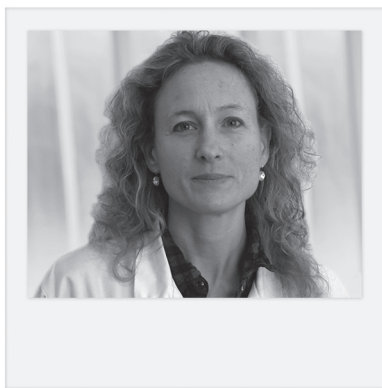


Implants cochléaires chez l'enfant : bilan et perspectives

RÉSUMÉ : Les surdités congénitales moyennes à profondes concernent 1/1 000 nouveau-nés. En cas de surdité sévère à profonde, lorsque l'appareillage ne laisse pas espérer une réhabilitation auditive de bonne qualité, la question d'une implantation cochléaire doit être posée. C'est un outil de réhabilitation auditive dont l'efficacité est reconnue, qui nécessite cependant d'en bien connaître les indications et les limites.

En effet, la construction d'un système de référence auditivo-verbal fait intervenir non seulement l'audition périphérique mais aussi le développement des aires perceptivo-motrices, et de nombreux facteurs de construction cérébrale interviennent dans le résultat perceptif et linguistique.

Chez l'enfant, l'implant cochléaire s'inscrit dans un projet rigoureux qui tient compte des éléments médicaux, rééducatifs, psychologiques et sociaux. Les indications particulières sont celles qui concernent le très jeune nourrisson, les enfants ayant une surdité partielle, les implantations bilatérales. Dans les cas anatomiques difficiles, soit en cas d'ossification après méningite, soit en cas de malformation complexe de l'oreille interne ou du nerf auditif, l'implant du tronc cérébral peut être discuté.



→ **N. LOUNDON**
Service ORL, Hôpital Necker-Enfants
malades, PARIS.

L'implant cochléaire : quelques rappels

L'implant cochléaire est une prothèse implantable composée d'une partie amovible et d'une partie implantée. La partie externe comprend un microphone, un processeur vocal et une antenne; la partie interne comprend un récepteur et un ruban d'électrodes. Les informations sonores codées sont transmises à la partie interne via l'antenne. Les électrodes intracochléaires sont activées en fonction des fréquences à transmettre. Le premier relais ganglionnaire est ainsi directement stimulé au travers de la cochlée (*fig. 1*).

Les informations auditives sont numérisées sur les bandes fréquentielles allant de 250 à 8000 Hz. Le traitement du signal peut se faire sur plusieurs modes, selon que l'on privilégie la rapidité de stimulation ou le nombre de canaux activés simultanément. Les stratégies de codage dépendent des processeurs. Quatre fabricants d'implant sont disponibles :

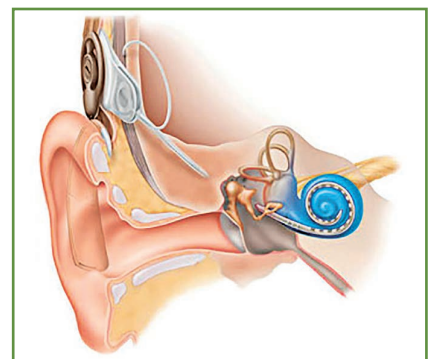


FIG. 1 : Schéma d'une oreille avec implant cochléaire en place. Le processeur externe communique via l'antenne à la partie interne dont les électrodes sont implantées dans la cochlée.

Advanced Bionics (HiRes, États-Unis), Cochlear (Nucleus, Australie), Med-El (Sonata, Autriche), Neurelec (Digisonic, France). Chaque implant présente des spécificités ergonomiques et électroniques pour des résultats orthophoniques similaires (*fig. 2 et 3*).

Le choix de l'implant dépend des particularités de chaque patient et des habitudes de l'équipe. Le prix d'un implant

REVUES GÉNÉRALES

ORL



FIG. 2 : Processeur Advanced Bionics.



FIG. 3 : Implant cochléaire Nucleus.

est d'environ 22 000 euros. La mise en place chirurgicale de la partie interne nécessite une hospitalisation de quelques jours. En peropératoire, il est possible de mesurer l'effet de la stimulation soit par potentiels évoqués électriques via l'implant (PEE), soit par télémetrie. Ces tests permettent de vérifier que le couple implant-nerf fonctionne (ou pour les PEE que le premier relais cérébral soit stimulé) et donnent une indication des seuils de stimulation efficaces pour la première adaptation. L'activation de l'implant a lieu quelques jours après la chirurgie. Une dizaine de réglages est en général à prévoir la première année puis ensuite 2 à 3 fois par an.

Indications

Les critères d'implantation pédiatrique ont fait l'objet d'un consensus international en 1995 et plus récemment d'une recommandation nationale française par la Haute Autorité de santé (HAS) en 2007, actualisée en 2011 (www.has-sante.fr) :

- surdité profonde bilatérale ;
- seuils prothétiques supérieur ou égal à 60 dB ;
- scores d'intelligibilité de mots en liste ouverte inférieurs à 50 %.

Les indications se sont élargies avec les résultats observés et l'expérience acquise par les équipes d'implanta-

tion cochléaire et de rééducation. Les nouvelles indications rencontrées sont principalement les surdités sévères bilatérales, les asymétriques et les surdités partielles ou fluctuantes.

L'équipe d'implantation

L'équipe d'implantation est multidisciplinaire et comprend outre un plateau technique adapté à l'enfant, les spécialistes : chirurgien ORL, orthophoniste, psychologue. Son rôle est de déterminer si l'implant permet de laisser espérer une évolution meilleure qu'avec un appareillage conventionnel et s'il n'existe pas de contre-indication évidente (difficultés chirurgicales, pathologie médicale évolutive, problèmes psychologiques, etc.).

Le moment du bilan pré-implant est particulièrement important. L'équipe de rééducation qui prend en charge l'enfant est invitée à échanger autour de ce projet et d'éclairer le contexte de la demande familiale. Chaque dossier est discuté de façon collégiale avant toute décision. Le bilan est amené aussi parfois à dépister une pathologie médicale évolutive pour laquelle un suivi spécifique s'impose (anomalies visuelles, neurologiques, vestibulaires, cardiaques).

Bilan avant implantation

Les parents ont un entretien médical qui permet de leur donner les informations sur les principes de l'implant, ses limites et ses risques. L'audiogramme, sans et avec prothèses surpuissantes, vérifie l'indication audiométrique. Les tests d'audition se font en audiométrie tonale et aussi vocale quand cela est possible. Ces tests sont proposés dans le silence mais aussi dans le bruit en cas d'audition résiduelle afin de mieux appréhender la situation auditive réelle. En effet, certains enfants ayant un gain auditif en audiométrie tonale

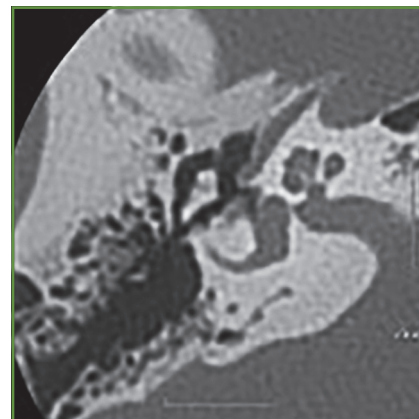


FIG. 4 : Scanner des rochers (coupe axiale). Cochlée normale.

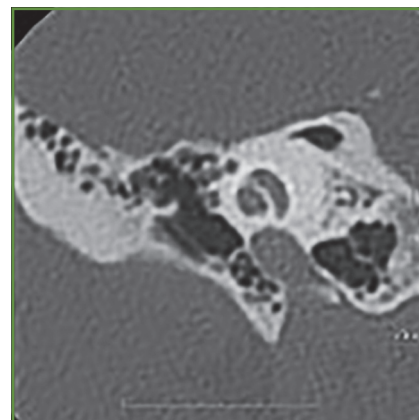


FIG. 5 : Scanner des rochers (coupe coronale). Cochlée normale.

en cabine auditive ; ils font illusion pendant longtemps et n'ont en fait que peu d'intelligibilité de la parole avec leurs appareils dans la vie quotidienne.

L'examen clinique ORL permet de rechercher des pathologies associées dans le cadre de surdités syndromiques et/ou génétiques, qui modifieraient le projet d'implantation ou la prise en charge. Selon les cas, d'autres examens sont à prévoir, comme l'examen ophtalmologique, ou la consultation en neuropédiatrie. Le scanner des rochers (fig. 4 et 5) est en général demandé ainsi que l'IRM cérébrale qui explore le labyrinthe, le conduit auditif interne et le parenchyme cérébral. Le bilan orthophonique est essentiel.

Il permet l'évaluation des capacités de communication et précise le niveau de langage de l'enfant. Il contribue également à définir avec la famille un projet linguistique cohérent.

L'entretien psychologique permet d'évaluer le développement global et psychoaffectif de l'enfant et de cerner les attentes et la motivation de la famille.

Avant toute implantation, il faut s'assurer qu'une prise en charge rééducative optimale soit mise en place et le projet scolaire cohérent.

Après l'implantation

Quelques jours après la chirurgie, commencent les premiers réglages de l'implant ; il faut compter en général 2 mois avant d'obtenir des seuils d'audition efficaces. Une évaluation régulière de la progression orthophonique de l'enfant est réalisée parallèlement au suivi technique de l'appareil. L'expérience de l'équipe d'implant en ce qui concerne la chronologie de développement de la perception et du langage après implantation permet d'accompagner le projet de rééducation au plus près. Les résultats observés dépendent du contexte : du type de surdité, de l'âge à l'implantation, de l'histoire médicale, du projet pédagogique, de l'environnement socioculturel, etc.

Évolution et résultats

Les résultats après implant dépendent de multiples facteurs dont le principal – pour les enfants sourds congénitaux – est la précocité de la chirurgie. Les travaux dans le domaine des neurosciences montrent, en effet, qu'il existe une période critique de développement des systèmes sensoriels en général et auditif central en particulier. Le développement de la boucle audio-phona-

toire est dépendant de la qualité de ce développement. Chez l'enfant sourd profond implanté, les enregistrements des potentiels corticaux obtenus lors de la stimulation auditive visualisent ce phénomène, avec une possible normalisation des tracés si la chirurgie a lieu avant 3 ans et la non normalisation après l'âge de 7 ans [1].

Les études cliniques dans les différents domaines perceptifs, linguistiques et scolaires concernant l'impact de l'implantation unilatérale sont nombreuses. L'amélioration des scores de perception est constante dans le cadre des indications classiques, même si elle est d'importance variable.

Les résultats de la perception et du langage oral d'un groupe d'enfants sourds congénitaux ayant un recul minimum de 3 ans avec l'implant ont été comparés à ceux de sourds profonds non implantés appariés en âge. Les résultats montrent une différence significative entre les deux groupes [2]. Les comparaisons d'enfants sourds se font par rapport à ceux des enfants entendants, et les études montrent que le langage tend à se développer parallèlement à ce groupe [3]. Les observations cliniques confirment l'existence d'une fenêtre de sensibilité pour l'implantation des enfants sourds profonds congénitaux, et la période se situe avant 24 mois. Il existe une corrélation négative entre scores de MLO et âge à l'implantation chez des enfants sourds congénitaux implantés après 30 mois.

Watson *et al.* ont suivi 176 enfants après implantation cochléaire. Trois groupes ont été constitués selon l'âge à l'implant : avant 3 ans, entre 3 et 5 ans, après 5 ans. À 5 ans de recul, la communication était de type "orale" dans respectivement 83 %, 63,5 % et 45,1 % [4]. Pour les enfants implantés avant 24 mois, les scores d'intelligibilité de la parole étaient dans la norme à l'âge de 5 ans. Les enfants implantés

avant 16 mois montraient qu'ils étaient capables d'un développement du protolangage plus rapide que les enfants entendants et de les rattraper, leur développement phonétique suivant ensuite des schémas similaires [5, 6].

Le développement de la parole et du langage permet aussi aux enfants d'accéder à la lecture et aux acquis scolaires au même rythme que les entendants.

Geers *et al.* a étudié le niveau de lecture chez 181 enfants sourds, âgés de 8 à 10 ans ayant 4 à 6 ans de recul avec implant. Plus de 51 % d'entre eux obtenaient un niveau de lecture similaire aux enfants entendants de leur âge. Lorsqu'il n'existait pas de troubles associés à la surdité, 2/3 des enfants pouvaient suivre un parcours scolaire normalisé 18-20 [7].

Indications particulières

1. Implantation bilatérale

L'implantation peut être proposée bilatéralement aux candidats à l'implant, lorsqu'il existe une surdité sévère à profonde bilatérale.

>>> L'implantation unilatérale permet le développement d'un langage oral chez l'enfant sourd dans la majorité des cas. L'intérêt théorique d'une implantation bilatérale est de réhabiliter la fonction d'audition binaurale, ce qui facilite la compréhension de la parole dans le bruit et permet la localisation des sons, impossible avec une réhabilitation unilatérale. Le confort auditif obtenu par la bi-implantation, diminuant les situations de réception partielle, pourrait à long terme avoir un impact sur la qualité de la parole et du langage.

>>> Le bénéfice de l'implantation bilatérale a été étudié chez l'adulte devenu sourd puis chez l'enfant sourd congénital.

REVUES GÉNÉRALES

ORL

Dans le cas de surdités acquises ou secondaires, comme par exemple après une méningite, la restauration de la binauralité peut être de qualité. Pour les enfants ayant une surdité congénitale, les résultats ne peuvent pas être transposés directement car ils n'ont pas eu d'expérience auditive préalable ni stéréophonique *a fortiori*. Celle-ci est aussi soumise à la problématique du développement perceptif cortical.

Gordon *et al.* [8] retrouvent une maturation des potentiels corticaux bilatéraux incomplète en cas d'implantation tardive, et non symétrique si les deux implantations étaient différées de plus de 2 ans. Ces éléments objectifs confirment les observations cliniques montrant des meilleurs résultats chez les enfants bi-implantés simultanément avant l'âge de 18 mois. L'impact de la bi-implantation le plus facile à objectiver est celui de l'amélioration de l'audition dans le bruit pouvant aller de 2 à 6 dB. La récupération d'un certain degré de localisation est possible mais dépendant de l'expérience auditive préalable, de l'âge à l'implantation, du délai entre les deux implants [9].

L'impact de la bi-implantation sur le développement du langage est, lui, beaucoup moins connues, en raison des facteurs multiples intervenant dans le processus linguistique et de différences fines difficiles à mettre en évidence. Les études observationnelles réalisées chez des enfants bi-implantés avant 3 ans – en simultané ou en séquentiel – et comparés à leurs pairs implantés en unilatéral, rapportent cependant une tendance à l'utilisation plus naturelle et plus précoce des intentions de communication orale.

2. Ossification cochléaire

Après une méningite bactérienne, la surdité peut survenir en raison des toxines libérées par les bactéries. Cette toxine génère des phénomènes inflam-

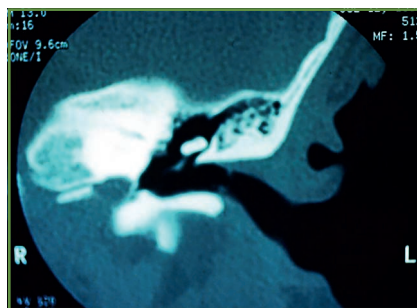


FIG. 6: Scanner des rochers (coupe coronale). Surdité postménigitique : aspect d'ossification cochléaire.

matoires importants intracochléaires qui eux-mêmes sont pourvoyeurs de fibrose puis d'ossification (*fig. 6*), tous deux irréversibles. Ces phénomènes sont très précoces : la surdité débute quelques heures (2-4 heures) après le début de l'infection et évolue encore pendant les 2 années qui suivent la méningite. En cas de fibrose cochléaire débutante, l'implantation est urgente, avant qu'une ossification ne s'installe, oblitérant la cochlée. En cas d'ossification avancée, certaines techniques chirurgicales sont possibles (micro drill, faisceaux d'électrodes, implantation du tronc cérébral), mais les résultats restent décevants par rapport à une implantation cochléaire "conventionnelle" [10].

Il s'agit là d'une des seules indications "urgentes" de l'implant cochléaire. Un dépistage précoce et prolongé de l'audition ainsi qu'une surveillance par imagerie cochléaire sont indispensables en cas de méningite bactérienne pour éviter un retard de diagnostic qui est une réelle perte de chance sensorielle.

3. Malformations d'oreille et hypoplasie des nerfs auditifs

Dans le cas de malformations cochléaires, plusieurs problèmes se posent. Il faut que la cavité cochléaire ou cochléo-vestibulaire soit de taille suffisante pour recevoir un nombre minimum d'électrodes, et que l'abord de cette cavité soit anatomiquement possible. Il faut aussi s'assurer qu'un

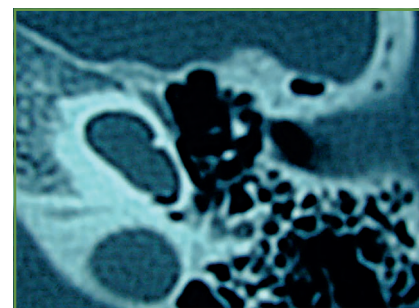


FIG. 7: Scanner des rochers (coupe axiale). Malformation d'oreille interne sévère, vésicule unique.

nerf auditif est présent. Dans le cas de malformations complexes, l'interface neurale n'est pas toujours fonctionnelle (*fig. 7*). Les risques opératoires sont, entre autres, le geyser, la paralysie faciale traumatique, la migration du porte-électrodes et la méningite. Les résultats orthophoniques sont fonction du contexte malformatif et de l'histoire auditive [11].

Les enfants sans nerf auditif individualisable à l'IRM ne sont pas, en théorie, candidats à l'implantation cochléaire. Dans certaines situations, il existe une dissociation entre la clinique et l'imagerie, ce qui laisse à penser qu'un nerf grêle est présent sans être visible. En ce cas, la possibilité d'une implantation peut se discuter. Mais, dans tous les cas, ces enfants ont en moyenne des résultats perceptifs plus limités que les autres patients ; il faut donc rester prudent dans ces indications. Dans ces cas particuliers, l'alternative est celle d'un implant du tronc cérébral qui donne, là encore, des résultats inférieurs à celui attendu par une implantation cochléaire "classique" avec, en moyenne, une perception possible de l'environnement sonore et éventuellement la perception de certains éléments de la parole qui peuvent compléter la lecture labiale (voyelles, mots isolés...) [12, 13].

4. Handicaps associés

Environ 1/3 des enfants présentent des handicaps associés connus ou qui seront

mis en évidence secondairement avec le développement de l'enfant. Certains peuvent renforcer l'indication (comme dans le cas d'un déficit visuel associé), d'autres rendent le pronostic linguistique très limité et peuvent contre-indiquer la chirurgie (retard mental, trouble psychopathologique sévère). Le déficit cognitif grève le pronostic linguistique. Les enfants ayant un retard mental léger ou modéré peuvent tirer un bénéfice perceptif d'un implant, mais le développement linguistique restera limité ou inexistant [14].

Il est important, dans ces cas particuliers, de poser les limites du projet d'implantation avec la famille et de s'assurer que le projet et la prise en charge sont cohérents. Le partenariat avec l'équipe éducative est essentiel, et chaque candidature est discutée de façon multidisciplinaire.

5. Implantation précoce (fig. 8)

Les connaissances nouvelles sur le développement cérébral du système auditivo-verbal, en particulier la question de la "période sensible" pour les aires cérébrales, ont poussé les professionnels vers l'implantation très précoce. Les avantages de la grande précocité de l'implantation sont à mettre en balance avec la problématique spécifique des jeunes nourrissons :

- d'une part, il n'est pas toujours facile d'affirmer l'importance de la surdité avant 6 mois, même avec les techniques actuelles de mesures objectives (PEA, ASSR, OEAS), et l'examen subjectif est parfois mis en défaut ; dans certains cas, il est important de savoir temporiser ;
- d'autre part, les éléments d'observation du développement de l'enfant sont limités et une pathologie associée à la surdité sera peu ou pas visible. Le risque d'une implantation précoce dans ces cas est celui d'inadéquation des attentes parentales au projet de réhabilitation ; celui-ci doit donc être particulièrement accompagné ;

POINTS FORTS

- ➔ La période optimale pour la stimulation des zones cérébrales auditives est très précoce, entre 6 et 15 mois de vie, pour les enfants sourds profonds congénitaux.
- ➔ L'implant cochléaire est un outil de réhabilitation efficace pour la perception et permet le plus souvent d'obtenir un développement du langage oral chez l'enfant sourd profond congénital. En l'absence de difficulté associée et si la prise en charge est précoce, un cursus scolaire normalisé peut être espéré.
- ➔ Pour permettre d'optimiser le développement d'une audition stéréophonique chez l'enfant sourd profond de naissance, il semble important de proposer la double implantation dans les premières années de vie. La précocité de la première implantation, en particulier, semble être déterminante.
- ➔ L'amélioration des scores de reconnaissance de la parole dans le bruit peut aller jusqu'à 50 % en cas de réhabilitation bilatérale. L'impact de l'implantation bilatérale sur l'acquisition du langage et sur la qualité de vie reste encore à évaluer.

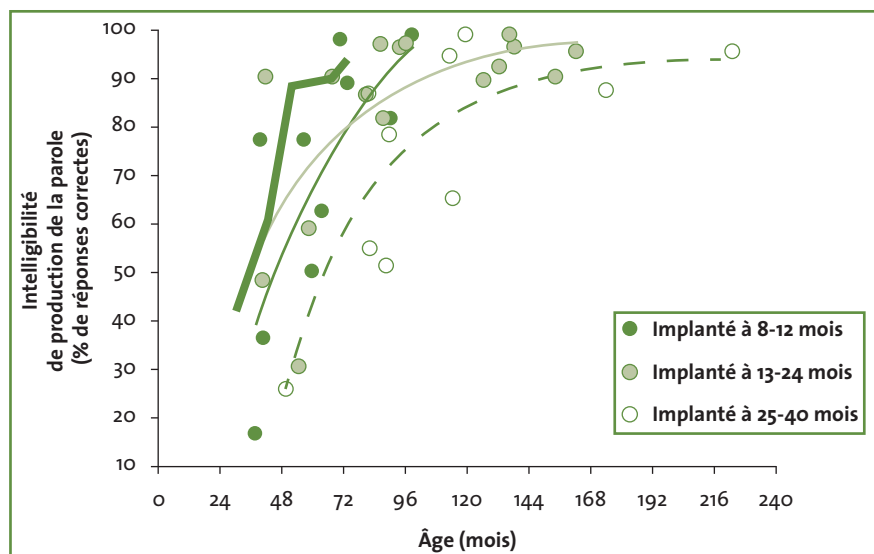


Fig. 8 : Évolution de la qualité de la production orale chez l'enfant implémenté en fonction de l'âge à l'implantation et comparée à l'enfant normo-entendant (réf.: courbe moyenne d'évolution de l'enfant normo-entendant (extrait de Habib et al. *IJPO*, 2010).

– enfin, il est nécessaire de bien connaître les particularités chirurgicales, anesthésiques et de réglages d'implant pour limiter les complications plus fréquentes chez le nourrisson de moins de 12 mois. La prise en charge doit s'orga-

niser dans un centre d'implantation rodé à la prise en charge du tout-petit. En ce cas, les risques anesthésiques et chirurgicaux sont très proches de ceux des enfants implantés après 12 mois (3,2 % versus 2,3 %).

REVUES GÉNÉRALES

ORL

Cliniquement, il est difficile de mettre en évidence une différence significative d'évolution entre le groupe des enfants implantés avant 12 mois et celui des enfants implantés entre 12 et 24 mois. Une revue récente de la littérature retrouvait néanmoins que 40 % des nourrissons avaient des scores améliorés par rapport à ceux ayant reçu l'implant entre 12 et 24 mois [15, 16].

6. Audition résiduelle

Le concept d'implantation en situation d'audition résiduelle repose sur les possibilités de conserver l'audition malgré l'introduction du porte-électrodes dans la cochlée (fig. 9). La préservation de l'audition nécessite un design d'électrode fin et souple et une technique chirurgicale la plus atraumatique possible. Sur une population adulte et enfant, Skarzynski *et al.* montraient moins de 5 dB de perte postopératoire chez plus de la moitié des patients implantés [17]. Plus récemment, Brown *et al.* retrouvaient une préservation partielle auditive dans 90 % d'une population pédiatrique implantée avec une électrode longue [18].

Les études comparatives montrent que les enfants implantés ayant une audition résiduelle ont de meilleurs résultats que leurs pairs appareillés ayant une surdité identique, et qu'ils n'étaient pas différents de ceux qui avaient une surdité moyenne [19].

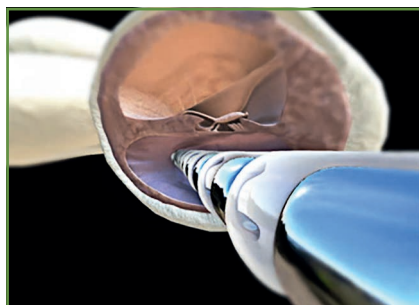


FIG. 9 : Positionnement du faisceau d'électrodes dans la rampe tympanique.

Conclusion

Si les résultats perceptifs sont le plus souvent rapidement évidents après quelques mois d'utilisation de l'implant, l'évolution linguistique reste variable chez l'enfant sourd profond congénital. Ainsi, un quart des enfants présentent une progression linguistique lente qui, bien que positive, restent en décalage par rapport aux enfants de leur âge, et certains seront en très grande difficulté linguistique.

Ces résultats illustrent bien les limites de l'implant dans la réhabilitation de la surdité, le développement du langage étant soumis à de nombreux autres facteurs, notamment cognitifs et développementaux. Cependant, la précocité de l'intervention et la qualité de la rééducation sont de puissants éléments qui contribuent à optimiser l'impact de la réhabilitation auditive sur le développement du langage chez l'enfant sourd profond congénital. Lorsqu'il existe une surdité secondaire ou acquise, les résultats perceptifs sont en revanche excellents. La qualité de la réhabilitation a permis d'étendre les indications aux enfants présentant une surdité sévère ou partielle.

Bibliographie

- SHARMA A, DORMAN MF, KRAL A. The influence of a sensitive period on central auditory development in children with unilateral and bilateral cochlear implants. *Hearing Research*, 2005;203:134-143.
- TOMBLIN JB, SPENCER L, FLOCK S *et al.* A comparison of language achievement in children with cochlear implants and children using hearing aids. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 1999;42:497-509.
- SVIRSKY MA, ROBBINS AM, KIRK KI *et al.* Language development in profoundly deaf with implants. *Psychological Science*, 2000;11:153-158.
- WATSON LM, ARCHBOLD SM, NIKOLOPOULOS TP. Children's communication mode five years after cochlear implantation: changes over time according to age at implant. *Cochlear Implants International*, 2006;7:77-91.
- WIE OB. Language development in children after receiving bilateral cochlear implants between 5 and 18 months. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2010;74:1258-1266.
- HABIB MG, WALTZMAN SB, TAJUDEEN B *et al.* Speech production intelligibility of early implanted pediatric cochlear implant users. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2010;74:855-859.
- GEERS AE. Predictors of reading skill development in children with early cochlear implantation. *Ear and Hearing*, 2003;24:59S-68S.
- GORDON KA, WONG DDE, VALERO J *et al.* Use It or Lose It? Lessons Learned from the Developing Brains of Children Who are Deaf and Use Cochlear Implants to Hear. *Brain Topography*, 2011;24:204-219.
- SCHERF F, VAN DEUN L, VAN WIERINGEN A *et al.* Three-year postimplantation auditory outcomes in children with sequential bilateral cochlear implantation. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2009;118:336-344.
- YOUNG NM, HUGHES CA, BYRD SE *et al.* Postmeningitic ossification in pediatric cochlear implantation. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 2000;122:183-188.
- LOUNDON N, ROUILLOIN I, MUNIER N *et al.* Cochlear implantation in children with congenital inner ear malformations. *Otol Neurotol*, 2005;26:261-264.
- SENNAROGU L, ZIYAL I, ATAS A *et al.* Preliminary results of auditory brainstem implantation in prelingually deaf children with inner ear malformations including severe stenosis of the cochlear. *Otol Neurotol*, 2009;30:708-715.
- KUTZ JW, LEE KH, ISAACSON B *et al.* Cochlear implantation in children with cochlear nerve absence or deficiency. *Otology & Neurotology: official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 2011;32:956-961.
- MEINZEN-DERR J, WILEY S, GREYER S *et al.* Language performance in children with cochlear implants and additional disabilities. *Laryngoscope*, 2010;120:405-413.
- VLASTARAKOS PV, CANDILOROS D, PAPACHARALAMPOUS G *et al.* Diagnostic challenges and safety considerations in cochlear implantation under the age of 12 months. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2010;74:127-132.
- VLASTARAKOS PV, PROIKAS K, PAPACHARALAMPOUS G *et al.* International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology Cochlear implantation under the first year of age-The outcomes. A critical systematic review and meta-analysis. *Integration, the VLSI Journal*, 2010;74:119-126.
- SKARZYNSKI H, LORENS A, MATUSIAK M *et al.* Partial Deafness Treatment with the Nucleus Straight Research Array Cochlear Implant. *Audiol Neurotol*, 2012;17:82-91.
- BROWN RF, HULLAR TE, CADIEUX JH *et al.* Residual Hearing Preservation After Pediatric Cochlear Implantation. *Otol Neurotol*, 2010;31:1221.
- LEIGH J, DETTMAN S, DOWELL R *et al.* Evidence-based approach for making cochlear implant recommendations for infants with residual hearing. *Ear and Hearing*, 2011;32:313-322.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.