter parmi nous, je vous remercie tous les deux pour votre soutien, et vous souhaite le meilleur. « Un robot ki detek » on connaît ...

A toi, Nonorette, petit rayon de soleil arrivé en 2015, l'avenir est à toi, puisses-tu y trouver ta voie pour t'y épanouir, et l'exemple de ta maman t'inspirer.

Mathilde, toi qui partage ma vie, ta tendresse, ton soutien et ton humour me sont précieux et me comblent, merci pour tout. Une nouvelle étape s'annonce... Y&G.....

A mes frères et sœurs trémentino-choletais, le sang, vous êtes trop nombreux pour tous vous citer ici (Gigi, Dilé, Tibal, Guigou, Gulo, MyHomieLorent, Frin, Manon, Buisson, So, Lu', Guer1, Zlaty, Atam, Gl.Jauf, Dudu, Paulo, Rouillon...), j'ai une pensée pour chacune et chacun d'entre vous. Vous qui m'avez accueilli comme l'un des vôtres, le meilleure clique que l'on puisse avoir. J'en suis là aussi grâce à vous.

Une pensée particulière pour Maxime et Astrid, j'ai manqué votre mariage pour ce travail. Meilleurs vœux aux jeunes mariés :)

A toi Jean, mon partenaire de crime, tant de souvenirs qui nous rapprochent malgré les kilomètres et les années, loin des yeux mais près du cœur comme l'on dit.

A mes co-internes, Gabriel (aussi guide touristique à Tottenham), Sarah (aussi appelée SarahTol), Audrey (Référente Pétronome), Maxime Mercury, Philomène (ta douceur légendaire avec le fibro ne sera pas oubliée), Jules, Adrien (Référent noisette du service, tu connais), Benoit, David (et son éternelle potion), Clément, merci à tous pour votre aide au quotidien, vous qui êtes avant tout des amis.

Laura/Shaina/Brandouille, ma sœur (et pourtant pas gagné au premier contact.....), nombre d'histoires me reviennent en tête .... :) Je te souhaite le meilleur pour la suite.

A mes amis de l'externat (Hugo, Eloïse, Heloïse, Eudes,Edouard, Johan, Léa, Julien, Margaux, Pauline, Laurène, Clément, Amélie, Julien, Adeline, Candice), nos chemins de vie nous ont séparés, mais ce moment de vie que

nous connaissons tous me donne l'occasion, plus que jamais, de penser à vous. Notre amitié m'est précieuse.

A mes amis angevino-manceaux (Loic♥, Delphine, Jean♥, Clémentine, Antoine, Ferial, Sorayah, Sarah, Nolwenn, Marine) vous êtes toutes et tous de superbes rencontres, il a été difficile de vous quitter, j'espère vous revoir vite au Mordor.

A mes anciens co-internes, Elena (Julia) Felisati (Champion), Camille, Gaston, Constantin, Hélène, Kahina, Thanh-thuy (tu connais ma prononciation), Sophie, Delphine, Marion, Manon, Samy

Merci à l'équipe des consultations (El Professor Christophe, Jacqueline, Beatrice, Valérie, Camille, Sylvie, Patricia, Anne Camille, Helene, Nathalie, Christelle), c'est un plaisir de travailler avec vous.

A l'équipe para-médicale d'hospitalisation (Colline, Marjorie, Fanny, Sophie, solène, Adeline, Audrey, ...), merci pour votre bonne humeur et votre professionnalisme, qui adoucit nos journées.

Merci à l'équipe du bloc opératoire (Sonia, Arnaud, Eleonora, Heloise, Virginie, Mathieu, Gwenola...), nos seconds seniors.



# **Table des matières**

I/ INTRODUCTION :	1
II/ MATERIELS & METHODE :	3
A/ Patients, critères inclusion et d'exclusion:	3
B/ Objectif, critère évaluation:	3
C/ Protocole:	4
D/ Enregistrement PEVM, VHIT, VNG, DHI:	4
E/ L'implantation cochléaire robotisée:	5
F/ Analyse statistique:	7
III/ RESULTATS :	8
A/ Caractéristiques phénotypiques:	8
B/ Potentiels Evoqués Vestibulaires Myogéniques (PEVM):	9
C/ Video Head Impulse Test (VHIT)	11
D/ Vidéo-NystagmoGraphie avec épreuves caloriques (VNG)	12
E/ Dizziness Handicap Inventory (DHI)	13
F/ Audiométrie	13
G/ Complications :	14
H/ Taux d'insertion des électrodes :	15
IV/ DISCUSSION :	17
V/ CONCLUSION :	21
VI/ REFERENCES	22
VII/ ANNEXES:	25

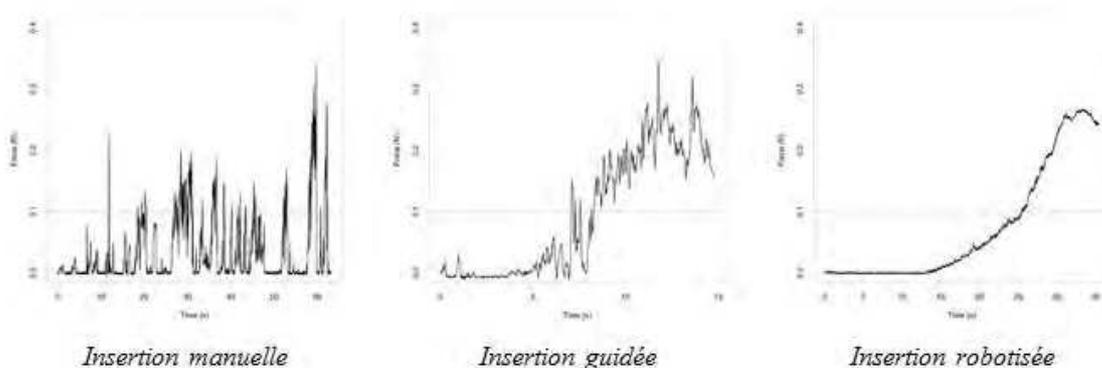
## I/ INTRODUCTION :

Les implants cochléaires (IC), développés à partir des années 1960, permettent une réhabilitation auditive des patients atteints de surdité neurosensorielle profonde. (1)

Outre l'amélioration technique par les laboratoires de ces dispositifs implantables, l'optimisation des conditions de pose est devenue un enjeu pour l'amélioration de la prise en charge de ces patients.

En effet, on observe une variabilité inter-individuelle des résultats audiométriques après implantation (2), s'expliquant à la fois par des facteurs intrinsèques à l'implant (3) (comme la position des électrodes au sein de la rampe tympanique), mais aussi des facteurs extrinsèques (3–5) (la diversité de la population implantée, la durée de perte auditive, la technique chirurgicale utilisée, labyrinthite inflammatoire en réaction à la présence d'électrodes,...). Parmi ces derniers, il est reconnu que la qualité d'insertion du porte électrodes, en particulier la diminution de son caractère traumatique, permettrait une meilleure conservation de l'audition résiduelle, qui est associée de manière significative à une meilleure intelligibilité post-opératoire.(6) Ceci peut s'expliquer par la baisse des translocations d'électrodes, assurant une meilleure préservation du modiolus, de la lame spirale, de l'organe de Corti (empêchant l'activation de la voie d'apoptose cellulaire responsable de la dégénérescence du ganglion spirale), et in fine une meilleure conservation des centres stimulés par l'électrode.

Il semble donc s'agir d'un facteur permettant d'améliorer la performance post-opératoire de l'IC. Dans cet objectif, une approche robotisée et standardisée a été développée grâce au RobOtol© (7), en vue d'améliorer sa reproductibilité, et de minimiser au maximum les conséquences de la variabilité inter et intra-individuelle du chirurgien (courbe d'apprentissage, microtremblements comme le montre la *Figure 1...*).



**Figure 1** Mesure de la force lors de l'insertion du porte-électrodes dans la rampe tympanique, N.Guyen et al. (8)

Sur le versant vestibulaire, il a été démontré dans la littérature que l'implantation cochléaire était significativement associée à une modification péjorative des résultats des explorations fonctionnelles, sans toutefois altérer la qualité de vie.(9) Néanmoins, Rajan et al. (10) met en évidence que la modification de la vitesse d'insertion du porte-électrodes impacte la survenue de vertiges en période post-opératoire immédiate, durant laquelle Krause et al.(11) rapporte la présence de ces symptômes chez 45% des patients. Ces observations peuvent s'expliquer par des mécanismes hydrodynamiques de modification pressionnelle au sein de l'oreille interne.

D'après ces études, la qualité de l'insertion du porte-électrodes impacte également la fonction vestibulaire. Or, à notre connaissance, il n'existait pas dans la littérature actuelle de données comparant la préservation ou non de la fonction vestibulaire selon l'insertion robotisée ou manuelle de l'implant cochléaire.

L'objectif de cette étude était donc d'étudier la préservation de la fonction vestibulaire chez des patients ayant bénéficié d'une implantation cochléaire, en comparant insertion manuelle et insertion robotisée.

## **II/ MATERIELS & METHODE :**

### ***A/ Patients, critères inclusion et d'exclusion:***

Les patients inclus étaient répartis en deux groupes, "insertion manuelle" et "insertion robotisée". Concernant le premier groupe, la période d'inclusion s'étendait du 1er juillet 2020 jusqu'au 04 mars 2021, pour le second groupe elle s'étendait du 15 mars 2021 (date d'arrivée du RobOtol© au CHU de Nantes) au 1er novembre 2021.

Étaient inclus l'ensemble des patients pris en charge au bloc opératoire adulte du CHU de Nantes pour une implantation cochléaire durant cette période de temps.

Les critères d'exclusion étaient: les reprises chirurgicales avec dépose et repose de l'implant, les troubles ophtalmologiques sévères à type de cécité, syndrome d'Usher, antécédents médicaux ou chirurgicaux portant sur le labyrinthe, le refus des patients de participer à l'étude.

### ***B/ Objectif, critère évaluation:***

#### ***a/ Objectif principal et critère de jugement principal***

L'objectif principal était d'évaluer la conservation de la fonction vestibulaire après implantation cochléaire robotisée comparée à une insertion manuelle. Le critère de jugement principal, était composite, et se basait sur :

- **Potentiels Evoqués Vestibulo-Myogénique (PEVM):**

Comparaison entre les deux groupes, du delta (▲) de présence des ondes utriculaires et sacculaires, du côté implanté, avant et après chirurgie.

- **Video Head Impulse Test (VHIT):**

Comparaison entre les deux groupes, du delta (▲) de réponses normales (gain), de chacun des 3 canaux semi-circulaires de l'oreille implantée, avant et après chirurgie.

- **Vidéonystagmographie (VNG):**

Comparaison entre les deux groupes, du delta (▲) de réponses normales (somme de réflectivité à l'eau froide et chaude), du côté implanté, avant et après chirurgie.

- **Dizziness Handicap Inventory (DHI):**

Comparaison de la moyenne entre les deux groupes, du DHI, réalisé en post-opératoire

*b/ Objectifs secondaires et critères de jugement secondaires*

Les objectifs secondaires concernaient le résultat audiométrique à 6 mois post-opératoires à la fois sur le seuil tonal moyen et le seuil d'intelligibilité; le taux d'insertion des électrodes de l'implant, le taux de complication (paralysie faciale, infection du site opératoire, vertige).

***C/ Protocole:***

La lecture des dossiers (informatisés et papiers) des patients implantés lors des périodes d'inclusion, permettait d'abord d'exclure ceux ne répondant pas aux critères de l'étude, ensuite d'extraire les données relatives aux explorations fonctionnelles (bilan vestibulaire et audiométrique pré et post-opératoire), les éventuelles complications post-opératoires, les caractéristiques intrinsèques de l'implant, et enfin le ConeBeam post-opératoire permettait d'évaluer le taux d'insertion des électrodes.

Le bilan vestibulaire (PEVM, VHIT, VNG) et le DHI post-opératoire étaient réalisés à un délai minimal de 6 mois après la chirurgie.

***D/ Enregistrement PEVM, VHIT, VNG, DHI:***

*a/ PEVM sacculaires et utriculaires*

Les PEVM cervicaux (PEVMc) étudient la fonction sacculaire, ils ont été enregistrés par le logiciel Otoaccess® Database version 2.1.0. Leur normalité est définie par l'apparition d'une onde positive précoce p13 à 10ms et une onde négative n23 à 20ms, une amplitude comprise entre 100 et 220µV, pour une stimulation à 100dB. (12)

Les PEVM oculaires (PEVMo) étudient quant à eux la fonction utriculaire, les latences normales retenues sont de 10ms pour la première onde négative N1 et 15ms pour la seconde onde positive P1, avec une amplitude inférieure aux PEVMc, pour une stimulation à 100dB. (12)

*b/ VHIT*

Le VHIT permet une étude de la fonction canalaire à haute fréquence. Le gain est calculé par le rapport entre mouvement pupillaire et céphalique, par la formule qui suit  $\text{Gain (\%)} = 100 \times R_o/R_c$ ; où  $R_o$  correspond à la rotation oculaire et  $R_c$  à la rotation céphalique, avec un minimum de 5 enregistrements par canal. La valeur minimale du gain était de 0.78 pour les

canaux horizontaux et 0.64 pour les verticaux.(13) Les acquisitions étaient obtenues par le logiciel VHIT Ulmer II version 3.5.0.6 Synapsys©.

### *c/ VNG*

Les épreuves caloriques permettent une exploration de la fonction du canal semi circulaire latéral, à basse fréquence. Après avoir enregistré un éventuel nystagmus précalorique, on irriguait l'oreille à l'eau froide (30°C) ou chaude (44°C) pendant 20 secondes. VNG Ulmer 5 Synapsys© version 5.17.8.2 permettait d'assurer les acquisitions. La réflectivité normale retenue était comprise en 6 et 80°/s.(14)

### *d/ DHI*

Enfin, la répercussion des vertiges sur la qualité de vie post-opératoire, était évaluée à l'aide d'un questionnaire déjà validé, le Dizziness Handicap Inventory (DHI)(joint en *annexe 1*), rempli par le patient lors du bilan post-opératoire ; dans cette étude rétrospective, il n'a pas été rempli en pré-opératoire.(15) Il comporte 25 questions à 3 choix : « oui », « parfois », « non », s'intéressant à la gêne ressentie au quotidien dans les activités domestiques, de la vie courante en extérieur, et lors des interactions sociales.

## ***E/ L'implantation cochléaire robotisée:***

### *a/ Technique chirurgicale*

L'implant cochléaire est inséré chirurgicalement au sein de la cochlée, sous anesthésie générale, et sous monitoring du nerf facial. On pratique alors une incision rétro-cochléaire, puis une mastoïdectomie conventionnelle jusqu'à mettre en évidence le canal semi-circulaire et l'incus. Après avoir réalisé la logette de l'implant dans le plan sous-périosté, en profondeur du muscle temporal, et repéré le nerf facial avec sa corde tympanique, la tympanotomie postérieure est ouverte, permettant d'exposer la fenêtre ronde. Le tympan secondaire est alors ouvert, et les électrodes sont insérées dans la rampe tympanique selon un axe et une vitesse régulière, permettant de la rendre le moins traumatique possible.(16) C'est cette étape qui est assistée par le RobOtol© (*Figure 2*).

Il est à noter, qu'aujourd'hui, plusieurs études ont montré la supériorité des approches privilégiant l'ouverture ou l'élargissement de la fenêtre ronde à la réalisation d'une cochléostomie.(3,5)



**Figure 2 Utilisation du RobOtol© lors de l'insertion du porte électrodes, Pr Bordure, CHU de Nantes.**

### *b/ Le RobOtol©*

Le RobOtol© (*Figure 3*), qui a obtenu le marquage CE en juillet 2019, a été développé par la firme Collin en association avec le service d'ORL du CHU de la Pitié Salpêtrière sous l'égide des Pr. O. Sterkers et Y. Nguyen.

Sa mécanique est basée sur un concept de point de rotation fixe, avec 7 degrés de liberté (3 rotations, 3 translations, 1 poussée), avec une résolution extrêmement précise (linéaire:  $5\mu\text{m}$ , angulaire:  $0.3^\circ$ ), ce qui le rend performant dans de faibles volumes de travail comme ceux de la microchirurgie otologique.

Il peut être déployé lors des chirurgies d'otite chronique (porte-endoscope) ainsi que lors de l'implantation cochléaire, où il a été pensé pour robotiser l'insertion du porte-électrodes dans la rampe tympanique



Figure 3 Le RobOtol©, [www.collinmedical.fr](http://www.collinmedical.fr)

### ***F/ Analyse statistique:***

Les analyses ont été effectuées à l'aide de *Medistica. pvalue.io*, a *Graphic User Interface to the R statistical analysis software for scientific medical publications*. 2021.

Les moyennes des données phénotypiques des deux groupes, du DHI, des seuils tonaux et vocaux, ont été comparées à l'aide du test statistique de Mann-Whitney.

Les pourcentages de conservation des fonctions vestibulaires ont été analysés quant à eux à l'aide du test de Fisher

### III/ RESULTATS :

#### *A/ Caractéristiques phénotypiques:*

12 patients ont été inclus dans le groupe "insertion manuelle" (groupe 1), la moyenne d'âge était de 66.2ans  $\pm$ 18.2[30 ; 88]. On retrouvait 33% d'hommes et 67% de femmes. On comptait 58% d'implantation du côté droit et 42% du côté gauche. Les implants étaient majoritairement de marque Oticon (n=11), et un seul de marque Cochlear.

Le groupe ayant bénéficié d'une "insertion robotisée" (groupe 2) comptait 14 patients, avec une moyenne d'âge de 60.4  $\pm$ 23.1[17 ; 83] , on observait 43% d'hommes pour 57% de femmes. Concernant les implants, 43% des patients étaient posés du côté droit, et 57% du côté gauche. La majorité des modèles étaient de marque Oticon (n=11). Les autres marques étaient également représentées : Cochlear (n=1), Advanced Bionics (n=1), Medel (n=1).

On ne retrouvait pas de différence significative entre les deux groupes, en termes d'âge ( $p=0.52$ ), de sexe, ou de latéralité implantée.

Les caractéristiques phénotypiques de ces deux groupes sont résumées dans le *Tableau 1*. Le diagramme de flux de l'étude est présenté en *Figure 4*.

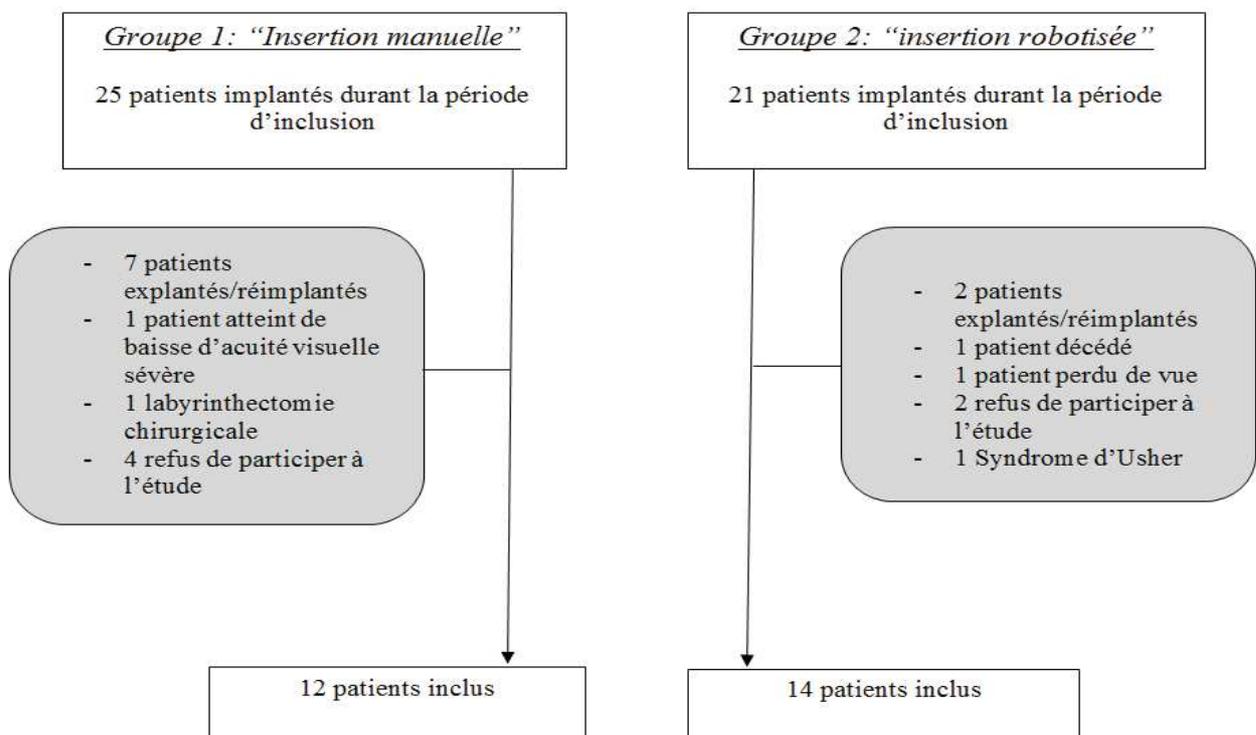


Figure 4: Diagramme de flux détaillant l'inclusion des patients

	<u>Groupe « insertion manuelle »</u>	<u>Groupe « insertion robotisée »</u>
Effectif	12	14
Age (années)	66.2 ±18.2[30 ; 88]	60.4 ±23.1[17 ; 83]
Sexe H/F	33% (4)/ 67% (8)	43% (6)/ 57% (8)
Côté implanté D/G	58% (7)/ 42% (5)	43% (6)/ 57% (8)
Marque de l'implant	Oticon : 11 Cochlear : 1	Oticon : 11 Cochlear : 1 Advanced Bionics : 1 Medel : 1

**Tableau 1: Caractéristiques phénotypiques des patients implantés. Les données sont exprimées: Moyenne ± Ecart-type [Valeur minimale ; Valeur maximale] ; et %(effectif).**

### ***B/ Potentiels Evoqués Vestibulaires Myogéniques (PEVM):***

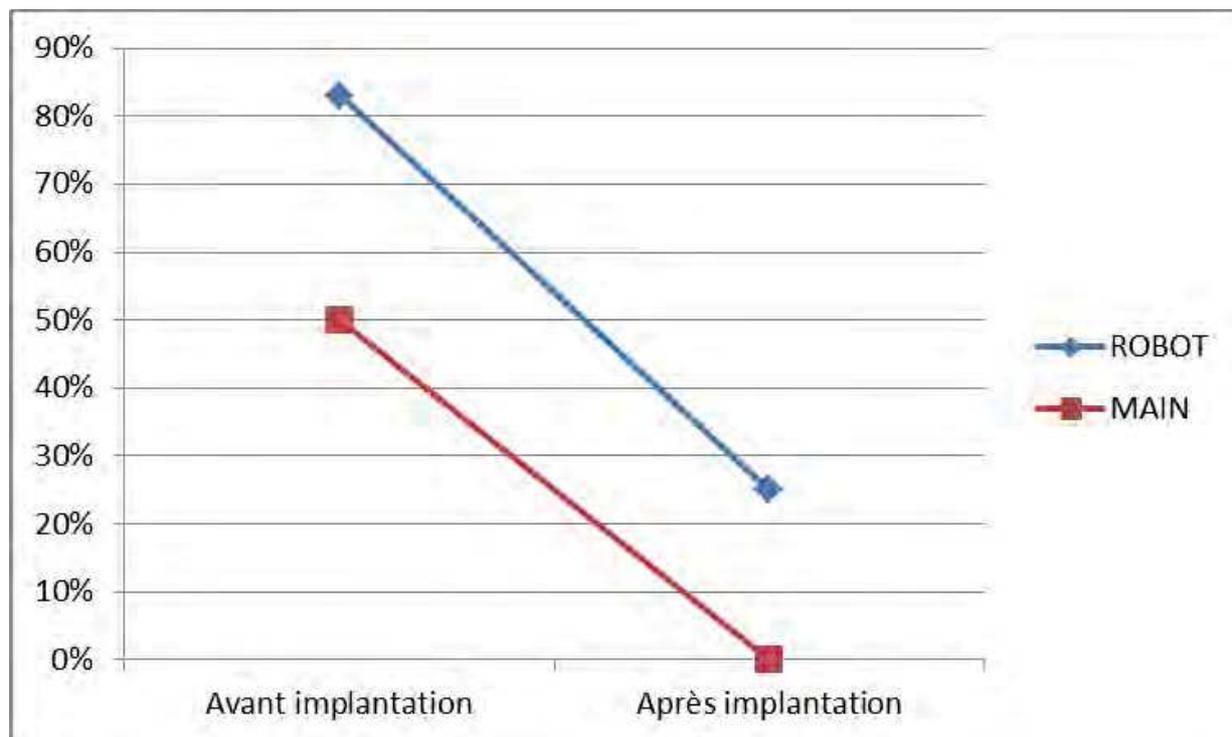
Concernant les deux groupes, 10 patients étaient inclus lors de l'analyse des PEVMc et PEVMo dans le groupe "insertion manuelle" contre 12 patients dans le groupe "insertion robotisée", en raison de données manquantes dans ces dossiers.

#### **a/ Cervicaux:**

Dans le groupe "insertion manuelle" on retrouvait une fonction sacculaire normale du côté implanté en pré-opératoire chez la moitié des patients (n=5). En postopératoire, aucun patient ne présentait de fonction sacculaire normale.

Dans le groupe "insertion robotisée", on retrouvait une fonction sacculaire normale chez 83% des patients (n=10) en pré-opératoire. En postopératoire, il subsistait une préservation de la fonction sacculaire chez 25% des patients (n=3) (*Figure 5*).

Concernant la fonction sacculaire, on ne retrouvait pas de différence significative entre ces deux groupes (test de Fisher,  $p=0.22$ ).



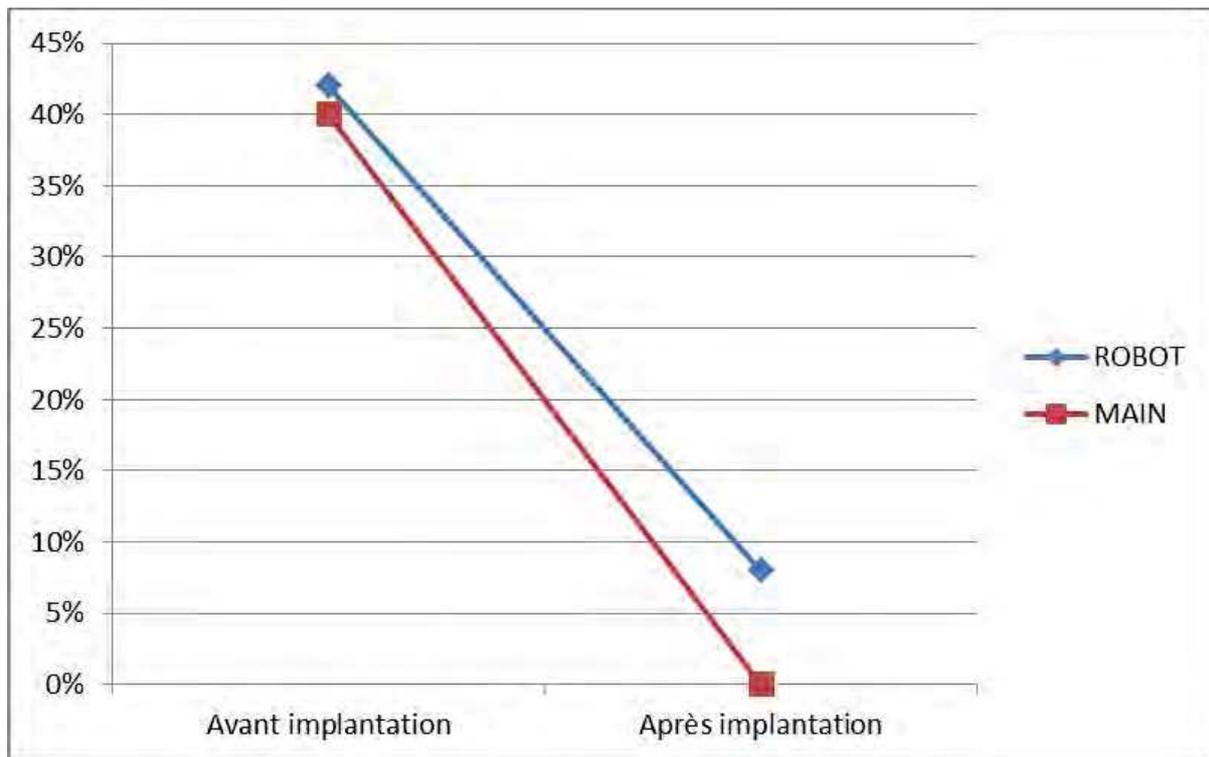
**Figure 5: Graphique représentant les courbes de pourcentage de patients présentant une fonction sacculaire normale pour chacun des deux groupes avant et après implantation.**

#### *b/ Oculaires:*

Dans le groupe "insertion manuelle", 40% des patients ( $n=4$ ) présentaient une fonction utriculaire normale avant intervention. En post-opératoire, aucune onde n'était retrouvée chez aucun patient de ce groupe.

Dans le groupe "insertion robotisée", une fonction utriculaire était présente chez 42% des patients en pré-opératoire ( $n=5$ ), et l'on constatait une conservation de la fonction utriculaire chez 8% des patients ( $n=1$ ) après implantation (Figure 6).

Il n'était pas retrouvé de différence significative entre les deux groupes concernant la fonction utriculaire (test de Fisher,  $p=1$ ).



**Figure 6: Graphique représentant les courbes de pourcentage de patients présentant une fonction utriculaire normale pour chacun des deux groupes savant et après implantation.**

### ***C/ Video Head Impulse Test (VHIT)***

Dans le groupe “insertion manuelle” en raison d’un manque de données dans plusieurs dossiers et de l’absence d’acquisition sur certains canaux, 8 patients ont été analysés pour le canal semi-circulaire (CSC) supérieur, 9 pour les CSC postérieurs et latéraux. Pour les mêmes raisons, dans le groupe “insertion robotisée”, 10 patients ont été inclus pour l’ensemble des CSC supérieurs, postérieurs, et latéraux.

#### **a/ Supérieur**

Dans le groupe 1, on observait une fonction normale du canal semi-circulaire supérieur chez tous les patients avant intervention (n=8), et une conservation complète après implantation.

Dans le groupe 2, on retrouvait en pré-opératoire une fonction normale chez 80% des patients (n=8). En post-opératoire, il était constaté une fonction normale chez 100% des patients (n=10), soit une normalisation de la fonction canalaire supérieure chez 2 patients de ce groupe.

Il n'était pas retrouvé de différence significative entre les deux groupes (test de Fisher,  $p=1$ ).

#### b/ Latéral

Dans le groupe "insertion manuelle" une fonction normale était présente initialement chez 89% des patients (n=8), et on observait une conservation post-opératoire chez tous ces patients (n=8).

Dans le groupe "insertion robotisée", 100% des patients comptaient une fonction normale du canal latéral (n=10) ; il était également retrouvé une conservation post-opératoire chez la totalité de ces patients (n=10).

Le test de Fisher ne retrouvait pas de différence significative entre les deux groupes ( $p=1$ ).

#### c/ Postérieur

Dans le groupe 1, 89% des patients (n=8) comptaient une fonction canalaire postérieure normale, contre 7 (78%) après implantation.

Dans le groupe 2, on observait initialement une fonction canalaire postérieure normale chez 60% des patients (n=6), et une conservation chez la totalité de ces patients en post-opératoire (n=6).

Le test de Fisher ne montrait pas de différence significative entre les deux groupes ( $p=0.71$ ).

### ***D/ Vidéo-NystagmoGraphie avec épreuves caloriques (VNG)***

Dans le groupe "insertion manuelle", 2 patients ont été retirés en raison de données manquantes, 90% des patients (n=9) présentaient une fonction canalaire pré-opératoire normale, avec une préservation post-opératoire chez 8 individus (80%).

Dans le groupe "insertion robotisée", 4 patients ont été retirés de l'analyse en raison de données manquantes. On observait alors la présence d'une fonction normale chez 80% des patients (n=8), et une conservation post-opératoire complète chez ces patients.

Le test de Fisher ne mettait pas en évidence de différence significative entre ces deux groupes ( $p=0.53$ ).

## ***E/ Dizziness Handicap Inventory (DHI)***

Le DHI a été rempli par 10 patients dans le groupe “insertion manuelle” et 13 patients dans le groupe “insertion robotisée” en raison de données manquantes.

En post-opératoire, la moyenne des scores du questionnaire était de  $14.4 \pm 18.2$ [0 ; 60] dans le groupe “insertion manuelle”, contre  $18.2 \pm 24.1$ [0 ; 74] dans le groupe “insertion robotisée”.

Le test statistique de Mann-Whitney ne mettait pas en évidence de différence significative ( $p=1$ ).

## ***F/ Audiométrie***

### *a/ Tonale*

Dans le groupe 1, la moyenne pré-opératoire du seuil tonal moyen dans le silence était de  $88.6\text{dB} \pm 18.5$ [61.25 ; 120], contre  $35.7\text{dB} \pm 3.67$ [28.75 ; 41,25] à 6 mois en post-opératoire.

Dans le groupe 2, on observait une moyenne pré-opératoire de  $100\text{dB} \pm 10.2$ [82.5 ; 120], puis de  $33.5\text{dB} \pm 3.96$ [27.5 ; 41.25] en post-opératoire.

Il n'était pas retrouvé de différence statistiquement significative, en comparant les seuils tonaux moyens post-opératoires, entre les deux groupes ( $p=0.15$ )

Lorsque l'on comparait les gains audiométriques entre les deux groupes, avant et après implantation, il n'était pas retrouvé de différence significative ( $p=0.053$ )

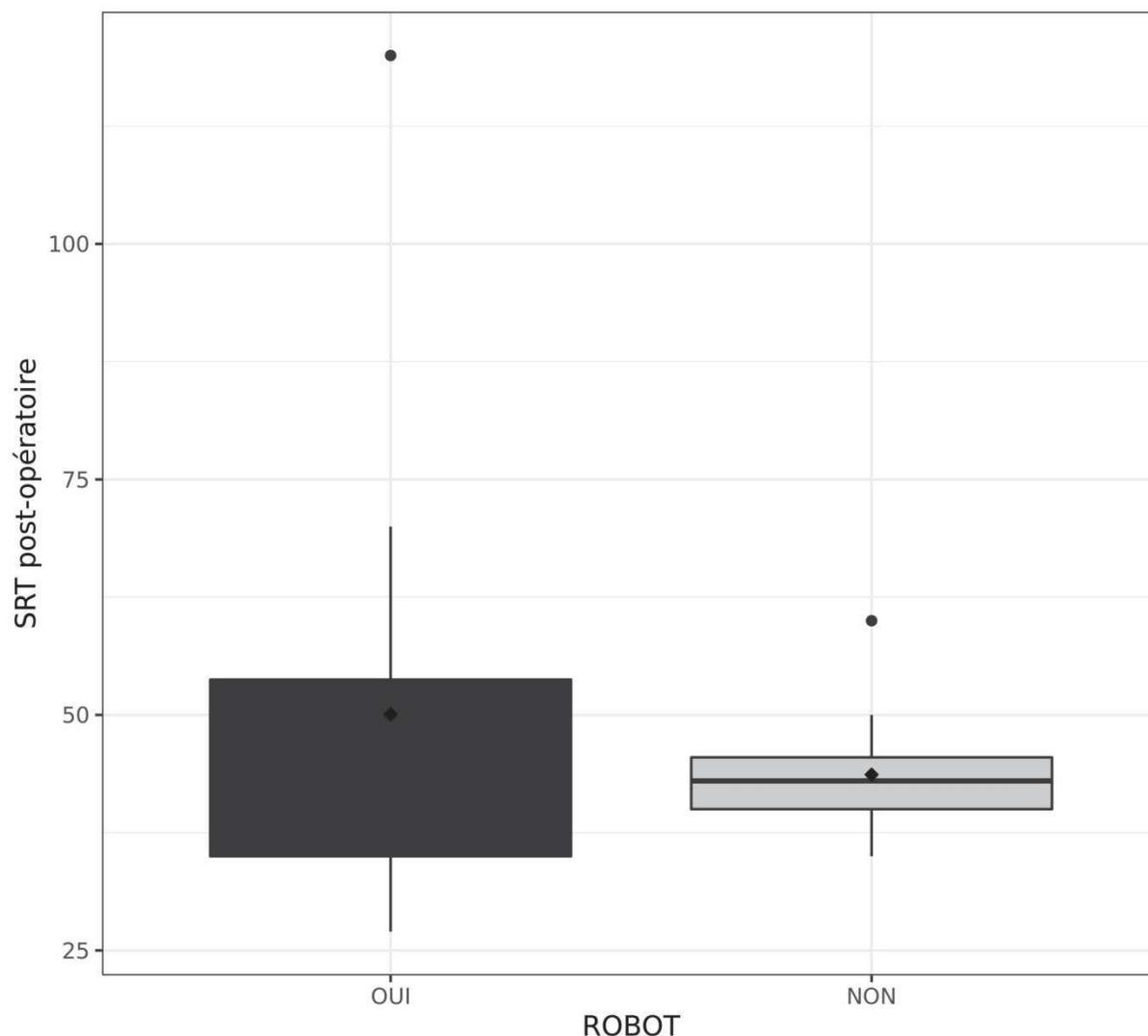
### *b/ Vocale*

Dans le groupe “insertion manuelle”, on retrouvait une moyenne des seuils d'intelligibilité dans le silence, en pré-opératoire à  $102\text{dB} \pm 23.5$ [60 ; 120]. A 6 mois post-opératoire, elle était de  $43.7\text{dB} \pm 6.73$ [35 ; 60].

Dans le groupe “insertion robotisée”, la moyenne des seuils vocaux en pré-opératoire était de  $111\text{dB} \pm 17.8$ [70 ; 120], contre  $50.1\text{dB} \pm 23.2$ [27 ; 120] après chirurgie.

Le test de Mann-Whitney ne mettait pas en évidence de différence significative entre les seuils d'intelligibilité post-opératoires des deux groupes ( $p=0.64$ ) (Cf Figure 7).

Les données issues des explorations fonctionnelles vestibulaires, audiométriques pré et post-opératoires sont résumées dans le *Tableau 2*.



**Figure 7: Représentation de la répartition des moyennes des seuils d'intelligibilité post-opératoires dans chacun des deux groupes.**

### ***G/ Complications :***

42% (n=5) des patients inclus dans le groupe "insertion manuelle" décrivaient l'apparition de vertiges rotatoires en période post-opératoire, c'est-à-dire lors du premier mois. Ceux-ci étaient temporaires et spontanément résolutifs.

Aucun vertige n'était rapporté dans le groupe "insertion robotisée".

Aucune autre complication n'était relevée dans les deux groupes durant la période postopératoire, que ce soit en termes de paralysie faciale périphérique ou d'infection du site opératoire.

On retrouvait une différence significative entre ces deux groupes, concernant la survenue de vertiges rotatoires en période post-opératoire ( $p=0.012$ ).

### ***H/ Taux d'insertion des électrodes :***

Concernant les insertions manuelles, la totalité des porte-électrodes ont été complètement insérés. Le groupe robotisé comptait 27% d'insertion incomplètes, avec en moyenne 1 à 2 électrodes non insérées, sans raison explicite mentionnée dans le compte-rendu opératoire, sans différence statistiquement significative ( $p=0.11$ ).

		<u>Groupe « insertion manuelle »</u>		<u>Groupe « insertion robotisée »</u>		<u>Pvalue</u>
		<u>Pré-opérateur</u>	<u>Post-opérateur</u>	<u>Pré-opérateur</u>	<u>Post-opérateur</u>	
<b>PEVM</b>	<b>Sacculaire</b>	50% (5/10)	0% (0/10)	83% (10/12)	25% (3/12)	0.22 (Fisher)
	<b>Utriculaire</b>	40% (4/10)	0% (0/10)	42% (5/12)	8% (1/12)	1 (Fisher)
<b>VHIT</b>	<b>Supérieur</b>	100% (8/8)	100% (8/8)	80% (8/10)	100% (10/10)	1 (Fisher)
	<b>Latéral</b>	89% (8/9)	89% (8/9)	100% (10/10)	100% (10/10)	1 (Fisher)
	<b>Postérieur</b>	89% (8/9)	78% (7/9)	60% (6/10)	60% (6/10)	0.71 (Fisher)
<b>Calorique</b>		90% (9/10)	80% (8/10)	80% (8/10)	80% (8/10)	0.53 (Fisher)
<b>DHI</b>			14.4 ±18.2[0 ; 60]		18.2 ± 24.1[0 ; 74]	1 (Mann-Whitney)
<b>Audiométrie</b>	<b>Seuil tonal moyen</b>	88.6dB ±18.5[61.25 ; 120]	35.7dB ±3.67[28.75 ; 41,25]	100dB ±10.2[82.5 ; 120]	33.5dB ±3.96[27.5 ; 41.25]	0.15 (Mann-Whitney)
	<b>Seuil Vocal moyen</b>	102dB ±23.5[60 ; 120]	43.7dB ±6.73[35 ; 60]	111dB ±17.8[70 ; 120]	50.1dB ±23.2[27 ; 120]	0.64 (Mann-Whitney)

Tableau 2: Résultats des explorations fonctionnelles vestibulaires et audiométriques. Les données sont exprimées: Moyenne ± Ecart-type [Valeur minimale ; Valeur maximale] ; et %(effectif).

## **IV/ DISCUSSION :**

L'objectif de cette étude était d'étudier la conservation de la fonction vestibulaire, après implantation cochléaire, en fonction de l'insertion manuelle ou robotisée du porte-électrodes.

Le domaine de la chirurgie robotisée, développée à partir de la décennie 1990, notamment grâce au robot Da Vinci®, est un secteur en plein essor. Permettant à la fois d'assurer des interventions de manière moins invasive, ou de permettre le développement et la réalisation de nouvelles techniques chirurgicales (TransOral Robotic Surgery en chirurgie carcinologique par exemple), son application dans le domaine de l'otologie a été pensée en raison des difficultés inhérentes à la microchirurgie ainsi qu'à l'espace de travail millimétrique, et a été proposée dès 2007 par Coulson et al. (17) En 2014, N.Guyen et al. mettait en évidence que l'assistance motorisée permettait une amélioration significative des microtremblements lors de l'insertion du porte-électrodes. (8) La qualité de cette insertion, en particulier sa vitesse, serait corrélée à l'apparition de forces de résistance à ce mouvement, induisant une introduction traumatique, ayant comme conséquence une altération des résultats audiométriques. (10) En effet, des études s'intéressant à la conservation de l'audition résiduelle après insertion, montraient que celle-ci, lorsqu'elle était préservée, pouvait constituer un facteur notable de la performance de l'implant. (6) Alors, l'hypothèse selon laquelle un mouvement robotisé, s'affranchissant des microtremblements et des variabilités inter et intra-opérateur, permettant ainsi une standardisation de l'insertion, ayant pour objectif de diminuer les traumatismes à l'échelle cochléaire et préserver au maximum une audition résiduelle, a motivé le développement du RobOtol© par la firme Collin Medical. Son application lors d'une étude expérimentale en laboratoire, en 2018 par Torres et al. sur des rochers humains, montrait la supériorité de l'insertion robotisée par le RobOtol©, comparée à la technique manuelle, en termes d'insertion au sein de la rampe tympanique et de diminution des translocations vers la rampe vestibulaire. (7) Ces données objectives, issues d'expérimentations en laboratoire, ont été retrouvées dans la pratique chirurgicale in vivo (18,19) mais leur bénéfice, concernant l'optimisation des résultats audiométriques, et qui représente l'enjeu principal, est encore peu documenté compte tenu de la nouveauté de cette technologie. L'avenir pourrait être de coupler une insertion robotisée et standardisée à une optimisation de l'axe d'insertion, grâce à un système de navigation scanographique en temps réel, comme proposé par Torres et Al. (20)

A notre connaissance, il n'existait pas dans la littérature de données s'intéressant spécifiquement à la conservation de la fonction vestibulaire suivant le mode d'insertion manuel ou robotisé du porte-électrode. Il s'agit donc d'un travail préliminaire dans l'évaluation de l'apport de la chirurgie robotisée en otologie. Néanmoins, l'impact de l'implantation cochléaire sur le vestibule est déjà documenté. Dans la littérature, la méta-analyse de Ibrahim et al. parue en 2017 (9) , se basant sur 27 études déjà publiées, retrouvait

une altération significative des épreuves caloriques et PEVM du côté implanté, alors qu'il n'y avait pas d'atteinte des résultats du VHIT. Toutefois, cet impact vestibulaire de l'implantation n'était pas corrélé à une altération de la qualité de vie, évaluée par le DHI. Cela va dans le sens d'autres études, qui mettaient également en évidence une dégradation de la fonction otolithique et canalaire latérale à basse fréquence après implantation cochléaire. (21–23) Il est à noter qu'Enticott et Al. (24) retrouvait quant à lui une dégradation du DHI, uniquement chez les patients ayant présenté un vertige lors de leur première semaine en période post-opératoire, comparé aux patients n'en ayant pas développé. Cette atteinte vestibulaire s'expliquerait, sur le plan histologique par un traumatisme de la lame spirale et de la membrane basilaire, secondaire à une translocation du porte-électrode vers la rampe vestibulaire, provoquant alors fibrose vestibulaire, altération de la membrane sacculaire, et ossification. (25) Notre étude ne retrouvait pas de différence significative selon le mode d'insertion manuel ou robotisé, tant sur les explorations vestibulaires objectives (VHIT, VNG) que subjectives (DHI). Cependant, une tendance pourrait se dégager concernant une possible amélioration de la préservation des PEVM cervicaux, par procédure robot-assistée. En effet, alors qu'aucune préservation n'était retrouvée dans le groupe "insertion manuelle", plusieurs patients ont pu conserver une fonction utriculaire ou sacculaire après insertion robotisée. Malheureusement, par manque de puissance, notre étude a échoué à dégager un caractère significatif à cette différence.

Nous n'avons pas retrouvé de différence significative concernant le VHIT et les épreuves caloriques entre les deux groupes. En effet, la fonction était le plus souvent préservée, quel que soit la modalité d'insertion. Dans la littérature, la fonction canalaire est également souvent préservée malgré l'implantation cochléaire, comme le montre une étude chez l'enfant à propos de la fonction du canal semi-circulaire latéral après implantation. (26) Cela va dans le sens d'une autre étude récente (27) qui retrouve une normalisation des gains au VHIT sur le long terme. Cette normalisation du VHIT peut faire suite à une dégradation précoce des gains en post-opératoire immédiat, particulièrement lors de la survenue de vertiges post-opératoires (28). Cette étude retrouvait, comme dans notre série, une dégradation importante des réponses aux PEVM cervicaux sur le long terme. Les PEVM cervicaux sont plus vulnérables à l'implantation cochléaire, l'hypothèse des auteurs étant la proximité du saccule avec le porte-électrode, conduisant à un fort risque de traumatisme du saccule lors de l'insertion. L'insertion robotisée pourrait, théoriquement, améliorer cet écueil.

Nous n'avons également pas retrouvé de différence sur les scores au DHI, ce qui va dans le sens de plusieurs études ne retrouvant pas d'impact de l'implantation cochléaire sur le DHI à long terme, malgré une altération des résultats aux épreuves fonctionnelles vestibulaires (29). Cela semble être lié à une importante compensation centrale chez ces patients, d'après les auteurs.

En période post-opératoire immédiate, l'apparition de vertiges transitoires représente l'une des principales complications de l'implantation

cochléaire (30), vraisemblablement dûe à des modifications pressionnelles au sein du vestibule lors de l'ouverture du tympan secondaire et de l'étape d'insertion. Il n'a pas encore été identifié à l'heure actuelle de facteurs prédictifs associés à l'apparition de ces vertiges post-opératoires : que ce soit en terme d'altération des explorations fonctionnelles lors du bilan vestibulaire pré-opératoire, ni même en terme d'âge, de côté opéré, de technique chirurgicale retenue (cochléostomie ou approche via la fenêtre ronde), ou encore de caractéristiques propres au porte-électrodes (diamètre, longueur). (31) Il a été constaté, dans notre étude, que 42% des patients issus du groupe "insertion manuelle" développaient des vertiges post-opératoires, ce qui est cohérent avec les données de la littérature (11,24,31), alors qu'aucun patient ne présentait cette symptomatologie dans le groupe "insertion robotisée". Cette différence, statistiquement significative entre les deux groupes, plaide pour une amélioration de l'incidence des vertiges post-opératoires par la procédure robotisée, grâce à son caractère régulier et standardisé, s'affranchissant des variabilités inter et intra-individuelles du chirurgien. La tendance à la conservation des PEVM, bien que non significative, pourrait être aussi un argument supplémentaire si elle se voyait être confirmée. En effet, il a été démontré que la qualité d'insertion, notamment sa vitesse, impactait directement la survenue de ces vertiges, et par conséquent la fonction vestibulaire. (10)

Sur le plan auditif, une première étude, de Torres et Al (32), comparait les résultats audiométriques selon le mode de pose; elle ne retrouvait pas de différence significative tant sur la vocale que la tonale, lors du contrôle réalisé à 1 an après implantation, dans le silence, chez 42 patients répartis en 2 groupes ("insertion manuelle" et "insertion robotisée") de même effectif. Dans notre travail, les résultats portant sur l'intelligibilité étaient en accord avec ces données, tout comme les résultats issus de la tonale. S'agissant du taux d'insertion des électrodes, on retrouvait étonnement un résultat inférieur avec l'aide robotisée. Bien que sans significativité statistique, cela va à l'encontre des données à notre connaissance (19), une des principales raisons pourrait être la courbe d'apprentissage du RobOtol© puisque l'on s'aperçoit que les insertion incomplètes ont eu lieu dans les premiers mois d'utilisation.

Par le nombre de sujets inclus, notre étude n'a pas permis de dégager de différence significative au niveau vestibulaire. Elle reste cependant la première étude à comparer la préservation vestibulaire après implantation cochléaire par insertion manuelle ou robotisée. Un autre biais de cette étude rétrospective pourrait concerner l'intervalle entre la date opératoire et celle à laquelle est réalisé le bilan vestibulaire post-opératoire. En effet, cet intervalle varie d'un individu à l'autre, et d'un groupe à l'autre. Une modification des résultats au cours du temps pourrait être attendue. Cependant, Rasmussen et al. (33) ne montrait pas de différence significative dans les résultats obtenus à moyen et long terme. En effet, lors de cette étude s'intéressant à la fonction vestibulaire après implantation cochléaire manuelle, il n'y avait aucune différence significative entre les données recueillies lors des bilans vestibulaires réalisés à 4 mois et 14 mois après la chirurgie.

Cette étude a permis de montrer l'apport de la chirurgie robotisée lors de l'implantation cochléaire, en réduisant de manière significative la survenue de vertiges post-opératoires qui représentent une complication fréquente. Il pourrait également exister un bénéfice sur la fonction otolithique, bien qu'il n'ait pas été mis en évidence, probablement par manque de puissance statistique. Si ces observations étaient confirmées, elles constitueraient un argument supplémentaire en faveur de l'amélioration de la qualité d'insertion, grâce au RobOtol®, lors de cette intervention, et donc plaideraient pour son utilisation. Cette aide substantielle pour le chirurgien permettrait d'offrir de meilleures suites post-opératoires aux patients implantés. Dans cet objectif, une étude prospective, avec une cohorte plus importante en termes d'effectif, incluse dès la période pré-opératoire, apporterait une puissance statistique supérieure, permettant de confirmer ou non ces observations, tout en réduisant les biais inhérents au recueil rétrospectif des données.

## **V/ CONCLUSION :**

Le RobOtol©, qui a obtenu le marquage CE en 2019, représente le premier robot dédié à la chirurgie otologique, où son application a été pensée comme porte-endoscope lors des chirurgies d'otite chronique, ainsi que pour robotiser l'insertion du porte-électrodes au sein de la rampe tympanique. On ne bénéficie que de peu de recul à l'heure actuelle concernant l'apport de cette technologie, en particulier sur les résultats audiométriques post-opératoires, compte tenu de sa nouveauté. Cette étude est la première évaluant l'impact de l'insertion robotisée du porte-électrodes sur la fonction vestibulaire en comparant un groupe "insertion manuelle" à un groupe "insertion robotisée". Il a été mis en évidence une réduction de l'incidence des vertiges post-opératoires avec l'assistance robotique, toutefois sans différence statistiquement significative des résultats des explorations fonctionnelles vestibulaires post-opératoires (PEVM, VHIT, VNG) ni de la qualité de vie (DHI) entre les deux groupes. Ces observations demandent à être confirmées ou non à l'aide d'une étude prospective de plus grande ampleur, qui permettrait d'apporter des arguments en faveur d'une amélioration de la qualité d'insertion par la procédure robotisée, et ainsi offrir de meilleures suites chirurgicales sur le plan vestibulaire.

## **VI/ REFERENCES**

1. Truy E, Lina-Granade G, Apruzesse H, Herrmann R, Coudert A, Gallégo S, et al. Implantation cochléaire de l'adulte et de l'enfant. EMC - Oto-rhino-laryngologie 2017;12(2):1-13 [Article 20-185-D-10].
2. Goudey B, Plant K, Kiral I, Jimeno-Yepes A, Swan A, Gambhir M, et al. A MultiCenter Analysis of Factors Associated with Hearing Outcome for 2,735 Adults with Cochlear Implants. Trends Hear. janv 2021;25:233121652110375.
3. O'Connell BP, Hunter JB, Wanna GB. The importance of electrode location in cochlear implantation. Laryngoscope Investig Otolaryngol. déc 2016;1(6):169-74.
4. Holden LK, Finley CC, Firszt JB, Holden TA, Brenner C, Potts LG, et al. Factors Affecting Open-Set Word Recognition in Adults With Cochlear Implants. Ear Hear. mai 2013;34(3):342-60.
5. Wanna GB, Noble JH, Carlson ML, Gifford RH, Dietrich MS, Haynes DS, et al. Impact of electrode design and surgical approach on scalar location and cochlear implant outcomes: Impact of Electrode Type and Approach on CI Outcome. The Laryngoscope. nov 2014;124(S6):S1-7.
6. Carlson ML, Driscoll CLW, Gifford RH, Service GJ, Tombers NM, Hughes-Borst BJ, et al. Implications of Minimizing Trauma During Conventional Cochlear Implantation. Otol Neurotol. août 2011;32(6):962-8.
7. Torres R, Jia H, Drouillard M, Bensimon JL, Sterkers O, Ferrary E, et al. An Optimized Robot-Based Technique for Cochlear Implantation to Reduce Array Insertion Trauma. Otolaryngol Neck Surg. nov 2018;159(5):900-7.
8. Nguyen Y, Kazmitcheff G, De Seta D, Miroir M, Ferrary E, Sterkers O. Definition of Metrics to Evaluate Cochlear Array Insertion Forces Performed with Forceps, Insertion Tool, or Motorized Tool in Temporal Bone Specimens. BioMed Res Int. 2014;2014:1-9.
9. Ibrahim I, da Silva SD, Segal B, Zeitouni A. Effect of cochlear implant surgery on vestibular function: meta-analysis study. J Otolaryngol - Head Neck Surg. déc 2017;46(1):44.
10. Rajan GP, Kontorinis G, Kuthubutheen J. The Effects of Insertion Speed on Inner Ear Function during Cochlear Implantation: A Comparison Study. Audiol Neurotol. 2013;18(1):17-22.
11. Krause E, Louza JPR, Wechtenbruch J, Hempel JM, Rader T, Gürkov R. Incidence and quality of vertigo symptoms after cochlear implantation. J Laryngol Otol. mars 2009;123(3):278-82.

12. Dorbeau C, Bourget K, Renard L, Calais C, Bakhos D. Vestibular evoked myogenic potentials. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* déc 2021;138(6):483-8.
13. Rubin F, Simon F, Verillaud B, Herman P, Kania R, Hautefort C. Comparison of Video Head Impulse Test and Caloric Reflex Test in advanced unilateral definite Menière's disease. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* juin 2018;135(3):167-9.
14. A. Chays, A. Florant, E. Ulmer. *Les vertiges.* Paris, France: Masson, 2009. 186p. In.
15. Jacobson GP, Newman CW. The Development of the Dizziness Handicap Inventory. *Arch Otolaryngol - Head Neck Surg.* 1 avr 1990;116(4):424-7.
16. P. Bordure, A. Robier, O. Malard. *Chirurgie otologique et oto-neurologique.* Paris, France: Masson, 2005. 245p. In.
17. Coulson CJ, Reid AP, Proops DW, Brett PN. ENT challenges at the small scale. *Int J Med Robot.* juin 2007;3(2):91-6.
18. Barriat S, Peigneux N, Duran U, Camby S, Lefebvre PP. The Use of a Robot to Insert an Electrode Array of Cochlear Implants in the Cochlea: A Feasibility Study and Preliminary Results. *Audiol Neurotol.* 2021;26(5):361-7.
19. Daoudi H, Lahlou G, Torres R, Sterkers O, Lefeuvre V, Ferrary E, Mosnier I, Nguyen Y. Robot-assisted Cochlear Implant Electrode Array Insertion in Adults: A Comparative Study With Manual Insertion. *Otol Neurotol.* 2021 Apr 1;42(4):e438-e444. doi: 10.1097/MAO.0000000000003002. PMID: 33306661.
20. Torres R, Hochet B, Daoudi H, Carré F, Mosnier I, Sterkers O, et al. Atraumatic Insertion of a Cochlear Implant Pre-Curved Electrode Array by a Robot-Automated Alignment with the Coiling Direction of the Scala Tympani. *Audiol Neurotol.* 2022;27(2):148-55.
21. Katsiari E, Balatsouras DG, Sengas J, Riga M, Korres GS, Xenelis J. Influence of cochlear implantation on the vestibular function. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* févr 2013;270(2):489-95.
22. Hänsel T, Gauger U, Bernhard N, Behzadi N, Romo Ventura ME, Hofmann V, et al. Meta-analysis of subjective complaints of vertigo and vestibular tests after cochlear implantation: Cochlear Implantation and Complaints of Vertigo. *The Laryngoscope.* sept 2018;128(9):2110-23.
23. Robard L, Hitier M, Lebas C, Moreau S. Vestibular function and cochlear implant. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* mars 2015;272(3):523-30.
24. Enticott JC, Tari S, Koh SM, Dowell RC, O'Leary SJ. Cochlear Implant and Vestibular Function. 2006;27(6):7.

25. Tien HC. Histopathologic Changes in the Vestibule after Cochlear Implantation. *Otolaryngol Neck Surg.* oct 2002;127(4):260-4.
26. Nassif N, Balzanelli C, Redaelli de Zinis LO. Long-Term Lateral Semicircular Canal Function in Children with Cochlear Implants: Results of Video Head Impulse Test. *Eur J Investig Health Psychol Educ.* 9 janv 2021;11(1):12-9.
27. West N, Klokke M, Cayé-Thomasen P. Video head impulse test saccades and loss of cervical vestibular evoked myogenic potentials are late vestibular footprints of cochlear implantation. *J Vestib Res.* 16 févr 2021;31(1):61-7.
28. Bittar RSM, Sato E, Ribeiro DJS, Oiticica J, Grasel SS, Mezzalira R, et al. Video head impulse test relevance in the early postoperative period after cochlear implantation. *Acta Otolaryngol (Stockh).* janv 2019;139(1):6-10.
29. West N, Tian L, Vang Petersen LK, Bille M, Klokke M, Cayé-Thomasen P. Objective Vestibular Test Battery and Patient Reported Outcomes in Cochlear Implant Recipients. *Otol Neurotol Off Publ Am Otol Soc Am Neurotol Soc Eur Acad Otol Neurotol.* 1 avr 2021;42(4):e416-24.
30. Jeppesen J, Faber CE. Surgical complications following cochlear implantation in adults based on a proposed reporting consensus. *Acta Otolaryngol (Stockh).* oct 2013;133(10):1012-21.
31. Veroul E, Sabban D, Blexmann L, Frachet B, Poncet-Wallet C, Mamelie E. Predictive factors of vertigo following cochlear implantation in adults. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* oct 2021;278(10):3731-41.
32. Torres R, Daoudi H, Lahlou G, Sterkers O, Ferrary E, Mosnier I, et al. Restoration of High Frequency Auditory Perception After Robot-Assisted or Manual Cochlear Implantation in Profoundly Deaf Adults Improves Speech Recognition. *Front Surg.* 10 sept 2021;8:729736.
33. Rasmussen KMB, West N, Tian L, Cayé-Thomasen P. Long-Term Vestibular Outcomes in Cochlear Implant Recipients. *Front Neurol.* 11 août 2021;12:686681.

## VII/ ANNEXES:

**Questionnaire patient  
sur le handicap lié aux  
troubles de l'équilibre  
et aux vertiges<sup>2</sup>**

Le score  
DHI<sup>1</sup>  
(Dizziness Handicap  
Inventory)

Nom : .....  
Prénom : .....  
Date : .....

	A	B	C
	Oui	Parfois	Non
1 Votre problème est-il aggravé lorsque vous regardez en l'air ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 A cause de votre problème, vous sentez-vous frustré(e) (réalisation de souhaits, de désirs) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 A cause de votre problème, vous déplacez-vous moins pour votre profession ou vos loisirs ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Votre problème est-il aggravé lorsque vous marchez dans les allées d'un supermarché ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 A cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à vous mettre ou à sortir du lit ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Votre problème diminue-t-il de manière significative votre participation à des activités sociales (aller manger dehors, aller à des soirées ou au cinéma) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Votre problème vous gêne-t-il pour lire ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Votre problème est-il aggravé lorsque vous réalisez des activités comme la pratique de sports, de la danse ou lors de tâches ménagères comme balayer ou ranger la vaisselle ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 Avez-vous peur de quitter votre domicile sans être accompagné(e), à cause de votre problème ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 A cause de votre problème, vous êtes-vous senti(e) gêné(e) face à d'autres personnes ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Votre problème est-il augmenté par des mouvements rapides de la tête ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 A cause de votre problème, évitez-vous les situations en hauteur (chaise, échelle, balcon) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Votre problème est-il aggravé lorsque vous vous retournez dans le lit ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14 A cause de votre problème, est-il difficile de réaliser des efforts intenses à la maison ou dans le jardin ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 A cause de votre problème, avez-vous peur que les gens puissent penser que vous êtes ivre ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16 A cause de votre problème, avez-vous peur de la difficulté à faire une promenade seul(e) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17 Votre problème est-il aggravé lorsque vous marchez le long d'un trottoir ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18 A cause de votre problème, avez-vous de la difficulté à vous concentrer ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19 La nuit à la maison, avez-vous de la difficulté à marcher sans lumière ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20 Avez-vous peur de rester seul(e) à la maison, à cause de votre problème ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21 A cause de votre problème, vous sentez-vous handicapé(e) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22 Votre problème est-il source de tensions dans les relations avec les membres de votre famille ou vos amis ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23 A cause de votre problème, vous sentez-vous déprimé(e) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24 Votre problème change-t-il vos responsabilités au travail ou dans votre vie familiale ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25 Vous pencher en avant aggrave-t-il votre problème ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A chaque niveau de réponse correspond un nombre de points :

Réponse A : Oui = 4 points,

Réponse B : Parfois = 2 points,

Réponse C : Non = 0 point.

La score total possible s'étend de 0 à 100 points. Entre deux évaluations, un écart supérieur à 18 points<sup>3</sup> est nécessaire pour être significatif d'une amélioration ou d'une détérioration de l'état clinique du patient.

Total des réponses A : x4 = .....

Total des réponses B : x2 = .....

Score Total A + B = .....

(1) Jacobson GJ, Newman CW. The development of the dizziness handicap inventory. Arch Otolaryngol Head Neck Surgery. 1990; 116: 424-427.

(2) Ems C, Gayer JP. Difficultés liées au développement d'une échelle de handicap vestibulaire. Otorhinolaryngol Nose. 2008; 10: 20-24.

### Annexe 1: Questionnaire de qualité de vie DHI

**Annales françaises d'oto-rhino-laryngologie et de pathologie cervico-faciale**  
**Étude rétrospective de la préservation de la fonction vestibulaire après implantation**  
**cochléaire robotisée**  
 --Projet de manuscrit--

<b>Numéro du manuscrit:</b>	AFORL-D-22-00118
<b>Type d'article:</b>	Article original
<b>Second titre complet:</b>	
<b>Mots-clés:</b>	Implant cochléaire, Système vestibulaire, Chirurgie robotisée, Potentiel évoqué vestibulaire myogénique, Vertige
<b>Mots-clés secondaires:</b>	Cochlear implant, Vestibular system, Robotic surgical procedure, Vestibular evoked myogenic potential, Vertigo
<b>Auteur correspondant:</b>	Guillaume MICHEL University Hospital Centre Nantes FRANCE
<b>Premier auteur:</b>	Arthur DERIEPPE
<b>Ordre des auteurs:</b>	Arthur DERIEPPE Adrien GENDRE, Dr Kinnie BOURGET, Dr Philippe BORDURE, Pr Guillaume MICHEL
<b>Résumé:</b>	<p><b>Contexte :</b> Lors de la chirurgie d'implantation cochléaire, la conservation d'une audition résiduelle permet d'optimiser les résultats post-opératoires de l'implant. Une des étapes clé concerne l'insertion du porte-électrodes dans la rampe tympanique. Une procédure robotisée (RobOtol©) a récemment été développée dans cet objectif.</p> <p><b>Objectif :</b> Estimer la conservation post-opératoire de la fonction vestibulaire en fonction de l'insertion "manuelle" ou "robotisée" de l'implant, pour évaluer le bénéfice, sur le vestibule, de la prise en charge robotisée.</p> <p><b>Matériels et méthode :</b> Les données issues du bilan pré-opératoire et post-opératoire (PEVM, VHIT, VNG, DHI, Audiométrie) ont été comparées entre les groupes "insertion manuelle" (n=12) et "insertion robotisée" (n=14), de façon rétrospective et monocentrique.</p> <p><b>Résultat :</b> Il n'a pas été démontré de différence significative entre les deux groupes concernant les explorations fonctionnelles vestibulaires (PEVM, VHIT, VNG), ni sur la qualité de vie (DHI). Une baisse de l'incidence des vertiges post-opératoires a été mise en évidence (p=0.012). Sur le plan audiométrique, aucune différence significative n'était mise en évidence concernant les seuils tonaux moyens, ni les seuils vocaux moyens, bien qu'une tendance semble se dessiner sur les gains audiométriques tonaux (p=0.053).</p> <p><b>Conclusion :</b> De par l'insertion standardisée qu'il permet, le RobOtol©, semble offrir une baisse de l'incidence des vertiges post-opératoires, malgré l'absence de différence significative mis en évidence dans cette étude concernant les explorations vestibulaires. Ces observations, si elles étaient confirmées à l'aide d'une étude prospective plus large, permettraient des suites post-opératoires plus simples pour les patients implantés.</p>
<b>Résumé secondaire:</b>	<p><b>Background :</b> During the surgery of cochlear implant, the conservation of the postoperative residual hearing could optimize the post-operative speech perception. A key step is the insertion of the electrode array inside the scala tympani. A robotized procedure (RobOtol©) was developed in this purpose.</p> <p><b>Objectives :</b> To assess the postoperative conservation of the vestibular function, according to the "manual" or "robotized" insertion.</p> <p><b>Material and methods :</b> Data, recorded during the vestibular evaluation before and after surgery (VEMP, VHIT, Caloric test, Audiometry), have been compared, between the "manual insertion" (n=12) and "robotized insertion" (n=14) groups. It was a</p>

*Activé par Editorial Manager® et Prodxion Manager® depuis Aries Systems Corporation*

	<p>retrospective and monocentric study.</p> <p>Results : There was no difference between the two groups in terms of results of the vestibular tests (VEMP, VHIT, Caloric), nor the quality of life (DHI). A decrease of the postoperative vertigos was found (p=0.012). Concerning the postoperative audiometry, there was no difference for the pure-tone audiometry and speech perception.</p> <p>Conclusion : By the standardized insertion allowed by the RobOtoI©, this study reported a decrease of the postoperative vertigos, despite the absence of significant difference between the two groups in terms of conservation of the vestibular function. These results, if they were confirmed by a prospective study, could allow better postoperative recovery for the implanted patients.</p>
Évaluateurs suggérés:	

**Étude rétrospective de la préservation de la fonction vestibulaire  
après implantation cochléaire robotisée**

Arthur Derieppe<sup>1</sup>, Adrien Gendre<sup>1</sup>, Kinnie Bourget<sup>1</sup>, Philippe Bordure<sup>1</sup>,  
Guillaume Michel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Service d'ORL et chirurgie cervico-faciale, CHU de Nantes, Nantes, France.

*Auteur correspondant :*

Guillaume MICHEL

1 place A. Ricordeau, BP 1005, 44093 Nantes Cedex 01

Mail : [guillaume.michel@chu-nantes.fr](mailto:guillaume.michel@chu-nantes.fr)

Tel : 02 40 08 34 75

## Résumé

1  
2  
3 Contexte : Lors de la chirurgie d'implantation cochléaire, la conservation  
4  
5 d'une audition résiduelle permet d'optimiser les résultats post-opératoires de  
6  
7 l'implant. Une des étapes clé concerne l'insertion du porte-électrodes dans la  
8  
9 rampe tympanique. Une procédure robotisée (RobOtol©) a récemment été  
10  
11 développée dans cet objectif.  
12

13  
14 Objectif : Estimer la conservation post-opératoire de la fonction vestibulaire  
15  
16 en fonction de l'insertion "manuelle" ou "robotisée" de l'implant, pour évaluer  
17  
18 le bénéfice, sur le vestibule, de la prise en charge robotisée.  
19  
20

21  
22 Matériels et méthode : Les données issues du bilan pré-opératoire et post-  
23  
24 opératoire (PEVM, VHIT, VNG, DHI, Audiométrie) ont été comparées entre  
25  
26 les groupes "insertion manuelle" (n=12) et "insertion robotisée" (n=14), de  
27  
28 façon rétrospective et monocentrique.  
29  
30

31  
32 Résultat : Il n'a pas été démontré de différence significative entre les deux  
33  
34 groupes concernant les explorations fonctionnelles vestibulaires (PEVM,  
35  
36 VHIT, VNG), ni sur la qualité de vie (DHI). Une baisse de l'incidence des  
37  
38 vertiges post-opératoires a été mise en évidence ( $p=0.012$ ). Sur le plan  
39  
40 audiométrique, aucune différence significative n'était mise en évidence  
41  
42 concernant les seuils tonaux moyens, ni les seuils vocaux moyens, bien  
43  
44 qu'une tendance semble se dessiner sur les gains audiométriques tonaux  
45  
46 ( $p=0.053$ ).  
47  
48

49  
50  
51 Conclusion : De par l'insertion standardisée qu'il permet, le RobOtol©,  
52  
53 semble offrir une baisse de l'incidence des vertiges post-opératoires, malgré  
54  
55 l'absence de différence significative mis en évidence dans cette étude  
56  
57 concernant les explorations vestibulaires. Ces observations, si elles étaient  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

confirmées à l'aide d'une étude prospective plus large, permettraient des suites post-opératoires plus simples pour les patients implantés.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

### **MOTS-CLES**

Implant cochléaire, Système vestibulaire, Chirurgie robotisée, Potentiel évoqué vestibulaire myogénique, Vertige

## Abstract

**Background :** During the surgery of cochlear implant, the conservation of the postoperative residual hearing could optimize the post-operative speech perception. A key step is the insertion of the electrode array inside the scala tympani. A robotized procedure (RobOtol©) was developed in this purpose.

**Objectives :** To assess the postoperative conservation of the vestibular function, according to the “manual” or “robotized” insertion.

**Material and methods :** Data, recorded during the vestibular evaluation before and after surgery (VEMP, VHIT, Caloric test, Audiometry), have been compared, between the “manual insertion” (n=12) and “robotized insertion” (n=14) groups. It was a retrospective and monocentric study.

**Results :** There was no difference between the two groups in terms of results of the vestibular tests (VEMP, VHIT, Calorics), nor the quality of life (DHI). A decrease of the postoperative vertigos was found ( $p=0.012$ ). Concerning the postoperative audiometry, there was no difference for the pure-tone audiometry and speech perception.

**Conclusion :** By the standardized insertion allowed by the RobOtol©, this study reported a decrease of the postoperative vertigos, despite the absence of significant difference between the two groups in terms of conservation of the vestibular function. These results, if they were confirmed by a prospective study, could allow better postoperative recovery for the implanted patients.

### KEYWORDS

Cochlear implant, Vestibular system, Robotic surgical procedure, Vestibular evoked myogenic potential, Vertigo

## **INTRODUCTION :**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
Lors de l'implantation cochléaire (IC), une variabilité inter-individuelle des résultats audiométriques post-opératoire est retrouvée (1), s'expliquant à la fois par des facteurs intrinsèques à l'implant (2) (comme la position des électrodes au sein de la rampe tympanique), mais aussi des facteurs extrinsèques (2-4) (la diversité de la population implantée, la durée de perte auditive, la technique chirurgicale utilisée,....). Parmi ces facteurs, la qualité d'insertion du porte-électrodes, en particulier la diminution de son caractère traumatique, permettrait une meilleure conservation de l'audition résiduelle (5). Dans cet objectif, une approche robotisée et standardisée a été développée grâce au RobOtol© (6), en vue de minimiser les conséquences de la variabilité inter et intra-individuelle du chirurgien (courbe d'apprentissage, micro-tremblements).

29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
Sur le versant vestibulaire, il a été démontré que l'implantation cochléaire était significativement associée à une modification péjorative des résultats des explorations fonctionnelles, sans toutefois altérer la qualité de vie (7). Néanmoins, Rajan et al. (8) mettait en évidence que la modification de la vitesse d'insertion du porte-électrodes impactait la survenue de vertiges en période post-opératoire immédiate, durant laquelle Krause et al.(9) rapportait la présence de ces symptômes chez 45% des patients.

45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
D'après ces études, la qualité de l'insertion du porte-électrodes impactait également la fonction vestibulaire. Or, à notre connaissance, il n'existe pas dans la littérature de données comparant la préservation ou non de la fonction vestibulaire selon l'insertion robotisée ou manuelle de l'implant cochléaire.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

L'objectif de cette étude était donc d'étudier la préservation de la fonction vestibulaire chez des patients ayant bénéficié d'une implantation cochléaire, en comparant insertion manuelle et insertion robotisée.

## **MATERIELS & METHODE :**

1 Les patients inclus étaient répartis en deux groupes, "insertion  
2 manuelle" et "insertion robotisée". Concernant le premier groupe, la période  
3 d'inclusion s'étendait de juillet 2020 à mars 2021, et de mars 2021 (date de  
4 l'arrivée du Robotol dans le Centre Hospitalier Universitaire) à novembre  
5 2021 pour le second groupe. Étaient inclus rétrospectivement l'ensemble des  
6 patients pris en charge au bloc opératoire adulte pour une implantation  
7 cochléaire durant cette période de temps. Les critères d'exclusion étaient:  
8 reprises chirurgicales avec dépose et repose de l'implant, troubles  
9 ophtalmologiques sévères à type de cécité et syndrome d'Usher empêchant  
10 la réalisation des épreuves vestibulaires, antécédents médicaux ou  
11 chirurgicaux portant sur le labyrinthe (gentamycine, labyrinthectomie), refus  
12 des patients de participer à l'étude.  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28

29 L'objectif principal était d'évaluer la conservation de la fonction  
30 vestibulaire après implantation cochléaire robotisée comparée à une  
31 insertion manuelle. Le critère de jugement principal, était composite, et se  
32 basait sur :  
33  
34  
35  
36  
37  
38

- 39 • Potentiels Evoqués Vestibulo-Myogénique (PEVM):

40  
41  
42 Comparaison entre les deux groupes, du delta (▲) de présence des ondes  
43 utriculaires et sacculaires, du côté implanté, avant et après chirurgie.  
44  
45  
46  
47

- 48 • Video Head Impulse Test (VHIT):

49  
50  
51 Comparaison entre les deux groupes, du delta (▲) de réponses normales  
52 (gain), de chacun des 3 canaux semi-circulaires de l'oreille implantée, avant  
53 et après chirurgie.  
54  
55  
56  
57

- 58 • Vidéonystagmographie (VNG):

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

Comparaison entre les deux groupes, du delta (▲) de réponses normales (somme de réflectivité à l'eau froide et chaude), du côté implanté, avant et après chirurgie.

- Dizziness Handicap Inventory (DHI):

Comparaison de la moyenne entre les deux groupes, du DHI, réalisé en post-opératoire

Les objectifs secondaires concernaient le résultat audiométrique à 6 mois post-opératoire à la fois sur le seuil tonal moyen et le seuil d'intelligibilité ; le taux d'insertion des électrodes de l'implant, le taux de complications (paralysie faciale, infection du site opératoire, vertige). Ces données étaient extraites des dossiers des patients inclus. Le taux d'insertion des électrodes se basait sur le ConeBeam post-opératoire. Le bilan vestibulaire (PEVM, VHIT, VNG) et le DHI post-opératoire étaient réalisés à un délai minimal de 6 mois après la chirurgie.

Les PEVM cervicaux (PEVMc) étudient la fonction sacculaire, leur normalité est définie par l'apparition d'une onde positive précoce p13 à 10ms et une onde négative n23 à 20ms, une amplitude comprise entre 100 et 220µV, pour une stimulation à 100dB (10). Les PEVM oculaires (PEVMo) étudient quant à eux la fonction utriculaire, les latences normales retenues sont de 10ms pour la première onde négative N1 et 15ms pour la seconde onde positive P1, avec une amplitude inférieure aux PEVMc, pour une stimulation à 100dB (10). Le VHIT permet une étude de la fonction canalaire à haute fréquence. Le gain est calculé par le rapport entre mouvement pupillaire et céphalique, par la formule qui suit  $\text{Gain (\%)} = 100 \times \text{Ro/Rc}$ ; où Ro correspond à la rotation oculaire et Rc à la rotation céphalique, avec un minimum de 5 enregistrements par canal. La valeur minimale du gain était de 0.78 pour les canaux horizontaux et 0.64 pour les verticaux(11). Les

7

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

épreuves caloriques permettent une exploration de la fonction du canal semi circulaire latéral, à basse fréquence. Après avoir enregistré un éventuel nystagmus précalorique, on irriguait l'oreille à l'eau froide (30°C) ou chaude (44°C) pendant 20 secondes. La réflectivité normale retenue était comprise en 6 et 80°/s (12). Enfin, la répercussion des vertiges sur la qualité de vie post-opératoire était évaluée à l'aide du *Dizziness Handicap Inventory* (DHI) (13), rempli par le patient lors du bilan post-opératoire ; dans cette étude rétrospective, il n'avait pas été rempli en pré-opératoire. Il comporte 25 questions à 3 items (« oui », « parfois », « non »), s'intéressant à la gêne ressentie au quotidien dans les activités domestiques, de la vie courante en extérieur, et lors des interactions sociales.

L'implant cochléaire était inséré chirurgicalement au sein de la cochlée selon la technique chirurgicale conventionnelle, par la fenêtre ronde, sans cochléostomie. Le RobOtol© intervenait uniquement lors de l'insertion du porte-électrodes. Ce dernier a obtenu le marquage CE en juillet 2019, a été développé par la firme Collin Medical. Sa mécanique est basée sur un concept de point de rotation fixe, avec 7 degrés de liberté (3 rotations, 3 translations, 1 poussée), avec une résolution extrêmement précise (linéaire : 5µm, angulaire : 0.3°).

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de *pvalue.io*. Les moyennes des données phénotypiques des deux groupes, du DHI, des seuils tonaux et vocaux, ont été comparées à l'aide du test statistique de Mann-Whitney. Les pourcentages de conservation des fonctions vestibulaires ont été analysés à l'aide du test de Fisher.

## **RESULTATS :**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

12 patients ont été inclus dans le groupe "insertion manuelle", avec une moyenne d'âge de 66.2 ans [30 ; 88]. Les implants étaient majoritairement de marque Oticon (n=11), et un de marque Cochlear. Le groupe ayant bénéficié d'une "insertion robotisée" comptait 14 patients, avec une moyenne d'âge de 60.4 ans [17 ; 83]. La majorité des modèles étaient de marque Oticon (n=11). Les autres marques étaient également représentées : Cochlear (n=1), Advanced Bionics (n=1), Medel (n=1). On ne retrouvait pas de différence significative entre les deux groupes, en termes d'âge ( $p=0.52$ ), de sexe, ou de latéralité implantée. Les caractéristiques phénotypiques de ces deux groupes sont résumées dans le **Tableau 1**. Le Flowchart de l'étude est présenté en **Figure 1**.

Concernant les PEVM, 10 patients étaient inclus lors de l'analyse des PEVMc et PEVMo dans le groupe "insertion manuelle" contre 12 patients dans le groupe "insertion robotisée", en raison de données manquantes dans ces dossiers. Dans le groupe "insertion manuelle" on retrouvait une fonction sacculaire normale du côté implanté en pré-opératoire chez la moitié des patients (n=5). En postopératoire, aucun patient ne présentait de fonction sacculaire normale. Dans le groupe "insertion robotisée", on retrouvait une fonction sacculaire normale chez 83% des patients (n=10) en pré-opératoire. En postopératoire, il subsistait une préservation de la fonction sacculaire chez 25% des patients (n=3). On ne retrouvait pas de différence significative entre ces deux groupes ( $p=0.22$ ). Dans le groupe "insertion manuelle", 40% des patients (n=4) présentaient une fonction utriculaire normale avant intervention. En post-opératoire, aucune onde n'était retrouvée chez aucun patient de ce groupe. Dans le groupe "insertion robotisée", une fonction utriculaire était présente chez 42% des patients en pré-opératoire (n=5), et l'on constatait une conservation de la fonction utriculaire chez 8% des

1 patients (n=1) après implantation. Il n'était pas retrouvé de différence  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

patients (n=1) après implantation. Il n'était pas retrouvé de différence  
significative entre les deux groupes ( $p=1$ ).

Concernant les VHIT, 8 patients ont été analysés pour le canal semi-  
circulaire (CSC) supérieur, 9 pour les CSC postérieurs et latéraux dans le  
groupe « insertion manuelle », et 10 patients dans le groupe "insertion  
robotisée". Dans le premier groupe, on observait une fonction normale du  
canal semi-circulaire supérieur chez tous les patients avant intervention  
(n=8), et une conservation complète après implantation. Dans le second  
groupe, on retrouvait en préopératoire une fonction normale chez 80% des  
patients (n=8). En post-opératoire, il était constaté une fonction normale  
chez 100% des patients (n=10), soit une normalisation de la fonction  
canales supérieure chez 2 patients de ce groupe. Aucune différence  
significative n'était retrouvée entre les deux groupes ( $p=1$ ). Concernant les  
CSC latéraux, On retrouvait initialement 89% des patients (n=8) présentant  
une fonction préopératoire normale dans le premier groupe, avec une  
conservation post-opératoire chez tous ces patients (n=8). Dans le groupe  
"insertion robotisée", 100% des patients comptaient une fonction normale du  
canal latéral (n=10) ; il était également retrouvé une conservation post-  
opératoire chez la totalité de ces patients (n=10), sans différence  
significative entre les deux groupes ( $p=1$ ). Enfin, dans le premier groupe,  
89% des patients (n=8) comptaient une fonction canalaire postérieure  
normale, contre 78 % (n=7) après implantation. Dans le second groupe, on  
observait initialement une fonction canalaire postérieure normale chez 60%  
des patients (n=6), et une conservation chez la totalité de ces patients en  
post-opératoire (n=6), sans différence significative entre les deux groupes  
( $p=0.71$ ).

Lors des épreuves caloriques, 90% des patients présentaient une  
fonction canalaire préopératoire normale dans le groupe « insertion

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

manuelle », avec une préservation post-opératoire dans 80% des cas. Dans le groupe "insertion robotisée", on observait une fonction normale chez 80% des patients, et une conservation post-opératoire complète chez tous ces patients. On ne mettait cependant pas en évidence de différence significative entre ces deux groupes ( $p=0.53$ ).

Le DHI a été rempli par 10 patients dans le groupe "insertion manuelle" et 13 patients dans le groupe "insertion robotisée". En post-opératoire, la moyenne des scores du questionnaire était de  $14.4 \pm 18.2$  [0 ; 60] dans le groupe "insertion manuelle", contre  $18.2 \pm 24.1$  [0 ; 74] dans le groupe "insertion robotisée". Le test statistique de Mann-Whitney ne mettait pas en évidence de différence significative ( $p=1$ ).

Sur le plan audiométrique, le groupe « insertion manuelle » présentait une moyenne préopératoire du seuil tonal moyen dans le silence de  $88.6\text{dB} \pm 18.5$  [61.25 ; 120], contre  $35.7\text{dB} \pm 3.67$  [28.75 ; 41,25] à 6 mois en post-opératoire. Dans le groupe « insertion robotisée », on observait une moyenne préopératoire de  $100\text{dB} \pm 10.2$  [82.5 ; 120], puis de  $33.5\text{dB} \pm 3.96$  [27.5 ; 41.25] en post-opératoire. On ne retrouvait pas de différence statistiquement significative, en comparant les seuils tonaux moyens post-opératoires, entre les deux groupes ( $p=0.15$ ). En audiométrie vocale, le groupe "insertion manuelle" présentait une moyenne des seuils d'intelligibilité dans le silence, en préopératoire, à  $102\text{dB} \pm 23.5$  [60 ; 120], contre  $43.7\text{dB} \pm 6.73$  [35 ; 60] à 6 mois post-opératoire. Dans le groupe "insertion robotisée", la moyenne des seuils vocaux en préopératoire était de  $111\text{dB} \pm 17.8$  [70 ; 120], contre  $50.1\text{dB} \pm 23.2$  [27 ; 120] après chirurgie. On ne mettait pas en évidence de différence significative entre les seuils d'intelligibilité post-opératoires des deux groupes ( $p=0.64$ ), comme l'illustre la **Figure 2**.

Les données issues des explorations fonctionnelles vestibulaires et audiométriques sont résumées dans le **Tableau 2**.

Sur le plan des suites opératoires, 42% (n=5) des patients inclus dans le groupe "insertion manuelle" décrivaient l'apparition de vertiges rotatoires post-opératoires, lors du premier mois. Ceux-ci étaient temporaires et spontanément résolutifs. Aucun vertige n'était rapporté dans le groupe "insertion robotisée". On retrouvait une différence suggestive entre ces deux groupes, concernant la survenue de vertiges rotatoires en période post-opératoire ( $p=0.012$ ). Aucune autre complication n'était relevée dans les deux groupes durant la période postopératoire, que ce soit en termes de paralysie faciale périphérique ou d'infection du site opératoire.

## **DISCUSSION :**

1  
2  
3 L'objectif de cette étude était d'étudier la conservation de la fonction  
4 vestibulaire, après implantation cochléaire, en fonction de l'insertion  
5 manuelle ou robotisée du porte-électrodes.  
6  
7

8  
9  
10 La chirurgie robotisée appliquée en ORL a été proposée dès 2007  
11 par Coulson et al. (14). En 2014, N.Guyen et al. mettait en évidence que  
12 l'assistance motorisée permettait une amélioration significative des micro  
13 tremblements lors de l'insertion du porte-électrodes (15). Par ailleurs, il a été  
14 retrouvé que la conservation de l'audition résiduelle après insertion pouvait  
15 constituer un facteur notable de la performance de l'implant (5). En ce sens,  
16 l'objectif de diminuer les traumatismes à l'échelle cochléaire et préserver une  
17 audition résiduelle a motivé le développement du RobOtol®. Son application  
18 lors d'une étude expérimentale en laboratoire, en 2018 par Torres et al. sur  
19 des rochers humains, montrait la supériorité de l'insertion robotisée par le  
20 RobOtol®, comparée à la technique manuelle (6). Ces données objectives,  
21 issues d'expérimentations en laboratoire, ont été retrouvées dans la pratique  
22 chirurgicale in vivo (16,17) mais leur bénéfice, concernant l'optimisation des  
23 résultats audiométriques, et qui représente l'enjeu principal, est encore peu  
24 documenté compte tenu de la nouveauté de cette technologie.  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44

45 A notre connaissance, il n'existait pas dans la littérature de données  
46 s'intéressant spécifiquement à la conservation de la fonction vestibulaire  
47 suivant le mode d'insertion manuel ou robotisé du porte-électrode.  
48 Néanmoins, l'impact de l'implantation cochléaire sur le vestibule est déjà  
49 documenté. Dans la littérature, la méta-analyse de Ibrahim et al. parue en  
50 2017 (7), se basant sur 27 études déjà publiées, retrouvait une altération  
51 significative des épreuves caloriques et PEVM du côté implanté, alors qu'il  
52 n'y avait pas d'atteinte des résultats du VHIT, ni du DHI. Cela va dans le  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

sens d'autres études, qui mettaient également en évidence une dégradation de la fonction otolithique et canalaire latérale à basse fréquence après implantation cochléaire (18–20). Cette atteinte vestibulaire s'expliquerait, sur le plan histologique, par un traumatisme de la lame spirale et de la membrane basilaire, secondaire à une translocation du porte-électrode vers la rampe vestibulaire, et provoquant fibrose vestibulaire, altération de la membrane sacculaire et ossification (21). Notre étude ne retrouvait pas de différence significative selon le mode d'insertion manuel ou robotisé, tant sur les explorations vestibulaires objectives (PEVM, VHIT, VNG) que subjectives (DHI). Concernant les PEVM, on ne constatait aucune préservation dans le groupe "insertion manuelle", alors que plusieurs patients conservaient une fonction utriculaire ou sacculaire après insertion robotisée. Malheureusement, par manque de puissance, notre étude a échoué à dégager un caractère significatif à cette différence.

En période post-opératoire immédiate, l'apparition de vertiges transitoires représente l'une des principales complications de l'implantation cochléaire (22), vraisemblablement due à des modifications pressionnelles au sein du vestibule lors de l'ouverture du tympan secondaire et de l'étape d'insertion. Il n'a pas encore été identifié à l'heure actuelle de facteurs prédictifs associés à l'apparition de ces vertiges post-opératoires (23). Il a été constaté, dans notre étude, que 42% des patients issus du groupe "insertion manuelle" développaient des vertiges post-opératoires, ce qui est cohérent avec les données de la littérature (9,23,24), alors qu'aucun patient ne présentait cette symptomatologie dans le groupe "insertion robotisée". Cette différence, suggestive, entre les deux groupes, plaide pour une amélioration de l'incidence des vertiges post-opératoires par la procédure robotisée, grâce à son caractère régulier et standardisé, s'affranchissant des variabilités inter et intra-individuelles du chirurgien. En

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

effet, il a été démontré que la qualité d'insertion, notamment sa vitesse, impactait directement la survenue de ces vertiges, et par conséquent la fonction vestibulaire (8).

Sur le plan auditif, une première étude, de Torres et Al (25), comparait les résultats audiométriques selon le mode de pose ; elle ne retrouvait pas de différence significative tant sur la vocale que la tonale, lors du contrôle réalisé à 1 an après implantation. Dans notre travail, nos résultats étaient en accord avec ces données.

Par le nombre de sujets inclus, notre étude n'a pas permis de dégager de différence significative au niveau vestibulaire. Elle reste cependant la première étude à comparer la préservation vestibulaire après implantation cochléaire par insertion manuelle ou robotisée. Un autre biais de cette étude rétrospective pourrait concerner l'intervalle entre la date opératoire et celle à laquelle est réalisé le bilan vestibulaire post-opératoire. En effet, cet intervalle varie d'un individu à l'autre, et d'un groupe à l'autre. Une modification des résultats au cours du temps pourrait être attendue. Cependant, Rasmussen et al. (26) ne montrait pas de différence significative dans les résultats obtenus à moyen et long terme.

Cette étude a permis d'évaluer l'apport de la chirurgie robotisée lors de l'implantation cochléaire, en réduisant la survenue de vertiges post-opératoires, qui représentent une complication fréquente. Mais, afin de gagner en puissance et valider d'éventuelles différences sur le plan vestibulaire et audiométrique, il serait indispensable de débiter une vaste étude prospective et multicentrique.

## **CONCLUSION :**

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

Le RobOtol© représente le premier robot dédié à la chirurgie otologique, permettant entre autres de robotiser l'insertion du porte-électrodes au sein de la rampe tympanique. Compte tenu de son caractère innovant, peu d'études ont été réalisées à l'heure actuelle sur son impact en termes audiométrique ou vestibulaire. Cette étude est la première évaluant l'impact de l'insertion robotisée du porte-électrodes sur la fonction vestibulaire en comparant un groupe "insertion manuelle" à un groupe "insertion robotisée".

Il a été mis en évidence une réduction de l'incidence des vertiges post-opératoires avec l'assistance robotique, toutefois sans différence statistiquement significative des résultats des explorations fonctionnelles vestibulaires post-opératoires (PEVM, VHIT, VNG) ni de la qualité de vie (DHI) entre les deux groupes.

Ces observations demandent à être confirmées ou non à l'aide d'une étude prospective de plus grande ampleur, qui permettrait d'apporter des arguments en faveur d'une amélioration de la qualité d'insertion par la procédure robotisée.

*Conflit d'intérêt : aucun.*

## **REFERENCES**

1. Goudey B, Plant K, Kiral I, Jimeno-Yepes A, Swan A, Gambhir M, et al. A MultiCenter Analysis of Factors Associated with Hearing Outcome for 2,735 Adults with Cochlear Implants. *Trends Hear.* janv 2021;25:233121652110375.
2. O'Connell BP, Hunter JB, Wanna GB. The importance of electrode location in cochlear implantation. *Laryngoscope Investig Otolaryngol.* déc 2016;1(6):169-74.
3. Holden LK, Finley CC, Firszt JB, Holden TA, Brenner C, Potts LG, et al. Factors Affecting Open-Set Word Recognition in Adults With Cochlear Implants. *Ear Hear.* mai 2013;34(3):342-60.
4. Wanna GB, Noble JH, Carlson ML, Gifford RH, Dietrich MS, Haynes DS, et al. Impact of electrode design and surgical approach on scalar location and cochlear implant outcomes: Impact of Electrode Type and Approach on CI Outcome. *The Laryngoscope.* nov 2014;124(S6):S1-7.
5. Carlson ML, Driscoll CLW, Gifford RH, Service GJ, Tombers NM, Hughes-Borst BJ, et al. Implications of Minimizing Trauma During Conventional Cochlear Implantation. *Otol Neurotol.* août 2011;32(6):962-8.
6. Torres R, Jia H, Drouillard M, Bensimon JL, Sterkers O, Ferrary E, et al. An Optimized Robot-Based Technique for Cochlear Implantation to Reduce Array Insertion Trauma. *Otolaryngol Neck Surg.* nov 2018;159(5):900-7.
7. Ibrahim I, da Silva SD, Segal B, Zeitouni A. Effect of cochlear implant surgery on vestibular function: meta-analysis study. *J Otolaryngol - Head Neck Surg.* déc 2017;46(1):44.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

8. Rajan GP, Kontorinis G, Kuthubutheen J. The Effects of Insertion Speed on Inner Ear Function during Cochlear Implantation: A Comparison Study. *Audiol Neurotol.* 2013;18(1):17-22.

9. Krause E, Louza JPR, Wechtenbruch J, Hempel JM, Rader T, Gürkov R. Incidence and quality of vertigo symptoms after cochlear implantation. *J Laryngol Otol.* mars 2009;123(3):278-82.

10. Dorbeau C, Bourget K, Renard L, Calais C, Bakhos D. Vestibular evoked myogenic potentials. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* déc 2021;138(6):483-8.

11. Rubin F, Simon F, Verillaud B, Herman P, Kania R, Hautefort C. Comparison of Video Head Impulse Test and Caloric Reflex Test in advanced unilateral definite Menière's disease. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* juin 2018;135(3):167-9.

12. A. Chays, A. Florant, E. Ulmer. *Les vertiges.* Paris, France: Masson, 2009. 186p. In.

13. Jacobson GP, Newman CW. The Development of the Dizziness Handicap Inventory. *Arch Otolaryngol - Head Neck Surg.* 1 avr 1990;116(4):424-7.

14. Coulson CJ, Reid AP, Proops DW, Brett PN. ENT challenges at the small scale. *Int J Med Robot.* juin 2007;3(2):91-6.

15. Nguyen Y, Kazmitcheff G, De Seta D, Miroir M, Ferrary E, Sterkers O. Definition of Metrics to Evaluate Cochlear Array Insertion Forces Performed with Forceps, Insertion Tool, or Motorized Tool in Temporal Bone Specimens. *BioMed Res Int.* 2014;2014:1-9.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

16. Barriat S, Peigneux N, Duran U, Camby S, Lefebvre PP. The Use of a Robot to Insert an Electrode Array of Cochlear Implants in the Cochlea: A Feasibility Study and Preliminary Results. *Audiol Neurotol.* 2021;26(5):361-7.

17. Daoudi H, Lahlou G, Torres R, Sterkers O, Lefeuvre V, Ferrary E, Mosnier I, Nguyen Y. Robot-assisted Cochlear Implant Electrode Array Insertion in Adults: A Comparative Study With Manual Insertion. *Otol Neurotol.* 2021 Apr 1;42(4):e438-e444. doi: 10.1097/MAO.0000000000003002. PMID: 33306661.

18. Katsiari E, Balatsouras DG, Sengas J, Riga M, Korres GS, Xenelis J. Influence of cochlear implantation on the vestibular function. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* févr 2013;270(2):489-95.

19. Hänsel T, Gauger U, Bernhard N, Behzadi N, Romo Ventura ME, Hofmann V, et al. Meta-analysis of subjective complaints of vertigo and vestibular tests after cochlear implantation: Cochlear Implantation and Complaints of Vertigo. *The Laryngoscope.* sept 2018;128(9):2110-23.

20. Robard L, Hitier M, Lebas C, Moreau S. Vestibular function and cochlear implant. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* mars 2015;272(3):523-30.

21. Tien HC. Histopathologic Changes in the Vestibule after Cochlear Implantation. *Otolaryngol Neck Surg.* oct 2002;127(4):260-4.

22. Jeppesen J, Faber CE. Surgical complications following cochlear implantation in adults based on a proposed reporting consensus. *Acta Otolaryngol (Stockh).* oct 2013;133(10):1012-21.

23. Veroul E, Sabban D, Blexmann L, Frachet B, Poncet-Wallet C, Mamelle E. Predictive factors of vertigo following cochlear implantation in adults. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* oct 2021;278(10):3731-41.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

24. Enticott JC, Tari S, Koh SM, Dowell RC, O'Leary SJ. Cochlear Implant and Vestibular Function. 2006;27(6):7.

25. Torres R, Daoudi H, Lahlou G, Sterkers O, Ferrary E, Mosnier I, et al. Restoration of High Frequency Auditory Perception After Robot-Assisted or Manual Cochlear Implantation in Profoundly Deaf Adults Improves Speech Recognition. Front Surg. 10 sept 2021;8:729736.

26. Rasmussen KMB, West N, Tian L, Cayé-Thomasen P. Long-Term Vestibular Outcomes in Cochlear Implant Recipients. Front Neurol. 11 août 2021;12:686681.

## Légendes

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65

**Figure 1** : Flow chart détaillant l'inclusion des patients

**Figure 2** : Représentation de la répartition des moyennes des seuils d'intelligibilité post-opératoires dans chacun des deux groupes.

**Tableau 1** : Caractéristiques phénotypiques des patients implantés. Les données sont exprimées ainsi : Moyenne  $\pm$  Écart-type [Valeur minimale ; Valeur maximale] ; et %(effectif).

**Tableau 2** : Tableau résumant les résultats des explorations fonctionnelles vestibulaires et audiométriques. Les données sont exprimées ainsi : Moyenne  $\pm$  Écart-type [Valeur minimale ; Valeur maximale] ; et %(effectif).

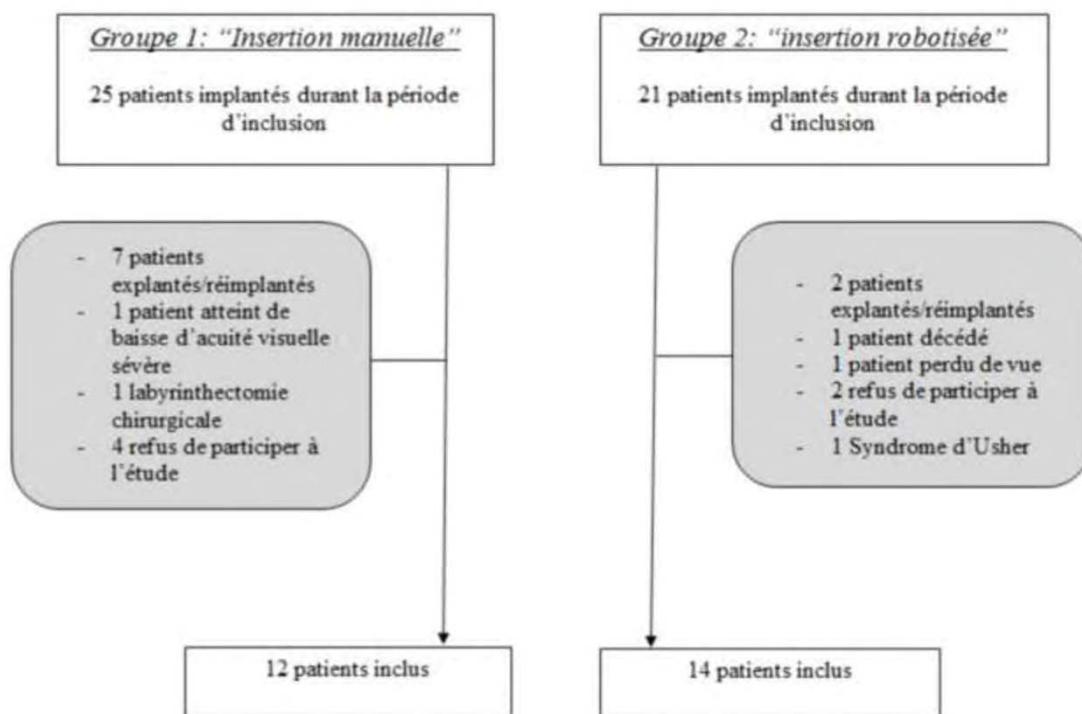


Figure 2

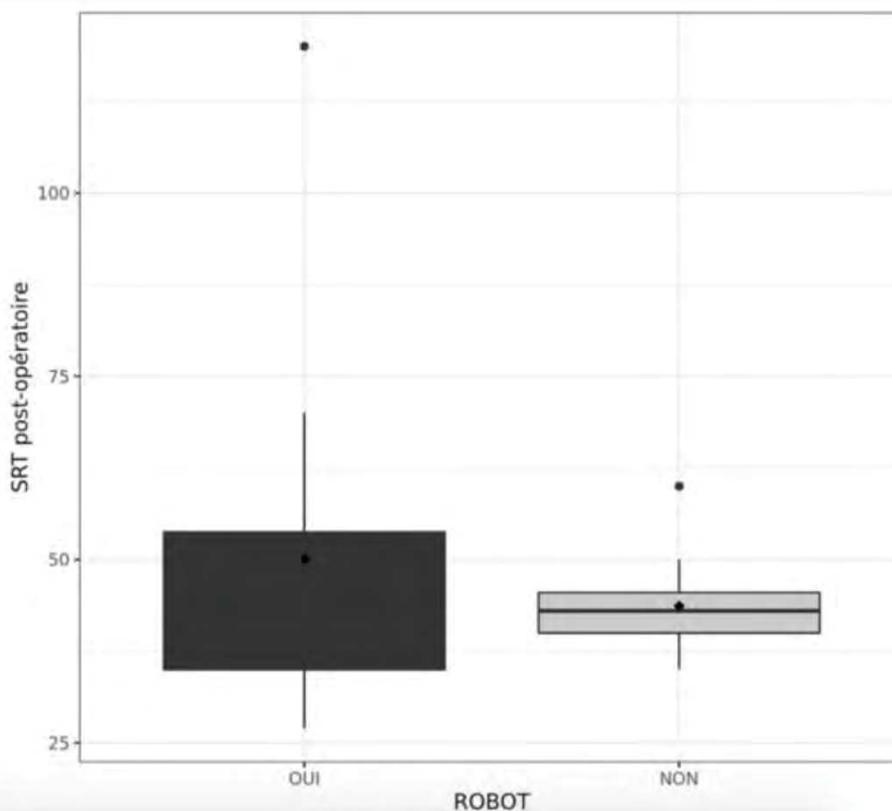


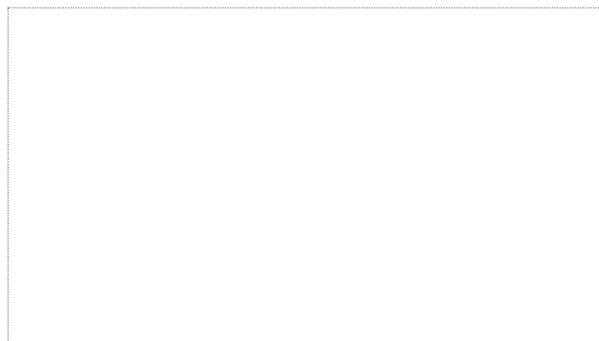
Tableau 1

	<b><u>Groupe « insertion manuelle »</u></b>	<b><u>Groupe « insertion robotisée »</u></b>
Effectif	12	14
Age (années)	66.2 ±18.2[30 ; 88]	60.4 ±23.1[17 ; 83]
Sexe H/F	33% (4)/ 67% (8)	43% (6)/ 57% (8)
Côté implanté D/G	58% (7)/ 42% (5)	43% (6)/ 57% (8)
Marque de l'implant	<u>Oticon</u> : 11 <u>Cochlear</u> : 1	Oticon : 11 Cochlear : 1 Advanced Bionics : 1 <u>Medel</u> : 1

Tableau 2

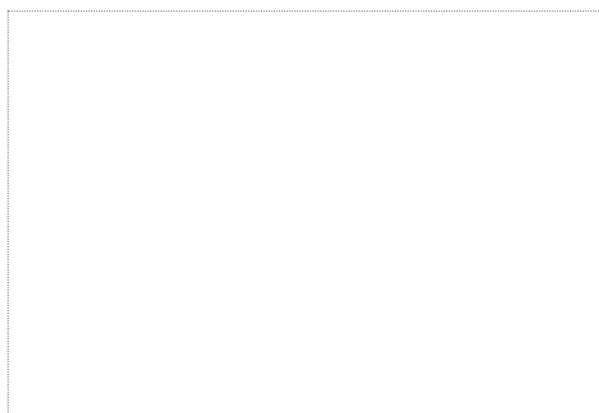
		<b>Groupe « Insertion manuelle »</b>		<b>Groupe « Insertion robotisée »</b>		<b>P value</b>
		<b><u>Pré-opératoire</u></b>	<b><u>Post-opératoire</u></b>	<b><u>Pré-opératoire</u></b>	<b><u>Post-opératoire</u></b>	
<b>PEVM</b>	<b>Sacculaire</b>	50% (5/10)	0% (0/10)	83% (10/12)	25% (3/12)	0.22
	<b>Utriculaire</b>	40% (4/10)	0% (0/10)	42% (5/12)	8% (1/12)	1
<b>VHIT</b>	<b>Supérieur</b>	100% (8/8)	100% (8/8)	80% (8/10)	100% (10/10)	1
	<b>Latéral</b>	89% (8/9)	89% (8/9)	100% (10/10)	100% (10/10)	1
	<b>Postérieur</b>	89% (8/9)	78% (7/9)	60% (6/10)	60% (6/10)	0.71
<b>Calorique</b>		90% (9/10)	80% (8/10)	80% (8/10)	80% (8/10)	0.53
<b>DHI</b>			14.4 ±18.2[0 ; 60]		18.2 ±24.1[0 ; 74]	1
<b>Audiométrie</b>	<b>Seuil tonal moyen</b>	88.6dB ±18.5[61.25; 120]	35.7dB ±3.67[28.75; 41,25]	100dB ±10.2[82.5; 120]	33.5dB ±3.96[27.5; 41.25]	0.15
	<b>Seuil Vocal moyen</b>	102dB ±23.5[60; 120]	43.7dB ±6.73[35; 60]	111dB ±17.8[70; 120]	50.1dB ±23.2[27 ; 120]	0.64

**Vu, le Président du Jury,**



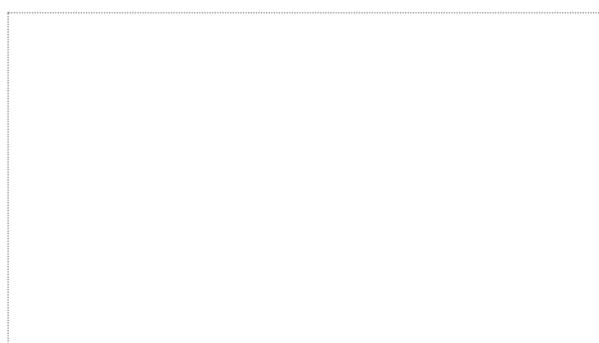
Professeur Philippe BORDURE

**Vu, le Directeur de Thèse,**



Docteur Guillaume MICHEL

**Vu, le Doyen de la Faculté,**



Professeur Pascale JOLLIET

**Titre de Thèse : Etude rétrospective de la préservation de la fonction vestibulaire après implantation cochléaire robotisée**

Contexte : Lors de la chirurgie d'implantation cochléaire, la conservation d'une audition résiduelle permet d'optimiser les résultats post-opératoires de l'implant. Une des étapes clé concerne l'insertion du porte-électrodes dans la rampe tympanique. Une procédure robotisée (RobOtol©) a récemment été développée dans cet objectif.

Objectif : Estimer la conservation post-opératoire de la fonction vestibulaire en fonction de l'insertion "manuelle" ou "robotisée" de l'implant, pour évaluer le bénéfice, sur le vestibule, de la prise en charge robotisée.

Matériel et méthode : Les données issues du bilan pré-opératoire et post-opératoire (PEVM, VHIT, VNG, DHI, Audiométrie) ont été comparées entre les groupes "insertion manuelle" (n=12) et "insertion robotisée" (n=14), de façon rétrospective et monocentrique.

Résultat : Il n'a pas été démontré de différence significative entre les deux groupes concernant les explorations fonctionnelles vestibulaires (PEVM, VHIT, VNG), ni sur la qualité de vie (DHI). Une baisse de l'incidence des vertiges post-opératoires a été mise en évidence ( $p=0.012$ ). Sur le plan audiométrique, aucune différence significative n'était mise en évidence concernant les seuils tonaux moyens, ni les seuils vocaux moyens, bien qu'une tendance semble se dessiner sur les gains audiométriques tonaux ( $p=0.053$ ).

Conclusion : De par l'insertion standardisée qu'il permet, le RobOtol©, semble offrir une baisse de l'incidence des vertiges post-opératoires. Une tendance concernant une meilleure conservation de la fonction otolithique semble se dégager, sans significativité dans cette étude. Ces observations, si elles étaient confirmées à l'aide d'une étude prospective plus large, permettraient des suites post-opératoires plus simples pour les patients implantés.

---

**MOTS-CLES**

Implant cochléaire, Système vestibulaire, Chirurgie robotisée, Otologie, Potentiel évoqué vestibulaire myogénique, Vertige