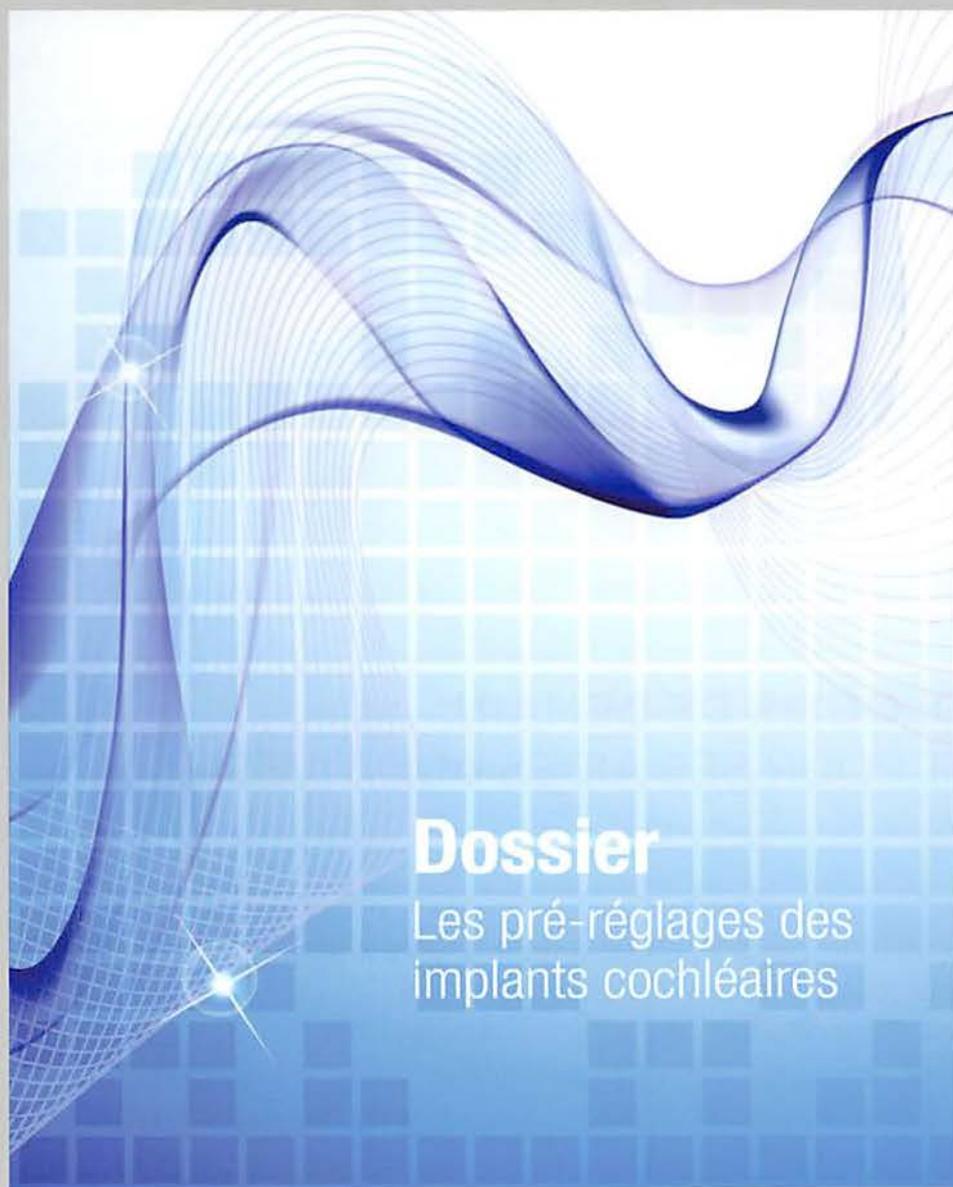


Les Cahiers de l'Audition

LA REVUE
DU COLLEGE
NATIONAL
D'AUDIOPROTHESE

Volume 27 - Novembre/Décembre 2014 - Numéro 6



Dossier

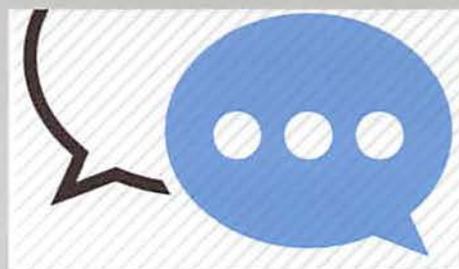
Les pré-réglages des implants cochléaires

ISSN 0980-3483



Veille technique

Les innovations des industriels



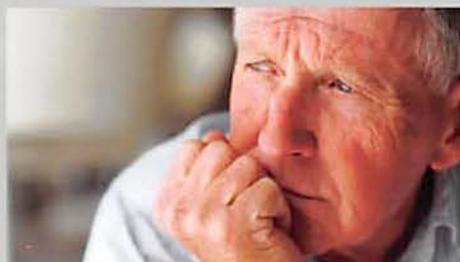
Métier et technique

Evaluation du système CROS chez les patients implantés cochléaires en unilatéral
Nicolas GUEVARA, Claire GRECH, Ivan GAHIDE, Stéphane GALLEGRO



Actualités

Le monde de l'audiologie



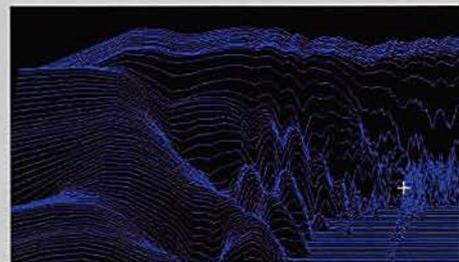
Veille gériatrique

VISION et Vieillessement
Arach MADJLESSI, Elodie LY KY BESSON, Anne-Sophie DE KERGORLAY



Veille acouphènes

Le test ANL est-il prédictif de l'hyperacousie ?
Philippe LURQUIN, T. PAPART



Nouvelles mesures objectives

Vers un état des lieux cochléaires plus précis
Sirley CARVALHO, Fabrice GIRAUDET



Paul AVAN

Le dossier de ce gros numéro nous offre le privilège de la participation d'une des plus grosses équipes multidisciplinaires qui prennent en charge l'implantation cochléaire en France, dirigée par le Professeur Olivier Sterkers et animée par des collègues que nos lecteurs connaissent bien, notamment pour les entendre régulièrement communiquer aux EPU ou au congrès de l'UNSAF. L'exemplarité de leur contribution est de celles que les Cahiers aiment à souligner, de par l'association de praticiens, chirurgiens, chercheurs et enseignants universitaires regroupés dans un pôle d'excellence. Ainsi a lieu le nécessaire brassage, accélérateur de progrès, entre connaissances théoriques, aptitudes à former de jeunes chirurgiens, cheminement de questions physiologiques, diagnostic et interventions, désormais mini-invasives et promises à des progrès encore plus considérables avec l'avènement de techniques de robotisation, et enfin réflexions sur les causes de succès et d'échecs.

Globalement, l'implantation cochléaire a marqué un tel tournant dans la prise en charge des surdités profondes que ses indications se sont multipliées et élargies, et ainsi, largement banalisées. Cependant la démarche continue à justifier une approche non banalisée car la détermination des paramètres de succès pose un ensemble de questions scientifiques ouvertes. L'irruption récente des grosses firmes d'appareils auditifs dans le petit monde de la conception et de la fabrication des implants ouvre des opportunités considérables de progrès, affectant le matériel, ses accessoires mais aussi ses logiciels et son traitement du signal. Or les patients implantés, souvent quasi normalisés dans des conditions d'écoute protégées, restent en difficulté dans le bruit et certaines situations sociales. D'autre part ils sont de plus en plus nombreux alors que le temps qu'un régleur peut leur consacrer n'est pas extensible à l'infini. On ne pourra améliorer les résultats d'implantation que par une approche scientifique d'analyse des paramètres importants des réglages, d'optimisation (si possible personnalisée) qui passent par une réflexion scientifique sur les procédures et les cibles des réglages.

Le présent dossier s'attache à structurer cette réflexion, et c'est avec le concours de réputés collègues d'Anvers emmenés par Paul Govaerts, que l'équipe de la Pitié Salpêtrière nous fait part de son cheminement.

Voici donc une perspective idéale pour bien démarrer l'année 2015, donner l'exemple d'une démarche qui peut se transposer au service de l'appareillage conventionnel, et contribuer à toutes les réflexions quant à l'avenir des métiers de l'audiologie, et à la nécessaire évolution de leurs objectifs et des formations qui doivent permettre de les atteindre.

Paul Avan

> Dossier

Les pré-réglages des implants cochléaires

- 7 Introduction**
Olivier STERKERS, Isabelle MOSNIER
- 9 Etat des lieux des procédures de réglage d'implant cochléaire :
une enquête auprès de 47 centres à travers le monde**
Stéphanie BOREL, Bart VAERENBERG, Dorith AMAR,
Geert de CEULAER, Isabelle MOSNIER, Olivier STERKERS,
Paul GOVAERTS
- 17 Réglage et recherche des cibles des implants cochléaires
assisté par ordinateur.**
Dorith AMAR, Bart VAERENBERG, Stéphanie BOREL,
Geert de CEULAER, Isabelle MOSNIER, Olivier STERKERS
- 24 Méthode et fonctionnement de FOX® pour le réglage
des implants cochléaires**
Dorith AMAR, Bart VAERENBERG, Stéphanie BOREL,
Geert de CEULAER, Isabelle MOSNIER, Olivier STERKERS,
Paul GOVAERTS

INTRODUCTION <



L'activité du service ORL « Otologie, Implant auditif et Chirurgie de la base du crâne » de l'hôpital Beaujon a été transférée en 2013 vers le Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière. Ce transfert d'activité, qui inclut le Centre Référent Implant Cochléaire et du Tronc cérébral (Responsable : Dr Isabelle Mosnier) chez l'Adulte en Ile de France et les Centres Maladies Rares « Surdités génétiques de l'adulte » (Responsables : Dr Didier Bouccara et Pr Olivier Sterkers) et « Neurofibromatose de type 2 » (Responsables : Prs Michel Kalamarides et Olivier Sterkers) a été souhaité par l'ensemble de l'équipe, et a été accompagné du transfert du Pr Michel Kalamarides, afin de rejoindre un pôle d'excellence dont les thématiques rejoignent celles du service, notamment pour la prise en charge des pathologies neuro-sensorielles et le traitement des tumeurs de la base du crâne. Grâce à une préparation minutieuse, à une collaboration étroite avec l'administration, la collectivité médicale du GH Pitié-Salpêtrière et l'UPMC, et à l'accueil chaleureux et constructif de l'équipe médicale et paramédicale du pôle de Chirurgie Neurosensorielle du Bâtiment Babinski, dirigé par le Professeur Philippe Cornu, et en particulier du service d'ORL de Georges Lamas, ce regroupement est une totale réussite.

L'activité du centre référent d'Implantation Cochléaire d'Ile de France ne cesse de croître avec actuellement plus de 200 implantations par an chez l'adulte en collaboration avec le Professeur Bruno Frachet à l'Hôpital Rothschild. En parallèle, la formation des différents intervenants dans la prise en charge des patients implantés cochléaires est assurée par la poursuite du diplôme universitaire de prothèses auditives implantables chez l'adulte créé par le Professeur Bernard Meyer, par l'organisation de nombreux cours de dissection du rocher sous la direction du Docteur Daniele Bernardeschi qui attirent de nombreux ORL venant de l'étranger et par la poursuite des journées de formations médicales continues auxquelles participent toute l'équipe. Ce dynamisme permet le développement de la recherche

clinique qui s'oriente vers plusieurs axes, en particulier la chirurgie mini-invasive permettant une préservation de l'audition en collaboration avec le laboratoire INSERM/UMR-S 1159, sous la responsabilité d'Evelyne Ferrary et de Yann Nguyen qui ne ménagent pas leurs efforts (« Réhabilitation chirurgicale mini-invasive robotisée de l'audition »), le lien entre réhabilitation auditive et fonctions cognitives en particulier chez les sujets âgés, l'analyse des émotions non verbales chez les implantés cochléaires (Thèse de Doctorat d'Emmanuèle Ambert-Dahan) l'analyse phonétique des perceptions audiovisuelles (Thèse de Doctorat de Stéphanie Borel).

Pour la majorité des patients, l'implantation cochléaire restaure véritablement une communication efficace leur permettant, pour les plus jeunes, de poursuivre leur activité professionnelle, et pour les plus âgés de restaurer une vie sociale afin de conserver leur autonomie et le maintien des fonctions cognitives. Certains patients présentent cependant des performances inférieures à la moyenne, et une des autres thématiques de recherche du centre est d'analyser ces résultats afin d'améliorer ces performances. Cette amélioration peut se faire par le renouvellement du processeur permettant l'accès aux technologies les plus performantes, par la complémentarité avec l'audioprothèse contralatérale, par l'implantation bilatérale si les restes auditifs ne permettent pas d'envisager une réhabilitation auditive bimodale, mais également par une autre approche des réglages avec notamment des réglages standardisés mis au point par le Professeur Govaerts et son équipe à Anvers (Belgique). Ce numéro du cahier de l'audition nous donne l'occasion de présenter les résultats de ces travaux novateurs, qui pourraient également vraisemblablement s'appliquer au réglage des audio-prothèses. Ces publications illustrent par ailleurs l'importance des collaborations nationales et internationales en recherche clinique, permettant le partage du savoir et la réalisation de travaux de haut niveau scientifique.

**Olivier
STERKERS,
Isabelle
MOSNIER**

Unité Otologie, Implants
auditifs et chirurgie de
la base du crâne,
GH Pitié Salpêtrière,
75013 Paris.
Centre Référent Ile-
de-France d'Implants
cochléaires
Centre Associés
Maladies Rares
Unité INSERM/
UMR-S1159/UPMC
« Réhabilitation
chirurgicale mini-
invasive et robotisée de
l'audition »

Dossier Etat des lieux des procédures de réglage d'implant cochléaire : une enquête auprès de 47 centres à travers le monde



1

Introduction

Les implants cochléaires multicanaux sont utilisés depuis plus de 25 ans. Bien que des facteurs audiolinguistiques et cognitifs entrent en jeu dans le résultat global de l'implant cochléaire, le réglage du processeur est un élément important pour l'obtention de bons résultats et du confort auditif du patient. Le réglage, qui repose sur l'ajustement de nombreux paramètres, doit être fait de manière appropriée et personnalisée pour chaque personne implantée. Il n'existe pas à l'heure actuelle de normes ou d'objectifs concernant les paramètres à ajuster ou les résultats attendus. La plupart des équipes ont un avis d'expert sur le bénéfice auditif attendu pour chaque personne implantée et les réglages peuvent être ajustés tant que cet objectif n'est pas atteint. Mais tous les centres ont-ils les mêmes objectifs en termes de performances auditives ?

A ce jour, il n'existe pas de recommandations de bonnes pratiques cliniques de réglage de l'implant cochléaire, ni d'études comparant scientifiquement différentes approches de réglage ou la modification de tel ou tel paramètre. Ces 25 dernières années, les cliniciens régleurs travaillant auprès des implantés cochléaires ont acquis de nombreuses compétences techniques et cliniques et ont formalisé leurs propres procédures de suivi. Un état des lieux de toutes ces connaissances et pratiques accumulées au fil des années servirait ainsi de point de départ vers une définition progressive des bonnes pratiques cliniques de réglage.

Une enquête menée par le Eargroup auprès de 47 centres d'implantologie à travers le monde s'est donnée pour objectif de faire l'inventaire des pratiques actuelles de réglage d'implant cochléaire. A l'automne 2012 a eu lieu à Anvers, à l'invitation du Eargroup dirigé par le Pr. Paul Govaerts, une conférence-débat réunissant de nombreux centres d'implantologie. En amont de cette réunion, des questionnaires ont été adressés aux différentes équipes. En aval, des entretiens téléphoniques complémentaires ont permis d'approfondir certains points. Chaque centre a transmis au Eargroup les cartes de réglage (MAP) de cinq patients consécutifs ayant été vus la semaine précédant l'entretien téléphonique. Ceci a permis d'évaluer, entre autres, si les régleurs modifiaient beaucoup les paramètres par défaut des systèmes d'implant.

L'ensemble de ces données a été colligé et analysé par Bart Vaerenberg dans le cadre de sa Thèse de Doctorat (Vaerenberg, 2014c) dirigée par le Professeur Paul Govaerts au Eargroup d'Anvers et a donné lieu à la publication « Cochlear Implant Programming : A Global Survey on the State of The Art » (Vaerenberg et al., 2014a) dont le présent article est une traduction-adaptation.

2

Méthode

Le questionnaire

- Combien d'implantés cochléaires suivez-vous dans votre centre et quelle est l'augmentation annuelle de la file active ?
- Quelles marques d'implant posez-vous ?
- Quels sont les paramètres de réglage que vous modifiez à l'activation et pendant le suivi ?
- Quelles évaluations subjective, objective et psycho-acoustique utilisez-vous pour guider le réglage ?
- Quels sont les objectifs que vous vous fixez pour ces différentes évaluations ?

Les centres participants

Quarante-sept centres d'implantologie, dans 17 pays sur les 5 continents (Allemagne, Angleterre, Australie, Belgique, Canada, Espagne, Etats-Unis, France, Inde, Italie, Liban, Maroc, Norvège, Pays-bas, Pologne, Roumanie, Turquie) ont été interrogés par questionnaire papier. Cela représente le suivi de 47600 implantés cochléaires, adultes et enfants, avec une augmentation annuelle de la file active de 4800 patients. Vingt-neuf centres (62%) ont participé à l'enquête complémentaire par entretien téléphonique. Soixante pour cent des centres interrogés sont européens, donc les résultats reflètent certainement davantage les pratiques européennes. Pour la France, le Centre Référent Implant Cochléaire Adulte d'Ile-de-France de la Pitié-Salpêtrière et le Centre de Réglage de Rothschild à Paris, les Centres Hospitalo-Universitaires de Grenoble, Lyon et Montpellier ont participé, soit à l'enquête papier, soit à l'entretien téléphonique. Les MAP de 255 patients pour 34 centres ont été récoltées. Les centres participants ont une expérience moyenne de 21 ans et un nombre médian de patients implantés cochléaires suivis de 625 avec en moyenne 62 nouvelles implantations par an en 2011. Le dispositif Cochlear est le plus représenté (43% des centres), suivi par Med-El (29%), Advanced Bionics (25%), et Neurelec (4%). La majorité des centres (55%) proposent 3 systèmes différents, 10,5% ne proposent qu'un seul système; 10,5% en proposent deux et 24% propose les quatre systèmes disponibles sur le marché. Pour Advanced Bionics, Cochlear et Med-el, il y a des réponses d'au moins 26 centres plus 15 entretiens téléphoniques. Par contre, le système Neurelec est moins représenté. Près de 80% des centres suivent à la fois des populations adultes et pédiatriques, 17% ne suivent que des adultes 4% uniquement des enfants. Les réponses à cette enquête concernent indifféremment les procédures de réglages pour la population pédiatrique et la population adulte.

Stéphanie Borel¹, Bart Vaerenberg², Dorith Amar^{1,3}, Geert de Ceulaer², Isabelle Mosnier^{1,4}, Olivier Sterkers^{1,4}, Paul Govaerts²

1. « Centre Référent Implant Cochléaire Adulte d'Ile-de-France », Otologie, Implants Auditifs, Chirurgie de la base du crâne, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, AP-HP
2. The Eargroup, Herentalsebaan 75, 2100, Anvers, Belgique (Laboratory of Biomedical Physics, University of Antwerp, Belgium)
3. Laboratoire ENTENDRE, 1 rue Pierre Brossolette 92600 Asnières sur seine, France
4. Inserm UMR-S 1159 « Réhabilitation chirurgicale mini-invasive et robotisée de l'audition », F-75005, Paris, France

L'activation

Combien de temps après l'implantation, le processeur est-il activé ?

En moyenne, chez l'enfant et l'adulte, l'activation du processeur a lieu 4 semaines après l'intervention. Certains centres (Perth, Melbourne, et Chapel Hill) proposent l'activation 2 semaines après l'implantation tandis qu'un centre (Cambridge) ne connecte le processeur qu'après 6 semaines. C'est pour des raisons de cicatrisation que le processeur n'est pas activé tout de suite après l'implantation. Cependant, priver la personne implantée d'audition pendant une trop longue période ne semble pas souhaitable. De plus, on observe une augmentation naturelle et progressive des impédances après la chirurgie qui s'inverse avec le début de la stimulation électrique (De Ceulaer et al., 2003 ; Henkin et al., 2006). Ces deux éléments apparaissent comme des facteurs en faveur d'une activation des électrodes relativement précoce. Certains centres activent couramment le processeur deux semaines après la chirurgie, sans mentionner de difficultés particulières. Ceci semble suggérer que le délai de deux semaines se situe dans une fenêtre de temps acceptable sans pour autant poser de problème de sécurité.

Quelle est la procédure d'activation ?

Trois des centres interrogés (Bruxelles, Fribourg, Hannovre) proposent systématiquement une audiométrie tonale au casque du côté implanté, le jour ou la semaine de l'activation, afin d'évaluer si l'audition résiduelle du côté de l'oreille implantée a été préservée. Tous les centres (100%) commencent la séance d'activation par une mesure d'impédances. Si une électrode est en haute-impédance (circuit ouvert) ou en court-circuit, 60% des cliniciens régleurs la désactivent immédiatement.

La mesure des seuils le jour de l'activation

Pour la quasi-totalité des centres, l'activation consiste entre une mesure des seuils de perception et de confort du patient, sans modification d'autres paramètres de la MAP. Le jour de l'activation, 31% des centres ne mesurent que les seuils de perception puis augmentent globalement la dynamique électrique afin de déterminer les seuils de confort. Avant l'ouverture du microphone, 67% proposent alors un balayage des seuils de confort. A l'inverse, 24% des centres ne mesurent que les seuils de confort. Ceci concerne les systèmes Med-el et Advanced Bionics pour lesquels il est possible de placer les seuils de perception à 0 (Med-el) ou à 10% (A.B./Med-el) des seuils de confort. Enfin, 45% des centres mesurent à la fois les seuils de perception et les seuils de confort. La détermination des seuils de perception se fait le plus souvent par la méthode dite « comportementale », qui consiste à demander au patient de juger le son perçu sur une échelle de sensations sonores graduée allant de « à peine perceptible » à « trop fort ». En cas de mesure comportementale des seuils de confort, la moitié des centres diminue globalement les seuils de confort avant de mettre en route le microphone. L'interpolation, qui consiste à faire déduire au logiciel les seuils des électrodes situées entre deux électrodes ayant été mesurées de façon comportementale est fréquemment utilisée pour les seuils de perception afin de limiter le nombre de seuils mesurés et de réduire la durée de la séance. Les mesures électrophysiologiques eCAP (NRT, ART, NRI) sont également

fréquemment utilisées. Lorsque le microphone est activé pour la première fois, presque tous les centres (93%) ajustent globalement les seuils de perception (45%) et/ou de confort (93%) en fonction de la perception « en environnement » de la personne implantée. La plupart des centres (76%) propose au patient plusieurs programmes contenant des réglages progressifs, afin qu'il puisse augmenter de façon autonome, à son domicile, les seuils lors des premiers jours suivant l'activation. Une démarche similaire, consiste à proposer une large amplitude de volume et laisser la main à l'utilisateur de l'implant pour augmenter lui-même le volume au fil des jours (17% des cas).

Certains centres effectuent une rapide évaluation dès la première ouverture du microphone, comme par exemple, des tests de croissance en sonie (Nijmegen), la détection des sons de LING (Perth), ou la reconnaissance de mots en liste fermée ou ouverte (Paris, Chapel Hill).

Combien de temps dure l'activation ?

Il y a de fortes disparités entre les centres (Figure 1) : 71% d'entre eux font l'activation en une seule session, 11% répartissent l'activation en 4 séances ou davantage, souvent sur plusieurs jours consécutifs. Un centre organise l'activation sur plus de 7 séances (Oslo). Le temps cumulé médian passé est de 1 heure. Ceci ne prend en compte que l'acte technique spécifique de réglage et non le temps passé à rassurer et conseiller le patient, expliquer le fonctionnement du processeur, etc. Certains centres passent plus de 3 heures pour l'activation (Coimbra, Londres St-Thomas, Fribourg, Southampton, Kiel et Oslo) ou plus d'une heure d'évaluation (Oslo, Montpellier et Kiel). Le Eargroup d'Anvers ne passe pas plus de 5 minutes au total, car il utilise une procédure d'activation entièrement automatisée à partir de MAP préétablies. Il n'y a pas de différence significative de durée de réglage entre les suivis des enfants et des adultes.

Les régleurs expérimentés modifient-ils les valeurs par défaut des systèmes d'implant ?

La figure 2 et le tableau 1 reprennent les principaux paramètres modifiés par les régleurs expérimentés le jour de l'activation. Au total, on constate que les modifications de paramètres effectuées d'emblée sont plutôt rares. Cependant, 14% des équipes profitent des premières séances pour expérimenter différentes stratégies ou paramètres.

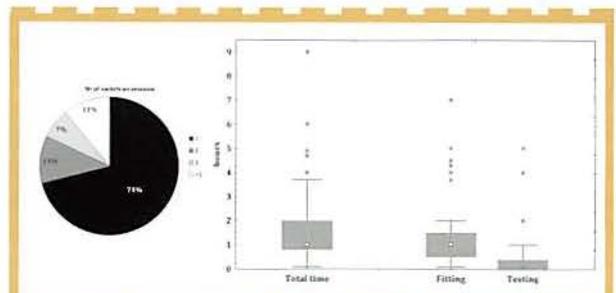


Figure 1 : Nombre de sessions et temps de réglage et d'évaluation pour l'activation



Le planning des sessions de réglage la première année

Après l'activation, tous les centres planifient un certain nombre de sessions consécutives pour augmenter progressivement la charge électrique, atteindre la stabilisation des seuils et modifier, si nécessaire, certains paramètres de réglage. En moyenne, les centres proposent 3 séances d'une heure au premier trimestre, 3 séances d'une heure lors de chacun des 3 trimestres suivants, et une session annuelle par la suite. Lors de ces séances, l'attention est portée à la vérification et l'ajustement des seuils de perception et de confort et/ou à l'optimisation de sensation d'intensité perçue. Pour près de la moitié des centres (46%), les séances de suivi se déroulent sensiblement de la même façon que celle de l'activation. Derrière ce planning moyen, se cachent des différences considérables entre les centres. Même au sein d'un centre, il peut y avoir des différences importantes parmi les cliniciens réglers et parmi les différents patients (par exemple, les enfants comparativement aux adultes). Dans la plupart des centres, l'activation comporte une partie à faire en autonomie au domicile, par le biais de réglages progressifs. D'autres centres ont des pratiques très différentes, avec par exemple, 5 à 7 séances quotidiennes consécutives (Hanovre, Fribourg, et Oslo).

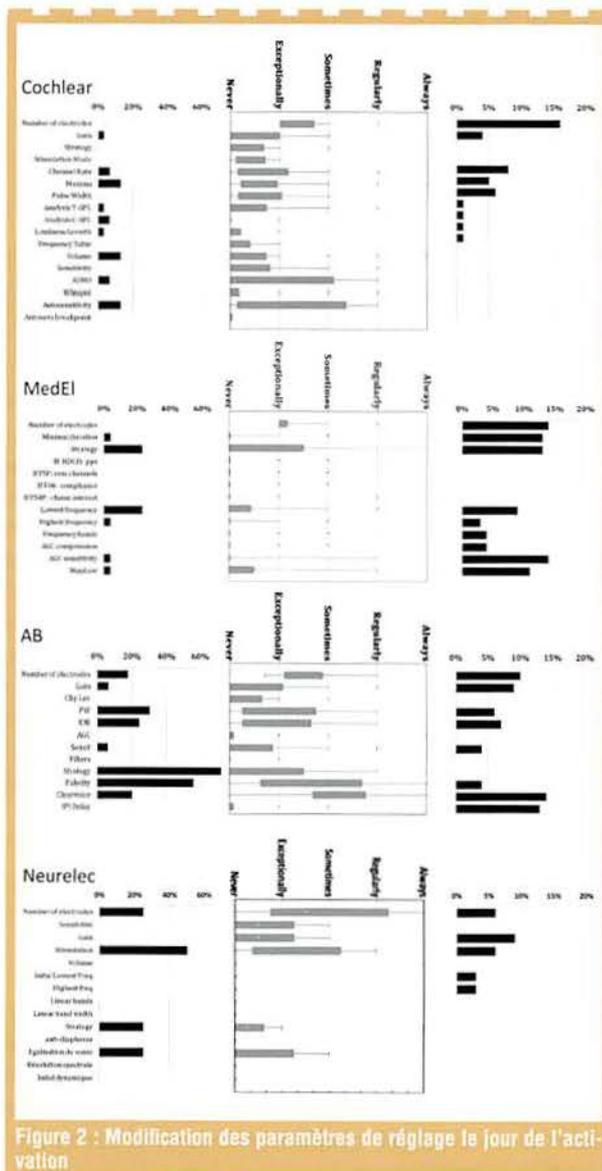


Figure 2 : Modification des paramètres de réglage le jour de l'activation.

COCHLEAR			
Paramètre	Valeur par défaut	Modification	fréquence
Maxima	8	9, 12 ou 14	13% des centres
Fréquence de stimulation	900 Hertz	1200 Hertz	6% des centres
Gains acoustiques	Zéro	Prédéfinis dans les automap	Eargroup
T-SPL	25	20	Eargroup
C-SPL	70	65/75	Eargroup/Nothingam

ME-DEL			
Paramètre	Valeur par défaut	Modification	Fréquence
Stratégie	FS4	Le patient doit choisir entre FSP et HDCIS	1 centre
Stratégie	FS4	FS4 FS4p	1 centre
Stratégie	FS4	FS4 p	1 centre
Stratégie	FS4	FSP	3 centres
Limite fréquentielle inférieure	100 ou 250 Hertz	70 Hertz	23% des centres
Limite fréquentielle supérieure	8500 Hertz	8000 Hertz	1 centre
Sensibilité	75%	85%	1 centre
Maplaw (compression)	500	1000	2 centres
Pulse Width	Automatique	Minimum fixé à 20 microsecondes	1 centre

ADVANCED BIONICS			
Paramètre	Valeur par défaut	Modification	Fréquence
Stratégie	HiRes-P fidelity 120	HiRes-S fidelity 120	48% des centres
Stratégie	HiRes-P fidelity 120	HiRes-S	24%
Stratégie	HiRes-P fidelity 120	HiRes-P	78%
Clearvoice	Activé	Désactivé	20%
Pulse width	10,8	Algorithme d'adaptation automatisé APWII	30%
IDR Input Dynamic Range	60	50, 54, 70, ou 80	24%
Sensibilité	0	-10	Eargroup
Gains	0	Prédéfinis dans les automap	Eargroup

NEURELEC			
Paramètre	Valeur par défaut	Modification	Fréquence
Maxima	12	11	Eargroup
Fréquence de stimulation	600 Hertz	500 Hertz	Eargroup

Tableau 1 : Principaux paramètres modifiés le jour de l'activation. Certains paramètres ne sont pas modifiés de façon isolée mais en combinaison les uns avec les autres (ex: pour Advanced Bionics, le Eargroup élargit l'IDR à 80 dB mais diminue la sensibilité à -10)

Ceci semble sous-tendu par l'expérience que ce programme intensif favorise une stabilité rapide des seuils et/ou par le fait que certains patients habitent loin du centre implanteur. Dans certains cas, cela est compensé par un nombre plus réduit de sessions de suivi la première année, comme à Hanovre et à Oslo, où il n'y a pas plus de 4 séances de suivi dans l'année après l'activation du processeur, mais pas à Fribourg, où 10 autres sessions sont prévues la première année dans le cadre d'un projet qui s'inscrit dans un concept structuré de réhabilitation globale. Dans l'année qui suit l'activation, certains centres ne passent pas plus d'environ 1,5 à 2,5 heures à régler le processeur (Rothschild, Casablanca, Gand, Pune, Mumbai, Hanovre, Berlin, Valence et Lyon) et certains ne proposent que 3 séances (Varsovie), tandis que d'autres centres passent au moins 12 heures (Las Palmas, Leiden, London St-Thomas, et Amsterdam) ou jusqu'à 15 sessions (Bruxelles). Une partie considérable de la prise en charge des patients sourds utilisateurs d'implant cochléaire est le temps de consultation et de conseil/coaching. Ce temps n'a pas été demandé dans la présente enquête et il serait intéressant de l'évaluer lors de futures études.

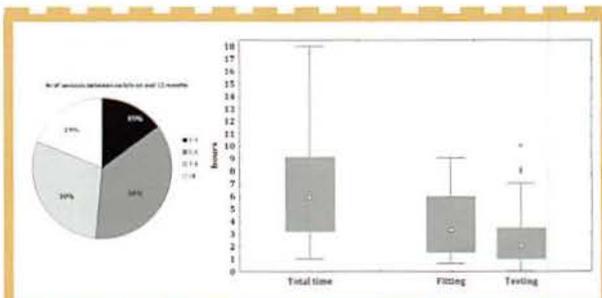


Figure 3 : Nombre de sessions et temps de réglage et d'évaluation lors de la première année

Le suivi à long terme

Après la première année, il y a plus de concordance entre les centres en termes de suivi. Presque tous les centres proposent une session annuelle d'une à deux heures de suivi technique (réglage et essais). Trois centres ont moins d'une session annuelle (Hanovre et Londres-RNTNE tous les deux ans, Nijmegen tous les trois ans, et Mumbai à la demande du patient). Il semble que ces sessions annuelles soient essentiellement prévues pour vérifier le réglage et la stabilité des performances, plutôt que pour effectuer d'importantes modifications du réglage qui est stabilisé une fois les premiers mois passés (Vargas et al., 2012). De ce point de vue, il pourrait sembler justifié d'augmenter l'intervalle d'un an pour la consultation de suivi à long terme. Toutefois, le feedback informel des centres a révélé que ces visites annuelles sont jugées importantes car elles permettent également de faire un bilan technique du processeur, de vérifier l'intégrité du microphone... Interrogé à ce sujet lors de la conférence-débat d'Anvers de novembre 2012, 62% des participants ont estimé que les visites annuelles étaient essentielles pendant les 5 premières années et ce chiffre est tombé à 28% après 5 ans.

L'ajustement des seuils de perception et des seuils de confort lors du suivi

Tous les centres ajustent les seuils de confort et beaucoup d'entre eux (61%) ajustent aussi des seuils de perception. Un ajustement global des seuils est très fréquent (96%), tandis que le changement de rapport entre les hautes et basses fréquences (tilt) se fait

dans moins de la moitié des centres (39%). Tous procèdent à un équilibrage de la sonie par balayage entre les différentes électrodes. Le centre de Grenoble permet à l'ensemble des implantés cochléaire d'équilibrer lui-même la sonie pour chacun des seuils de confort. Certains centres pratiquent également le pitch ranking (17%).

La modification des autres paramètres de réglages

Lors du suivi, parmi les modifications de réglage, la désactivation des électrodes est l'une des actions les plus courantes mais les centres signalent cependant ne la pratiquer qu'assez rarement. Le tableau 2 liste par ordre de fréquence les raisons mentionnées pour la désactivation des électrodes.

Les raisons de désactivation d'électrodes par ordre de fréquence :

- 1- Impédances anormales
- 2- Électrode extra-cochléaire
- 3- Sensations non auditives
- 4- Pas de perception ou perception bruyante
- 5- Seuil de confort exceptionnellement décroché par rapport aux autres
- 6- Électrode ne respectant pas la tonotopie
- 7- Mauvais résultat à l'échelle de sonie, comparaison de sonie
- 8- Pas de réponses aux mesures objectives
- 9- Mauvais résultat à l'audiométrie tonale
- 10- Mauvais résultat à l'audiométrie vocale
- 11- Autre raison

Tableau 2 : Principaux motifs de désactivation d'électrodes par ordre de fréquence

La raison la plus fréquemment rapportée pour la désactivation d'électrode est l'impédance anormale, ce qui ne survient cependant que «parfois». Les électrodes sont également désactivées pour d'autres raisons : extra-cochléaires, si elles provoquent une stimulation non auditive, une perception inconfortable ou si elles sont inaudibles, si le seuil de confort est exceptionnellement élevé ou si les tests tonotopiques comme le pitch ranking ou la discrimination spectrale ne donnent pas les résultats attendus. Ces situations ne surviennent cependant presque jamais. D'autres raisons exceptionnelles de désactivation d'électrode sont des résultats négatifs à un test d'intégrité ou la volonté d'accroître la vitesse de stimulation. Le centre de Leiden au Pays-Bas avait l'habitude de débiter systématiquement avec une ou plusieurs électrodes désactivées (Frijns et al., 2003) mais cette pratique a été récemment abandonnée.

Comment s'assurer que le réglage est optimal ?

Voir figure 4.

Des évaluations basées sur le ressenti du patient

La plupart des centres utilisent des mesures subjectives pour évaluer le réglage : le confort général (93%), le confort auditif (83%) et la présence de sensations non auditives (83%). Aucun des centres interrogés n'a cependant d'objectifs définis et mesurables pour l'une de ces caractéristiques.

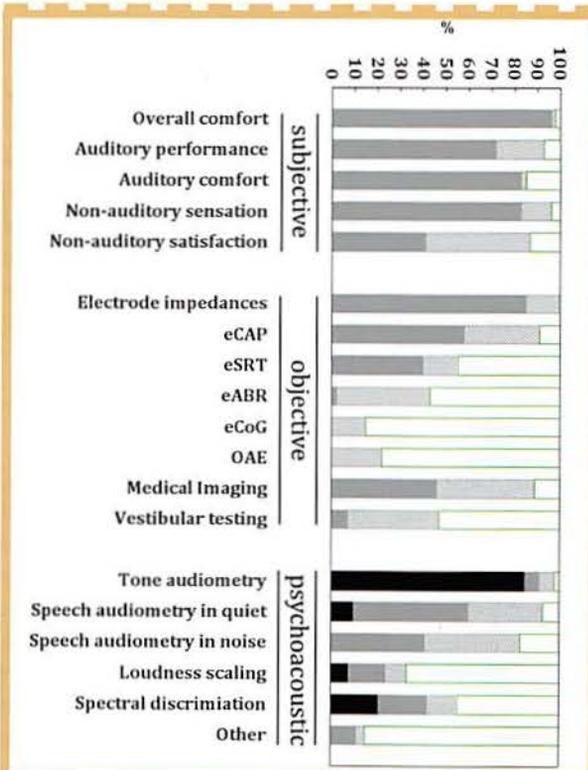


Figure 4 : Fréquence à laquelle les différents tests subjectifs, objectifs et psychoacoustiques sont proposés ; non fait (blanc), fait mais sans utilisation pour modifier le réglage (gris hachuré), fait et utilisé pour modifier le réglage mais sans cible (gris plein), fait et utilisé pour modifier le réglage avec une cible (noir).

Des mesures objectives

La mesure d'impédance des électrodes est faite par 100% des centres et motive (si court-circuit ou circuit ouvert) la désactivation de l'électrode pour 85% des centres lors du suivi. Les seuils basés sur les mesures électrophysiologiques de potentiel d'action composite électrique eCAP (NRT, ART ou NRI) (Cafarelli Dess et al., 2005) ou du test du réflexe stapédien par stimulation électrique eSRT (Spivak et al., 1994) sont pratiqués respectivement par 59% et 39% des centres. Ils sont principalement utilisés pour définir les profils globaux de la MAP. L'imagerie médicale post-opératoire est consultée par 46% des centres dans le but de modifier le réglage, principalement pour désactiver les électrodes extracochléaires.

Des mesures psychoacoustiques

Les mesures psycho-acoustiques sont les seules mesures des résultats pour lesquelles un certain nombre de centres ont défini des objectifs. Cela vaut principalement pour l'audiométrie tonale, pour laquelle 85% des centres ont des objectifs fixés entre 20 et 40 dB HL, avec une médiane 30 dB HL (Figure 5).

Les tests de discrimination spectrale sont utilisés pour guider le réglage dans 41% des centres avec dans 20% des cas, avec des objectifs clairs, soit 100% de réussite pour le test de discrimination de phonèmes AŞE (Govaerts et al., 2006) et 83-100% pour les sons de LING. L'audiométrie vocale dans le calme ou dans le bruit est utilisée pour modifier les paramètres de la MAP respectivement par 61% et 41% des centres, mais seulement 11% des centres ont fixé des objectifs bien définis et uniquement pour l'audiométrie vocale dans le calme. Cependant, les objectifs évoqués sont différents d'un

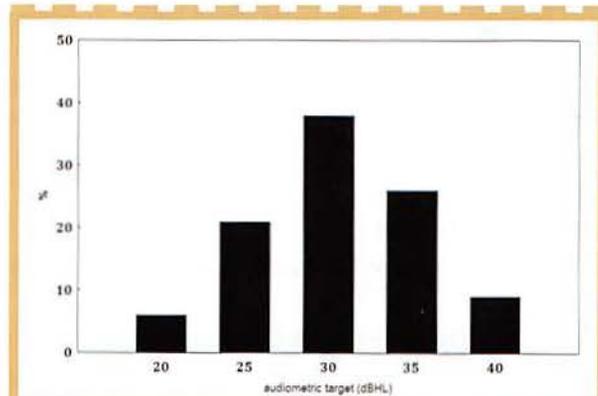


Figure 5 : Cibles pour l'audiométrie tonale en champ libre, implant seul. Près de 40% des centres interrogés ont le seuil de 30 dB HL comme cible.

centre à l'autre. Les tests de croissance en sonie sont utilisés pour modifier le réglage par 24% des centres mais seulement huit centres ont des cibles bien définies, qui sont cette fois les mêmes dans les différents centres, c'est-à-dire, que les résultats se situent dans l'intervalle de confiance des normo-entendants. Les autres tests utilisés sont la lecture indirecte (paragraph tracking), la détection des sons de LING...

4

Discussion

Base commune des pratiques de réglage

L'observation principale que nous pouvons faire est que, malgré la variabilité des pratiques entre les centres, il est tout à fait possible d'extraire une base commune qui serait la suivante :

L'activation

La séance d'activation type comprend une session de conseil/coaching et environ une heure de réglage. Il n'y a pas d'évaluation à ce stade du suivi.

1. L'activation a lieu environ 4 semaines après la chirurgie
2. L'activation débute par une mesure d'impédances avec désactivation d'électrodes en cas de court-circuit ou de circuit-ouvert (haute impédance).
3. Les seuils de confort sont mesurés selon une méthode comportementale, sur un certain nombre d'électrodes le long du faisceau. Les seuils des électrodes restantes sont interpolés à partir des seuils mesurés.
4. Le seuil de perception est défini à 0 ou 10% des seuils de confort (Advanced Bionics/Med-el). Pour Cochlear et Neurelec, plusieurs seuils de perception sont mesurés, les autres sont interpolés.
5. Un équilibrage du volume est effectué par balayage successif de chacune des électrodes.
6. Une diminution des seuils de confort avant d'activer le microphone pour la première fois.
7. Le microphone est laissé activé quelques minutes pour habitude. Certains sons forts sont produits afin de vérifier qu'ils sont tolérés. Le clinicien régleur augmente ou diminue globalement les seuils afin de rendre la sensation d'intensité tolérable et agréable.
8. Le clinicien régleur charge plusieurs MAP progressives (avec des seuils légèrement augmentés à chaque fois) dans le processeur

9. La personne implantée est encouragée à passer au réglage supérieur tous les deux jours.

La séance de suivi type lors de première année comprend trois séances mensuelles suivies de trois séances trimestrielles d'une heure chacune.

Les réglages de suivi

Le déroulé des séances de suivi dans la majorité des centres est le suivant :

1. Une audiométrie tonale et vocale dans le calme
2. Une mesure d'impédances permet de désactiver les électrodes en court-circuit ou circuit ouvert
3. Une vérification des seuils sur chacune des électrodes individuellement en équilibrant la sonie
4. Une modification globale des seuils de perception et de confort
5. Si nécessaire, une bascule globale (tilt) des seuils de confort des graves vers les aigus ou inversement
6. Le clinicien régleur doit alors définir ses propres critères pour identifier les cas particuliers pour lesquels d'autres paramètres de réglages devront être modifiés.

La désactivation d'électrodes

C'est la modification la plus fréquente de la MAP, bien qu'elle reste rare. Cela pourrait faire l'objet d'une réflexion puisque la désactivation de certaines électrodes peut parfois sensiblement améliorer la performance auditive. Lorsqu'il a été demandé aux participants au débat si la désactivation sélective d'une électrode pouvait entraîner une amélioration significative de la compréhension de la parole, 95% d'entre eux ont répondu « oui ». Cependant, il reste difficile d'identifier quelles électrodes désactiver. Trouver une méthode valable pour identifier les électrodes dont la désactivation améliore significativement la performance auditive, serait un sujet très intéressant à explorer dans le futur.

La mesure des seuils de perception et de confort

La pratique des réglages progressifs semble courante dans les suites immédiates de l'activation. De même, la méthode d'interpolation des seuils semble de plus en plus utilisée. En effet, pour la mesure des seuils de perception et de confort l'évaluation comportementale est la pratique la plus courante, mais, alors que, par le passé, les électrodes étaient mesurées une par une, évaluer les niveaux de quelques électrodes et déduire les seuils des électrodes restantes par interpolation semble aujourd'hui une pratique courante. Dans certains cas, cela peut être sur seulement 3 électrodes (Southampton, lasi). La plupart des centres complètent par un équilibrage de la sonie de chaque seuil par une comparaison des seuils sous la forme d'un balayage (62%). Il existe de plus en plus de preuves que cette approche, par interpolation, donne d'aussi bons résultats (Plant et al. 2005) que l'approche plus traditionnelle, électrode par électrode. Cependant, pour le premier réglage, lors de l'activation, l'interpolation des seuils de confort n'est utilisée que dans une minorité de centres (29%) et est alors complétée par une évaluation de l'équilibrage de sonie par balayage des seuils (43%).

L'utilisation des mesures électrophysiologiques

Les potentiels d'actions composites électriques (eCAP), utilisés par de nombreux centres, semblent être davantage utilisés pour indication globale des seuils de perception et de confort que pour obtenir des valeurs de seuils à respecter strictement. Alors que de nombreuses études évoquent une corrélation entre les seuils de réglage obtenus avec les eCAP et ceux obtenus avec une procédure comportementale, il n'y a pas à notre connaissance d'étude mettant en évidence une amélioration de la compréhension de la parole lorsqu'une optimisation est proposée à base d'eCAP.

Les objectifs et l'évaluation du réglage

D'après le Eargroup d'Anvers, dont les pratiques sont différentes, le plus frappant est l'observation que les centres s'appuient essentiellement sur les impressions subjectives de l'adulte implanté pour proposer des modifications des réglages. Ce qui constitue notre pratique quotidienne peut paraître en fait surprenant car de nombreux utilisateurs d'implant cochléaire n'ont pas de point de référence clair pour estimer la qualité subjective du son, soit parce qu'ils n'ont jamais eu une audition normale avant l'implantation, soit parce qu'ils ont expérimenté une privation neurosensorielle durant de nombreuses années et/ou se sont habitués aux caractéristiques sonores d'une aide auditive. De plus, ces impressions subjectives ne sont pas quantitatives et ne peuvent donc guère conduire à des processus d'optimisation systématique. En outre, de nombreux cliniciens expérimentés ont indiqué qu'il arrive que le jugement subjectif du patient ne coïncide pas avec des performances optimales. Les mesures objectives ne sont utilisées que pour obtenir une estimation préalable du profil global des seuils de perception et de confort, mais elles ne servent presque jamais au réglage précis du processeur. On pourrait attendre, après plus de 25 ans d'implantation cochléaire, que le domaine ait développé des objectifs psycho-acoustiques pour orienter le réglage du dispositif, mais la présente enquête montre qu'actuellement ces objectifs n'existent que pour les seuils à l'audiométrie tonale (Figure n°5).

Une des raisons de l'absence d'objectifs pour d'autres évaluations comme l'audiométrie vocale peut être le fait que prédire l'effet d'une modification du réglage sur l'intelligibilité auditive est complexe.

La compréhension de la parole ne dépend guère des seuils mais plutôt du traitement supraliminaire du son. La fonction de base de la cochlée est de discriminer les différentes caractéristiques du son, comme l'intensité ou le contenu spectro-temporel, et il est frappant de voir que moins de 50% des centres rapportent baser leur réglage sur des mesures visant à évaluer ces indices, d'autant plus que seuls 25% d'entre eux ont des objectifs dans ce domaine (Govaerts et al., 2006 ; Vaerenberg et al., 2014b). L'audiométrie vocale dans le calme ou dans le bruit reflète la performance auditive quotidienne, mais dépend à la fois du traitement cochléaire du son et des compétences cognitives. L'audiométrie vocale n'est donc que partiellement représentative de la qualité du fonctionnement cochléaire. Elle est utilisée par environ la moitié des centres, mais plutôt pour contrôler l'amélioration ou la stabilité des performances au cours du temps. Seuls 11% des équipes disent avoir défini des cibles d'audiométrie vocale pour le réglage de l'implant.



Au vu de l'augmentation du nombre de personnes implantées, du vieillissement de la cohorte des patients implantés et de l'élargissement des indications, il devient fondamental de mieux comprendre le rôle de chacun des paramètres en proposant des études ciblées sur l'effet d'une modification de chacun d'entre-eux : IDR, sensibilité, AGC, Maplaw...

5

Bibliographie

D. Cafarelli Dees, N. Dillier, W.K. Lai et al., "Normative findings of electrically evoked compound action potential measurements using the neural response telemetry of the nucleus CI24M cochlear implant system," *Audiology and Neurotology*, vol. 10, no. 2, pp. 105-116, 2005.

G. De Ceulaer, S. Johnson, M. Yperman et al., "Long-term evaluation of the effect of intracochlear steroid deposition on electrode impedance in cochlear implant patients," *Otology and Neurotology*, vol. 24, no. 5, pp. 769-774, 2003.

J. H. M. Frijns, W. M. C. Klop, R. M. Bonnet, and J. J. Briare, "Optimizing the number of electrodes with high-rate stimulation of the clarion CI cochlear implant," *Acta Oto-Laryngologica*, vol. 123, no. 2, pp. 138-142, 2003.

P. J. Govaerts, K. Daemers, M. Yperman, C. De Beukelaer, G. De Saegher, and G. De Ceulaer, "Auditory speech sounds evaluation (ASE): a new test to assess detection, discrimination and identification in hearing impairment," *Cochlear Implants International*, vol. 7, no. 2, pp. 92-106, 2006.

Y. Henkin, R. Kaplan-Neeman, J. Kronenberg, L. Migirov, M. Hildesheimer, and C. Muchnik, "A longitudinal study of electrical stimulation levels and

electrode impedance in children using the Clarion cochlear implant," *Acta Oto-Laryngologica*, vol. 126, no. 6, pp. 581-586, 2006.

K. Plant, M.-A. Law, L. Whitford et al., "Evaluation of streamlined programming procedures for the nucleus cochlear implant with the Contour electrode array," *Ear and Hearing*, vol. 26, no. 6, pp. 651-668, 2005.

L. G. Spivak, P. M. Chute, A. L. Popp, and S. C. Parisier, "Programming the cochlear implant based on electrical acoustic reflex thresholds: patient performance," *Laryngoscope*, vol. 104, no. 10, pp. 1225-1230, 1994.

B. Vaerenberg, G. Smits, G. De Ceulaer, E. Zir, S. Harman, N. Jaspers, Y. Tam, M. Dillon, T. Wesarg, D. Martin-Bonniot, L. Gärtner, S. Cozma, J. Kosaner, S. Prentiss, P. Sasidharan, J.J. Briare, J. Bradley, J. Debruyne, R. Hollow, R. Patadia, L. Mens, K. Veekmans, R. Greisiger, E. Harboun-Cohen, S. Borel, D. Tavora-Vieira, P. Mancini, H. Cullington, A.H. Ng, A. Walkowiak, W.H. Shapiro, P.J. Govaerts, "Cochlear implant programming: a global survey on the state of the art", *ScientificWorldJournal*. 2014a. Téléchargeable : <http://www.eargroup.net>

B. Vaerenberg, P.J. Govaerts, T. Stainsby, P. Nopp, A. Gault, and D. Gnansia, "A uniform graphical representation of intensity coding in current generation cochlear implant systems," *EarHear*. 2014b, march. Téléchargeable : <http://www.eargroup.net>

B. Vaerenberg, "Programming cochlear implants for auditory performance", Thèse de Doctorat. Université d'Anvers. 2014c. Téléchargeable : <http://www.eargroup.net>

J. L. Vargas, M. Sainz, C. Roldan, I. Alvarez, and A. de la Torre, "Long-term evolution of the electrical stimulation levels for cochlear implant patients," *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology*, vol. 5, no. 4, pp. 194-200, 2012.

 **Annuaire Français
d'Audiophonologie**



auditionTV

News | Interviews | Reportages

La 1^{ère} Web TV
dédiée au monde
de l'audition



accéder à
auditionTV

www.annuaire-audition.com 

Dossier Réglage et recherche des cibles des implants cochléaires assisté par ordinateur.



Article adapté en français d'après l'article de Vaerenberg B., De Ceulaer G., Szlávik Z., Mancini P., Buechner A., & Govaerts P.J. (2014(c)). *Setting and reaching targets with computer-assisted cochlear implant fitting. Hindawi publishing corporation the scientific world journal*, 1-8.

Le but de cet article est de présenter une synthèse de l'étude qui a été réalisée par Bart Vaerenberg dans le cadre de sa thèse de Doctorat (Vaerenberg, 2014 (c)) dirigée par le Professeur Paul Govaerts au Eargroup d'Anvers et qui a fait l'objet d'une publication internationale (Vaerenberg et al. 2014 (a)). Cet article a été revu et corrigé par l'équipe du Eargroup d'Anvers. Le but de cette étude était de montrer la possibilité d'atteindre des objectifs prédéfinis sur la base de tests psycho-acoustiques et d'adopter une méthodologie systématique de réglage pour atteindre ces objectifs prédéfinis, de façon multicentrique. Les résultats sont traduits et adaptés dans le présent article.

Résumé

Il s'agit d'une étude multicentrique basée sur des données obtenues dans la clinique Eargroup à Anvers ainsi qu'au sein de 14 autres centres spécialisés dans les implants cochléaires. Les sujets évalués, adultes et enfants, sont au nombre de 255 et sont utilisateurs des IC de la marque Advanced Bionics HiRes90k. Le but de l'étude est de montrer la possibilité d'atteindre des objectifs prédéfinis (cible) sur la base de tests psycho-acoustiques et cela à l'aide du logiciel FOX®. Pour chaque patient, 66 mesures psycho-acoustiques définies à partir du logiciel A5E® ont été enregistrées après l'implantation : audiométrie tonale en champ libre (6 mesures), audiométrie vocale⁴, discrimination de phonèmes²⁰ et croissance en sonie³⁶. Ces résultats ont été réduits à 22 variables et pour chaque variable, une cible précise était définie à l'avance. Les résultats ont été comparés avant et après FOX®. Le logiciel d'aide au réglage FOX® a permis de rapprocher les 22 cibles respectives. L'usage des «Auto-MAPS» a permis d'atteindre plus de la moitié (57%) des cibles. De surcroît, la personnalisation du réglage par FOX® a permis d'obtenir une amélioration significative de 24 % des cibles. Ainsi FOX® constitue un outil efficace pour parvenir à une approche systématique de la programmation des processeurs d'implant cochléaire, permettant une meilleure optimisation de la MAP (carte de réglages) des utilisateurs. Les résultats de cette étude montrent donc que FOX® est un outil fiable et efficace pouvant être utilisé de façon multicentrique.

1

Introduction

L'état de l'art sur la programmation des implants cochléaires (Vaerenberg et al., 2014 (b), voir présent numéro p. 9) a montré qu'il n'y a pas de règles structurées entre les différents centres d'IC. Les praticiens basent leur réglage essentiellement sur le confort du patient et sur leurs expériences. Cette tâche est cependant de plus en plus difficile due à la diversité des paramètres de réglages disponibles. Le Eargroup a donc pensé à systématiser les réglages en déterminant des mesures et des cibles permettant d'adopter des approches et des algorithmes systématiques pour atteindre des objectifs. Ils ont ainsi développé une méthode structurée (Vaerenberg et al., 2014 (a), voir présent numéro p. 22) basée sur des tests psycho-acoustiques (A5E) et sur l'intelligence artificielle (FOX) dans le but d'ajuster les paramètres du processeur. Cette méthode permet de structurer la programmation des IC et de faciliter sa transmission aux futurs praticiens.

Pour chacun des points mesurés par les tests (A5E®) il a été défini des objectifs considérés comme acceptable (voir matériel et méthodes). Ces objectifs sont proches des valeurs obtenues par les normo-entendants.

Le logiciel FOX® analyse les paramètres de la MAP du patient ainsi que ses résultats aux tests psycho-acoustiques. Si les cibles ne sont pas atteintes, alors la performance est considérée comme sous-optimale et FOX® émet des recommandations (modifications des paramètres de la MAP) qu'il juge pertinentes pour optimiser les résultats des tests psycho-acoustiques. L'objectif est d'optimiser la MAP en recommandant des ajustements de paramètres qui mèneront à l'optimisation de la qualité auditive du patient.

Les recommandations sont présentées au praticien, qu'il peut accepter ou refuser. A l'issue de la nouvelle MAP, les tests psycho-acoustiques peuvent être réitérés et soumis à nouveau au logiciel FOX® qui peut alors suggérer d'autres changements de paramètres ou confirmer l'ajustement optimal.

2

Méthode

1. Sujets

Les données de 255 sujets adultes et enfants implantés par un système HiRes90k d'Advanced Bionics (AB) ont été rétrospectivement extraites à partir de Janvier 2008. Les sujets étaient suivis au Eargroup à Anvers ainsi que dans de 14 autres centres spécialisés dans les IC. Lors de la période initiale d'adaptation après l'activation de l'IC, la majorité des sujets (N = 228) ont bénéficié d'un réglage par le système de programmation FOX®.

Dorith Amar^{1,2},
Bart Vaerenberg³,
Stéphanie Borel¹,
Geert de Ceulaer³,
Isabelle Mosnier^{1,4},
Olivier Sterkers^{1,4},
Paul Govaerts^{3,5}

1. Centre Référent Implant Cochléaire Adulte Ile-de-France, Otologie, Implants Auditifs, Chirurgie de la base du crâne, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, AP-HP
2. Laboratoire ENTENDRE, 1 rue Pierre Brossolette 92600 Asnières sur seine, France
3. The Eargroup, Herentalsebaan 75, 2100, Anvers, Belgique
4. Inserm UMR-S 1159 « Réhabilitation chirurgicale mini-invasive et robotisée de l'audition », F-75005, Paris, France
5. Laboratory of Biomedical Physics, University of Antwerp, Belgium

Les sujets ont tous suivi la même procédure. La plupart venait du Eargroup à Anvers, en Belgique (152), 21 sujets de l'Université Sapienza à Rome en Italie, 21 sujets de l'Université MHH d'Hanovre en Allemagne, 17 sujets du Service Yorkshire d'implant cochléaire de Bradford au Royaume-Uni et 10 sujets de l'hôpital universitaire de Nijmegen aux Pays-Bas et 10 centres dont la France, Inde, Italie, Liban, Maroc et Royaume-Uni ont inclus entre un et neuf sujets chacun.

2. Matériel et procédure

L'évaluation s'est déroulée en quatre sessions. Tous les sujets ont été suivis par un spécialiste expérimenté assisté par le logiciel FOX® selon les procédures décrites dans Govaerts et al (2010) et Vaerenberg et al (2011). Pendant environ deux semaines les patients ont porté un processeur de son, comprenant la liste des «Auto-MAPs» progressives. Les seuils initiaux de perception T et de confort M étaient réglés respectivement à environ 20 à 90 UC, le

T-mic a été utilisé et la plage de volume a été réglée à $\pm 5\%$. Le patient a essayé de passer à l'Auto-MAP supérieure tous les 2 ou 3 jours tant qu'il sentait une amélioration. Il s'est arrêté au réglage le plus fort avant l'inconfort. Une fois que ce niveau a été atteint, le réglage fin de la MAP assisté par FOX® a commencé en 3 autres sessions sur 3 mois (Tableau 1).

Les 3 sessions suivantes ont consisté en la réalisation de tests psycho-acoustiques, dans le but de personnaliser le réglage. Les objectifs ont été définis pour l'ensemble des tests psycho-acoustiques (Tableau 2).

L'objectif initial était : la détection et la discrimination du signal acoustique en utilisant respectivement le test:

- **d'audiométrie tonale** (6 mesures), seuils déterminés en champ libre avec haut-parleur placé à 1 m du sujet avec des sons vobulés présentés à 250, 500, 1000, 2000, 4000 et 8000 Hz.

Table 1. Overview of the fitting procedure

Session	Programming	Outcome measure
Switch-on	Auto maps loaded	None
Session 2 (2 weeks)	Electro deactivation (if required)	Impedance Telemetry, Free Field Audiometry
Session 3 (4 weeks)	MAP optimisation as recommended by FOX, but only if targets not reached	Free Field Audiometry, Phoneme Discrimination
Session 4 (10-12 weeks)	MAP optimisation as recommended by FOX, but only if targets not reached	Loudness Scaling, Speech Audiometry

Tableau 1 : Procédure (D'après Vaerenberg et al. 2014 (a)).

Table 2. Overview of outcome variables with value definitions for 'target' and 'close to target'

Audiological test	N	Outcome variable	Target	almost on target	% on target at first	% on target at last	% almost on target at last
Audiometry	255	250 Hz	≤ 35 dBHL	≤ 40 dBHL	56	80	88
	255	500 Hz	≤ 30 dBHL	≤ 40 dBHL	71	84	92
	255	1000 Hz	≤ 30 dBHL	≤ 40 dBHL	69	84	89
	255	2000 Hz	≤ 30 dBHL	≤ 40 dBHL	64	85	90
	255	4000 Hz	≤ 30 dBHL	≤ 40 dBHL	55	81	90
	255	8000 Hz	≤ 30 dBHL	≤ 40 dBHL	55	77	89
Spectral discrimination	102	set of 20 contrasts	$\geq 18/20$	$\geq 17/20$	82	97	99
Loudness scaling *	177	250 Hz (30-40 dB SPL)	1,1 - 2,8	0,8 - 3,1	47	71	76
	178	250 Hz (45-55 dB SPL)	1,9 - 3,6	1,6 - 3,9	62	82	88
	180	250 Hz (60-70 dB SPL)	2,9 - 4,4	2,6 - 4,7	59	82	91
	182	250 Hz (75-85 dB SPL)	4,1 - 5,8	3,7 - 6,1	42	70	90
	180	1000 Hz (30-40 dB SPL)	1,2 - 2,3	0,9 - 2,6	58	76	81
	180	1000 Hz (45-55 dB SPL)	1,9 - 2,9	1,6 - 3,2	49	73	87
	181	1000 Hz (60-70 dB SPL)	2,7 - 3,7	2,4 - 4,0	45	67	83
	182	1000 Hz (75-85 dB SPL)	3,4 - 5,1	3,1 - 5,4	75	88	90
	178	4000 Hz (30-40 dB SPL)	0,6 - 2,1	0,3 - 2,4	71	90	94
	180	4000 Hz (45-55 dB SPL)	1,3 - 2,7	1,0 - 2,4	41	67	80
	137	4000 Hz (60-70 dB SPL)	1,9 - 3,4	1,6 - 3,7	37	56	68
	178	4000 Hz (75-85 dB SPL)	2,6 - 4,2	2,3 - 4,5	46	60	80
Speech audiometry	58	differential scores at 40 vs 55 dB SPL	-15 - 15 %	-20 - 20 %	19	34	40
	92	differential scores at 55 vs 70 dB SPL	-15 - 15 %	-20 - 20 %	65	87	91
	89	differential scores at 70 vs 85 dB SPL	-15 - 15 %	-20 - 20 %	81	94	95

i: number of included records; Outcome variable: see text for more information; Target dimensions: for Audiometry: dBHL, for Spectral discrimination: score on 20; for Loudness scaling: average score on visual-analog scale; for speech audiometry: difference in phoneme score between 2 presentation levels (see text for details). (*) for loudness scaling, the target values correspond to the 95% confidence interval in hearing subjects.

Tableau 2 : Ensemble des résultats des différentes variables avec leurs valeurs cible «absolue» (objectif) et leurs cibles «proches» de performance (D'après Vaerenberg et al. 2014(a)).



- **AŞE® discrimination de phonème** (20 paires), utilisant 20 contrastes sonores [a]-[r], [u]-[l], [u]-[a], [u]-[i], [i]-[a], [o]-[a], [i]-[ε], [m]-[z], [s]-[f], [ε]-[a], [u]-[o], [ə]-[a], [ə]-[o], [ə]-[ε], [ə]-[i], [z]-[s], [v]-[z], [ə]-[u],[u]-[y], [y]-[i] présentée à 70dB_{SPL} à 1m du sujet (Govaerts, 2006). Le sujet doit signaler lorsque le contraste apparaît. Les résultats sont enregistrés ce qui donne 20 résultats regroupés. Une variable représentant le score cumulé sur 20.

Par la suite, l'identification a été optimisée en utilisant le test AŞE® de croissance en sonie et le test d'audiométrie vocale.

- **AŞE® croissance en sonie** (36 mesures), un bruit à bande étroite octave 1/3rd, centrées sur 250, 1000 et 4000 Hz de 1876 ms est présenté deux fois à chaque niveau d'intensité. Le sujet doit décrire l'intensité subjective qu'il associe au stimulus perçu à l'aide de l'échelle visuelle analogique composée de sept niveaux allant de 0 (inaudible) à 6 (trop fort). Les niveaux ont été présentés de façon aléatoire à intervalles de 5 dB entre 30 et 80 dB_{HL}. Cela permet d'obtenir 36 valeurs. Les scores sont regroupés pour quatre niveaux différents (30-35-40 dBHL, 45-50-55 dB_{HL}, 60-65-70 dB_{HL} et 75-80-85 dB_{HL}), ce qui permet d'obtenir 12 variables.

- **d'audiométrie vocale** (4 mesures), listes de mots monosyllabiques CVC présenté à 40, 55, 70 et 85 dB SPL à 1m du sujet. Le résultat est exprimé en pourcentage de phonèmes correctement répétés. La pente entre deux points voisins a ensuite été calculée, ce qui permet d'obtenir trois variables.

66 mesures ont ainsi été obtenues, dont certaines ont été regroupées de telle sorte que le nombre final soit réduit à 22 variables de résultats (Tableau 2). L'audiométrie a été réalisée chez tous les sujets, mais les autres tests n'ont pas été réalisés pour tous en raison de l'âge ou la capacité cognitive.

Si le résultat mesuré était à l'intérieur de l'intervalle cible définie, le praticien (assisté par FOX®) n'a effectué aucune modification. Si le résultat n'était pas à l'intérieur de la cible, FOX® a formulé des recommandations pour modifier la MAP dans une tentative de mettre le résultat le plus proche de la cible.

Dans la plupart des cas, le praticien avait accepté les recommandations de FOX®. Les mêmes tests ont alors été réitérés et soumis à nouveau au logiciel FOX®, qui a alors suggéré d'autres changements de MAP ou confirmé l'ajustement optimal. Les résultats de ces tests ont permis de quantifier l'efficacité de l'IC mais également de déterminer des objectifs en comparant ces résultats à ceux des sujets normo-entendants.

Pour chacune des 22 variables de résultats, une cible « absolue » et une cible « proche » de performance ont été définies comme le montre le Tableau 2. Les objectifs fixés étaient pour le test :

- d'audiométrie tonale de 30 dB, ce qui correspond à la limite inférieure du microphone de l'appareil,
- discrimination de phonèmes fixée à 85%, ce qui correspond à une bonne compréhension de la parole,
- croissance en sonie un intervalle de confiance de 95%, audition des sujets normo-entendants
- d'audiométrie vocale une pente de $\pm 15\%$.

Les auteurs ont calculé deux mesures de réussites :

- le taux de succès cible (THR) pour chaque variable de résultat
- le taux de succès du sujet (SHR) individuel.

Ces mesures ont été réalisées à deux moments, le premier après l'activation (initial), reflète le taux de réussite de cette procédure de démarrage. Le second, quand l'optimisation est considérée comme terminée par FOX®, dernière fois que le résultat a été mesuré (final),

correspond au taux de réussite de cette méthode de réglage.

Le THR a été calculé pour chaque variable comme le pourcentage de sujet ayant atteint la cible. Si l'objectif n'a pas été atteint, l'intervalle entre la mesure initiale et la mesure finale est examiné. Un petit intervalle indique que le processus d'optimisation pourrait ne pas avoir été terminé et que la poursuite de l'optimisation pourrait encore être possible si les sessions de programmation supplémentaires étaient entreprises. Dans ce cas, le THR pourrait être une sous-estimé. Le SHR a été calculé individuellement comme le pourcentage des 22 cibles atteintes par le sujet. De plus pour le THR et le SHR, il a été calculé le pourcentage de sujet ayant atteint les cibles « proches » appelées respectivement tTHR et tSHR.

3. Statistiques

Les tests descriptifs ont été utilisés pour présenter les résultats en histogrammes pour les mesures THR et en boîte à moustaches pour les SHR. Les tests non paramétriques ont été utilisés pour comparer les mesures THR initial et final et les SHR (tests de Wilcoxon appariés). Si, une valeur de p est trouvée inférieure à 0,05 alors la différence est considérée comme significative

3

Résultats

Les **Figures 1-(a) et 2-(a)** représentent le pourcentage de THR et tTHR de l'ensemble des 22 variables de résultat individuel. Après la mise sous tension, le pourcentage de sujets qui ont atteint la cible (THR) pour le test d'audiométrie vocale à 40-55 dB est de 19% et de 82% pour le test de discrimination de phonèmes. Après l'optimisation de FOX®, on observe une amélioration des cibles pour toutes les variables des résultats individuels (21%, $p < 0,001$).

La **Figure 3** représente les résultats SHR. Cette représentation permet d'analyser le pourcentage des 22 cibles atteintes par les sujets. Par exemple, après l'activation, le SHR moyen est de 57% et cela avant que toute optimisation soit faite. Cela signifie que le sujet moyen a déjà atteint 13 cibles sur les 22. L'optimisation de FOX® a donné une amélioration de 24% chez les SHR, passant de 57% à 81% ($p < 0,001$). Une autre amélioration de 8% ($p < 0,001$) a été observé pour les cibles « proches » (tSRH).

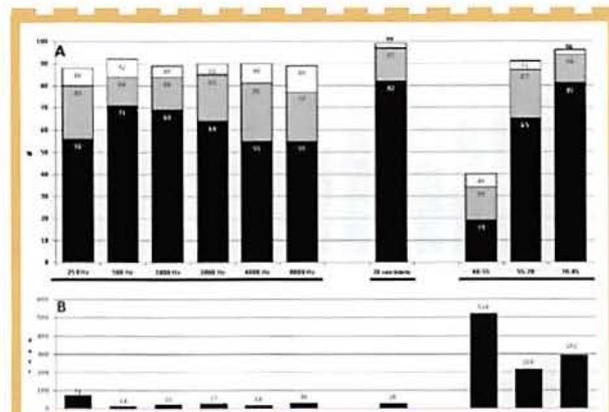


Figure 1 : Figure 1-(A) : Pourcentages de sujets qui ont atteint la cible (THR) au test initial (noir), final (le gris) et au final pour la cible «proche» (tTHR) (blancs) au test d'audiométrie, AŞE® discrimination de phonème et test d'audiométrie vocale. 1-(B) : Intervalle entre la mesure initiale et finale pour les sujets qui n'ont pas atteint d'objectif à la dernière mesure (D'après Vaerenberg et al. 2014 (a)).

Le bon fonctionnement des IC requiert des techniques de réglage complexes. L'optimisation de la procédure de réglage nécessite une programmation adaptée via la modification des différents paramètres, de manière à obtenir la MAP adaptée au profil audiologique du patient qui lui donnera la meilleure intelligibilité de la parole. Mais également grâce à des mesures des performances quantitatives ou objectives permettant d'atteindre des objectifs prédéfinis (Shapiro & Bradham, 2012) ainsi que l'utilisation d'une approche et des algorithmes plus systématiques plutôt qu'une méthode issue de l'expérience (souvent essais et erreurs) (Vaerenberg, B et al., 2014). Ces deux dernières conditions ne sont pas évidentes. En effet, comme l'a révélé la récente enquête internationale (Vaerenberg et al., 2014 (b) voir présent numéro p. N) à l'heure actuelle il n'existe pas de méthode normalisée ou d'objectifs déterminés pour obtenir une MAP efficace. Les praticiens font des ajustements des MAP en fonction de leur connaissance des niveaux attendus et évaluent les performances en fonction de la réaction des patients.

Cette étude a montré que la fixation d'objectifs a permis à différents centres d'appliquer une méthode systématique et de surveiller la qualité des réglages. Il est essentiel de pouvoir surveiller la capacité et de vérifier objectivement la réussite du réglage. L'utilisation d'objectifs précis permet aux praticiens de définir ce qu'on entend par une MAP optimisée et d'assurer une cohérence entre les différents professionnels et centres de réglage.

Le système auditif est un organe complexe, il nécessite donc un système d'évaluation du même ordre. En l'absence d'un accord international sur la fixation d'objectifs, le Eargroup a choisi les cibles psycho-acoustiques (AŞE®), telle que présentées dans cette étude. Ils permettent d'évaluer les fonctions cochléaires plus en détail en décomposant le codage du son en ses différentes composantes telles que l'intensité et le contenu spectral et temporel (Govaerts et al., 2010). Les tests de AŞE® testent les trois niveaux du système auditif:

- la détection (audiométrie tonale),
- la discrimination qui est propre à l'oreille interne (AŞE® discrimination phonème),

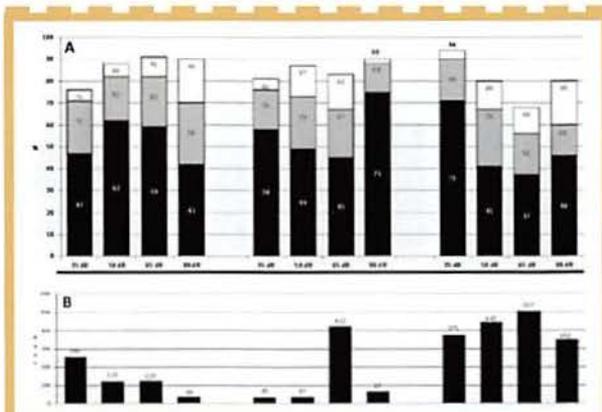


Figure 2-(A) : Pourcentages de sujets qui ont atteint la cible (THR) au test initial (noir), final (te gris) et au final la cible « proche » (TTHR) (blancs) au test AŞE® croissance en sonie à 250, 1000 et 4000 Hz. 2-(B) : Intervalle entre la mesure initiale et finale pour les sujets qui n'ont pas atteint d'objectif à la dernière mesure. (D'après Vaerenberg et al. 2014 (a)).

- l'identification qui fait référence à la capacité cognitive (AŞE® croissance en sonie et audiogramme vocal).

La plupart des tests peuvent être utilisés aussi bien pour les adultes que pour les enfants, car ils ne nécessitent pas une grande capacité cognitive ou un niveau de langue. Ils sont également faciles à mettre en œuvre en multicentrique.

Le choix de ces variables est encore à discuter. Le Eargroup ouvre le débat et demande qu'un consensus soit fait pour optimiser d'avantage la méthode de réglage des IC. Les objectifs et les cibles « proches » choisis ont quand même été bien réfléchis et sont pour :

- L'audiométrie tonale : avoir les seuils audiométriques à 30 dBHL. Cette valeur est déterminée selon la limite de la technologie des IC qui correspond à la combinaison de la sensibilité du microphone, le pré-traitement final, les étapes de filtrages ainsi que le bruit interne des IC (Vaerenberg et al., 2014 (d)).
- Le test de discrimination de phonèmes AŞE® : un score de 85%, ce qui signifie que 17 des 20 contrastes présentés doivent être discriminés par le sujet. Une étude non publiée par le Eargroup a montré qu'une bonne intelligibilité de la parole (score de phonèmes > 60% sur les listes mots monosyllabiques) est obtenue chez les sujets ayant un score d'au moins 85% sur le test de discrimination de phonèmes.
- Le test de croissance en sonie AŞE® : se situer dans l'intervalle de confiance de 95 % des sujets normo-entendants.
- Le test d'audiométrie vocale : avoir des scores aux quatre niveaux présentés (40-55-70-85 dB SPL) aussi proches que possible du meilleur des quatre scores. C'est à dire atteindre des performances équivalentes aux quatre intensités, la pente des trois lignes qui relie les quatre scores doit être aussi proche que possible du zéro (pente de 0 à ± 15). Cet objectif a été choisi car les résultats de l'audiométrie vocale ne dépendent pas seulement d'un bon fonctionnement cochléaire, ce qui explique la grande variabilité des résultats entre les utilisateurs d'IC (Blamey, 2012).

Une fois ces objectifs fixés, le Eargroup a introduit dans le logiciel FOX® une approche systématique permettant de modifier les MAPs en se basant sur les résultats des tests psycho-acoustiques obtenus.

Dès le début de cette étude, l'utilisation du système FOX® a permis d'aider les praticiens à atteindre les cibles fixées. En effet, l'activation des IC avec les «Auto-MAPS» a permis d'atteindre plus de la moitié (57 %) des 22 cibles. Les «Auto-MAPS» sont uniquement basées sur le calcul statistique des seuils de perception T et de confort M

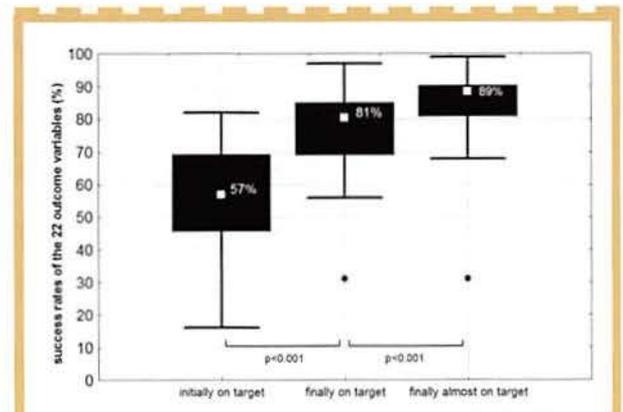


Figure 3 : Distribution des taux de réussites des 22 variables (SHR : taux de succès du sujet individuel) (D'après Vaerenberg et al. 2014 (a)).



et des niveaux des gains acoustiques. Les seuils T et M augmentent progressivement avec les différentes MAPs. Puis la personnalisation du réglage a permis d'obtenir une amélioration significative de 24 % des scores aux différentes cibles, résultats mesurés lors de la dernière session de réglage. De plus, l'écart du taux de succès individuel des cibles (SHR) entre les sujets a diminué passant de 66 % (SHR initial compris entre 16 et 82 %) à 41 % (SHR final compris entre 56 et 97 %) ou même 31 % pour les cibles « proches » (tSHR final compris entre 68 et 99%). Ceci permet de dire que cette approche est fiable tant individuellement qu'en multicentrique.

Par ailleurs, cette méthodologie systématique a permis d'améliorer le taux de succès des cibles (THR) pour chacune des variables. En effet, FOX® a permis d'améliorer le THR pour le test d'audiométrie tonale avec une amélioration d'au moins 13 %, et même 26 % à 4000Hz et 24 % à 250Hz. Bien que cette mesure ne reflète que la capacité technologique de l'IC, il est important de relever qu'en personnalisant les réglages, on optimise les résultats individuels. Les résultats au test de discrimination de phonèmes étaient déjà satisfaisants avant l'optimisation, avec 82% ayant atteint la cible. Ces résultats confortent la précédente étude réalisée par Vaerenberg en 2011 et étaient finalement prévisibles, car l'implant cochléaire reconstitue l'organisation tonotopique. De plus, les contrastes utilisés dans ce test sont simples ce qui peut engendrer un effet plafond. Il est cependant important d'avoir de bons résultats à ce test car il reflète les capacités spectrales de discrimination de la cochlée et est un pré requis pour le bon traitement central et l'identification. Cependant, ces résultats ne sont pas suffisants pour garantir une bonne identification supraliminaire qui se traduit par le fait que pour les tâches d'identification (croissance en sonie et audiométrie vocale), le THR avec les «Auto-MAPs» est beaucoup plus faible, à savoir entre 37 % et 71%.

Les résultats au test d'audiométrie vocale ont montré qu'avec les « Auto-MAPs » non encore optimisées aux intensités 55 et 70 dB, le THR était de 65 % et qu'après l'optimisation de FOX®, le THR s'était amélioré à 87 %. Cependant, le THR pour les intensités 40 et 55 dB est resté faible même après l'optimisation. Ces résultats sont en cohérence avec les études précédentes montrant que l'intelligibilité de la parole à niveaux faible reste difficile (Firszt 2004).

Les objectifs du test de croissance en sonie ont été plus difficiles à atteindre avec les « Auto-MAPs », avec davantage de difficultés pour la fréquence 4000 Hz. Ce phénomène avait été mis en évidence sur un petit échantillon de sujet dans l'étude de Vaerenberg et al (2011). L'hypothèse qui avait été retenue est que tous les sujets avaient utilisé des prothèses auditives avant l'implantation et qu'il fallait plus de temps pour s'adapter à la nouvelle perception qui leur semble déformée. Cependant, les résultats de l'étude de l'application de FOX® sur des sujets implantés depuis plusieurs années (Amar, 2014) a montré les mêmes résultats anormaux. Mais une fois l'optimisation FOX® réalisée, 9 des 12 mesures ont montré un THR entre 70 et 90% ce qui représente une amélioration comprise entre 13% et 28%.

En règle générale, pour observer l'effet de l'optimisation il serait nécessaire d'avoir un délai d'environ un mois pour le test d'audiométrie tonale et de discrimination de phonèmes et un délai de six mois pour le test de croissance en sonie et d'audiométrie vocale. Dans cette étude, pour certaines mesures, l'intervalle suppose que si l'optimisation s'était poursuivie, il y aurait eu de sujets ayant atteint les cibles.

En outre, les variables ont été choisies, avec pour justification qu'elles apportent une meilleure compréhension de la parole dans

le calme et dans le bruit. La mise en évidence de cette affirmation n'est pas l'objectif de cette étude, mais dans trois autres études où la compréhension de la parole dans le calme et dans le bruit a été analysée, entre des sujets réglés par la méthode conventionnelle par rapport à des sujets réglés par le logiciel FOX®.

La première étude a été menée à Hanovre, en Allemagne, auprès de dix utilisateurs d'IC réglés depuis plus d'un an par la méthode subjective comportementale et pour lesquels il a été réalisée une itération du logiciel FOX® (sur la base des 66 mesures expliquées précédemment) (Buechner et al, 2014). Les résultats de cette étude ne sont pas statistiquement significatifs, mais montrent une amélioration sur sept patients et une détérioration sur trois autres de l'audiométrie vocale (mots monosyllabiques) dans le silence. Concernant le test des phrases dans le bruit, il aurait été constaté une amélioration non significative sur six patients et une détérioration pour quatre autres. Un autre test de phrases « Sentence Test with Adaptive Randomized Roving » (STARR) (Boyle et al. 2013, Haumann et al. 2010) a montré une amélioration sur quatre patients et une détérioration sur six autres. Cette observation suggère qu'une seule itération avec FOX® et l'approche axée sur les cibles peut encore améliorer la compréhension de la parole chez plus de 50 % des utilisateurs d'IC, même un an après l'activation.

La seconde étude est multicentrique, menée sur six centres européens pendant 6 mois (Battmer et al. 2014). Dès l'activation, un tirage au sort a placé chaque patient soit dans le groupe bénéficiant de réglages assistés par FOX® (sur la base des 66 mesures expliquées précédemment) ou soit dans le groupe témoin bénéficiant du suivi de réglage en vigueur dans le centre. A six mois les résultats du « groupe FOX® » montrent une amélioration significative plus importante au test d'audiométrie vocale dans le silence ainsi qu'au test des phrases dans le bruit que pour le groupe témoin.

La troisième étude (Amar, 2014) a été réalisée au sein du département « Otologie, implants auditifs, chirurgie de la base du crâne » du Pr. O. Sterkers, à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière, à Paris. L'objectif était d'améliorer les performances et le confort d'écoute de dix-huit adultes implantés depuis au moins un an (Advanced Bionics) par une optimisation du réglage proposée par le logiciel FOX®. Les résultats de l'étude ont montré qu'après deux mois d'utilisation du réglage proposé par FOX® il y a eu une amélioration des scores en phonèmes dans le silence (Lafon) à 40 et 55dB par rapport aux performances initiales pour les sujets péri-linguaux à 40dB (24% vs. 4,5%) et à 55dB (60% vs. 37%), ainsi qu'au test des phrases dans le bruit (MBAA) pour un S/B=+5dB pour les péri-linguaux (28% vs. 15%).

Ces résultats, bien que préliminaires et sur un nombre limité de patients, montrent que l'approche systématique pour atteindre des objectifs est prometteuse.

5 Conclusion

En termes de réglages d'implant cochléaire, il est possible de fixer des objectifs et d'en déduire l'efficacité d'une stratégie de réglage en fonction de ces objectifs. Les tests psycho-acoustiques ont été choisis car ils mesurent la réponse comportementale à une stimulation acoustique, à la fois en termes d'intensité et de fréquence, et visent à étudier uniquement la fonction cochléaire permettant la perception de la parole et le développement du langage.

Cette étude a permis de montrer que FOX® est un outil efficace pour parvenir à une approche systématique de la programmation,

permettant une meilleure optimisation des MAPs. Lorsque les sujets sont activés avec les «Auto-MAPs» ils atteignent déjà plus de la moitié (57 %) des 22 cibles. Une fois le système FOX® utilisé pour la personnalisation du réglage, une amélioration significative de 24 % des cibles a été observée. Ainsi les résultats de cette étude ont montré que le logiciel FOX® est un outil fiable et efficace en multicentrique.

6

Bibliographie

Amar D. Utilisation du logiciel de réglage FOX® auprès d'adultes utilisateurs depuis au moins un an d'implants cochléaires Advanced Bionics. Mémoire d'audiologie, Institut Libre Marie Haps, Belgique, 2014.

Battmer RD, Borel S, Brendell M, Britz A, Büchner A, Cooper H, Fielden C, Gazibegovic D, Goetze R, Govaerts P, Lenarz Th, Mosnier I, Muff J, Nunn T, Vaerenberg B, Vana Z. Assessment of "Fitting to Outcomes Expert" FOX with new cochlear implant users in a multicentric study. *Cochlear Implants Intl* 2014 (ePub).

Blamey P, Artieres F, Baskent D, Bergeron F, Beynon A, Burke E, Dillier N, Dowell R, Fraysse B, Gallégo S, Govaerts P, Green K, Huber AM, Kleine-Punte A, Maat B, Marx M, Mawman D, Mosnier I, O'Connor AF, O'Leary S, Rousset A, Schouwens K, Skarzynski H, Skarzynski PH, Sterkers O, Terranti A, Truy E, Van de Heyning P, Venali F, Vincent C, Lazard DS. Factors Affecting Auditory Performance of Postlinguistically Deaf Adults Using Cochlear Implants: An Update with 2251 Patients. *Audiol Neurotol* 2012; 18(1): 36-47.

Büchner A, Vaerenberg B, Gazibegovic D, Brendel M, De Ceulaer G, Govaerts P, Lenarz T. Evaluation of the "fitting to Outcomes eXpert (FOX®) with established cochlear implant users. *Cochlear Implants Intl* 2014 Jun 20. [Epub ahead of print]

Cope Y, Tolten CL. Fitting and programming the external system. In: McCormick B, Archbols S, eds. *Cochlear implants for young children*. Second Edition. London: Whurr, 2003;217-56.

Firszt JB, Holden LK, Skinner MW, Tobey EA, Peterson A, Gaggl W, Runge-Samuels CL, Wackym PA. Recognition of speech presented at soft to loud levels by adult cochlear implant recipients of three cochlear implant systems. *Ear Hear*. 2004;25(4):375-87.

Govaerts P, Daemers K, Yperman M, De Beukelaer C, De Saegher G, De Ceulaer G. Auditory speech sounds evaluation (ASE): a new test to assess detection, discrimination and identification in hearing impairment. *Cochlear Implants Intl*. 2006; 7(2):92-106.

Govaerts P, Vaerenberg B, De Ceulaer G, Daemers K, Schouwens K. Development of a software tool using deterministic logic for the optimization of cochlear implant processor programming. *Otol Neurotol* 2010;31(6):908-18.

Sainz M, de la Torre A, Roldán C, Ruiz JM, Vargas JL. Analysis of programming maps and its application for balancing multichannel cochlear implants. *Int J Audiol*. 2003;42(1):43-51

Shapiro WH, Bradham TS. Cochlear Implant Programming. *Otolaryngol Clin N Am* 2012; 56: 111-27.

Spahr AJ, Dorman MF, Loiseleur LH. Performance of patients using different cochlear implant systems: effects of input dynamic range. *Ear Hear*. 2007;28(2):260-75.

Vaerenberg B, Govaerts P, De Ceulaer G, Daemers K, Schouwens K. Experiences of the use of FOX, an intelligent agent, for programming cochlear implant sound processors in new users. *Int J Audiol* 2011;50:50-58.

Vaerenberg, B., De Ceulaer, G., Sziávik, Z., Mancini, P., Buechner, A., & Govaerts, P. (2014 (a)). Setting and reaching targets with computer-assisted cochlear implant fitting. Hindawi publishing corporation the scientific world journal, 1-8.

Vaerenberg B, Smits C, De Ceulaer G, Zir E, Harman S, Jaspers N, et al. Cochlear implant programming: a global survey on the state of the art. *EarHear*. 2014 (b), march. Téléchargeable : <http://www.eargroup.net>

Vaerenberg B, Programming cochlear implants for auditory performance, Thèse de Doctorat. Université d'Anvers. 2014 (c). Téléchargeable : <http://www.eargroup.net>

Vaerenberg B, Govaerts P, Stainsby T, Nopp P, Gault A, Gnanasia D. A uniform graphical representation of intensity coding in current generation cochlear implant systems. *Ear Hear* 2014 (d) (ePub 2014).

Wolfe J, Schafer EC. *Programming cochlear implants*. San Diego (CA): Plural Publishing; 2010.



Dossier Méthode et fonctionnement de FOX® pour le réglage des implants cochléaires

Dorith Amar^{1,2},
Bart Vaerenberg³,
Stéphanie Borel¹,
Geert de Ceulaer³,
Isabelle Mosnier^{1,4},
Olivier Sterkers^{1,4},
Paul Govaerts³⁻⁵

1. Centre Référent
Implant Cochléaire
Adulted'Ile-de-France,
Otologie, Implants
Auditifs, Chirurgie de la
base du crâne, Groupe
Hospitalier Pitié-
Salpêtrière, AP-HP
2. Laboratoire
ENTENDRE, 1 rue
Pierre Brossolette
92600 Asnières sur
seine, France
3. The Eargroup,
Herentalsebaan
75, 2100, Anvers,
Belgique
4. Inserm UMR-S 1159
« Réhabilitation
chirurgicale mini-
invasive et robotisée
de l'audition »,
F-75005, Paris,
France
5. Laboratory of
Biomedical
Physics, University
of Antwerp, Belgium

Article adapté en français d'après l'article du Professeur Paul J. Govaerts, Bart Vaerenberg, Geert De Ceulaer, Kristin Daemers, Carina De Beukelaer, et Karen Schauwers, 2010. *Development of a Software Tool Using Deterministic Logic for the Optimization of Cochlear Implant Processor Programming*. *Otology & Neurotology, Inc*, 31, 908-18.

Le but de cet article est de présenter une synthèse de l'étude qui a été réalisée par le Professeur Paul Govaerts et qui a fait l'objet d'une publication internationale (Govaerts et al. 2010). Cet article a été revu et corrigé par l'équipe du Eargroup d'Anvers. Le but de cette étude était de montrer la méthode et le fonctionnement du logiciel d'aide aux réglages FOX®.

1 Introduction

L'implant cochléaire (IC) est une technique chirurgicale, destinée à restaurer l'audition des personnes atteintes de surdité de perception bilatérale, sévère à profonde. Son fonctionnement requiert des techniques de réglage complexes, maîtrisées par un corps médical ou paramédical qualifié. L'objectif est de régler différents paramètres de manière précise, appropriés et personnalisés à chaque patient afin d'obtenir une MAP (carte de réglages) individuelle.

Une récente enquête internationale (Vaerenberg et al., 2014 (b), voir présent numéro p. 9) fait l'inventaire des procédures de réglage de 47 centres d'implantologie à travers le monde. Les conclusions sont que dans la pratique clinique courante, il existe une grande variabilité entre les centres sur le réglage des IC. En effet, il n'y a pas de méthode normalisée ou d'objectif prédéfini pour obtenir une MAP efficace.

En conséquence, le Eargroup, créé à Anvers par le Professeur P.J Govaerts et son équipe, a estimé que l'optimisation des réglages d'IC nécessitait de définir des mesures et des cibles permettant d'adopter des approches et des algorithmes systématiques pour atteindre des objectifs. Le Eargroup a ainsi développé une méthode structurée dans le but d'ajuster les paramètres du processeur. Ils ont créé le système d'évaluation Auditory Speech Sound Evaluation (AŞE®), constitué d'une série de tests psycho-acoustiques indépendants du langage et réalisables en pratique clinique courante. Ces tests permettent d'évaluer les fonctions cochléaires plus en détail en décomposant le codage du son en ses différentes composantes telles que l'intensité et le contenu spectral et temporel (Govaerts et al., 2010). Dans le cadre de l'évaluation structurée de l'implant cochléaire, la série de tests est composée d'une audiométrie tonale, audiométrie vocale, un test de discrimination de phonèmes et un test de croissance en sonie (Govaerts et al, 2006). Le Eargroup a également développé le logiciel de réglage Fitting Outcome eXpert (FOX®), logiciel d'aide à la décision, fondé sur une méthode d'intelligence artificielle (IA). (Ces

logiciels sont disponibles en contactant le Eargroup à l'adresse suivante info@eargroup.net).

L'IA est une science relativement récente, appliquée dans de nombreux domaines théoriques, dont l'un d'eux est la prise de décision rationnelle dans le but de maximiser les résultats dans les systèmes complexes. L'IA, grâce à des capteurs, decode et interprète son environnement et agit sur cet environnement grâce à des actionneurs. Ainsi cette méthode de réglage est fondée sur les tests psycho-acoustiques qui servent de capteurs et de la MAP d'actionneur (Russell et Norvig, 2009; Bermejoet al., 2013).

Cette nouvelle approche du réglage ne demande pas de réponse subjective au patient. Elle permet de surveiller et d'évaluer en permanence les performances du système auditif au niveau psycho-acoustique et de l'IC. Les résultats aux tests sont chargés dans le logiciel FOX® qui va proposer (si nécessaire) de nouvelles modifications des réglages pour atteindre des objectifs. FOX® comprend des règles déterministes (Govaerts et al., 2010) basées sur un ensemble de règles préprogrammées établies à partir de l'expérience des praticiens, de l'analyse de données à la fois historiques et récentes (résultats sur plus de 600 utilisateurs d'IC jugés optimaux) et un ensemble de cibles (valeurs des normo-entendants) à atteindre aux tests psycho-acoustiques. Pour chacun des points mesurés par les tests (AŞE®) il a été défini des objectifs considérés comme acceptable (Vaerenberg et al., 2014 (c), voir présent numéro p. N). Ces objectifs sont proches des valeurs obtenues par les normo-entendants.

Le logiciel FOX® analyse les paramètres de la MAP du patient ainsi que ses résultats aux tests psycho-acoustiques. L'objectif est d'optimiser la MAP en recommandant des ajustements de paramètres qui mèneront à l'optimisation de la qualité auditive du patient. Cette nouvelle approche de réglage a été développée pour le système d'IC Advanced Bionics et les études réalisées à ce jour ainsi que les explications de la méthode ne concernent que les IC de cette firme. Cependant, une version pour l'IC Nucleus de la firme Cochlear est actuellement en phase d'évaluation au Eargroup.

2 Système d'évaluation par tests psycho-acoustiques : Auditory Speech Sound Evaluation (AŞE®)

Le système d'évaluation AŞE® a été développé pour l'évaluation auditive des personnes malentendantes et particulièrement pour les enfants atteints de surdité pré-linguale, avec peu de biais cognitifs possibles. AŞE® est un outil basé sur les sons de la parole comme stimuli. Les sons utilisés sont des phonèmes communs à de nombreuses langues et visent à étudier uniquement la fonction cochléaire.



Les tests de AŞE® reposent sur les trois niveaux du système auditif :

- la détection (audiométrie tonale),
- la discrimination qui est propre à l'oreille interne (discrimination phonème),
- l'identification qui fait référence à la capacité cognitive (croissance en sonie et audiogramme vocal).

Ils permettent de mettre en évidence les distorsions responsables de la baisse d'intelligibilité de la parole. Les distorsions peuvent affecter trois paramètres: l'intensité, la composition fréquentielle et la durée.

1. AŞE® : croissance en sonie

Le test de croissance en sonie est un test d'identification qui vise à évaluer les distorsions en intensité (l'intensité de codage des sons). Il permet l'évaluation de la capacité de perception par la cochlée de la croissance de l'intensité sonore.

Les stimuli sont des bruits blancs filtrés sur 250, 1000 et 4000 Hz (filtre passe bande de 1/3 d'octave, pentes des filtres 40 dB/octave) d'une durée de 1876 ms présentés à des niveaux d'intensité entre 20 et 80 dB. Le patient doit décrire l'intensité subjective qu'il associe au stimulus perçu à l'aide d'une échelle visuelle analogique de sonie composée de sept niveaux (Figure 1). Chaque stimulus est présenté deux fois et de manière aléatoire. Si pour une intensité donnée deux niveaux différents de l'échelle sont choisis par le patient, le logiciel calcule le score médian. Le logiciel permet de tracer une courbe de la sonie en fonction de l'intensité physique du son, reliant les différents points obtenus et cela pour chaque fréquence testée.

Plus la sonie est proche de celle du normo-entendant, meilleure est la compréhension des patients implantés

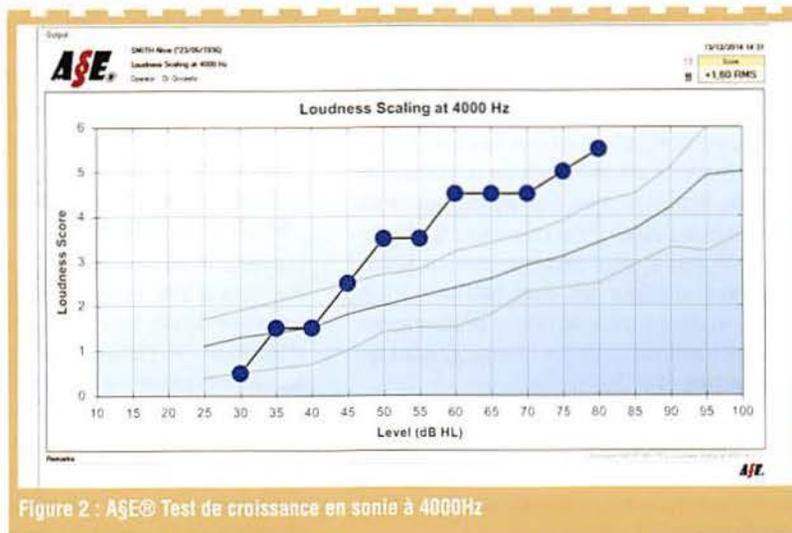
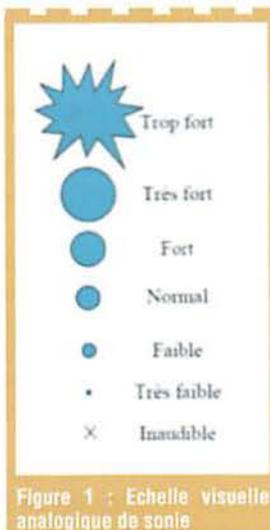
dans le calme et dans le bruit (Fu et Shannon, 1999; Macé, 2011). Ainsi, les résultats fournissent des informations utiles pour la programmation des IC.

2. AŞE®: discrimination de différence de phonèmes

Le test de discrimination AŞE® est utilisé pour évaluer la fonction cochléaire chez les enfants normo-entendants à partir de 10 mois (Daemers et al., 2006) et les adultes ayant une déficience auditive. La discrimination fréquentielle fait partie des processus sensoriels de base. Elle est essentielle à un développement langagier normal. Ainsi le test de discrimination de différence de phonème est un test primordial dans le fonctionnement de FOX®.

En effet, ce test reflète les capacités spectrales de discrimination de la cochlée. C'est à ce niveau que les changements de programmation sont les plus efficaces plutôt qu'à des niveaux plus élevés des voies auditives, qui sont importants pour la discrimination de la parole et le traitement du langage (Govaerts et al., 2006). Le seuil de discrimination fréquentielle représente la plus petite différence spectrale perceptible par un individu entre deux stimuli consécutifs. La capacité de discrimination sensorielle est reliée à la quantité de perception. En effet, elle permet d'apprécier les détails d'une symphonie ou la complexité langagière (Fauquier, 2012).

Ce test permet donc d'évaluer la discrimination fréquentielle entre différentes paires de phonèmes chez l'adulte, l'enfant et le jeune enfant quelle que soit leur langue maternelle. Il permet de mettre en évidence des problèmes spécifiques sur certaines zones fréquentielles et cela grâce aux connaissances des caractéristiques spectrales de chaque phonème. FOX® agit sur les électrodes concernées par ces zones fréquentielles. L'analyse des erreurs phonétiques



est un examen particulièrement intéressant qui peut permettre d'identifier des zones de sous-amplification qui sont souvent corrigibles par une simple augmentation du gain (Govaerts et al., 2011).

Les phonèmes utilisés dans ce test de discrimination de AŞE® sont construits de telle sorte que la seule différence entre eux est leur contenu spectral (la durée et l'intensité sont égales). Parmi les nombreuses combinaisons possibles qui peuvent être construites, un ensemble de base de 20 paires de sons de la parole a été choisi de manière à ce que la plupart des contrastes soient représentés: [a]-[r], [u]-[f], [u]-[a], [u]-[i], [i]-[a], [o]-[a], [i]-[e], [m]-[z], [s]-[f], [e]-[a], [u]-[o], [o]-[a], [o]-[e], [o]-[i], [z]-[s], [v]-[z], [o]-[u], [u]-[y], [y]-[i] (Figure 3). Pour chaque paire de sons de la parole, le premier sert de fond et le second sert comme son de parole impair ou « intrus » (paradigme de type oddball). Les sons sont en général présentés à 70 dBHL.



Figure 2 : AŞE® Test de croissance en sonie à 4000Hz

3 Fitting Outcome eXpert

Le principe de réglage via FOX® s'organise en 2 parties, chacune d'elles ayant pour but d'améliorer l'audition des patients implantés en fixant des objectifs à atteindre, tout en visant à réduire le temps de passation. Cette méthode FOX® prend en compte le fait que l'adaptation du patient au signal électrique est plus ou moins rapide. En effet, il y a une accoutumance aux sons forts qui deviennent de plus en plus acceptables, permettant ainsi d'augmenter les seuils de stimulation (Walravens et al., 2006). Ainsi pour éviter le nombre important de séances de réglage et afin d'ajuster au mieux le signal, FOX® propose aux patients d'utiliser des «Auto-MAPS». Il s'agit de réglages «types» mis au point à partir de l'étude statistique des réglages de l'ensemble des patients suivis par l'Eargroup ayant les meilleurs résultats (Vaerenberg et al., 2011).

Partie 1

Cette partie consiste en l'activation de l'IC ainsi qu'aux explications sur le fonctionnement du processeur externe.

- Session 1 : dans un premier temps, la première MAP, Switch-on, avec laquelle est faite l'activation propose des seuils de stimulation relativement bas, les seuils T et M sont fixés respectivement à 20 et 90 UC. D'autres Auto-Maps sont mises à disposition avec des seuils de plus en plus élevés, nommées Silver, Gold et Ivory. Après l'activation, le patient repart avec deux processeurs de son qu'il garde pendant environ deux semaines : l'un contenant les MAPs Silver 1-2-3 et l'autre contenant les MAPs Gold 1-2-3. Le patient ajuste son processeur tous les deux jours au réglage supérieur et tant qu'il sent une amélioration, il doit continuer à changer de MAP. Il s'arrêtera cependant au réglage le plus fort avant l'inconfort.

Partie 2

Cette partie consiste en la réalisation de tests psycho-acoustiques, dans le but de personnaliser le réglage.

- Session 2 : deux semaines après l'activation, un test d'audiométrie tonale en champ libre (250 à 8000 Hz) est réalisé dans une cabine audiométrique avec un haut-parleur positionné à 0 ° azimuth à 1 m de la tête du patient. Les seuils sont mesurés avec des sons vobulés en utilisant la méthode audiométrique clinique standard.

A partir de ces résultats, FOX® décidera s'il est nécessaire de désactiver des électrodes, de modifier les seuils T ou M ou encore de faire d'autres suggestions de réglage. À la fin de cette session, le patient reçoit la MAP avec laquelle il est venu incluant les modifications de FOX® ainsi que deux autres MAP plus élevés. Au cours des deux semaines suivantes, le patient devra essayer les différentes MAP pour évaluer leur confort.

- Session 3 : quatre semaines après l'activation, l'objectif est d'optimiser la MAP la plus confortable du patient à l'aide du test de discrimination phonème AŞE® (20 paires) (méthode II.b) et d'un test d'audiométrie tonale en champ libre.

Les résultats aux tests sont rentrés dans FOX® qui les analyse avec la MAP du patient. FOX® émet alors des recommandations (modifications des paramètres de la MAP) qu'il juge pertinentes pour optimiser les résultats des tests psycho-acoustiques.

Par exemple, les résultats des tests psycho-acoustiques sont comparés à des valeurs de sujets normo-entendants (cible). Si la cible n'est pas atteinte, alors la performance est considérée comme sous-optimale et FOX® propose un changement de MAP. Le praticien peut accepter ou non ces modifications de MAP et les programmer dans le processeur vocal de l'IC. A l'issue de la nouvelle MAP, les tests psycho-acoustiques peuvent être réitérés et soumis de nouveau au logiciel FOX® qui peut alors suggérer d'autres changements de MAP ou confirmer l'ajustement optimal.

- Session 4 : deux à trois mois après l'activation, l'objectif est d'optimiser la MAP en utilisant le test AŞE® de croissance en sonie à 250, 1000 et 4000 Hz (méthode II.a) et une audiométrie vocale, en utilisant des mots monosyllabiques à des intensités de 40, 55, 70 à 85 dB SPL.

Les résultats sont rentrés une nouvelle fois dans FOX®. Le logiciel analysera la MAP ainsi que les résultats aux tests et il émettra des recommandations pour optimiser les résultats des tests psycho-acoustiques. A l'issue de la nouvelle MAP, les tests psycho-acoustiques peuvent être réitérés et soumis à nouveau au logiciel FOX® qui peut alors encore suggérer d'autres changements de MAP ou confirmer l'ajustement optimal.

FOX® ne se limite pas aux modifications des seuils Ts et Ms. Il est capable de manipuler plus de variables que celles régulièrement modifiées par la plupart des praticiens, en prenant en compte un



grand nombre de règles déterministes qui modifient différents paramètres dont les plus importants sont :

- Seuils T et M,
- IDR,
- Gain,
- Activation de l'électrode ou désactivation,
- Stratégie de codage,
- Largeur d'impulsion,
- Répartition fréquentielle,
- AGC,
- Sensibilité,
- Volume.

4

Aperçu des conseils et modifications émis par FOX®

Baucoup des paramètres vus au-dessus interagissent les uns aux autres, donnant une programmation efficace. FOX® adopte une ou plusieurs stratégies d'auto-apprentissage pour améliorer l'exactitude des conseils donnés afin d'optimiser le niveau de l'IA. Ce logiciel permet de mieux surveiller la performance auditive des utilisateurs d'IC, et cela en fonction des résultats aux tests psycho-acoustiques. En voici ci-dessous quelques exemples.

Concernant le paramètre d'« Activation/Désactivation des électrodes », Elie Zir et al. (2012) ont déterminé une règle d'exclusion

intégrée au logiciel FOX®. En utilisant les valeurs limites des tNRI, mesurées par les mesures objectives d'électrophysiologie, FOX® désactive les électrodes nécessaires dans la mesure où cela peut conduire à une utilisation non optimale de l'IC :

- Valeur limite supérieure de tNRI au-delà de laquelle la distance avec le tissu neural paraît trop importante : tNRI > 200 UC.
- Valeur limite inférieure de la valeur de pente mettant en évidence une densité neurale insuffisante pour permettre un fonctionnement optimal du dispositif: pente < 0,7 µV/UC.

La désactivation d'électrodes entraîne la modification des filtres passe-bande et conduit in fine à la réorganisation de la répartition fréquentielle.

Concernant le paramètre du « gain », le test de discrimination de phonèmes permet de déterminer les zones fréquentielles où le gain de l'IC est insuffisant pour différencier ces deux phonèmes. La figure 4 montre le contenu spectral d'une paire de phonèmes testés [a-r]. Ce graphique permet d'analyser les zones fréquentielles où les phonèmes diffèrent et indique les canaux de gain à modifier pour améliorer la résolution fréquentielle.

FOX® va exécuter une règle spécifique (Figure 5) en modifiant, si nécessaire, certains paramètres en fonction de la MAP du patient si ce dernier ne parvient pas par exemple à distinguer les paires [z]-[s] et/ou [a]-[r].

Ainsi, par exemple pour distinguer les paires [z]-[s] et/ou [a]-[r], FOX® va vérifier les seuils M des électrodes de codage des fréquences acoustiques entre 0 et 600 Hz et si ces valeurs sont inférieures à 330 UC alors FOX® va exécuter la règle (Govaerts et al., 2010) :

- soit une augmentation de 20 % de la plage dynamique des électrodes de codage des fréquences 0 à 600 Hz si les deux contrastes ne sont pas discriminés,
- Soit une augmentation de 10% si un seul contraste est discriminé.

Le test de croissance en sonie permet au logiciel FOX® de limiter le niveau d'émission du stimulus et inversement d'augmenter les canaux sous stimulés. Ainsi, l'étude de Macé en 2011 démontre que modifier la dynamique d'entrée et les seuils M codant pour les fréquences supérieures ou égales à 4000 Hz, permet de faire varier la sonie du patient vers la cible des normo-entendants pour la fréquence 4000 Hz. FOX® applique un certain nombre de mesures de sécurité pour contrôler les risques d'erreurs et d'hyperstimulation, en bloquant des paramètres de la MAP. Cette sécurité est fondée sur l'expertise clinique, l'analyse statistique d'un ensemble de MAP performantes et l'intuition. Ces mesures de sécurité sont importantes lorsque le réglage est effectué par des praticiens peu expérimentés.

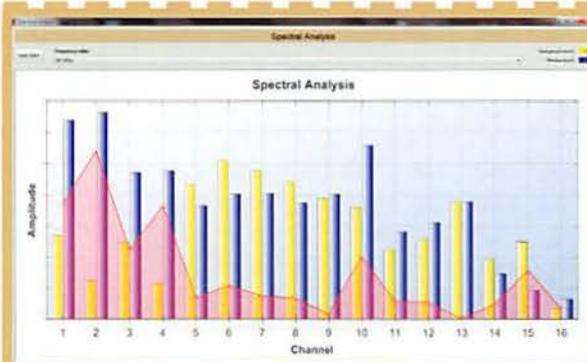


Figure 4 : Exemple de l'analyse de discrimination [a-r]

Ce diagramme indique les différences fréquentielles entre le phonème de « fond » [a] (jaune) et le phonème « impair » [r] (bleu). Les zones où la différence énergétique est la plus importante (aire rose), sont les fréquences où le gain de l'IC est insuffisant pour différencier ces deux phonèmes.

TABLE 1. Typical rule featuring in the Eargroup's advice

$$[z - s] + [a - r] < 2$$

Rule 4d7 186

$$\text{map.Maximum}_0\text{ 600} < 330$$

$$\text{map.Maximum}_0\text{ 600} - \text{map.Minimum}_0\text{ 600} + (\text{map.Maximum}_0\text{ 600} - \text{map.Minimum}_0\text{ 600}) \times (100 + (2 - [z - s] - [a - r]) \times 10) / 100$$

See text for details.

Otology & Neurology, Vol. 31, No. 6, 2010

Figure 5 : Règle typique de FOX® en fonction des résultats au test de discrimination de phonème pour les paires [z-s] et [a-r] (Govaerts et al., 2010).

5

Application : exemple de CAS CLINIQUE (Govaerts et al., 2010)

Une patiente présentait une surdité neurosensorielle de 60 dBHL, d'étiologie inconnue diagnostiquée à l'âge de 3 ans. La patiente a été appareillée et a pu bénéficier d'un enseignement scolaire normal. Les seuils auditifs se sont cependant aggravés pour atteindre 90dBHL à l'âge de 12 ans. L'imagerie ne montrait pas de malformation cochléaire. Après ses études universitaires, elle a bénéficié d'une implantation cochléaire à l'âge de 22 ans, avec des suites simples.

Un dispositif Advanced Bionics HiRes90k a été implanté et l'activation s'est déroulée 3 semaines plus tard, en suivant la méthode de réglage FOX® (décrite ci-dessus).

Session 1 : les MAP Silver 1-2-3 ont été programmés dans un processeur externe et les MAP Gold 1-2-3 dans un second processeur. La patiente a pour conseil d'ajuster son processeur tous les deux jours au réglage supérieur et de s'arrêter au réglage le plus fort avant l'inconfort.

Session 2 : une semaine après l'activation la patiente est passée à la MAP Gold 2 (Figure 6). Les tests psycho-acoustique, test d'audiométrie tonal en champ libre et le test AŞE® discrimination de phonèmes ont été mesurés avec cette MAP. Les résultats (Figure 7) ont été rentrés dans FOX® qui a recommandé d'utiliser une MAP plus élevée.

Ainsi, à la fin de cette session, la patiente a reçu son processeur externe chargé avec la MAP avec laquelle elle était venue soit la Gold 2 ainsi que deux autres MAP plus élevées Gold 3 et Ivory 1. Au cours des deux semaines suivantes, la patiente a eu pour conseil d'ajuster son processeur pour tenter d'évaluer le confort relatif de ces MAP et déterminer la plus confortable.

Session 3 : deux mois après l'activation, la patiente est passée à la MAP Ivory 1 (Figure 6). Les tests psycho-acoustiques, test AŞE® croissance en sonie et test d'audiométrie vocale en champ libre ont été mesurés à partir de cette MAP.

Les résultats de ces tests (Figure 8) ont été rentrés dans FOX® qui a proposé (Figure 9) des modifications de MAP et a conseillé de répéter l'audiométrie vocale et AŞE® croissance en sonie à 250 Hz. En effet, les résultats (Figure 8) au test AŞE® croissance en sonie à 250 Hz étaient en dehors de la zone des normo-entendant pour les fortes intensités et le test d'audiométrie vocale montrait une baisse d'intelligibilité à 85 dB SPL.

Les modifications appliquées par FOX® étaient :

- une baisse globale des seuils M
- une augmentation du gain sur 5 électrodes les plus basales
- une augmentation de la largeur d'impulsion

La figure 10 montre les résultats du test de croissance en sonie à 250 Hz et les résultats du test d'audiométrie vocale en champ libre après les modifications émises par FOX®. On observe ainsi que la courbe de croissance en sonie à 250 Hz est d'avantage dans la zone

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T	83	72	69	67	65	67	65	65	65	68	68	68	68	72	72	70
M	201	203	211	224	235	240	240	243	245	245	241	234	237	238	238	233
Gain	3.9	3.5	3.5	3.4	2.1	0.6	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	-1.1	-1.5	-1.9	-1.4
Is Enabled	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Filter Band Low Cutoff	250	416	434	567	637	628	903	1168	1307	1648	1958	2326	2762	3281	3696	4630
Filter Band High Cutoff	416	434	567	637	628	903	1168	1307	1648	1958	2326	2762	3281	3696	4630	8700
Clipping Level	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541
Impedance	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Pulse Width	20.7	Extended Low	Extended	PulseWidthSetting	Manual	ThresholdSetting	Manual
IDR	80	Volume Range Lower	5	ProcessType	Hamony		
AGC	Enabled	Volume Range Upper	5	ProgramType	HiRes5		
Sensitivity	-10	AudiotkType	Aur Only	Fidelity20	Enabled		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T	83	72	69	67	65	67	65	65	65	68	68	68	68	72	72	70
M	234	252	243	257	268	264	258	276	275	276	276	278	285	282	279	280
Gain	4.7	4.7	4.7	4.7	3.1	1.1	0.8	0.3	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
Is Enabled	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Filter Band Low Cutoff	250	416	434	567	637	628	903	1168	1307	1648	1958	2326	2762	3281	3696	4630
Filter Band High Cutoff	416	434	567	637	628	903	1168	1307	1648	1958	2326	2762	3281	3696	4630	8700
Clipping Level	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541	541
Impedance	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Pulse Width	20.7	Extended Low	Extended	PulseWidthSetting	Manual	ThresholdSetting	Manual
IDR	80	Volume Range Lower	5	ProcessType	Hamony		
AGC	Enabled	Volume Range Upper	5	ProgramType	HiRes5		
Sensitivity	-10	AudiotkType	Aur Only	Fidelity20	Enabled		

Figure 6 : Sessions 2 (MAP Gold 2) et session 3 (MAP Ivory 1) (Govaerts et al., 2010).



normale que précédemment et le test d'audiométrie vocale montre une meilleure intelligibilité à 55, 70 et 85 dB SPL.

A la suite de ces tests les résultats ont été rentrés une nouvelle fois dans FOX® qui a suggéré d'autres modifications de MAP : diminution des seuils M et augmentation du gain sur les 5 électrodes les plus basales. FOX® n'a pas conseillé de refaire de nouvelles mesures (Figure 11). Ces modifications ont été enregistrées et la patiente est partie avec cette nouvelle MAP.

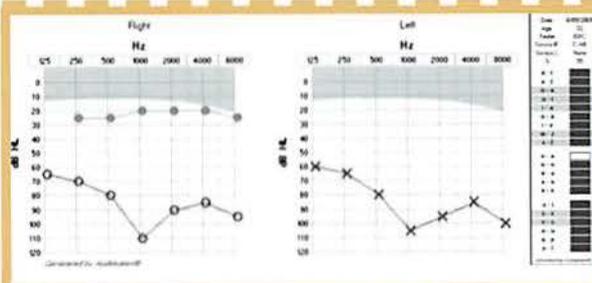


Figure 7 : Résultats de la session 2 (Govaerts et al., 2010).

A gauche : résultats du test d'audiométrie tonale au casque sans aide auditive avant l'implantation (moyenne des sons purs de 93 dBHL pour chaque oreille) et les résultats du tests d'audiométrie tonale en champ libre après l'implantation (moyenne des sons purs de 22 dBHL). A droite : résultats du test ABE® discrimination phonèmes montre que 19 des contrastes sont bien discriminées (case noir) et que 1 contraste n'était pas (case blanche).

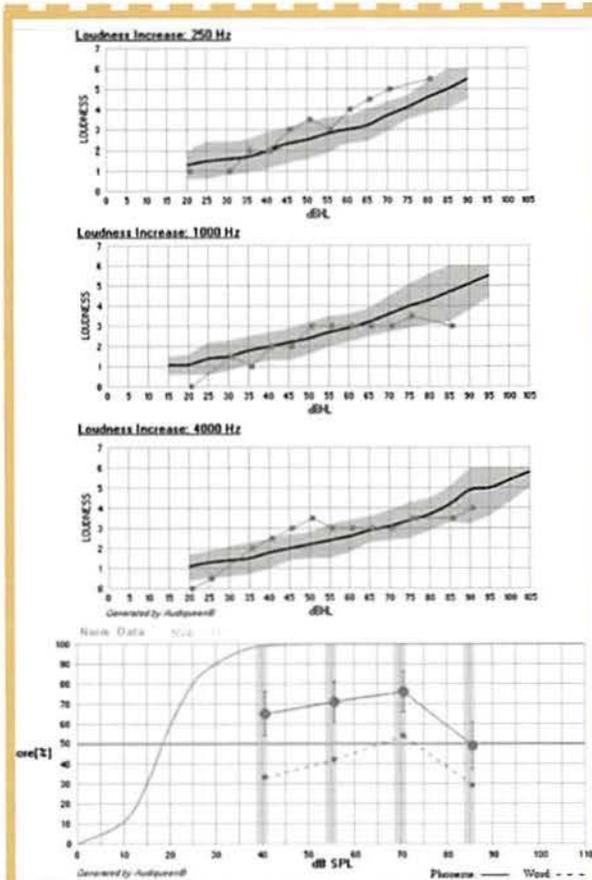


Figure 8 : Résultats de la session 3 (Govaerts et al., 2010).

Les 3 premiers graphiques correspondent aux résultats du test de croissance en sonie à 250, 1000, et 4000 Hz. Le dernier graphique correspond aux résultats du test d'audiométries vocales en champ libre.

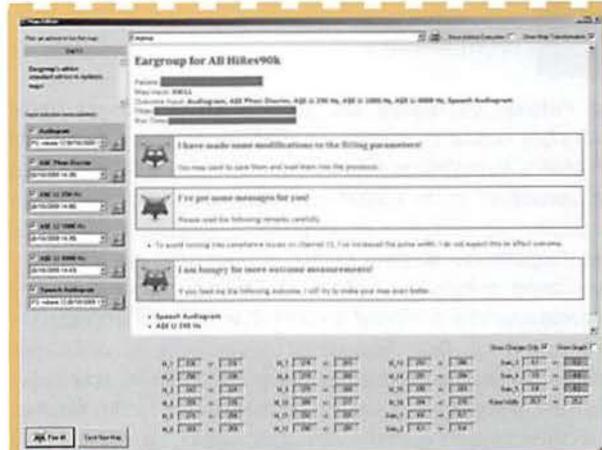


Figure 9 : Conseils (1) et modifications (2) suggérés par FOX® basé sur les résultats aux tests psycho-acoustique réalisés en session 3 (Govaerts et al., 2010).

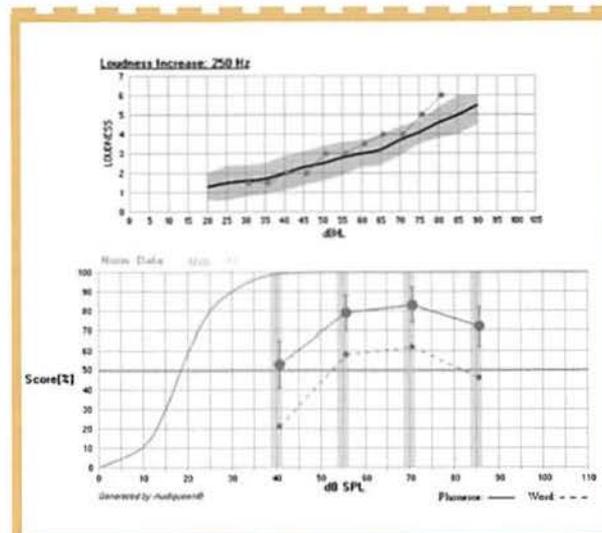


Figure 10 : Résultats du test de croissance en sonie à 250 Hz et du test d'audiométrie vocale après les modifications de MAP réalisées lors de la session 3 (Govaerts et al., 2010).



Figure 11 : Modification suggéré par FOX® suite à la seconde itération des tests de la session 3 (Govaerts et al., 2010).

5 Conclusion

La méthode de réglage des implants cochléaires est restée inchangée depuis sa création. En effet, les praticiens demandent en général au patient de déterminer lui-même les seuils électriques de perception et de confort au moyen d'une échelle visuelle analogique de croissance en sonie. Mais, les patients ont peu ou pas d'expériences auditives et donc ont des difficultés à exprimer de manière précise leur ressenti. Le Eargroup a donc créé cette nouvelle approche de réglage qui permet de concevoir différemment le réglage des IC. Cette méthode est utilisée depuis de nombreuses années par les praticiens du Eargroup qui se basent pour régler l'implant, non pas sur le ressenti du patient mais sur les résultats aux différents tests psycho-acoustiques (A5E®). Le logiciel FOX® a donc été créé pour aider les praticiens aux réglages des IC, en leur proposant des modifications de réglage à partir des résultats des différents tests psycho-acoustiques réalisés et ceci de façon automatisée et rapide.

En effet, la méthode traditionnelle de réglage prend généralement beaucoup de temps, en moyenne de 5 à 10 sessions pour les adultes ayant une surdité post-linguale et d'avantage pour les enfants ayant une surdité pré-linguale. L'introduction de l'intelligence artificielle assurée par FOX® permet de diminuer le temps passé aux réglages (Battmer et al., 2014).

La qualité du réglage des IC dépend du temps passé et cela quelle que soit la méthode utilisée. La figure 12 présente une relation hypothétique sur le temps de réglage nécessaire pour obtenir des résultats satisfaisants. L'utilisation du logiciel FOX® peut permettre soit d'obtenir un meilleur résultat avec un même temps de réglage, soit d'être plus rapide à iso niveau de résultat (Govaerts et al., 2010).

De nombreuses études auprès de patients implantés par un système A.B ont été réalisées à ce jour. Les résultats de ces études ont montré que les patients réglés avec le système FOX® progressaient plus rapidement et de façon plus importante par rapport aux patients réglés avec une procédure traditionnelle.

FOX® semble être à ce jour un outil opérationnel, facile d'utilisation, aussi bien chez les nouveaux implantés (Govaerts et al., 2010) que pour l'optimisation des réglages chez les patients implantés depuis plusieurs années (Amar, 2014 et Buechner et al, 2014). Plusieurs développements et améliorations du logiciel sont actuellement en cours dans le but d'améliorer les différentes stratégies de FOX®

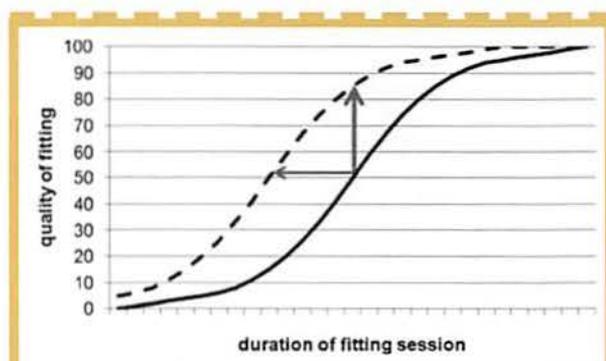


Figure 12: Relation hypothétique entre le temps passé sur réglage d'IC (abscisse) et la qualité du réglage (en ordonnée) (Govaerts et al., 2010).

----- Relation à l'aide de la méthode « FOX® »
 ——— Relation à l'aide de la méthode « traditionnelle »

mais également d'appliquer FOX® pour d'autres firmes d'implant cochléaire. Cette technologie n'en est encore qu'à ses prémices et semble être prometteuse.

6 Bibliographie

- Amar D. Utilisation du logiciel de réglage FOX® auprès d'adultes utilisateurs depuis au moins un an d'implants cochléaires Advanced Bionics. Mémoire d'audiologie, Institut Libre Marie Haps, Belgique, 2014.
- Battmer RD, Borel S, Brendell M, Britz A, Büchner A, Cooper H, Fielden C, Gazibegovic D, Goetze R, Govaerts PJ, Lenarz Th, Mosnier I, Muff J, Nunn T, Vaerenberg B, Vana Z. Assessment of "Fitting to Outcomes Expert" FOX with new cochlear implant users in a multicentric study. *Cochlear Implants Intl* 2014 (ePub).
- Bermejo, I., D'iez, F.J., Govaerts, P.J., & Vaerenberg, B. (2013). Artificial Intelligence in Medicine Computer Science: A Probabilistic Graphical Model for Tuning Cochlear Implants. 7885. 150-155.
- Büchner A, Vaerenberg B, Gazibegovic D, Brendell M, De Ceulaer G, Govaerts P, Lenarz T. Evaluation of the "fitting to Outcomes eXpert (FOX®) with established cochlear implant users. *Cochlear Implants Intl* 2014 Jun 20. [Epub ahead of print]
- Daemers, K., Yperman, M., De Beukelaer, C., De Saegher, G., De Ceulaer, G., & Govaerts, P.J. (2006). Normative data of the A5E® discrimination and identification tests in preverbal children. *Cochlear Implants Intl.*, 7, 107-116.
- Govaerts, P.J., Daemers, K., Yperman, M., De Beukelaer, C., De Saegher, G., & De Ceulaer G. The Eargroup, Antwerp-Deurne, Belgique. (2006). Auditory speech sounds evaluation (A5E®): a new test to assess detection, discrimination and identification in hearing impairment. *Cochlear Implants Intl.*, 7, 92-106.
- Govaerts, P.J., Vaerenberg, B., De Ceulaer, G., Daemers, K., De Beukelaer, C., & Schauwers, K. (2010). Development of a software tool using deterministic logic for the optimization of cochlear implant processor programming. *Otol Neurotol*, 31, 908-18.
- Govaerts, P.J., Vaerenberg, B., & Kowalczyk, W. (2011 (a)). FOX® helps audiologists to tune cochlear implants for the hearing impaired. *Perada-magazine*. [En ligne]. <http://www.perada-magazine.eu/view.php?article=003721-2011-04-15&category=Agents>. (page consultée le 5/10/13).
- Govaerts, P.J., Vaerenberg, B., De Ceulaer, G., & Daemers, K. The Eargroup, Antwerp, Belgium. (2011(b)). The intelligent agent FOX® to assist the fitting of cochlear implants in children. *International Journal of Pediatric Otorhino laryngology*, 75, 85.
- Macé, C. (2011). Sonie et Compréhension dans le bruit des patients implantés cochléaires. Mémoire non publié, Montpellier, France.
- Macé, C., Piron, J.-P., Artières, F., Puel, J.-L., Mondain, M., Uziel, A., & Venail, F. (2013). Etude d'une méthode de réglage des implants cochléaires basée sur la sonie. *Congrès des audioprothésistes : Poster scientifique*, 77-82.
- Otoconsult. (2009). A5E®, psychoacoustic test suite. Otoconsult: <http://www.otoconsult.com>.
- Vaerenberg, B., Govaerts, P.J., De Ceulaer, G., Daemers, K., & Schauwers, K. (2010). Experiences of the use of FOX®, an intelligent agent, for programming cochlear implant sound processors in new users. *Int J Audiol.*, 50, 50-58.
- Vaerenberg, B., De Ceulaer, G., Szlavik, Z., Mancini, P., Buechner, A., & Govaerts, P.J. (2014 (a)). Setting and reaching targets with computer-assisted cochlear implant fitting. *Hindawi publishing corporation the scientific world journal*, 1-8.
- Vaerenberg, B., Smits, C., De Ceulaer, G., Zir, E., Harman, S., Jaspers, N., Tam, Y., Dillon, M., Wesarg, T., Martin-Bonniot, D., Gärtne, L., Cozma, S., Kosaner, J., Prentiss, S., Sasidharan, P., Briare, J., Bradley, J., Debruyne, J., Hollow, R., Patadia, R., Mens, L., Veekmans, K., Greisiger, R., Harboun-Cohen, E., Borel, S., Tavora-Vieira, D., Mancini, P., Cullington, H., Ng, A., Walkowiak, A., Shapiro, W.H., Govaerts, P.J. (2014 (b)). Cochlear implant programming: a global survey on the state of the art. *Hindawi publishing corporation the scientific world journal*, 1-12.
- Zir, E., Gault, A., Vanpoucke, F., Faillat, A., Govaerts, P.J., & Nehme, A. (2013). Optimisation des réglages par désactivation d'électrodes à partir de mesures NRI. *Congrès des audioprothésistes- Poster scientifique*, 58-60.