

J3eA, Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes,
Volume 3, Hors-Série 1, 14 (2004)
DOI : <http://dx.doi.org/10.1051/bib-j3ea:2004614>
© EDP Sciences, 2004

**Aspects physiologiques de la perception auditive.
Application à une prothèse auditive implantée : l'implant cochléaire**

C. Berger-Vachon

Laboratoire de Neurosciences et Systèmes Sensoriels
Hôpital Édouard-Herriot et Université Claude Bernard Lyon I, France

Aspects physiologiques de la perception auditive

Application à une prothèse auditive implantée : l'implant cochléaire

Christian Berger-Vachon

Laboratoire de Neurosciences et Systèmes Sensoriels
Hôpital Edouard-Herriot et Université Claude-Bernard Lyon1

Résumé – L'oreille humaine, et principalement la cochlée, effectue une analyse temps-fréquence du signal acoustique qui est transmise au cerveau pour interprétation. Lorsque les mécanismes d'amplification classiques sont dépassés par la profondeur de la surdité, l'implant cochléaire peut reproduire cette analyse temps-fréquence et il envoie vers le cerveau des signaux qui s'intégreront dans une représentation du monde sonore et qui permettront à son porteur de percevoir certains des événements sonores qui l'entourent.

1. INTRODUCTION

Depuis une cinquantaine d'années, le monde médical sait que l'excitation directe du nerf auditif par une stimulation électrique peut permettre de réhabiliter des surdités profondes réfractaires à toute amplification acoustique. L'interprétation de ces séquences sonores par le porteur est une autre affaire [1, 2, 3].

Actuellement, l'implant cochléaire est posé à grande échelle (8000 par an de par le monde, dont près de 600 en France), mais pour en arriver là, le chemin n'a pas été facile puisqu'il a fallu faire face à de multiples problèmes, autant techniques que physiologiques, sans compter avec les réactions plus que très vives de la Communauté des Sourds qui s'opposait, et qui s'oppose encore parfois, à cette correction prothétique. Nous ne prendrons pas parti et nous nous concentrerons sur les aspects physiologiques et techniques de cette réhabilitation.

Il y a aussi un aspect important que nous maîtrisons mal et qui est une constante au niveau du sensoriel et du langage en particulier et qui s'appelle l'Homme... « Au début était le verbe... » Que fait l'Homme dans ce verbe ? Ceci renvoie à de nombreux traités philosophiques et linguistiques qui ont parfaitement leur place quand on prétend restituer le verbe. L'homme a droit à la vie, mais aussi il a droit à la communication, surtout dans un siècle marqué par l'explosion du virtuel et de l'internet. Nous conserverons cette vision des choses présente à l'esprit en lisant les quelques lignes qui suivent.

2. PHYSIOLOGIE DE L'AUDITION

A. Structure

Le système auditif est constitué par deux voies, une montante et une descendante. Les modèles représentant les différentes étapes de la compréhension de la parole sont très nombreux. Nous en retiendrons un très simple ici (figure 1).

L'audition est essentiellement un mécanisme interactif. Normalement, autant dans des conditions normales que pathologiques, la communication est "multimédia" et elle s'appuie sur des informations visuelles et acoustiques. Les gestes et la lecture labiale sont largement utilisés.

B. Oreille

L'oreille est un système complexe dans lequel on peut individualiser plusieurs éléments (figure 2)

1) Pavillon de l'oreille (Oreille externe)

L'oreille est constituée de cartilage, de périchondre et de la peau. Sa fonction principale réside dans la perception des vibrations de l'air, la localisation des sources et la transmission des vibrations vers les structures de l'audition.

2) Conduit auditif externe (Oreille externe)

L'oreille externe est un tuyau de 25 millimètres de long environ. Elle a un rôle de filtre en renforçant, par résonance, les fréquences de la parole. Elle se termine au tympan.

3) Oreille moyenne

Il s'agit d'un espace aérien qui contient la chaîne des osselets (marteau, enclume et étrier). Elle est reliée à l'oreille externe par le tympan et au nasopharynx par la trompe d'Eustache pour équilibrer les pressions de part et d'autre du tympan.

Ses principales fonctions sont:

- Adaptation d'impédance,
- Transmission des vibrations,
- Filtrage passe-haut,
- Amplification acoustique.

4) Oreille interne

L'oreille interne contient la cochlée. La cochlée est contenue dans un canal rempli d'endolymphe. On peut schématiser sa fonction en estimant que l'oreille interne a une fonction de filtre (membrane basilaire) renforcée par l'action du système efférent et par la sélectivité des fibres nerveuses du nerf acoustique. L'information est ensuite transmise aux structures hautes du cerveau.

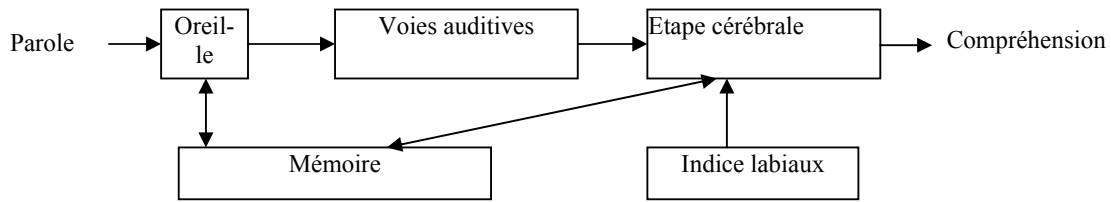


Fig. 1. Représentation du mécanisme auditif.

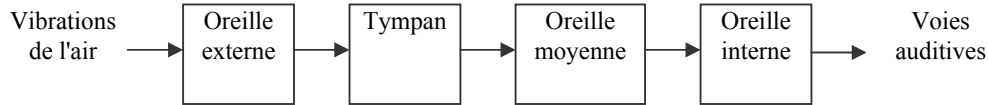


Fig.2. Structure de l'oreille.

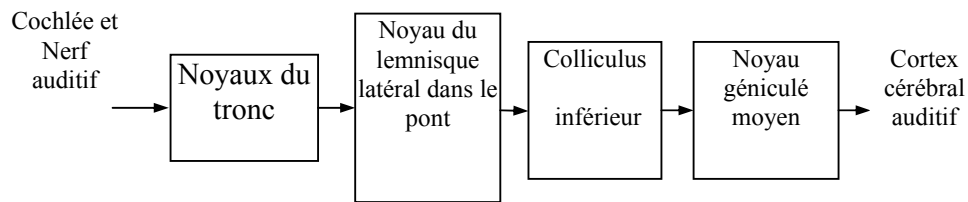


Fig.3. Relais sur les voies auditives.

C. Voies auditives

L'organisation des voies auditives est complexe et la recherche essaie encore de bien comprendre leur fonctionnement. A chaque relais, le nombre de fibres partant vers le cerveau est multiplié par dix. On débute avec 30 000 fibres au départ de la cochlée pour arriver à 1000000 au cortex cérébral.

La structure est schématisée sur la figure 3. Tous les axones qui vont vers le cerveau ont des interactions bilatérales (entre les voies droite et gauche). Ensuite, le cortex primaire est relié aux autres aires du cerveau dans le cortex et beaucoup de fonctions, notamment la mémoire, sont concernées. Les sciences comportementales et la neurologie s'intéressent beaucoup à cette fonction.

D. Etape cérébrale

On peut considérer que le travail principal du locuteur est de comprendre le message du locuteur. Beaucoup de concepts ont été introduits. Le traitement du langage par le cerveau est relativement hermétique et beaucoup d'efforts sont déployés pour essayer d'avancer dans ce domaine. On trouve pêle mèle, des approches linguistiques, de la psychophysiologie, des modèles linguistiques, des considérations informatiques... [4]

On considère que les étapes suivantes sont concernées:

- Extraction d'événements élémentaires (silences, montées, descentes.. dans le signal);
- Détection des traits acoustiques;
- Elaboration des phonèmes;

- Construction des mots;
- Mise en place de phrases ayant un sens.

La mémoire et l'expérience jouent un rôle fondamental et sont liées à chaque individu [5]. Néanmoins, on a recherché à regrouper les personnes en grandes catégories plus ou moins homogènes. On pense que le locuteur essaie de retrouver dans le signal ce qu'il élabore de façon cohérente dans son cerveau. Les stratégies "bottom up" (ascendante) ou "top down" (descendante) ont conduit à de nombreux modèles. Chaque modèle contient probablement une petite part de la vérité qu'on recherche.

3. IMPLANT COCHLEAIRE

Cette prothèse s'appuie sur les représentations temps-fréquence du signal [6] et ceci a été rendu possible par la mise en œuvre en temps réel de ces méthodes.

A. Historique et bases

L'implant cochléaire (IC) est un appareil qui a pour but de suppléer l'organe de Corti, lorsque cet organe est complètement non fonctionnel [7].

En pratique, on peut dire que l'IC est une interface qui effectue la transduction d'une vibration acoustique en un signal électrique qui sera véhiculé par les voies auditives jusqu'au cortex cérébral.

L'idée de cette excitation électrique directe n'est pas nouvelle. Il y a 200 ans, Volta avait déjà signalé qu'un courant circulant entre ses deux oreilles conduisait à un bruit ressemblant à de l'eau courante.

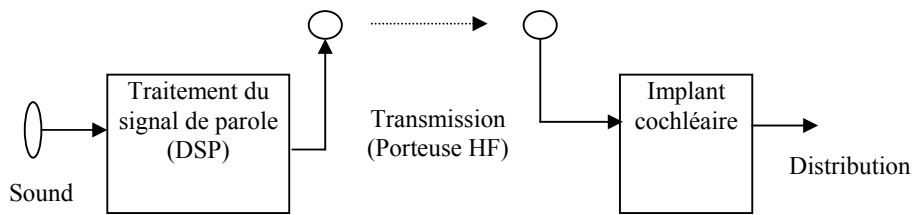


Fig.4. Représentation du fonctionnement d'un implant cochléaire.

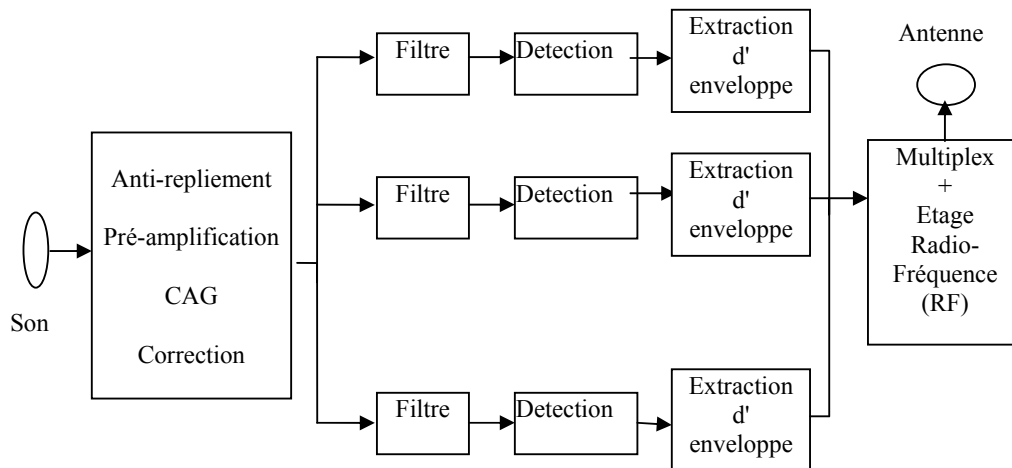


Fig.5. Schéma bloc montrant les fonctions principales du DSP d'un implant cochléaire à plusieurs canaux.

Les Comités d'Ethique auraient sûrement trouvé à redire dans cette expérience car l'auteur avait appliqué une différence de potentiel de 50 volts entre ses deux oreilles, ce qui est largement suffisant pour produire des dégâts irréversibles sur l'audition.

Au début du vingtième siècle, plusieurs autres expériences ont montré que des patients sourds complets pouvaient percevoir des sensations auditives quand une stimulation électrique était appliquée sur leur cochlée.

Le papier de référence a été publié dans "La Presse Médicale Française" en 1957 par Djourno et Eyries [8]. Ils ont décrit un tel type de stimulation. Néanmoins, devant les résultats médiocres obtenus, ils avaient conclu que cette méthode « n'avait pas de futur ». La conclusion a été totalement différente avec William House à Los Angeles. Un de ses patients sourds avait lu cet article et il lui en a parlé. Ceci a beaucoup intéressé W. House qui a repris cette idée et qui a construit le premier système d'excitation électrique portable. En 1973 il a organisé à San Francisco le premier symposium sur ce sujet et les pionniers du monde entier se sont retrouvés en Californie pour s'imprégner de cette technique.

La conséquence a été une éclosion d'implantations sur tous les continents, avec des résultats qui devenaient de plus en plus précis. La voie était ouverte et dans les années quatre-vingt tous les grands centres mondiaux se sont mis à cette technique. Une conséquence supplémentaire a été le développement des méthodes numériques dans la correction auditive, méthodes qui sont maintenant largement utilisées dans l'aide auditive conventionnelle.

B. Synoptique

L'organisation générale de l'implant cochléaire est indiquée sur la figure 4. Les vibrations de l'air sont captées, échantillonnées et elles chargent un microprocesseur chargé du traitement du signal et appelé DSP (Digital Speech Processeur). Ensuite, le signal est reconstruit et il module (en amplitude) une porteuse HF qui passera la peau par induction pour aller vers un récepteur implanté dessous la peau [9]. Sur le plan étymologique, seule la partie implantée a droit au titre d'implant cochléaire.

L'organisation d'un système multi-électrodes est indiquée sur la figure 5.

L'implant cochléaire reçoit la porteuse modulée, détecte le signal, remet en forme l'information et il distribue des signaux électriques à des électrodes réparties dans le labyrinthe ce qui est reçu par les différents filtres fréquentiels. A l'heure actuelle la quasi-totalité des systèmes disponibles sur le marché est multi-électrodes.

Les systèmes multi-électrodes transmettent l'information suivante:

- Oui/Non: présence ou absence de sons;
- Rythme: ceci est une extension de la propriété "Oui/Non" (le battement est mis en évidence);
- Amplitude: les sons sont plus ou moins intenses;
- Fréquence: la "couleur" du signal est distribuée sur les électrodes.

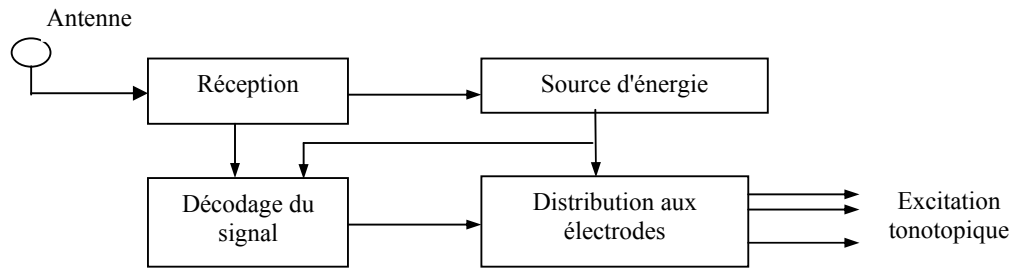


Fig.6. Schéma bloc montrant les fonctions principales de la partie interne d'un implant cochléaire.

Les différentes fonctions indiquées sur la figure 5 sont réalisées par des méthodes numériques:

- Le signal est capté, pré-traité, échantillonné et chargé dans des mémoires tampon;
- Une transformée de Fourier rapide (FFT) calcule les raies spectrales;
- Les raies spectrales sont regroupées en bandes selon les possibilités des voies auditives du patient;
- L'énergie de chaque bande est utilisée pour moduler (en amplitude) une porteuse HF;
- La porteuse est émise par une antenne HF située contre la peau du crâne.

Si on considère maintenant le récepteur (figure 6) on retrouve les fonctions suivantes:

- Le signal est démodulé et dirigé vers un étage de puissance qui restitue l'information auditive (amplitude et durée des impulsions);
- Les impulsions sont distribuées aux électrodes selon deux logiques; soit un "compteur en anneau + contenu", soit un système "adresse + contenu".

4. CONCLUSION

Après des décennies d'amplification et de tentative de restitution de la chaîne de l'audition, les méthodes de reconstruction du signal font actuellement partie des nouvelles orientations de la recherche dans le domaine de la surdité. La voie a été ouverte par l'implant cochléaire et les aides auditives conventionnelles s'appuient de plus en plus sur cette méthode.

Cette évolution a été rendue possible par les avancées de la technologie qui intègre de plus en plus de possibilités dans un volume de plus en plus petit. Les audioprothésistes de demain devront être spécialisés en informatique pour utiliser ces possibilités dans le meilleur intérêt de leurs patients.

Néanmoins, on ne pourra pas mettre dans la machine les connaissances qu'on n'a pas. Les efforts pour mieux comprendre la surdité sont donc loin d'être terminés.

5. BIBLIOGRAPHIE

[1] Shannon R.V., Zeng F.G., Wygonski J.: Speech recognition of altered spectral distribution of envelope cues, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 104, pp. 2469-2476, 1998.

[2] Berger-Vachon C., Djeddou B., Morgon A.: Model for understanding the influence of some parameters in cochlear implantation, *Annals Otol., Rhinol., Laryngol.*, vol. 101, pp. 42-45, 1992.

[3] Berger-Vachon C., Gallego S., Morgon A., Truy E.: Analytic importance of the coding features for the discrimination of vowels in the cochlear implant signal, *Annals of Otol. Rhinol. Laryngol.*, sup. 166, pp. 351-353, 1995.

[4] CALLIOPE: *La parole et son traitement automatique*, Coll. Technique & Scientifique des Telecom., Masson, 1989.

[5] Borsky S., Tuller B., Shapiro L.P.: How to milk a coat: the effect of semantic and acoustic information on phoneme categorisation, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 103, pp. 2670-2676, 1998.

[6] Cohen L.: Time-frequency distribution-a review, *Proceedings IEEE*, vol. 77, pp. 941-981, 1989.

[7] Moore B.C.J.: *Perceptual consequences of cochlear damage*, Oxford Medical Publication, 1995.

[8] Djourno A., Eyries C.: Prothese auditive par excitation électrique a distance du nerf sensoriel a l'aide d'un bobinage inclus a demeure, *Presse Med.*, vol. 35, pp. 1417-1423, 1957.

[9] Gallego S., Luu B.L., Berger-Vachon C.: Modelling of the electrical simulation delivered by the Digisonic cochlear implant, *Advances in Modelling (Series B)*, vol. 39, pp. 39-53, 1998.