
L'écoute avec implant cochléaire multi-canal: médiation cognitive et implications relatives aux stratégies de réadaptation

Multichannel cochlear implants: Cognitive mediation and implications for rehabilitation strategies

Florence Delhom
Sciences biomédicales
Université de Montréal

Michel Picard and Constanta Barbarosie
Ecole d'orthophonie et d'audiologie
Université de Montréal

Key Words: cochlear implant, acquired deafness, speech perception, cognitive auditory factors.

Résumé

La perception de la parole avec implant cochléaire multi-canal varie d'un sujet à l'autre, même lorsque les habiletés psychoacoustiques sont identiques. L'hypothèse d'une médiation cognitive déterminante de l'écoute apparaît alors fondée, en raison des particularités de la perception de la parole par stimulation électrique, des facteurs complexes impliqués dans la compréhension auditivo-linguistique et de confirmations récentes de telles influences auprès de personnes âgées et d'utilisateurs d'implant cochléaire multi-canal. La présente dresse donc une revue critique des évidences à l'appui de cette thèse et propose l'ajustement des interventions en conséquence: sélection à l'implantation et stratégies de réadaptation. Des variantes sont envisagées dans l'intervention de réadaptation, selon que l'implant est destiné aux adultes avec surdité acquise ou avec surdité pré- ou péri-linguale.

Abstract

Speech perception with a multi-channel cochlear implant varies from one subject to another, even when psychoacoustical abilities are identical. The assumption that cognitive mediation plays an important role in the development of listening skills seems justified because of the particularities of speech perception by electrical stimulation, of the complex factors involved in the auditory-linguistic comprehension, and of recent confirmations of such influences in older persons and users of multi-channel cochlear implants. This paper presents a critical review of the evidence for this thesis and proposes necessary adjustments for intervention strategies: criteria for selection of the implant candidate and rehabilitation strategies. It explores variations in rehabilitation interventions for implanted adults with acquired deafness or prelingual or perilingual deafness.

L'implant cochléaire constitue un moyen technique de réadaptation de la surdité profonde irréversible, lorsqu'une aide auditive conventionnelle ne permet plus l'utilisation fonctionnelle de l'audition (Schindler & Merzenich, 1985; Gray, 1985; Clark et al., 1987; Owens & Kessler, 1989; Miller & Spelman, 1990). Par surdité profonde, on entend généralement des niveaux d'audition au 500, 1000 et 2000 Hz égaux ou supérieurs à 91 dB (re-ANSI, 1989). Toutefois,

Boothroyd (1989) distingue les sujets qui possèdent une audition résiduelle (seuils échelonnés de 91 à 100 dB, avec valeurs de 105 dB ou moins au dessus de 1000 Hz), de ceux qui ne possèdent que peu d'audition résiduelle (seuils de 101 à 110 dB avec 110 dB ou plus au-dessus de 1000 Hz). Il discrimine également la surdité dite totale, c'est à dire l'absence de réponse aux limites de l'audiomètre, ou des réponses audiométriques à la sensation tactile. C'est plus précisément à cette dernière sous-catégorie de sujets que s'adresse l'implantation cochléaire.

Les premiers essais de réadaptation avec implant cochléaire ont été réalisés par Djurno & Eyries en 1957, par House en 1961, et par Simmons en 1964 (voir Gibson, 1987). Au départ, l'implant cochléaire a été utilisé chez des adultes présentant une surdité acquise. Par la suite, la technique a été généralisée aux enfants. Plus récemment, des sujets atteints de surdité pré-linguale (c'est à dire acquise avant l'âge d'un an) ou péri-linguale (acquise entre un et quatre ans), adultes et enfants, ont été implantés (Clark et al., 1987; Gibson, 1987; Tong et al., 1988).

Les appareils utilisés étaient soit de type mono-électrode, soit à électrodes multiples (mono ou multi-canal). Toutefois, si l'implant mono-électrode restituait la perception des bruits environnants et des traits prosodiques de la parole, il ne permettait pas de discriminer les phonèmes et les mots sans support de la lecture labiale (Dillier et al., 1980; Mathews et al., 1981; Asha, 1985; Ballantyne, 1985; Pickett & McFarland, 1985). C'est pourquoi l'implant le plus souvent utilisé actuellement est de type multi-électrode. En particulier, l'appareil multi-canal Australien Nucleus connaît une grande popularité (Gantz et al., 1988; Osberger, 1990; Patrick, 1991). Les résultats obtenus avec cet équipement sont effectivement parmi les plus encourageants en ce qui concerne la restauration de la perception¹ de la parole (Millar et al., 1984; Tyler et al., 1984; 1989; Staller et al., à paraître).

¹ Selon le modèle de référence, la perception concerne spécifiquement le filtrage des sons environnants, l'extraction des indices acoustiques pertinents et leur catégorisation sous forme de représentations

L'appareil Nucleus a été mis au point vers 1970 par l'équipe de G.M. Clark à l'Université de Melbourne (Australie). Il comporte 22 électrodes et procède à l'extraction, puis au codage de la fréquence fondamentale, F0, du premier et du second formant de la parole, F1 et F2, ainsi que de leur amplitude respective, A1 et A2. Ces éléments constituent un minimum de traits acoustiques pertinents pour la perception de la parole (Clark et al., 1987; Blamey et al., 1987). Toutefois, l'ajout du troisième formant favoriserait la distinction entre certaines consonnes (Blamey & Clark, 1990). Après avoir été codés, F0, F1, F2 sont transmis aux fibres du nerf auditif par une stimulation bipolaire des électrodes. On trouvera de plus amples détails sur les principes de cet implant cochléaire dans Clark et al. (1987).

Cette reconstruction parcellaire du code phonétique prend nécessairement en défaut le système perceptuel. Celui-ci rencontre des difficultés de décodage plus ou moins importantes, dépendamment de sa capacité d'adaptation à un nouveau code de la parole. Cette capacité d'adaptation est tributaire de l'exposition linguistique, de processus maturatifs, et de mécanismes cognitifs plus larges (WGCAHI, 1991). Dans ce contexte, nous discuterons des différents facteurs pouvant influencer la perception de la parole avec implant cochléaire multi-canal, en mettant l'accent sur les mécanismes cognitifs impliqués. L'approche devrait permettre de dégager des implications relatives aux interventions de réadaptation.

Les déterminants de la perception de la parole avec implant cochléaire multi-canal

Les études évaluant le comportement psychoacoustique² avec des implants cochléaires tel le Nucleus, rapportent une amélioration non négligeable de la sensibilité auditive (Clark et al., 1987; Bergeron et al., 1989; Picard et al., à

phonologiques, tandis que la compréhension correspond au décodage simultané des éléments lexicaux, sémantiques, syntaxiques, et prosodiques (Keller, 1985). Bien que ces mécanismes psycholinguistiques réfèrent à des niveaux différents d'analyse, ils sont cependant intimement liés et solidaires pour plusieurs raisons: (a) la compréhension auditive-linguistique est fonction de la perception auditive; (b) la perception joue un rôle essentiel lors de la reconnaissance et de la compréhension lexicale, puisqu'elle comprend l'étape de catégorisation des indices acoustiques perçus; (c) la perception et la compréhension recourent à des processus identiques de comparaison entre formes attendues et formes perçues lors du traitement de tout stimulus (processus "top-down" et "bottom-up" décrits notamment par Keller, 1985). Ainsi, lorsque nous parlons de perception de la parole, nous y incluons la compréhension considérée comme l'étape finale du décodage linguistique. De la même manière, lorsque nous faisons référence à la compréhension, la perception s'y trouve implicitement comprise.

paraître). On fait aussi état d'indices de sélectivité fréquentielle, ou plus exactement de sélectivité spatiale, soit l'habileté à discriminer la sensation produite par deux électrodes relativement voisines, activées séquentiellement (Tong et al., 1988; Soli, 1990; Tong et al., 1990). La littérature rapporte également une capacité d'analyse temporelle (Tong et al., 1988; Preece et al., 1989; Tyler et al., 1989). En conséquence, les sujets implantés peuvent identifier certains indices de la parole et ainsi accéder à différents niveaux de compréhension d'un message verbal (Blamey et al., 1987; Clark et al., 1987; Gantz et al., 1988; Tyler et al., 1989; Tong et al., 1990). Cette habileté à comprendre la parole avec implant cochléaire multi-canal se vérifie, à des degrés divers, tant chez les adultes que chez les enfants, et tant chez les sujets atteints d'une surdité post-linguale que pré-ou péri-linguale (Dowell et al., 1986; Clark et al., 1987; Mecklenburg, 1987, 1988).

Toutefois, à la suite d'interventions de réadaptation, les performances des sujets avec surdité pré-linguale demeurent plus faibles que celles des sujets avec surdité post-linguale. Cette observation concerne surtout la perception de la parole avec l'implant seul et en liste ouverte, soit lorsque le sujet n'a pas connaissance des mots ou phrases qui vont lui être dits (Clark et al., 1987; Osberger, 1990). En coïncidence, les performances psychoacoustiques fines sont moindres, en particulier la sélectivité spatiale et la résolution temporelle (Tong et al., 1988). Chez ces sujets, on relate enfin des apprentissages plus lents à l'écoute. Tong et al. (1988) soulignent que le manque d'expérience auditive des sujets avec surdité pré-linguale, et par conséquent une différence possible de la structure morphologique et physiologique du système auditif central pourrait être à l'origine de ces difficultés d'apprentissage. Kessler et Owens (1989) font d'ailleurs remarquer l'importance d'un système auditif central intact pour que le sujet sourd soit en mesure de comprendre la parole avec l'implant cochléaire multi-canal.

Particularités de l'analyse psychoacoustique

L'écoute avec implant cochléaire multi-canal semble présenter un caractère singulier que la littérature scientifique contemporaine est à décrire avec de plus en plus de netteté. Ainsi, Shannon (1989) rapporte un certain nombre de différences psychoacoustiques entre stimulation acoustique (c'est à dire obtenue par voie auditive intacte) et électrique (c'est à dire obtenue via un implant cochléaire):

² Dans ce contexte, la psychoacoustique concerne l'étude des comportements auditifs quelque soit le mode d'induction, à savoir: stimulation électrique directe contournant le système de codage de traits distinctifs de la parole (mode de synthèse F0NF1NF2, dans le cas de l'implant Nucleus); stimulation acoustique mettant à contribution la stratégie particulière de codage d'un implant donné.

1. Chez les sujets implantés, le seuil différentiel d'intensité est quasiment identique à celui des sujets entendants. Toutefois, puisque le rang dynamique est plus petit avec une stimulation électrique, les sujets implantés peuvent discriminer de l'ordre de 15 à 30 niveaux sonores, comparativement à plus de 100 chez les sujets entendants. Par conséquent, l'échelle de sonie s'avère radicalement restreinte.

2. Concernant l'analyse de la tonie, elle semble aussi différer chez les sujets implantés. Tout d'abord, la sensation de hauteur dépend directement de la position de l'électrode activée. Ensuite, si, à des niveaux confortables d'écoute chez les sujets entendants, la tonie est indépendante de l'intensité et seulement liée à la fréquence du stimulus, ce résultat n'est pas évident chez les sujets implantés, comme en font foi les résultats contradictoires de Shannon (1989) et de Tong et al. (1990).

3. En ce qui concerne la sélectivité fréquentielle, des différences entre stimulation acoustique et électrique sont également rapportées. En effet, les expériences de masquage menées auprès de sujets implantés indiquent que la fréquence du signal masquant influence peu l'efficacité du masque sur une électrode donnée, contrairement à ce qu'on observe chez les sujets entendants. Ce résultat rapporté par Shannon (1989) est d'ailleurs corroboré par une étude récente de Lim et al. (1989), ainsi que par les travaux de Picard et al. (à paraître) réalisés auprès d'utilisateurs de l'implant Nucleus. Ces derniers identifient un entonnoir, caractéristique d'une certaine forme de sélectivité fréquentielle (ou plus exactement spatiale), mais seulement pour deux des quatre signaux masquants, soit des bruits de tiers d'octave centrés à 625 Hz et 1250 Hz. Dans les deux autres cas (bruits de tiers d'octave centrés à 250 Hz et 2000 Hz), les fonctions de masque sont très élargies. Ces résultats laissent donc supposer une sélectivité fréquentielle à la fois lacunaire et différente chez les sujets implantés, et par conséquent, à l'origine d'une analyse spectrale inhabituelle.

Cette conséquence trouve un appui en physiologie cochléaire: les travaux de Kolston (1988; Kolston et al., 1989) ont précisé le rôle que jouent les cellules ciliées externes dans la sélectivité fréquentielle chez le sujet entendant. Provoquant la rigidité d'une partie de la membrane basilaire, elles sont à l'origine de l'amplification sélective (résonance) en réponse à une fréquence donnée: on observe un pic très effilé à la fréquence d'accord, permettant une analyse fine de la hauteur. Or, chez les sujets atteints de surdité totale, il est improbable que les cellules ciliées externes et internes, demeurent fonctionnelles en grand nombre, à supposer même qu'il en subsiste. En outre, l'envahissement de la rampe tympanique par le corps étranger que constitue le porte-électrode, ne peut qu'interférer avec la motion de la

membrane basilaire. On ne peut donc pas s'attendre à un fonctionnement mécanique comparable à la normale. Par déduction, l'analyse psychoacoustique de la fréquence ne peut pas être de même nature.

En somme, les échelles psychoacoustiques basées sur la perception auditive naturelle des stimuli ne semblent pas adaptées pour décrire la perception des sons avec l'implant cochléaire (Smooenburg, 1990). Le traitement de la parole chez les sujets implantés ne peut donc pas se faire de la même manière que chez les sujets entendants. Pauka³ conclue d'ailleurs, à la suite d'une étude menée auprès de sujets avec surdité post-linguale, que la perception des voyelles avec l'implant Nucleus correspond à une nouvelle catégorie de phonèmes, différente de celle que ces sujets avaient préservée dans leur mémoire auditive. Staller et al. (à paraître) viennent appuyer cette conclusion.

Ainsi, la reconnaissance de la parole avec l'implant cochléaire multi-canal doit nécessairement passer par une étape de familiarisation avec une information sensorielle inhabituelle. Elle suppose ensuite l'acquisition d'un système d'analyse psychoacoustique sous régie d'un code phonétique nouveau. La notion de "nouveau code" concerne en particulier les sujets avec surdité post-linguale qui ont gardé en mémoire, à des degrés divers, la perception naturelle de la parole. L'intégration d'un système de codage, nécessaire à la perception et à la compréhension de la parole avec implant, nécessite donc l'intervention de processus d'apprentissage (WGCAHI, 1991).

La privation sensorielle comme déterminant de l'écoute avec implant multi-canal

Parmi les mécanismes les plus probables à l'origine du code phonétique inhabituel transmis par l'implant, figurent les méfaits d'une privation sensorielle plus ou moins prolongée. En effet, les travaux de Sak & Ruben (1981), Welsh et al. (1983), Harrison (1988), Loeb (1989), et Shannon (1989) montrent que la privation sensorielle provoque, à tout le moins chez l'animal, une atrophie des structures neurologiques tant périphériques que corticales. La perte de cellules ciliées dans la cochlée entraîne une dégénération du nerf auditif, laquelle provoque à son tour des changements dans la structure de plusieurs noyaux cochléaires; en particulier, dans la partie ventrale du noyau cochléaire, dans le complexe olivaire supérieur, dans le noyau du corps trapézoïde médian, dans le lemisque latéral et dans le colliculus inférieur (Harrison, 1988).

³ Communication personnelle : Vowel-pitch discrimination in cochlear implants patients, 1987.

Des désordres de même nature semblent présents chez l'homme (Ruben, 1984). En effet, des études histologiques post-mortem menées sur les os temporaux de sujets atteints de surdité congénitale, mettent en évidence une réduction du nombre des neurones cochléaires variant de 10 à 70 %, selon les cas (Harrison, 1988). Cette grande variabilité du taux de réduction des neurones cochléaires, que l'on confirme d'ailleurs chez les candidats à l'implant cochléaire (Preece & Tyler, 1989; Tyler et al., 1989), semble être fonction de l'étiologie de la surdité (Schuknecht, 1974).

Concernant les structures corticales, certains travaux montrent que les stimulations électriques du nerf auditif chez les sujets sourds congénitaux ne sont pas toujours perçues comme des sensations auditives (Saunders, 1987). Elles peuvent, en fait, être identifiées comme sensations de vertige ou encore comme sensations vibratoires, indissociables de celles produites sur l'avant-bras (Shannon, 1989). Quant aux sujets qui présentent une surdité acquise, la littérature fait typiquement état d'une période de familiarisation avec l'implant cochléaire pour que les sensations soient interprétables (Loeb, 1989). Ce phénomène semble tout à fait compatible avec l'hypothèse d'une accommodation à un code phonétique nouveau. Il peut se comparer à l'adaptation décrite par Barfod (1979) relativement à l'utilisation des aides auditives par les personnes malentendantes. L'auteur constate en effet une diminution transitoire des habiletés de discrimination de la parole lorsque le sujet malentendant est appareillé pour la première fois ou qu'il change d'aide auditive. Les bénéfices de l'amplification deviennent progressivement plus évidents, en lien avec ce qui semble être le fait d'un processus d'accommodation (voir également WGAHI, 1991).

En raison de la plasticité du système nerveux, ces phénomènes d'adaptation peuvent induire des comportements neurologiques inattendus:

1. Des travaux menés sur le poulet montrent que l'absence unilatérale de stimulation sensorielle afférente provoque un changement de direction des axones pour former des connexions synaptiques avec de nouvelles cibles (Harrison, 1988).

2. Chez le chat, l'ablation de la cochlée à la naissance semble induire des potentiels évoqués visuels dans le cortex auditif primaire (Harrison, 1988). De la même manière chez l'homme, des études électrophysiologiques ont montré une augmentation des potentiels évoqués visuels dans le cortex auditif d'enfants sourds congénitaux (Neville et al., 1983).

3. Les sujets humains ayant présenté des périodes plus ou moins longues de privation sensorielle durant l'enfance, à la suite d'infections de l'oreille moyenne, montrent un

déficit dans les habiletés de décodage auditif (Sak & Ruben, 1981). En parallèle, les auteurs observent un renforcement de la mémoire visuelle.

Ainsi, à la suite d'une privation sensorielle, il semble qu'il y ait développement de comportements compensatoires et réorganisation corticale, avec de nouvelles connexions synaptiques. Ces phénomènes sont particulièrement évidents lorsque le cerveau possède un degré élevé de plasticité, soit au cours des premières années de vie.

Dans le cas particulier des candidats à l'implant cochléaire, on peut s'attendre à ce que d'autres voies de traitement de l'information se mettent en place, dans la mesure où il y a eu atrophie de certaines structures périphériques et corticales. Le phénomène est plus probable lorsque la privation sensorielle survient à un âge précoce en raison d'une plus grande plasticité du cerveau. Néanmoins, certaines données psychoacoustiques telles les indications de Barfod (1979) et celles du WGAHI (1991) suggèrent des accommodations même en présence d'un degré élevé de spécialisation corticale. Ces processus d'adaptation induisent des apprentissages nouveaux et le développement de modalités compensatoires; par exemple, le développement du système visuel chez les sujets sourds ou le développement de la modalité tactile chez les usagers d'aide vibro-tactile, pour compenser l'absence d'informations auditives.

Pour des raisons de cette nature, il apparaît évident que le recours à l'implant cochléaire multi-canal chez les sourds profonds ne peut pas restaurer une audition normale. Par conséquent, l'usager d'un tel dispositif doit développer ses habiletés d'écoute en faisant appel à des mécanismes neurologiques déviants à plusieurs points de vue: (a) structures auditivo-linguistiques atrophiées; (b) réorganisation corticale d'accommodation à l'écoute dégradée. Ces particularités de l'écoute avec implant cochléaire font encore une fois appel à des mécanismes d'apprentissage.

Dans de telles conditions, il n'est pas surprenant que la perception de la parole avec implant cochléaire multi-canal varie d'une personne à l'autre même en présence de performances psychoacoustiques identiques. Cette observation, rapportée par Shannon (1989) et par le WGAHI (1991), vaut aussi bien pour les sujets avec surdité pré-linguale que post-linguale.

En fait, le phénomène concorde avec des observations plus générales notées tant chez la personne entendante que malentendante. Les performances psychoacoustiques ne permettent pas à elles seules de prédire les habiletés de perception de la parole (Ling, 1976; Elliot et al., 1979; Tyler et al., 1983; WGSUA, 1988; Van Rooij et al., 1989; Middelweerd et al., 1990; Van Rooij & Plomp, 1990; Bregman, 1990;

WGCAHI, 1991; Tremblay, Picard et al., 1991). Cette littérature mentionne un certain nombre de faits pertinents, dont les deux suivants:

1. Chez les sujets atteints de surdité professionnelle, Tremblay, Picard et al. (1991) identifient la présence de composantes cognitives sur une tâche de perception de la parole dans le bruit. Il s'agit de l'attention sélective à la caractéristique spectrale et temporelle des signaux, et de la suppléance linguistique. Chez les sujets lourdement affectés par le signal masquant, ces habiletés expliquent 23,6 % de la difficulté d'écoute rencontrée. Ces composantes cognitives permettent donc d'expliquer une fraction importante de la variabilité inter-individuelle;

2. Chez les personnes âgées, Van Rooij et al. (1989) obtiennent des corrélations entre, d'une part, la vitesse d'accès au lexique et la vitesse sensori-motrice et, d'autre part, la perception de la parole. Leur étude démontre également que la mémoire à court terme, le temps de réaction à un stimulus et le jugement (association phrase/image) expliquent 24 % des habiletés perceptuelles de la parole, en particulier pour la reconnaissance des phonèmes dans le bruit (Van Rooij & Plomp, 1990). Ceci vaut malgré la présence de corrélations à plusieurs autres niveaux: (a) degré de la perte auditive dans les hautes fréquences et perception de la parole; (b) sélectivité fréquentielle et reconnaissance des voyelles dans le bruit.

Les mécanismes psycholinguistiques et neuropsychologiques généraux impliqués dans l'écoute de la parole

Dès les années 1970, plusieurs travaux ont mis en évidence le lien existant entre les habiletés de discrimination et d'analyse linguistique, et les facultés cognitives plus générales (Bloom, 1970; Bloom, 1973; Slobin, 1973; Bowerman, 1974). Le langage correspond à une extension de ces dernières et la relation entre habiletés linguistiques et facultés cognitives en est une d'interdépendance: le langage se construit sur la base de structures cognitives générales, lesquelles se développent à leur tour par l'utilisation de celui-ci (Keller, 1985; Bamford & Saunders, 1991). La perception et la compréhension de la parole ne font donc pas seulement appel à des informations sensorielles (Massero & Oden, 1980; Keller, 1985; Lemme & Hedberg, 1988). En particulier, elles recourent aux capacités de suppléance mentale (ou linguistique). Ces dernières sont liées au phénomène de redondance de la langue tel que défini par Pavlovic (1987): elles réfèrent à l'habileté à utiliser le contexte conversationnel, la connaissance que l'on a du locuteur puis des règles de sa langue aux différents niveaux linguistiques.

L'utilisation de tels indices fait partie intégrante des processus de compréhension (Kalikow et al., 1977; Bamford & Saunders, 1991). Par ailleurs, elle rend possible la reconstruction du message lorsque la perception, pour diverses raisons, n'est que partielle (message filtré, présence de bruit masquant, etc.).

Ainsi, le décodage auditivo-linguistique fait intervenir simultanément deux grands mécanismes réceptifs (Massero & Oden, 1980; Keller, 1985; Lemme & Hedberg, 1988; Bregman, 1990). Le premier concerne la formulation d'hypothèses quant aux éléments linguistiques probants, selon le contexte conversationnel et les contraintes imposées par la langue. Il s'agit d'un processus "top-down", puisqu'il concerne les attentes du sujet quant à la nature possible du stimulus. Ces attentes sont fonction des informations stockées dans la mémoire à long terme (connaissance du thème, du locuteur, de la situation de conversation, des règles de la langue, etc.). Le second mécanisme a trait à l'analyse du substrat acoustique par entité perceptuelle. Il permet la vérification d'hypothèses par comparaison continue entre éléments attendus et perçus. Il utilise davantage le processus "bottom-up" au cours duquel les données sont analysées graduellement, du stimulus à la signification finale. S'il y a divergence entre éléments attendus et perçus, il y a alors reformulation de l'hypothèse et vérification auprès des séquences antérieures et ultérieures du discours. Une telle tâche semble faire appel à plus d'un élément cognitif dont les suivants:

1. La mémoire à long terme qui permet de stocker les représentations phonétiques, les règles syntaxiques et le lexique d'une langue donnée en vue de développer un système linguistique de référence (Kalikow et al., 1977; Bamford & Saunders, 1991). Ainsi, elle maintient la connaissance que le sujet a de sa langue et rend possible l'apprentissage. Elle permet également de faire appel à des informations concernant le locuteur et le thème conversationnel (Keller, 1985).

2. La mémoire à court terme grâce à laquelle les informations perçues sont mémorisées avant d'être analysées et filtrées (modèle de Broadbent dans Lemme & Hedberg, 1988; Bamford & Saunders, 1991).

3. L'attention sélective permettant de traiter plus spécifiquement un stimulus sensoriel donné, aux dépens des autres. Elle opère donc sur un mode de ségrégation et en même temps sur un processus d'inhibition des stimuli non pertinents. En ce sens, elle se comporte comme un système de filtrage de l'information sensorielle (Lemme & Hedberg, 1988).

4. Le temps de réaction à un stimulus, pour un traitement efficace et continu des informations (Cohen, 1987; Van Rooij et Plomp, 1989; 1990).

5. La vitesse d'accès au lexique, afin d'émettre une hypothèse, de comparer la forme perçue à celle attendue et d'accéder à la reconnaissance d'une forme phonique dans un temps relativement court (Van Rooij & Plomp, 1989; 1990).

6. Le jugement, de manière à pouvoir décider de la pertinence des informations perçues en rapport avec le contexte à la fois linguistique et extra-linguistique. Il s'agit donc ici d'un raisonnement global faisant intervenir des jugements de bon sens (Lezak, 1987).

L'implication de telles opérations neuropsychologiques et psycholinguistiques, dans le décodage auditif de tout message verbal, semble de plus renforcée par la neuroanatomie. En effet, le système auditif central est à la fois diffus et complexe, avec de nombreuses connexions des voies afférentes et efférentes entre la cochlée et le cortex (Keith, 1988). Entre autres, les fibres du cortex auditif associatif se projettent dans les régions temporo-pariétale, pariétale et frontale, lesquelles constituent le substrat anatomique de certaines fonctions neuropsychologiques (processus d'attention globale associé au lobe frontal, par exemple). La littérature mentionne d'ailleurs, qu'à la suite de lésions du lobe frontal, on peut observer un certain type de «négligence auditive», soit l'inhibition de l'intégration d'un stimulus auditif (Lemme & Hedberg, 1988). Par ailleurs, des recherches électrophysiologiques rapportées par Lemme & Hedberg (1988) indiquent que la perception de la parole résulte bien de plusieurs mécanismes corticaux, représentés soit bilatéralement, soit unilatéralement.

Tout comme le sujet entendant, le sujet implanté est amené à utiliser la suppléance mentale pour percevoir la parole et accéder à la compréhension du message. L'exigence de la tâche est cependant plus grande pour lui compte tenu du fait que: (a) l'implant cochléaire ne transmet que certains éléments de la parole; (b) l'écoute avec implant cochléaire nécessite l'apprentissage progressif d'un nouveau code; (c) l'écoute doit faire appel à des mécanismes de compensation en raison des méfaits de la privation sensorielle.

Par conséquent, on peut s'attendre à ce que le sujet implanté recoure largement aux stratégies cognitives précitées, qu'il soit simplement question de décoder le message ou de le compléter.

L'hypothèse de travail: l'écoute avec implant cochléaire multi-canal est sous médiation première de déterminants cognitifs

En s'appuyant sur les observations scientifiques citées, il apparaît clairement que la perception de la parole avec

implant cochléaire multi-canal implique plus qu'un éventail d'habiletés psychoacoustiques. Ainsi, chez les sujets implantés, on peut émettre l'hypothèse que la variabilité des performances d'écoute de la parole puisse s'expliquer en partie, sinon principalement, par des facteurs cognitifs tels que la mémoire, l'attention sélective, la vitesse d'accès au lexique, le jugement et les habiletés linguistiques (notamment les inférences, l'utilisation de la redondance linguistique et les processus top-down/bottom-up). Cette hypothèse semble en accord avec les résultats des travaux de Ling (1976), d'Elliot et al. (1979), de Cohen, 1987; de Van Rooij et al. (1989), de Van Rooij & Plomp (1990), de Tremblay, Picard et al. (1991). Par cognitif, on entend l'ensemble des processus d'acquisition et de traitement des connaissances du monde environnant conduisant, par exemple, au concept du nombre, à la causalité, et à la résolution de problèmes (Feldman & Gelman, 1986). Le langage s'y trouve ainsi inclus même si, de par sa complexité, il est aussi considéré comme un système à part entière qui, par ailleurs, recourt à de nombreuses habiletés cognitives (Bamford & Saunders, 1991).

Evidences expérimentales d'une médiation cognitive de l'écoute avec implant cochléaire

Récemment, une étude multivariée de la perception de la parole avec l'implant cochléaire multi-canal Nucleus a été menée par Picard et al. (à paraître) auprès de 14 adultes avec surdité post-linguale. L'étude avait notamment pour objectif de déterminer si les résultats obtenus aux tests vocaux avec implant cochléaire Nucleus (fonction articuloire avec disyllabes et discrimination de monosyllabes sans indice visuel) étaient liés aux variables suivantes: (a) la sensibilité aux sons purs; (b) la sélectivité spatiale, mesurée par technique de masquage simultané; (c) l'intégration temporelle, selon la procédure de Zwicker & Schorn (1982). L'ensemble des mesures psychoacoustiques ont été recueillies en début et en fin d'un programme de réadaptation structuré, étalé sur trois mois.

L'analyse de composants principaux a permis d'identifier la présence de quatre facteurs impliqués dans la perception de la parole avant et après réadaptation. Ces facteurs sont ceux qui influencent le plus les résultats, c'est-à-dire ceux qui décrivent le plus simplement et le plus complètement les liens unissant l'ensemble des variables en présence. En effet, l'analyse de composants principaux isole les principales sources de variance dans un ensemble de données pour en dériver une structure factorielle: le premier facteur est celui qui rend compte du maximum de variance; le second explique la seconde source de variance la plus importante et ainsi de suite, jusqu'à épuisement des sources de variance.

En pré-réadaptation, 34.5 % de la variance observée s'explique par une contribution cognitive de suppléance linguistique et 21.2 % par la capacité d'attention sélective, particulièrement sollicitée pour l'analyse temporelle en basses fréquences. Deux composantes sensorielles ont une contribution plus minime: 15.4 % de la variance s'explique en effet par le contraste fort/faible (sonie) et 11.8 % par l'opposition grave/aigu (tonie). En post-réadaptation, la suppléance linguistique passe en deuxième position (19.5 %) tandis que l'attention sélective occupe la première place (39 %) avec l'accès à la caractéristique temporelle sur un registre étendu de fréquences. La contribution du contraste fort/faible est à 12.9 % et celle de l'opposition grave/aigu, à 10.9 %.

Ces résultats indiquent donc qu'après réalisation des principaux apprentissages nécessaires à la perception et à la compréhension de la parole (rétablissement partiel du mode phonétique d'analyse en post-réadaptation), le sujet recourt moins à la suppléance linguistique. Devenu familier avec l'implant, il est alors en mesure d'utiliser directement les indices psychoacoustiques dont ceux de temporalité, faisant donc intervenir davantage l'attention sélective (Picard et al., à paraître).

Cette analyse précise les conclusions de Tyler et al. (1989) et de Preece & Tyler (1989), relativement à la particularité de l'analyse temporelle avec implant. Elle confirme également et généralise l'indication présente dans les résultats de Gantz et al. (1988) d'une compensation psycholinguistique avec implant cochléaire: ces auteurs observent en effet un pourcentage étonnamment élevé de réussite à une tâche d'identification de phrases familières avec appareil seul, sans concordance avec l'identification de mots isolés. L'analyse de Picard et al. (à paraître) concorde aussi avec les résultats de plusieurs travaux portant sur le développement de la perception de la parole chez l'enfant (Gierut & Pisoni, 1988; Bamford & Saunders, 1991). En effet, il semble qu'au départ, l'enfant en phase d'apprentissage porte une attention générale aux divers indices impliqués dans la perception de la parole soit, par exemple, le contexte extra-linguistique. Par la suite, son attention se porte davantage sur des éléments isolés et discontinus de la parole, tels les indices psychoacoustiques permettant de différencier deux phonèmes. L'habileté à utiliser de tels indices augmente avec l'âge et semble être associée, entre autres, au développement de l'attention sélective, de la production des phonèmes et du langage en général, ainsi qu'au nombre croissant de situations d'écoute.

L'étude de Picard et al. (à paraître) fait ressortir l'implication de l'attention sélective et de la suppléance linguistique dans la perception de la parole avec implant cochléaire multi-canal chez l'adulte avec surdité post-linguale. Ceci se vérifie tant en pré-réadaptation qu'en post-réadaptation. Tel

que mentionné précédemment, la suppléance linguistique requiert tout un ensemble d'habiletés dont la mémoire à long terme, l'attention sélective, la mémoire à court terme, le temps de réaction, la vitesse d'accès au lexique et le jugement de bon sens. Une intervention de réadaptation auprès de sujets implantés devrait donc tenir compte de l'ensemble de ces facteurs.

Conséquences sur les stratégies de réadaptation avec implant cochléaire: exemples d'activités

De l'ensemble des observations rapportées, découlent plusieurs implications en regard des stratégies de réadaptation à l'intention des utilisateurs d'un implant cochléaire multi-canal. En effet, si un ensemble de facteurs cognitifs influencent les habiletés de perception et de compréhension de la parole - du moins chez les adultes avec surdité post-linguale -, il est alors utile de les considérer dans le processus de sélection et dans l'élaboration de programmes de réadaptation. Ceci pourrait éventuellement s'appliquer aux adultes avec surdité congénitale ou péri-linguale et aux enfants, bien que la preuve expérimentale de bénéfice demeure difficile à faire dans ce dernier cas. En effet, l'évaluation des jeunes enfants demeure complexe, vu l'effet confondant des changements physiques et intellectuels rapides (WGAHI, 1991) et vu la nécessité de prendre en considération de multiples facteurs tel l'environnement social, familial, éducationnel etc. (Bamford & Saunders, 1991). Pour ces raisons, la discussion des stratégies de réadaptation avec implant cochléaire porte surtout sur les approches destinées aux adultes avec surdité post-linguale.

Dans un premier temps, l'évaluation de facteurs cognitifs constitue un complément à la batterie de tests de sélection actuellement utilisée en pré-implantation (se reporter à Clark et al., 1987, et à Staller et al., à paraître, pour les critères courants). Un portrait plus global des capacités d'apprentissage des sujets peut ainsi être établi, permettant de mieux identifier les personnes susceptibles de bénéficier de cette technologie particulière.

Dans un second temps - et à la suite de l'identification de difficultés d'origine cognitive, sans autre contre-indication à l'implantation - un programme de réadaptation cognitive peut être établi en pré-opératoire. L'intervention serait adaptée à la personne, en fonction de ses besoins spécifiques et dans le but de lui fournir le maximum d'outils pour effectuer les apprentissages requis une fois l'implantation réalisée. Les résultats de ce premier volet thérapeutique seraient pris en considération dans le processus même de sélection. Si le sujet a atteint les objectifs fixés, on peut s'attendre à ce qu'il soit davantage en mesure de tirer un

bénéfice significatif de son implant cochléaire. Par contre, si les difficultés d'origine cognitive persistent, on peut s'interroger sur la pertinence de l'implantation, à moins qu'il soit possible d'identifier une cause spécifique pouvant faire l'objet d'une intervention ponctuelle.

De la même manière, il y a place pour un suivi après l'intervention de réadaptation usuelle. Celui-ci viserait à la maîtrise des habiletés cognitives impliquées dans l'écoute avec implant cochléaire. Une variante serait aussi à prévoir pour les sujets déjà implantés, dont le volet cognitif n'a pas été évalué en pré-opératoire et qui éprouvent, après chirurgie et réadaptation, des difficultés particulières d'apprentissage d'un code phonétique nouveau.

Le contenu des programmes d'entraînement visant la mise en place des pré-requis à l'écoute avec implant cochléaire peut donc varier selon les situations. Il propose l'entraînement d'un certain nombre de facteurs cognitifs, pertinents au développement des habiletés d'écoute de la parole, tels que révélés en particulier par l'étude de Picard et al. (à paraître) chez l'adulte avec surdité post-linguale.

Intervention en pré-implantation

Compte tenu du déficit sensoriel avant implantation, les activités cognitives ne peuvent pas, sauf exception, mettre à contribution la modalité auditive. Toutefois, l'objectif d'un tel programme est bien, dans un premier temps, de permettre au sujet d'exercer et d'améliorer un certain nombre d'habiletés cognitives générales, nécessaires à tout apprentissage, et en particulier à l'apprentissage d'un nouveau code sans égard à la modalité sensorielle (WGCAHI, 1991).

Sollicitation de la suppléance linguistique

La suppléance linguistique peut être sollicitée par des exercices écrits et éventuellement oraux (lorsque le sujet utilise la lecture labiale). Ces exercices (phrases à trous, mots à trous...) permettent également de développer le jugement de bon sens, ainsi que le temps de réaction et la vitesse d'accès au lexique, lorsque la réponse doit être donnée dans un intervalle de temps pré-déterminé. La difficulté est progressive de manière à favoriser le développement de ces habiletés (temps de réponse de plus en plus court, phrases de plus en plus complexes, vocabulaire de moins en moins fréquent). Les exercices sont fonction des approches suivantes préconisées par Erber (1988) et issues des travaux en psycholinguistique: (a) approche pragmatique correspondant à l'utilisation du contexte conversationnel; (b) approche sémantique correspondant à l'utilisation des règles d'association et de relations sémantiques entre les mots; (c) approche syntaxique en référence aux règles syntaxiques de la langue (lien entre les mots d'une même phrase).

La lecture minutée, telle que décrite par de Filippo & Scott (1978), peut constituer une forme d'exercice complémentaire permettant l'utilisation synthétique des approches pré-citées. A ce stade-ci, elle est utilisée en mode visuel uniquement. Lorsque le sujet sera implanté, elle pourra être réalisée avec l'ajout de la modalité auditive.

Dans le cas des sujets adultes avec surdité pré- ou péri-linguale n'ayant pas bénéficié d'une approche orale, les exercices doivent être adaptés. En effet, ces personnes présentent souvent d'importants déficits du langage oral, incluant potentiellement des troubles de la lecture et de l'écriture. Ainsi, pour les sujets qui ne possèdent pas de langage écrit, l'entraînement de la suppléance linguistique est réalisée avec l'utilisation de la Langue des Signes du Québec (L.S.Q.) ou du Français Signé (F.S.), ou encore d'histoires en images.

Développement de la mémoire à court terme et de l'attention sélective en modalité visuelle

Les exercices utilisés peuvent, par exemple, porter sur l'observation brève d'images, de formes géométriques ou de photographies diverses. L'étape suivante comporte une série de questions pour dégager ce qui a été remarqué et retenu. On peut imaginer une progression dans la difficulté de la tâche (temps d'observation de plus en plus court, questions portant sur des détails de plus en plus fins, etc.). Sur le même modèle, on peut travailler la recherche de différences subtiles entre deux images ou deux photographies. Ces exercices peuvent être repris avec des items linguistiques écrits (ou signés dans le cas des sujets avec surdité pré- ou péri-linguale non-entraînés en oralisme), afin de varier les cibles. D'une part, on pense ainsi éviter la baisse de motivation; d'autre part, on espère exercer différentes formes de mémoire, conjointement à l'activation de l'attention visuelle portée spécifiquement sur des éléments linguistiques. Ces derniers peuvent également être présentés en lecture labiale.

Ce type d'exercice s'avère utile dans le cadre d'un apprentissage du suivi conversationnel en mode visuel (ou "speech-reading"), comme outil complémentaire à la perception de la parole avec implant cochléaire. Le suivi conversationnel en mode visuel, qui intègre la lecture labiale (ou "lip-reading"), requiert en effet une attention visuelle soutenue, subordonnée à l'impératif de décoder et de mémoriser les visèmes pour que se fasse la reconnaissance labiale et la reconstruction de la signification (Lyxell & Rönberg, 1987a, b).

L'apport de la stimulation visuelle au développement et à la consolidation d'habiletés cognitives d'écoute trouve diverses formes d'appui dans la littérature. Selon Dodd & Burham (1988), le traitement des informations visuelles s'effectue bien selon le principe de sélectivité (activation/

inhibition). De plus, il met en jeu les processus "bottom-up" et "top-down". Ce mode de traitement n'est donc pas sans rappeler celui des informations linguistiques par voie auditive (Dodd & Burham, 1988). Plus spécifiquement, de Filippo (1982) ainsi que Lyxell & Rönnberg (1991) établissent un lien entre la mémorisation de séquences de formes oro-faciales et l'habileté de suivi conversationnel en mode visuel (pour maintenir l'opposition des notions de "speech-reading" et de "lip-reading"). Or, Rönnberg et al. (1982) ainsi que Lyxell & Rönnberg (1987a, b; 1989) établissent un lien direct entre habiletés visuelles de suivi conversationnel et une fonction générale de suppléance linguistique.

Ainsi, la capacité de reconstruction de la signification (ou compréhension) en mode visuel apparaît directement tributaire d'habiletés cognitives telles que l'étendue de la mémoire de travail (ou "working memory", laquelle intègre la mémoire à court terme), la vitesse d'accès au lexique et les capacités logico-déductives de suppléance linguistique (Rönnberg et al., 1982; Lyxell & Rönnberg, 1987a, b). En fait, Lyxell & Rönnberg (1989) précisent que la capacité compensatoire psycholinguistique observée en modalité visuelle subordonne et fait la synthèse de l'ensemble des habiletés précitées. Elle ne serait donc pas propre à la modalité visuelle – tout comme d'ailleurs la capacité d'identification impliquée dans le décodage des visèmes (Harnad, 1987) – mais reflèterait une fonction cognitive générale que les auteurs identifient sans distinction chez la personne entendante et malentendante.

Par conséquent, en exerçant certains processus de traitement de l'information visuelle – et plus particulièrement ceux présentant un lien avec la tâche de lecture labiale et le suivi conversationnel – on peut espérer, par généralisation, élargir ou transposer ces mêmes mécanismes dans la modalité auditive.

Sollicitation du jugement de bon sens

Les exercices spécifiques au jugement sont envisagés dans le but d'augmenter l'efficacité des processus de suppléance mentale impliqués dans la compréhension d'un message verbal. A cet effet, des associations images/phrases peuvent être utilisées ainsi que des exercices écrits (phrases à trous) avec choix multiples de réponses. Là encore, on peut préconiser une approche progressive quant au degré de difficulté (phrases et images de plus en plus semblables, degré divers de complexité syntaxique, vocabulaire plus ou moins fréquent). On peut limiter le délai de réponse, augmentant ainsi progressivement la difficulté (intervalle de plus en plus court).

Pour les adultes avec surdité pré- et péri-linguale non-entraînés en oralisme et possédant mal le langage écrit, l'exercice consiste à juger de la pertinence des associations d'images (par exemple, café/lait versus café/orange,

essence/voiture versus essence/ski). Les signes (L.S.Q. ou F.S.) sont également utilisés pour réaliser l'équivalent des exercices écrits proposés aux sujets avec surdité post-linguale.

Exercices portant sur la mémoire à long terme

De manière à consolider les apprentissages du code nouveau induits par l'implant cochléaire, la mémoire à long terme est exercée. On peut, à intervalles périodiques (par exemple, d'une semaine à l'autre), demander au sujet de retenir une série de mots, de nombres, d'images, de formes géométriques ou de signes dans le cas des sujets utilisant un langage gestuel, puis de les retrouver parmi un ensemble de propositions (choix fermé) ou de les restituer (choix ouvert). La difficulté est progressive et fonction du nombre d'items à retenir, de leur complexité (vocabulaire peu fréquent, images ou formes complexes et de plus en plus semblables d'une série à l'autre), du mode de restitution (choix fermé ou ouvert) et du temps écoulé entre la présentation et le rappel.

Intervention en post-implantation

A ce stade-ci, l'intervention vise à exercer et à développer les habiletés cognitives en utilisant la modalité auditive. Ainsi, conjointement au type d'entraînement habituellement effectué en post-implantation⁴, les exercices pré-cités sont utilisés, mais avec un matériel différent et bien sûr, avec contribution de la modalité auditive. L'écrit est conservé, car il permet de varier la modalité dans laquelle le sujet effectue l'effort d'apprentissage. Ceci peut éviter une perte d'attention et en même temps, fixer les apprentissages dans une modalité plus facile d'accès. Enfin, l'entraînement peut être ponctuel et cyclique de façon à permettre des créneaux d'apprentissages structurés en alternance avec un effort individualisé d'écoute dans le milieu de vie naturel.

Concernant spécifiquement les sujets avec surdité pré- ou péri-linguale, l'approche peut comporter au départ un entraînement systématique prolongé privilégiant l'écoute de la parole dans un contexte d'exposition linguistique enrichie. Par ce type de démarche basée sur la pragmatique, on peut espérer que peu à peu, des associations soient faites entre les formes perçues, l'environnement et l'objet de la communication. La suppléance linguistique se trouve ainsi globalement sollicitée. Par la suite, lorsqu'il y a émergence d'un mode d'analyse phonétique, un travail plus spécifique peut être entrepris. Les différents exercices pré-cités sont alors effectués avec l'ajout de la modalité auditive et l'utilisation d'un matériel linguistique au fur et à mesure de l'apprentissage du sujet. Ceci est réalisé de pair avec les exercices habituellement utilisés et issus du modèle de Erber (1982).

⁴ Manuel de réadaptation «Nucleus 22 channel cochlear implant patient» fourni par Cochlear AG (1987).

Intérêt et limites du modèle cognitif de réadaptation avec implant cochléaire

On peut s'interroger sur l'utilité d'un apprentissage structuré à l'écoute avec implant cochléaire misant sur le développement d'habiletés cognitives, puisque la littérature n'identifie pas spécifiquement cet élément comme composant essentiel du processus de réadaptation. Les indications actuelles seraient plutôt à la défaveur d'une telle approche. En effet, Gantz et al., (1988) ont échoué à démontrer la pertinence de facteurs neuropsychologiques et cognitifs généraux comme déterminants de la performance avec implant cochléaire. Les auteurs s'intéressaient à la mesure de paramètres tel que le quotient intellectuel aux échelles verbales et non-verbales, la planification de l'espace (matrices de Raven) et la vitesse de catégorisation de chiffres et de lettres.

Néanmoins, bien que certains travaux réalisés auprès de sujets atteints de démence sénile aient montré que la relation entre cognition et perception de la parole n'en est pas forcément une de cause à effet (Jerger et al., 1989), il ne fait aucun doute qu'un ensemble d'habiletés neuropsychologiques et psycholinguistiques sont essentielles à la perception auditive (Bergman, 1980; Cohen, 1987). Par ailleurs, Bergman (1980) et Bamford & Saunders (1991) mentionnent que l'intégrité de la perception auditive permet le développement du langage. Ce dernier aspect concerne plus particulièrement les enfants et les adultes atteints de surdité pré- ou péri-linguale. Par conséquent, il y a suffisamment de motifs pour privilégier, avec implant cochléaire, la synergie d'habiletés psychoacoustiques et cognitives. L'approche devrait permettre de consolider un modèle synthétique de perception de la parole.

Actuellement, les modèles de réadaptation le plus souvent utilisés auprès de personnes atteintes de déficience auditive privilégient davantage - bien que de façon non-exclusive (Adam et al., 1990) - l'approche analytique, en se basant sur le traitement des indices psychoacoustiques impliqués dans la perception de la parole. Les matrices de Erber (1982) illustrent bien cette vision de l'entraînement auditif. Les travaux de Mecklenburg (1987), de Rochette & Plourde (1988), de Bergeron et al. (1989, 1990) en implant cochléaire en sont des applications évidentes. Lorsque l'approche synthétique est utilisée (par exemple, dans le cadre de la lecture minutée), l'entraînement reste toutefois assujéti à la prise en compte de facteurs purement linguistiques. Les sujets effectuent des apprentissages mais, quand il est question de les généraliser, il y a le plus souvent difficulté, voire même blocage (Ling, 1976). On se heurte en effet à un déficit d'habiletés plus générales permettant l'utilisation aisée d'un nouveau code perceptuel dans les situations quotidiennes de communication.

Ces indications sont toutes à la faveur de modèles de réadaptation auditive holistiques. Bamford & Saunders (1991) ajoutent à l'appui de cette thèse qu'il est impossible de savoir précisément pourquoi une intervention de réadaptation est bénéfique ou inutile. Ce constat indique donc clairement, qu'entre autres éléments contributifs, des facteurs propres au sujet, à ses modes et à ses capacités d'apprentissage, ne sont pas identifiés et pris en compte dans le processus de réadaptation. Dans cette perspective - et à tout le moins chez les personnes avec surdité post-linguale - il semble y avoir place, avec implant cochléaire, au développement d'habiletés psycholinguistiques dépendantes de fonctions neuropsychologiques larges. Ainsi, l'intervention de réadaptation devrait-elle dépasser la sphère purement linguistique. Elle devrait tendre à un traitement à la fois synthétique et analytique de l'information permettant d'acquérir et d'apprendre à utiliser un nouveau code de communication, puisque cet objectif constitue l'aboutissement ultime de la démarche (Barfod, 1979).

Comme en atteste la présente démarche, la nature et les modalités des interventions restent à déterminer pour de nombreux groupes. Plus particulièrement, l'implant cochléaire chez les enfants demeure un défi de taille.

Prière d'envoyer toute correspondance à: Michel Picard, B.Ps., Ph.D., Ecole d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, Montréal, Qué., H3C 3J7

Bibliographie

- Adam, A., Fortier, P., Schiel, G., Smith, M., & Soland, C. (1990). *Listening to learn*. AG Bell Association for the Deaf, Washington.
- Alcantara, J.L., Whitford, L.A., Blamey, P.J., Cowan, R.S.C., & Clark, G.M. (1990). Speech feature recognition by hearing-impaired children using a multiple-channel electrotactile speech processor and aided residual hearing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, 1260-1273.
- ANSI (1989). *Specifications for audiometers. S 3.6*. American National Standard Association, New York.
- ASHA (1985). Cochlear implant: five companies respond to Asha survey. *American Speech and Hearing Association*, 5, 27-35.
- Ballantyne J. (1985). The results from various points In Gray, R.F. *Cochlear implants*. College-Hill, San Diego.
- Bamford, J., & Saunders, E. (1991). *Hearing impairment, auditory perception and language disability*. 2nd. Singular Publishing, San Diego.
- Barfod, J. (1979). Speech perception processes and fitting of hearing aids. *Audiology*, 18, 430-441.
- Bergeron, F., Ferron, P., & Desgagné, M. (1989). Cochlear Implantation in QuebecCity : auditory performance in a recently trained patient. *Journal of Otolaryngology*, 18, 17-23.

- Bergeron, F., Ferron, P., Gobeil, S. & Desgagné, M. (1990). Multielectrode cochlear implantation in children: the Quebec experience. *Journal of Otolaryngology*, 19, 324-330.
- Bergman, M. (1980). *Aging and the perception of speech*. University Park Press, Baltimore.
- Blamey, P.J., & Clark, G.M. (1990). Place coding of vowel formants for cochlear implant patients. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, 667-673.
- Blamey, P.J., Dowell, R.C., & Clark, G.M. (1987). Acoustic parameters measured by a formant-estimating speech processor for a multiple-channel cochlear implant. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 38-47.
- Bloom, L. (1970). *Language development : form and function in emerging grammars*. MIT, Cambridge.
- Bloom, L. (1973). *One word at a time*. Mouton, La Haye.
- Boothroyd, A. (1989). Hearing aids, cochlear implants, and profoundly deaf children. In Owens, E. & Kessler, D.K. *Cochlear implant in young deaf children*. College-Hill, Boston.
- Bowerman, M.F. (1974). Discussion summary-development of concepts underlying language. In R.L. Schiefelbusch & L.L. Lloyd (Eds.), *Language perspectives-acquisition, retardation, and intervention*. University Park Press Baltimore.
- Bregman, A.S. (1990). *Auditory scene analysis*. MIT, Cambridge.
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and communication*. Pergamon, New York.
- Clark, G. M. et al. (1987). The University of Melbourne - Nucleus multi-electrode cochlear implant. Karger, New York.
- Cohen, G. (1987). Speech comprehension in the elderly: the effects of cognitive changes. *British Journal of Audiology*, 21, 221-226.
- Curtiss, S. (1989). Issues in language acquisition relevant to cochlear implants in young children. In Owens, E. & Kessler, D.K. *Cochlear implant in young deaf children*. College-Hill, Boston.
- De Filippo, C.L., & Scott, B.L. (1978). A method for training and evaluating the reception of ongoing speech. *Journal of the Acoustical Society of America*, 63, 1186-1192.
- De Filippo, C.L. (1982). Memory for articulated sequences and lipreading performance of hearing-impaired observers. *Volta Review*, 84, 134-146.
- Dillier, N., Spelman, T., Fish, U.P., & Leifer, J.L. (1980). Encoding and decoding of auditory signals in relation to human speech. *Audiology*, 19, 146-163.
- Dodd, B., & Burham, D. (1988). Processing speechread information. In De Filippo, C. & Sims, D.G. *New reflections on speechreading*. *The Volta Review*, 90, 45-60.
- Dowell, R.C., Clark, G.M., Seligman, P.M., & Brown, A.M. (1986). Perception of connected speech without lipreading, using a multi-channel hearing prosthesis. *Acta Otolaryngologica (Stockholm)*, 102, 7-11.
- Elliot, L.L., Connors, S., Kille, E., Levin, S., Ball, K., & Katz, D. (1979). Children's understanding of monosyllabic nouns in quiet and in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 66, 12-21.
- Erber, N.P. (1982) *Auditory training*. Alexander Graham Bell for the Deaf, Washington.
- Erber, N.P. (1988). *Communication therapy for hearing-impaired adults*. Clavis, Victoria.
- Feldman, H., & Gelman, R. (1986). Otitis media and cognitive development: theoretical perspectives. In Kavanagh, J.F. *Otitis media and child development*. York Press, Parkton.
- Gantz, B.J., B.J., Tyler, R.S., Knutson, J.F., Woodworth, G., Abbas, P., McCabe, B.F., Hinrichs, J., Tye-Murray, N., Lansing, C., Kuk, F., & Brown, C. (1988). Evaluation of five different cochlear implant designs: audiologic assessment and predictors of performance. *Laryngoscope*, 98, 1100-1106.
- Gibson, W. P. R. (1987). Cochlear Implants. In Kerr, A.G. *Scott Brown series in Otolaryngology*, 3. Butterworths, London.
- Gierut, J.A., & Pisoni, D.B. (1988). Speech perception. In Lass, N.J., Reynolds, L.V., Northern, J.L. & Yoder, D.E. *Handbook of speech-language pathology and audiology*. Decker, Toronto.
- Gray, R.F. (1985). *Cochlear implants*. College-Hill, San Diego.
- Harnad, S. (1987). *Categorical perception, the groundwork of cognition*. Cambridge University, Cambridge.
- Harrison, R.V. (1988). *The biology of hearing and deafness*. C.C. Thomas, Springfield.
- Jerger, J. J., Stach, B., Pruitt, J., Harper, R., & Kirby, H. (1989). Comments on "Speech, understanding and aging". *Journal of the Acoustical Society of America*, 85, 1352-1354.
- Kalikow, D.N., Stevens, K.N., & Elliott, L.L. (1977). Development of a test of speech intelligibility in noise using sentence materials with controlled word predictability. *Journal of the Acoustical Society of America*, 61, 1337-1351.
- Keith, W. R. (1988). Central auditory tests In Lass, N.J., Reynolds, L.V., Northern, J.L. & Yoder, D.E. *Handbook of speech-language pathology and audiology*. Decker, Toronto.
- Keller, E. (1985). *Introduction aux systèmes psycholinguistiques*. Gaétan-Morin, Chicoutimi.
- Kessler, D. K., & Owens, E. (1989). Conclusions : current considerations and future directions. In Owens, E. & Kessler, D.K. *Cochlear implant in young deaf children*. College-Hill, Boston.
- Kolston, P.J. (1988). Sharp mechanical tuning in a cochlear model without negative damping. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 1481-1487.
- Kolston, P.J., Viergever, M.A., De Boer, E., & Diependaal, R.J. (1989). Realistic mechanical tuning in a micromechanical cochlear model. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86, 133-140.
- Lemme, M.L., & Hedberg, N.L. (1988). Auditory Linguistic

- Processing. In N.J. Lass, L.V. Reynolds, J.L. Northern, & D.E. Yoder, *Handbook of speech-language pathology and audiology*. Decker, Toronto.
- Lezak, I. (1987). L'évaluation neuropsychologique. In Botez M.I. *Neuropsychologie clinique et neurologie du comportement*. Masson, Paris.
- Lim, H.H., Tong, Y.C., & Clark, B. (1989). Forward masking patterns produced by intracochlear electrical stimulation of one and two electrode pairs in human cochlea. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86, 971-980.
- Ling, A.H. (1976). Training of auditory memory in hearing-impaired children: some problems of generalization. *Journal of the American Audiology Society*, 1, 150-157.
- Loeb, G.E. (1989). Neural prosthetic strategies for young children. In Owens, E. & Kessler, D.K. *Cochlear implant in young deaf children*. College-Hill, Boston.
- Lyxell, B., & Rénberg, J. (1987a). Necessary cognitive determinants for speechreading skills. In Kyle, J.G. *Adjustment to acquired hearing loss*. Centre for Deaf Studies, Bristol.
- Lyxell, B., & Rénberg, J. (1987b). Guessing and speechreading. *British Journal of Audiology*, 21, 13-20.
- Lyxell, B., & Rénberg, J. (1989). Information-processing skill and speech-reading. *British Journal of Audiology*, 23, 339-347.
- Lyxell, B., & Rénberg, J. (1991). Word discrimination and chronological age related to sentence-based speech-reading skill. *British Journal of Audiology*, 25, 3-10.
- Massero, D.W., & Oden, G.C. (1980). Speech perception: a framework for research and theory. In Lass, N.J. *Speech and language: advances in basic research and practice*, 3. Academic press, New York.
- Mathews, R.G., Simmons, F.B., Walker, M.G. & White, R.L. (1981). Pitch correlates of direct auditory nerves electrical stimulation. *Annals of Otorhinolaryngology*, 90, suppl. 82, 15-18.
- Mecklenburg, D.J. (1987). The Nucleus children's program. *American Journal of Otolaryngology*, 8, 436-442.
- Mecklenburg, D.J. (1988). Cochlear implants and rehabilitative practices. In Sandlin, R.E. *Handbook of hearing aid and amplification*, 2. College Hill, Boston.
- Middelweerd, M.J., Festen, J.M., & Plomp, R. (1990). Difficulties with speech intelligibility in noise in spite of a normal pure-tone audiogram. *Audiology*, 29, 1-7.
- Millar, J.B., Tong, Y.C., & Clark, G.M. (1984). Speech processing for cochlear implant prostheses. *Journal of Speech and Hearing Research*, 27, 280-296.
- Neville, H., Schmidt, A., & Kutas, M. (1983). Altered visual-evoked potentials in congenitally deaf adults. *Brain Research*, 266, 127-132.
- Osberger, M.J. (1990). Audiological rehabilitation with cochlear implants and tactile aids. *American Speech and Hearing Association*, April, 38-43.
- Patrick, J.F. (1991). The Nucleus 22-channel cochlear implant system. *Ear & Hearing*, 12, suppl., 3S-9S.
- Pavlovic, C.V. (1987). Derivation of primary parameters and procedures for use in speech intelligibility predictions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 82, 413-422.
- Picard, M., Ferron, P., Rochette, C., Bergeron, F., & Desgagné, M. (à paraître). Etude multivariée de la perception de la parole avec implant cochléaire multi-électrode. *Journal of Otolaryngology*.
- Pickett, J.M., & McFarland, W. (1985). Auditory implants and tactile aids for the profoundly deaf. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28, 134-150.
- Preece, J.P., & Tyler, R.S. (1989). Temporal-gap detection by cochlear prosthesis users. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 849-856.
- Rochette, C. & Plourde, C. (1988). Implant cochléaire et phonétique: une analyse de cas avec l'implant français Chorimac 12. *Journal of Otolaryngology*, 17, 315-320.
- Rönberg, J., Röhngren, G., & Nilsson, L.G. (1982). Hearing deficiency, speechreading and memory functions. *Scandinavian Audiology*, 11, 261-268.
- Ruben, R.J. (1984). An inquiry into the minimal amount of auditory deprivation which results in a cognitive effect in man. *Acta Otolaryngologica (Stockholm)*, 414, 157-164.
- Sak, R.J., & Ruben, R. (1981). Recurrent middle ear effusion in childhood: implications of temporary auditory deprivation for language and learning. *Annals of Otolaryngology*, 90, 546-551.
- Saunders, E. (1987). The role of cochlear implant. In Kerr, A.G. *Scott Brown series in Otolaryngology*, 2. Butterworths, London.
- Schindler, R.A., & Merzenick, M.M. (1985). *Cochlear implant*. Raven, New York.
- Schuknecht, H.F. (1974). *Pathology of the ear*. Harvard University, Cambridge.
- Shannon, R.V. (1989). The psychophysics of cochlear implant stimulation. In Owens, E. & Kessler, D.K. *Cochlear implant in young deaf children*. College-Hill, Boston.
- Shannon, R.V. (1990 a). Recent advances in cochlear implants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 87, 421-422.
- Shannon, R.V. (1990 b). Forward masking in patients with cochlear implant. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, 741-744.
- Slobin, D.I. (1973). Cognitives prerequisites for the development of grammar. In C.A. Ferguson, & D.I. Slobin, *Studies of child language development*. Holt, New York.
- Smoorenburg, G.F. (1990). Physical versus perceptual dimensions in cochlear implants. In J.M. Miller, & F.A. Spelman, *Cochlear implants: models of the electrically stimulated ear*. Springer, New York.
- Soli, S.D. (1990). Perceptual evaluation of a neurally based

- encoding strategy for cochlear implant. In J.M. Miller & F.A. Spelman *Cochlear Implants : Models of the electrically stimulated ear*. Springer, New York.
- Staller, S.J., Beiter, A.L., & Brimacombe, J.A. (à paraître). Children and multichannel cochlear implants. In H. Cooper, *Cochlear Implants. A practical guide*. Singular, San Diego.
- Strange, W. (1986). Speech input and the development of speech perception. In J.F. Kavanagh, *Otitis media and child development*. York Press, Parkton.
- Tong, Y.C., Busby, P.A., & Clark, G.M. (1988). Perceptual studies on cochlear implant patients with early onset of profound hearing impairment prior to normal development of auditory, speech, and language skills. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84, 951-962.
- Tong, Y.C., Lim, H.H., & Clark, G.M. (1990). Psychophysical and speech perceptual studies on cochlear implant patients In J.M. Miller & F.A. Spelman *Cochlear implants : Models of the electrically stimulated ear*. Springer, New York.
- Tremblay, C., Picard, M., Barbarosie, T., & Banville, R. (1991). Etude clinique des décalages de seuil vocal dans le bruit. *Audiology*, 30, 240-262.
- Tyler, R.S., Summerfield, Q., Wood, E.J., & Fernandes, M.A. (1983). Psychoacoustic and phonetic temporal processing in normal and hearing-impaired listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 72, 740-752.
- Tyler, R.S., Lowder, M.W., Otto, S.R., Preece, J.P., Gantz, B.J., & MacCabe, B.F. (1984). Initial IOWA results with the multichannel cochlear implant from Melbourne. *Journal of Speech and Hearing Research*, 25, 596-604.
- Tyler, R.S., Moore, B.C.J., & Kuk, F.K. (1989). Performance of some of the better cochlear-implant patients. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32, 887-911.
- Van Rooij, J.C.G.M., Plomp, R., & Orlebeke, J.F. (1989). Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. I: Development of test battery. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86, 1294-1309.
- Van Rooij, J.C.G.M., & Plomp, R. (1990). Auditive and cognitive factors in speech perception by elderly listeners. II: Multivariate analyses. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88, 2611-2624.
- Welsh, L.W., Welsh, J.J., & Healy, M.P. (1983). Effect of sound deprivation of central hearing. *Laryngoscope*, 93, 1569-1575.
- WGCAHI (1991). Speech-perception aids for hearing-impaired people: current status and needed research. *Journal of the Acoustical Society of America*, 90, 637-685.
- WGSUA (1988). Speech understanding and aging. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83, 859-895.
- Zwicker, E., & Schorn, H. (1982). Temporal resolution in hard-of-hearing patients. *Audiology*, 21, 474-492.