

Implantation précoce et/ou bilatérale.

Paul J Govaerts^{1,*}, K Daemers¹, K Schauwers^{1,2}, C De Beukelaer¹, M Yperman¹, G De Ceulaer¹, S Gillis²

¹ the eargroup, Anvers-Deurne, Belgique

² centre d'étude de la langue néerlandaise (CNTS), Université d'Anvers, Anvers-Wilrijk, Belgique

* correspondance: Paul J Govaerts, *MD, MS, PhD*
the eargroup
Herentalsebaan 75
B-2100 Anvers-Deurne
Belgique

E dr.govaerts@eargroup.net
W <http://www.eargroup.net>

Résumé

L'implantation cochléaire est devenue une intervention de routine. Deux évolutions récentes sont l'avancement de l'âge le plus jeune auquel on considère une implantation et aussi l'implantation bilatérale. Grâce aux programmes de dépistage systématique de la surdité chez les nouveau-nés, les enfants sourds sont maintenant connus immédiatement après leur naissance, ce qui nous permet de les assister et de traiter la surdité au tout début du développement du langage (Govaerts 2002). Une implantation cochléaire s'impose là où des appareils auditifs classiques ne suffisent plus. Avec l'aide d'un nouveau test audiolinguistique (le AŞE®), déjà à l'âge de 7-9 mois la décision d'implanter peut être prise. Une implantation après l'âge de 2 ans implique non seulement des délais importants dans le développement du langage, mais aussi des pertes irréversibles au niveau audiolinguistique, linguistique et scolaire. Il est trop tôt pour des résultats robustes d'implantation bilatérale, mais les premiers résultats chez 38 personnes, enfants et adultes, munies de deux implants, montrent une bonne fonction audiolinguistique et chez 8 cas qui ont déjà pu être examinés, aussi une bonne fonction binaurale.

Mots-clefs : implantation cochléaire, surdité congénitale, implantation binaurale

Cochlear implantation has become a routine intervention worldwide. A recent evolution is the implantation at ever-younger ages and the bilateral implantation. Thanks to universal neonatal hearing screening programs, deaf-born children are now recognized at a very early stage, allowing assistance and intervention in the very beginning of their speech development. Cochlear implantation is indicated when hearing aids fail. A newly developed audiolinguistic test (the AŞE®) allows deciding at the age of 7-9 months whether to go for cochlear implantation, or not. Implantation beyond the age of 2 years results in significant delays in speech development and irreversible damage at the audiolinguistic, speech development and educational level. It is too early for robust scientific evidence of bilateral implantation, but preliminary results in 38 bilateral cases, children and adults, show good audiolinguistic outcome and in 8 cases whom could already be tested, good binaural functioning.

Key words: cochlear implants, congenital hearing loss, binaural implantation

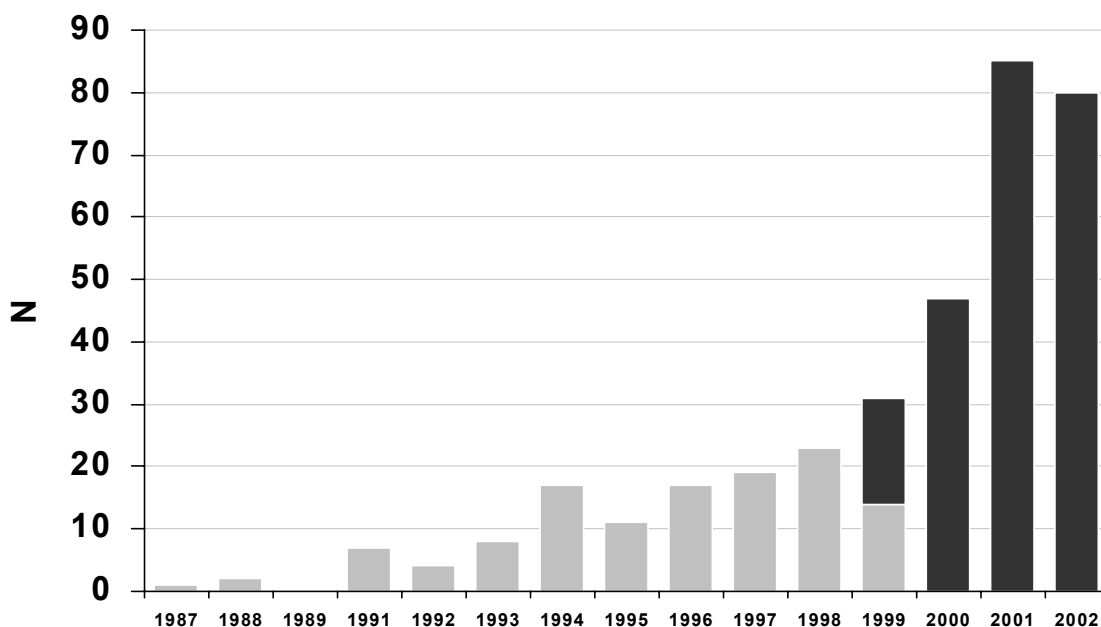
Introduction

Les possibilités thérapeutiques d'une perte auditive perceptive et permanente sont limitées. Tout d'abord il y a les appareils auditifs bien connus, mais à partir d'un certain degré de surdité, les appareils classiques ne suffisent plus. La raison est que la fonction cochléaire, qui est atteinte dans les pertes en cause, ne se laisse pas remplacer par un appareil auditif. En effet, la fonction normale d'une cochlée est double. Il y a la fonction amplificatrice et celle-là est facilement remplacée par un appareil classique, mais ensuite il y a aussi la fonction de résolution spectrale. Cette dernière fonction est réalisée par un effet de « phase locking » pour les sons graves et par une organisation « tonotopique » pour les sons aigus. Un appareil auditif n'est pas capable de remplacer ces phénomènes. Le son, bien amplifié par l'appareil, doit encore toujours passer la cochlée, qui n'exécutera plus la résolution spectrale. Cette résolution se manifeste chez l'homme en « discrimination fréquentielle », c'est à dire que l'homme est capable de discriminer deux sons qui ne diffèrent qu'en fréquence. Cette capacité est forte, la résolution normale étant de quelques Hz chez l'homme, et très importante pour la compréhension de la parole, surtout dans un environnement bruyant. Donc, à partir d'un certain degré de surdité, l'homme porteur d'un appareil classique, entendra encore toujours bien le son, mais ne le comprendra plus. Et c'est à ce moment-là que l'implant cochléaire devient indiqué. Grâce à un certain nombre d'électrodes qui seront introduites dans la cochlée, l'implant restaure en quelque sorte l'organisation tonotopique dans la cochlée. Le processeur fait l'analyse du son et selon le contenu spectral, choisira quelle électrode sera stimulée.

Donc, un implant cochléaire remplace la cochlée défectueuse et rend non seulement l'amplification mais aussi la résolution spectrale. Les résultats d'implantation cochléaire sont de mieux en mieux connus et sont encourageants, ce qui explique les deux évolutions récentes qui seront abordées dans cet article, notamment l'implantation précoce et l'implantation bilatérale.

L'implantation précoce

Le nombre d'implantations sur base annuel augmente exponentiellement dans le monde entier. Figure 1 montre l'évolution du nombre d'implantations effectuées par notre équipe



(Govaerts 2002).

Figure 1. Nombre d'implantations par an effectuées par notre équipe entre 1987 et 2002. Jusqu'en 1999, on implantait l'implant LAURA™ (en gris) et à partir de 1999 c'était l'implant NUCLEUS® (noir).

Avec des résultats très satisfaisants chez des sourds post-linguaux, on se sentait encouragé à implanter les sourds pré-linguaux et à pousser l'âge d'implantation vers un âge de plus en plus jeune, ce qui fait qu'à partir de 1994 on implante des enfants de 6 ans, à partir de 1996 de 2 ans et à partir de 2000 de 6 mois (le plus jeune ayant 5 mois).

justification

La justification de cette évolution était d'un côté la fiabilité des systèmes et des résultats, et de l'autre côté l'observation que l'implantation chez des adolescents avec une surdité congénitale ne donnait pas ces mêmes bons résultats que l'on voyait chez ceux qui avaient une surdité acquise. Cela s'explique évidemment par la plasticité cérébrale qui fait que la « programmation » d'une fonction comme l'ouïe sur le plan cérébral se fait dans les premières années de la vie. Après un certain âge, l'acquisition d'une nouvelle fonction devient de plus en plus difficile. En plus l'acquisition de « terrain » dans le cerveau se réalise en compétition avec toutes les autres fonctions et du terrain perdu ne se laisse regagner que partiellement et difficilement. Ensuite, on se réalise déjà longtemps que le développement du langage dépend critiqueusement d'une bonne ouïe et surtout d'une bonne discrimination fréquentielle. Cela se montre chez des enfants avec une surdité pré-linguale qui reçoivent un appareil auditif à un âge très jeune et qui, malgré cette bonne amplification, aperçoivent encore toujours de nombreux problèmes au niveau du développement du langage. Par conséquent, si on ose avoir l'ambition de vraiment aider les enfants avec une surdité congénitale, il faudrait envisager l'implantation à un très jeune âge.

les préalables

Avant de pouvoir passer à l'implantation précoce, il fallait bouleverser la prise en charge de l'enfant sourd. Il y avait trois éléments-clés: (1) il fallait détecter les enfants atteints d'une surdité congénitale ; (2) il fallait mettre au point le diagnostic, l'appareillage et le suivi de l'enfant sourd ; et (3) il fallait avoir des tests pour évaluer la résolution spectrale de la cochlée munie d'un appareil auditif.

Pour la détection des enfants avec une surdité congénitale, un consensus mondial existe qu'un dépistage systématique des nouveau-nés soit essentiel (NIH 1993, White 1994, Joint Committee 1994, Daemers 1996, De Ceulaer 1999, Govaerts 2001). Il est excessivement démontré qu'un tel dépistage est faisable, que ce n'est pas cher et que la sensibilité et la spécificité sont très grandes (White 1995, Govaerts 2001). La Flandre est une des trois régions de la Belgique, avec une population d'à peu près 6 millions avec 60.000 nouveau-nés par ans. Depuis 1998-1999, un dépistage systématique est en place et presque 1 enfant malentendant sur tous les 1000 nouveau-nés est détecté (le but étant entre 1.2 et 3.7 enfants pro mille).

Ensuite, la prise en charge d'un enfant malentendant doit être établie, y compris le diagnostic et l'appareillage (Govaerts 2004). En Flandre, un consensus existe que le diagnostic doit être accompli à l'âge de 3 mois et que ça implique un examen avec des potentiels évoqués (sous anesthésie?) pour établir les seuils auditifs, un examen sanguin génétique, un examen ophtalmologique, un électrocardiogramme, un examen microscopique de l'urine et une échographie du système pyélorénal. L'imagerie fait aussi parti du diagnostic et en général, un IRM et un CT-scan du rocher sont effectués sous anesthésie. Ensuite, l'enfant est envoyé à un des centres de revalidation auditive pour recevoir des appareils auditifs et du guidage parentale. Les appareils doivent être opérationnels avant l'âge de 6 mois.

Après quelques mois, l'enfant subit une évaluation audiolinguistique pour voir si l'ouïe est suffisamment bonne pour pouvoir arriver à un développement normal du langage. Dans ce cas, on continue avec les appareils et si nécessaire, on commence à donner de la logopédie.

Dans l'autre cas, l'indication pour une implantation est faite. Puisque l'audiométrie (comportementale) exprime surtout l'effet de l'amplification du système, mais pas la discrimination, on a développé un nombre de nouveaux tests permettant d'évaluer la résolution spectrale de l'audition chez l'enfant de 9-12 mois (AŞE®, CD-ROM, contactez l'auteur ou son site www.eargroup.net pour toute information). Le AŞE® contient un test de discrimination de phonèmes (Govaerts 2002). Un nombre de phonèmes est disponible et ils sont rigoureusement construits ainsi que la seule différence sur base de laquelle ils peuvent être discriminés, est le contenu spectral. L'examineur choisit un pair de deux phonèmes, dont un sera présenté à l'enfant comme phonème de fond et l'autre comme phonème différent. Table 1 montre les paires classiques comme ils sont utilisés par nous.

TABLE 1. paires de phonèmes classiques pour le test de discrimination de l'AŞE®

a-r	l-E
u-ʃ	œ -E
u-l	Œ -l
l-a	y-l
u-a	u-y
o-a	z-s
u-o	m-f
œ -a	m-z
œ -u	m-r
œ -o	s-ʃ
E-a	v-z

Le phonème de fond est présenté répétitivement avec des intervalles bien définis et il est remplacé par le phonème différent au hasard. L'enfant est conditionné pour réagir sur le phonème différent. Le test a été normé sur des enfants de 10 mois et des critères existent pour savoir si un enfant arrive à bien discriminer un contraste. Ce test est devenu un élément fondamental dans l'évaluation audiolinguistique de l'enfant de 10 mois muni d'un appareil auditif et il fait partie de la batterie audiolinguistique dans des dizaines de centres mondialement.

les résultats

Il est extrêmement difficile d'objectiver des résultats d'implantation chez des enfants très jeunes. Néanmoins, nous avons obtenu des résultats au niveau auditif, au niveau linguistique et au niveau de l'intégration scolaire.

Au niveau auditif, on a suivi plus que 70 enfants qui avaient reçu leur implant avant l'âge de 6 ans (voir Govaerts 2003 pour tout détail), et on a enregistré leur « CAP-scores » (« Categories of Auditory Performance », une évaluation globale de la performance auditive, développé par Sue Archbold et al., Archbold 1995, Archbold 1998). Table 2 montre la signification des 8 échelles du CAP-score.

TABLE 2. les 8 échelles du CAP-score

7	Capable d'utiliser le téléphone avec un correspondant familier
6	Capable de comprendre une conversation avec quelqu'un de familier sans lecture labiale
5	Capable de comprendre des phrases isolées simples
4	Capable de discriminer au moins 2 phonèmes
3	Capable de reconnaître des sons de l'environnement
2	Capable de détecter des phonèmes
1	Capable de détecter des sons de l'environnement
0	Pas de réactions sur des sons de l'environnement

Les résultats sur le CAP-score sont montrés dans Figure 2.

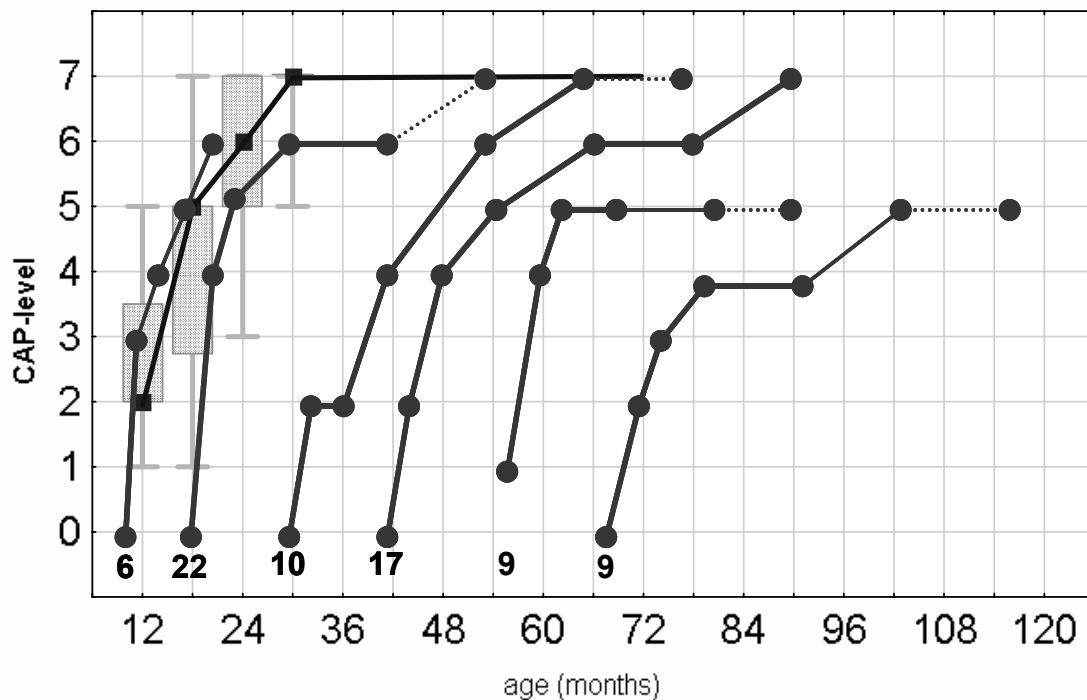


Figure 2. Les CAP-scores exprimés en médianes des cohortes définies par l'âge d'implantation. Le chiffre en dessous de chaque ligne est le nombre d'enfants dans chaque cohorte. Les boîtes-et-moustaches montrent les résultats chez 103 enfants normo-entendants (Govaerts 2003).

Figure 2 montre que l'implantation à l'âge de 4-5 ans résulte en l'amélioration de la performance auditive, mais il y a un délai important vis-à-vis les normo-entendants et il y a un plateau au score 5, qui n'est jamais dépassé. L'implantation à l'âge de 2-3 ans résulte en la « normalisation » de la performance auditive (sur ce test!) mais encore toujours après un délai de plusieurs années. Il faut implanter avant l'âge de 2 ans pour avoir des résultats qui se trouvent dans les intervalles de confiance des résultats normaux et les 6 enfants qui ont reçu leur implant avant l'âge d'un an, ont des scores tout à fait au niveau des médianes normales.

En ce qui concerne le développement du langage, on a suivi une cohorte de 10 enfants qui ont reçu leur implant entre 6 et 18 mois (voir Schauwers 2004 pour tout détail). On a fait des enregistrements-vidéo tous les mois et de chaque enregistrement, 20 minutes ont été transcrites. Toutes les expressions vocales des enfants ont été codifiées de façon méticuleuse pour pouvoir les analyser. Un des points de repère dans le développement du langage est le début du babiller, défini comme l'apparition de multiples articulations dans une seule exhalation (« le babillage canonique »). Là où le babillage apparaît avant l'âge de 11 mois chez l'enfant normo-entendant, nos chiffres montrent (Figure 3) que seuls ceux qui ont reçu leur implant avant l'âge de 10 mois, commencent à babiller à temps.

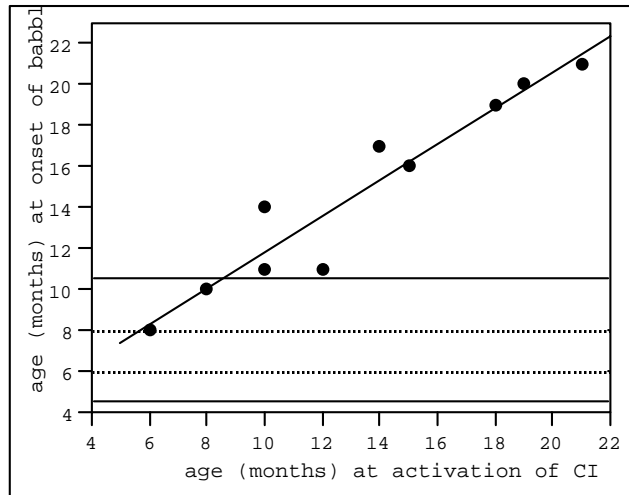


Figure 3. Le début du babillage chez 10 enfants en fonction de l'âge d'implantation. (Schauwers 2004)

Tous les enfants dans cette étude (implantés avant 18 mois !) commençaient à babiller deux à quatre mois après l'implantation. Des études anciennes nous avaient déjà montré que les enfants-sourds, munis d'un appareil auditif classique, ne commencent jamais à babiller avant l'âge de 18 mois.

En ce qui concerne l'intégration scolaire, une étude sur 48 enfants (voir Govaerts 2003 pour tout détail) nous a montré que la grande majorité (presque 90%, Figure 4) peut être intégrée dans l'école normale s'ils ont reçu leur implant avant l'âge de 2 ans. Ce taux de 90% diminue avec à peu près 20% par an de délai.

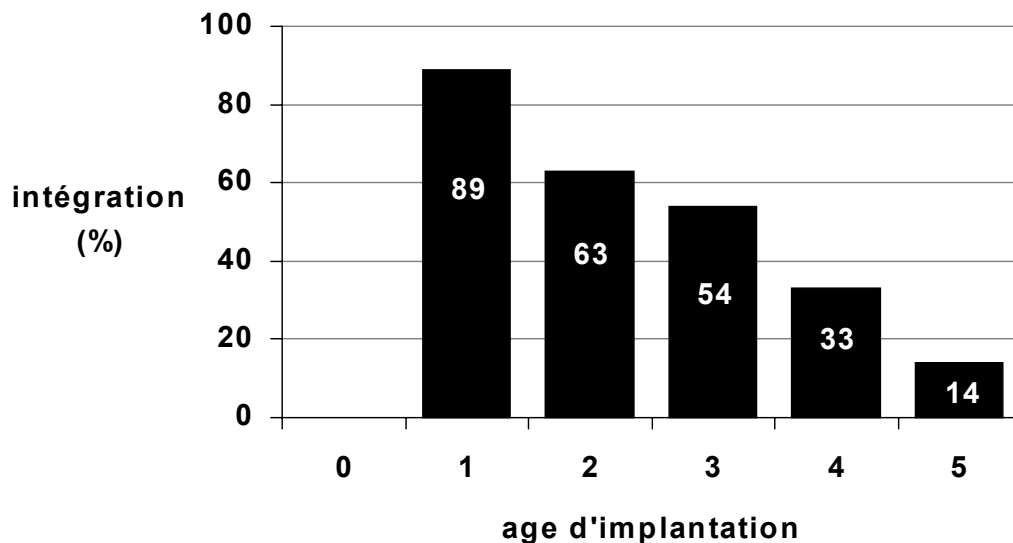


Figure 4. Le taux d'intégration dans le système scolaire normal en fonction de l'âge d'implantation. (Govaerts 2003)

A partir de quatre ans, moins qu'un enfant sur trois pourra être intégré dans l'école normale, même après des années de revalidation.

Conclusions

Les données précédentes montrent que l'implantation cochléaire chez le tout jeune enfant est faisable avec des bénéfices importants sur le plan auditif, linguistique et scolaire. Implanter après l'âge de 2 ans introduit **un délai** des bénéfices et **des pertes irréversibles** au niveau auditif et scolaire. Des études linguistiques sont encore en cours pour voir si et à quel point les problèmes du développement du langage sont réversibles ou pas. Même avant l'âge de 2 ans, il est démontré que le plus tôt que l'on implante, le plus normal sera le résultat auditif et

linguistique. Dans ce groupe, on n'a pas encore pu démontrer que les délais soient réversibles ou irréversibles.

L'implantation bilatérale

Notre équipe a commencé à implanter les deux oreilles en 1999. Il s'agissait d'une petite fille avec une surdité congénitale qui avait reçu son premier implant à l'âge de 13 mois. Les parents insistaient à lui donner un deuxième implant, ce qu'on a fait à l'âge de 25 mois. Les années suivantes, on a vu une croissance importante du nombre de patients qui ont reçu un deuxième implant (Figure 5).

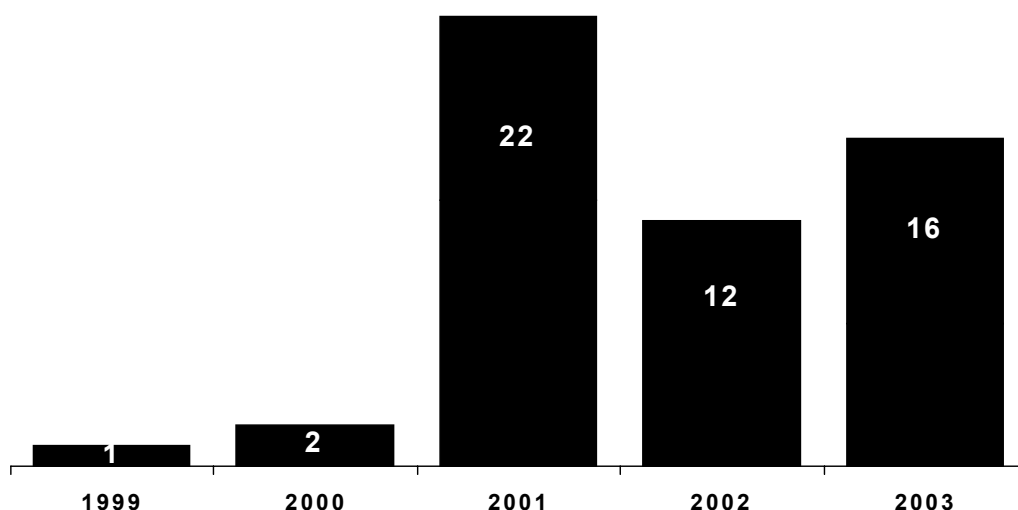


Figure 5. Le nombre de personnes qui ont reçu un deuxième implant cochléaire en fonction des années précédentes.

justification

La justification pour une implantation bilatérale est essentiellement la même que celle pour une implantation simple. Puisque la deuxième implantation n'est faite que quelques mois ou quelques années après la première implantation (jusqu'à présent on n'a fait qu'une seule implantation bilatérale dans un seul temps chirurgical) les indications audiologiques et médicales existent déjà. Il s'agit donc d'une personne avec une surdité profonde bilatérale qui porte déjà un implant avec des résultats satisfaisants. La conviction qu'un deuxième implant donnera des effets supplémentaires importants est théorique pour l'instant. Cette conviction est surtout basée sur notre connaissance des effets binauraux chez les normo-entendants et chez les personnes qui portent des aides auditives classiques. Il s'agit surtout de 3 effets objectivables, notamment (1) la capacité de localisation, (2) l'effet dit « ombre de la tête » et (3) l'effet dit « squelch », c'est à dire l'effet de la fusion des deux signaux auditifs grâce à laquelle on comprend mieux la parole dans un bruit de fond même faisant abstraction de l'effet de l'amplification (deux oreilles donnent un signal plus intense qu'une seule oreille). Il est évident qu'il y a aussi l'aspect du coût d'un deuxième implant. Jusqu'à présent les personnes intéressées ont du payer eux-mêmes ou ont pu recevoir le deuxième implant gratuit dans le cadre d'une étude.

les résultats

A présent, il n'y pas encore des résultats scientifiquement robustes. L'explication est multiple. Tout d'abord, il s'agit d'une évolution très récente et le nombre de personnes munies de deux implants est encore très limité et hétérogène. Ensuite, il est clair que l'intégration du deuxième implant dans la performance auditive n'est pas immédiate. On a l'impression que ça prend facilement quelques mois. Les adultes peuvent être sensibilisés de persister et de tolérer les inconvénients du début, mais chez les enfants, c'est plus difficile. En fait, on a l'expérience chez 2 enfants qu'il faut parfois dépriver l'enfant du premier implant pendant quelques semaines ou quelques mois pour l'obliger de porter le nouvel implant. Ensuite, des tests spécifiques pour évaluer l'effet binaural sont rares et ceux qui existent sont souvent difficiles ou impossibles à faire pour les jeunes enfants. De l'autre côté, les premiers résultats objectifs sont très encourageants. Tout d'abord, les résultats audiologiques, comme

on les connaît de l'implantation unilatérale, se manifestent évidemment « en double ». Par exemple, au niveau de la détection, Figure 6 montre les audiogrammes bilatéraux de 38 personnes munies de deux implants.

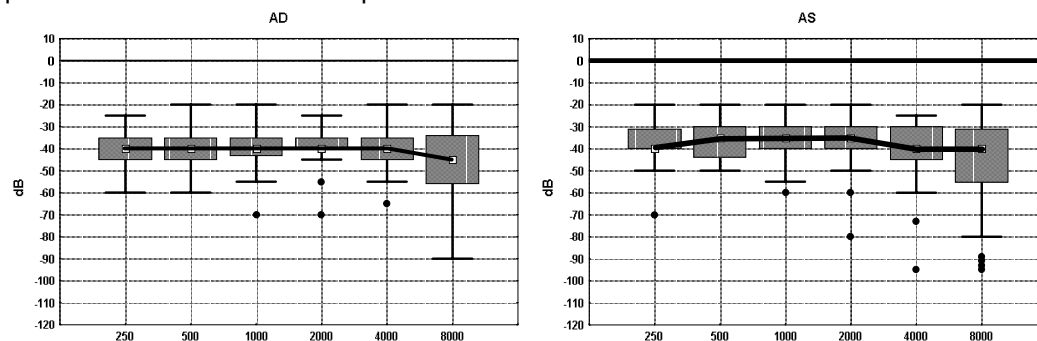


Figure 6. Audiogrammes de 38 personnes munies de deux implants.

Personne ne peut nier que des audiogrammes bilatéraux pareils sont remarquables étant donné qu'il s'agit de personnes sourdes ! On trouve des résultats comparables sur des tests de discrimination (AŞE®, CD-ROM, contactez l'auteur ou son site www.eargroup.net pour toute information, Figure 7).

Résultats d'implantation bilatérale au AŞE N=38

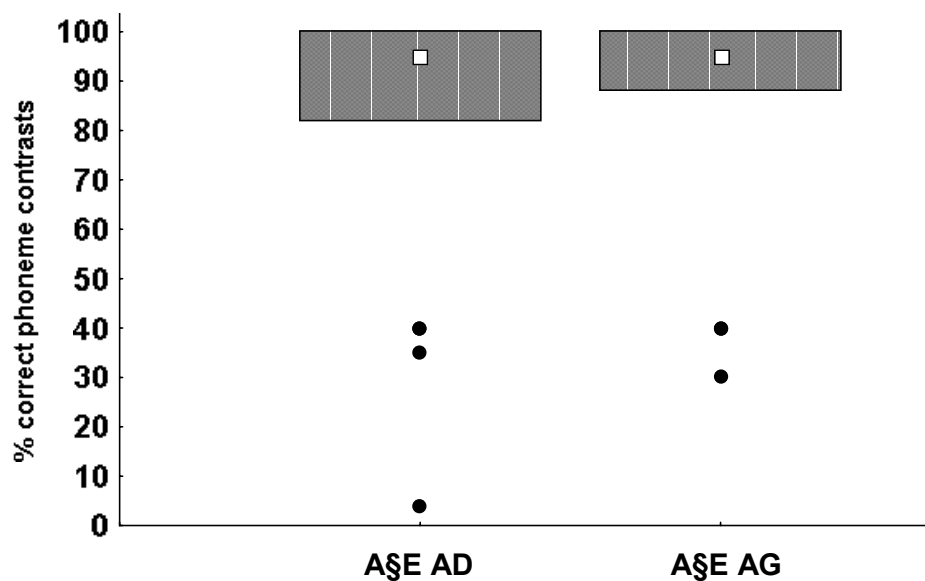


Figure 7. Résultats de 38 personnes avec implant cochléaire bilatéral au test de discrimination du AŞE®, exprimés en pourcentage de contrastes qui sont discriminés correctement.

Puis, il y a des tests qui évaluent les effets binauraux spécifiquement et qui quantifient (1) l'effet « squelch », (2) l'effet « ombre de la tête » et (3) la localisation. L'effet de l'ombre de la tête se résume comme la compréhension supplémentaire dans le bruit de fond quand la deuxième oreille est orientée vers la source de la parole, donc grâce à un niveau son/bruit plus favorable. L'effet « squelch » peut être résumé comme la compréhension supplémentaire dans le bruit quand on met en marche le deuxième implant en faisant abstraction de la sommation de l'intensité. Il y a plusieurs test settings possibles, et sans aller en détail, Figure 8 montre les résultats préliminaires chez 8 personnes munies de deux implants.

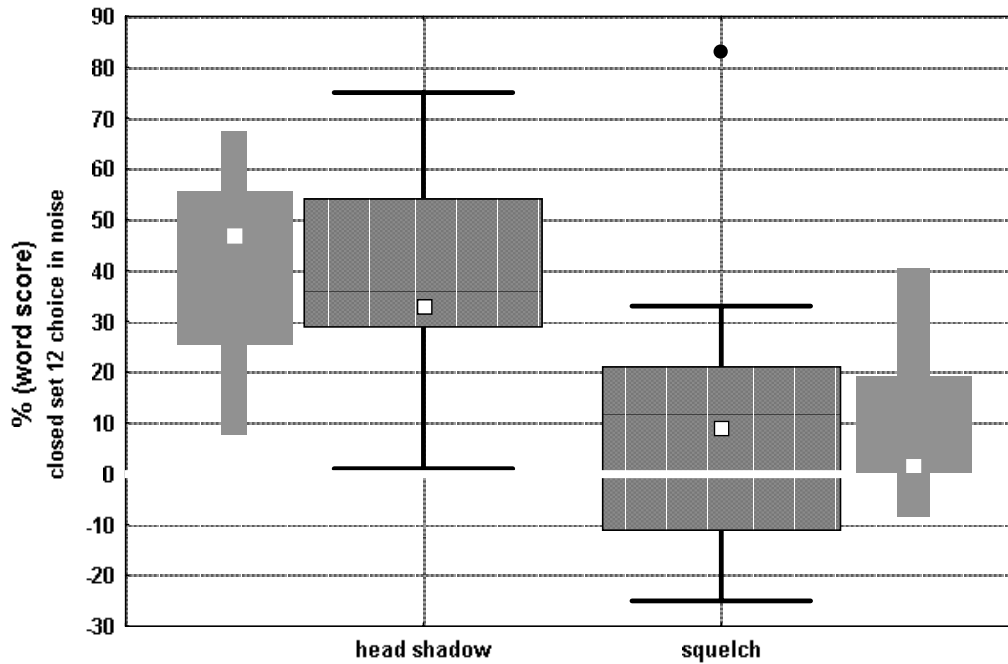


Figure 8. Les effet de l'ombre de la tête (« head shadow ») et du « squelch » (voir texte pour explication) chez 8 personnes munies de deux implants, avec les résultats de 30 normo-entendants sur les mêmes tests à côté.

Figure 8 montre que les personnes munies de deux implants bénéficient en gros autant que les normo-entendants de leur deuxième oreille.

Puis il y a des tests de localisation. De nouveau il est trop tôt pour montrer des statistiques, mais il y a déjà du casistique intéressant. Sans aller top en détail, Figures 9 montre les résultats sur un test de localisation d'un enfant de 7 ans, qui a reçu son premier implant à l'âge de 4.5 ans et son deuxième implant à l'âge de 6,8 ans.

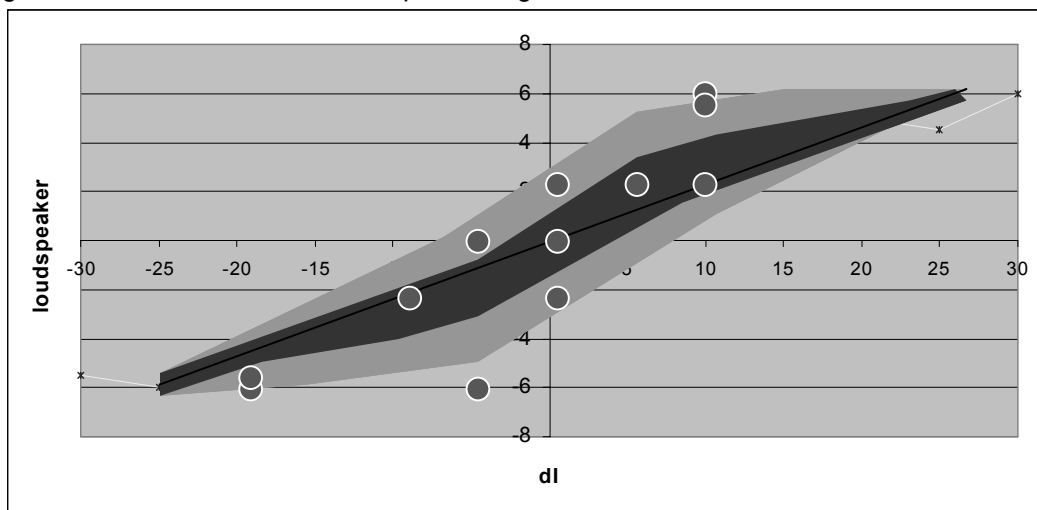


Figure 9. Test de localisation avec les zones de confiance de 68% et de 95% et avec les résultats d'un enfant de 7 ans muni de 2 implants.

Figure 9 montre que cet enfant localise tout à fait normalement sur ce test, qui est pourtant difficile à faire à cet âge. Figure 10 montre les résultats sur le même test chez une personne de 32 ans qui a reçu son premier implant à l'âge de 29.8 ans et le deuxième à 30.6 ans.

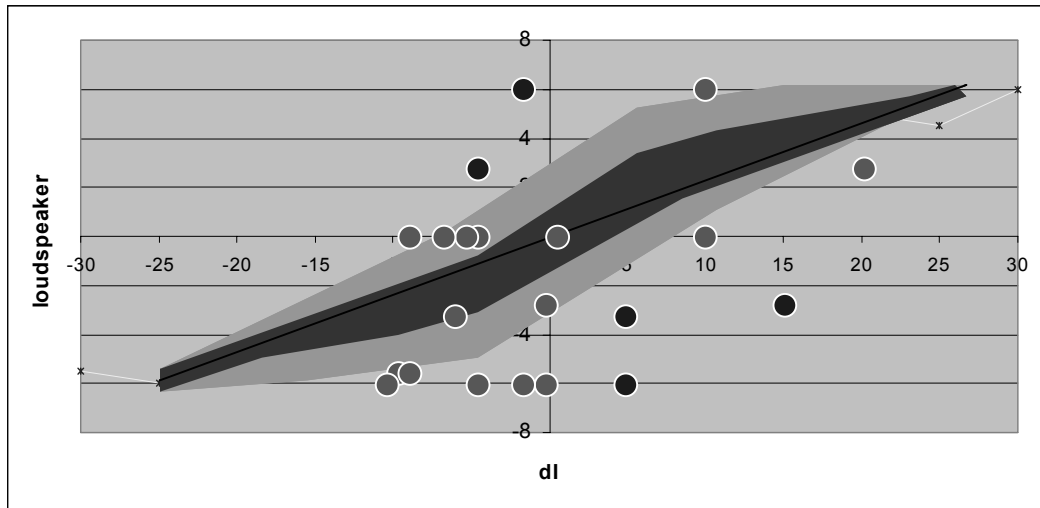


Figure 10. Test de localisation avec les zones de confiance de 68% et de 95% et avec les résultats d'une personne de 32 ans muni de 2 implants.

Apparemment, chez cette personne adulte, les résultats sont moins bons que chez l'enfant de 7 ans. La dispersion est plus grande et donc, la localisation moins correcte. Il faut avouer que le recul est extrêmement court pour les 2 cas et qu'il n'y a donc pas d'effet d'apprentissage possible. De toute façon, l'avenir nous permettra de mieux analyser cette capacité de localisation et de voir si par exemple, la durée de déprivation est importante ou pas.

conclusions

L'implantation bilatérale n'en est encore qu'aux balbutiements. Pourtant, les avantages de stéréophonie sont bien connus et ce ne serait pas raisonnable de se contenter des résultats, bons qu'ils soient, d'une implantation unilatérale. L'ouïe rendue par un implant unilatéral ne se compare toujours pas avec une ouïe unilatérale normale. Les personnes atteintes d'une surdité profonde ont le droit de recevoir plus si possible. Et plus est possible, en témoignent les résultats préliminaires de nos patients. Apparemment, ils bénéficient de façon importante de la stéréophonie. Comme toujours, les avantages ne se montrent pas immédiatement et pas toujours. Une petite enquête sur laquelle 20 de nos patients avec un implant bilatéral ont répondu, a montré que deux tiers apprécient qu'il y a des inconvénients, mais il s'agit surtout d'aspects pratiques comme les deux processeurs (boîtiers), la consommation de batteries etc. Par contre, 100% des adultes rapporte un plus haut confort d'ouïe, 80% une meilleure capacité de localisation et 50% une meilleure compréhension dans le bruit. L'avenir nous apprendra l'effet d'adaptation et d'apprentissage, la prévalence et les prédateurs d'une intolérance du deuxième implant, les spécificités du réglage optimal etc. Mais déjà maintenant, les résultats préliminaires et le contentement des patients porteurs de deux implants, sont très encourageants.

Références

- ARCHBOLD S, LUTMAN M, MARSHALL D. (1995). Categories of auditory performance. *Ann Otol rhinol Laryngol*, **104(Suppl 166)**, 312-4.
- ARCHBOLD S, LUTMAN ME, NIKOLOPOULOS T. (1998). Categories of auditory performance: inter-user reliability. *Br J Audiol*, **32**, 7-12.
- DAEMERS K, DIRCKX JD, VAN DRIESSCHE K, SOMERS T, OFFECIERS FE, GOVAERTS PJ. (1996). Neonatal hearing screening with otoacoustic emissions: an evaluation. *Acta Otorhinolaryngol Belg*, **50(3)**, 203-9.
- DE CEULAER G, DAEMERS K, VAN DRIESSCHE K, MARIEN S, SOMERS T, OFFECIERS FE, GOVAERTS PJ. (1999). Neonatal hearing screening with transient evoked otoacoustic emissions: a learning curve. *Audiology*, **38**, 296-302.
- GOVAERTS P.J. (2002). Congenital Hearing loss. A contribution to its detection, diagnosis and treatment. PhD Thesis, Medical Department, University of Antwerp, Antwerp-Wilrijk, Belgium, 308 pp.
- GOVAERTS PJ, DE CEULAER G, YPERMAN M, VAN DRIESSCHE K, SOMERS T, OFFECIERS FE. (2001). A two-stage, bipodal screening model for universal neonatal hearing screening. *Otol Neurotol*, **22(6)**, 850-4.
- JOINT COMMITTEE on Infant Hearing Screening. Position Statement. (1994). *ASHA*, **36(12)**, 38-41.
- NIH. (1993). Early identification of hearing impairment in infants and young children. *NIH Consensus Statement*, **11(1)**, 1-24.
- PJ GOVAERTS, C DE BEUKELAER, K DAEMERS, G DE CEULAER, M YPERMAN, T SOMERS, I SCHATTEMAN, FE OFFECIERS. (2002). Outcome of cochlear implantation at different ages from 0 to 6 years. *Otol Neurotol*, **23(6)**, 885-90.
- PJ GOVAERTS. (2004). Audiometric tests and diagnostic workup. In: PJ Willems [ed.] Genetic Hearing Loss (p 33-48). Marcel Dekker Inc, New York.
- SCHAUWERS K, GILLIS S, DAEMERS K, DE BEUKELAER C, GOVAERTS PJ. (2004). Cochlear implantation between 5 and 20 months of age: the onset of babbling and the audiological outcome. *Otol Neurotol* (**in press**).
- WHITE KR, MAXON AB. (1995). Universal screening for infant hearing impairment: simple, beneficial, and presently justified. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, **32(3)**, 201-211.
- WHITE KR, VOHR BR, MAXON AB, BEHRENS TR, McPHERSON MG, MAUK GW. (1994). Screening all newborns for hearing loss using transient evoked otoacoustic emissions. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, **29(3)**, 203-217.