

PROPOSITION ET ETUDE LONGITUDINALE D'UN INDICATEUR DE LA PERFORMANCE AVEC UN IMPLANT COCHLEAIRE

Julie BESTEL¹, Pierre-Louis GONZALEZ², Nathalie NOEL-PETROFF³, Thierry VAN DEN ABBEELE³

1 : Advanced Bionics, département de recherche clinique, 76 rue de Battenheim, 68170 Rixheim

2 : Chaire de statistique appliquée et CEDRIC, CNAM 292 rue Saint Martin 75003 Paris

3 : Hôpital Robert Debré, service ORL, 48 Boulevard Sérurier, 75019 Paris

Résumé

Un implant cochléaire vise à restaurer le sens de l'audition chez des patients sourds profonds. Les résultats sont évalués sur plusieurs aspects complémentaires, en particulier chez l'enfant. Nous étudions ici un indicateur composite de la performance appelé "A-P-C-E-I", composé de 5 notes allant de 0 à 5. Il s'agit d'une étude rétrospective de la base de données de l'hôpital Robert Debré (Paris), des sujets porteurs d'un implant cochléaire de la marque Advanced Bionics. Nous proposons un nouvel indicateur agrégé construit par un arbre de classification, noté K. Nous étudions ensuite la relation entre cette nouvelle variable de performance et les variables explicatives de la base, à l'aide d'une régression logistique multinomiale.

Abstract

A cochlear implant is an electronic device which aims at restoring the sense of hearing for profoundly deaf people. Performance has to be assessed on complementary aspects, especially with children. This study deals with a composite indicator of performance, named "A-P-C-E-I", made up with 5 scales, ranging from 0 to 5. The database contains subjects implanted with a device of the brand Advanced Bionics, followed up at Robert Debré hospital (Paris). We propose a synthetic indicator which we call K, derived from the application of a clustering tree method. We then assess the relationship between K and explanatory variables by means of a multinomial logistic regression.

Mots-clefs

Médecine-épidémiologie, apprentissage et classification

Introduction

Le but premier de l'implant est de permettre la compréhension de la parole. Les enfants sont implantés le plus tôt possible, après diagnostic de la surdité. Environ un mois après la pose chirurgicale de l'implant, commence l'apprentissage : l'enfant va au centre hospitalier régulièrement, pour des visites (ou sessions) : on évalue sa compréhension avec le système, et l'on ajuste le programme informatique qui fait fonctionner l'implant. Ce programme est chargé dans un petit processeur porté par le patient.

On peut décrire l'évolution typique d'un enfant implanté cochléaire comme suit : dès l'activation de son système, le patient commence par détecter des sons ; il va ensuite apprendre à leur donner un sens, tout comme un enfant normo-entendant fait l'apprentissage de sa langue maternelle. L'enfant implanté ne suit pas la même courbe d'apprentissage, mais il a aussi une évolution sur plusieurs années. Le réglage informatique de l'implant évolue beaucoup pendant la première année, puis se stabilise. Se mettent en place au cours des années des capacités d'écoute avec l'implant, avec une grande variabilité entre les sujets.

Description des données

Le fichier sur lequel nous avons travaillé comporte des sujets suivis de l'implantation à 4 ans d'utilisation du système d'implant. Durant cette période, ils sont vus régulièrement par le médecin, qui contrôle le réglage informatique de l'implant cochléaire et mesure les performances obtenues. Le nombre de sujets de la base diminue avec le recul sur l'utilisation du système, comme le résume le tableau suivant :

Durée après implantation (session)	3 mois	6 mois	1 an	2 ans	3 ans	4 ans
Nombre d'individus actifs	101	97	91	73	56	37

A chaque visite, les performances avec l'implant sont évaluées sur 5 aspects :

- acceptation du système, notée A ;
- perception auditive, notée P ;
- compréhension, notée C ;
- expression orale, notée E ;
- intelligibilité ou compréhension par autrui, notée I.

Chacun de ces 5 critères est noté de 0 (moins bonne note) à 5 (meilleure note), et constitue un indice composite de la performance, noté APCEI.

Les sujets de la base sont caractérisés par un ensemble de variables dites « démographiques » :

- AgeIC : classe d'âge à l'implantation, qualitative à 6 modalités;
- Etiologie : origine médicale de la surdité, qualitative à 6 modalités
- Malformation : présence d'une malformation, qualitative à 5 modalités
- Evolution surdité : caractère évolutif de la surdité, qualitative à 3 modalités
- Audition préIC : expérience auditive avant implantation, ordinale à 4 valeurs
- Environnement familial : « Niveau » d'implication de la famille, ordinale à 3 valeurs

L'équipement de chaque patient peut être décrit par 3 variables, dont les modalités correspondent à des générations différentes définies par le constructeur :

- Génération IC : génération de partie interne, qualitative à 5 modalités
- Processeur : type de processeur, qualitative à 5 modalités
- Stratégie : Génération de traitement de signal, qualitative à 3 modalités.

Proposition d'un indicateur synthétique

Les cinq critères APCEI retranscrivent la complexité de la performance avec un implant cochléaire : un sujet qui ne porte pas souvent son système (A faible) ne peut pas progresser en perception (P faible). Il faut avoir une bonne performance en détection (P) pour accéder à la compréhension du message (C). Enfin, l'expression puis l'intelligibilité s'installent, cette dernière pouvant progresser après 5 ou 6 ans d'implantation.

Afin de construire un indicateur agrégé de la performance, nous avons souhaité exploiter la hiérarchisation des niveaux codés par APCEI. Ceci nous a conduits vers les méthodes « divisives monothétiques », implémentées dans SPAD sous le nom de ICT (« Interactive Clustering Tree »).

Nous considérons la population des patients ayant 2 ans d'utilisation du système, recul pertinent en clinique. En effet, les réglages informatiques sont en général stabilisés à cette période ; l'enfant peut déjà avoir une bonne compréhension, mais n'a pas atteint les performances cibles, ce qui peut nécessiter plusieurs années. Nous souhaitons définir une nouvelle variable de classement à 5 modalités, c'est-à-dire le même nombre qu'originellement pour APCEI (le 0 n'étant pratiquement

pas utilisé).

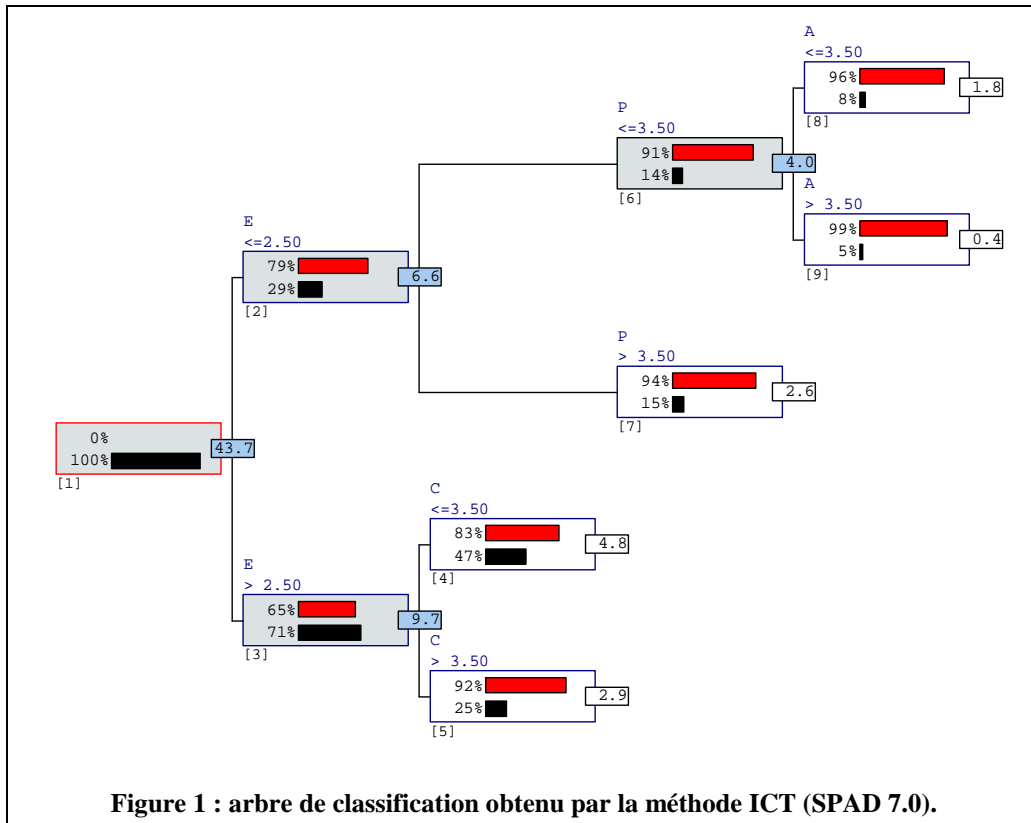


Figure 1 : arbre de classification obtenu par la méthode ICT (SPAD 7.0).

L'arbre retenu est représenté sur la Figure 1. Jusqu'aux étapes 6 et 7, seul le critère d'inertie a été utilisé pour choisir le segment à diviser. Ensuite, le critère statistique conduisait à diviser le nœud C ≤ 3.5 , pour un gain d'inertie de 4.8, alors que la division du segment P ≤ 3.5 permettait un gain de 4. Or, cette subdivision conduit à un partage entre A ≤ 3.5 et A > 3.5 , qui est plus intéressante en clinique car elle permet de créer une classe d'extrêmes dans les mauvais résultats. Nous choisissons donc d'intervenir à ce niveau dans la construction de l'arbre. Nous résumons ci-dessous la signification des modalités de K.

Modalité de K	Calcul sur APCEI	Interprétation
1	A ≤ 3 et P ≤ 3 et E ≤ 2	Accepte et porte peu son système, mauvais en perception des sons, ne s'exprime pas bien
2	A ≥ 4 et P ≤ 3 et E ≤ 2	Accepte bien son système, mais n'a pas de perception avec l'implant, mauvaise expression
3	P ≥ 4 et E ≤ 2	A de bonnes perceptions avec l'implant mais ne s'exprime pas bien
4	C ≤ 3 et E ≥ 3	Ne comprend pas bien, mais s'exprime bien
5	C ≥ 4 et E ≥ 3	Comprend bien et s'exprime bien

Modélisation de l'appartenance à K

Nous proposons une régression logistique multinomiale de K sur les variables explicatives introduites précédemment. Parmi les nombreux modèles testés, le modèle (1) utilisant la fonction de lien logit généralisé, construit à l'aide des trois variables explicatives — Session, Audition pré-

implant et Stratégie — est intéressant en clinique :

$$\ln\left(\frac{p_j}{p_5}\right) = \beta_0^j + \begin{matrix} \left[\begin{matrix} \beta_1^j \\ \beta_2^j \\ \beta_3^j \\ \beta_4^j \\ \beta_5^j \\ \beta_6^j \end{matrix} \right] \begin{matrix} 3m \\ 6m \\ 1an \\ 2ans \\ 3ans \\ 4ans \end{matrix} \\ \text{Session} \end{matrix} + \begin{matrix} \left[\begin{matrix} \beta_7^j \\ \beta_8^j \\ \beta_9^j \\ \beta_{10}^j \end{matrix} \right] \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \\ \text{préIC} \end{matrix} + \begin{matrix} \left[\begin{matrix} \beta_{11}^j \\ \beta_{12}^j \\ \beta_{13}^j \end{matrix} \right] \begin{matrix} 8 \text{ canaux} \\ \text{HiRes} \\ \text{HiRes120} \end{matrix} \\ \text{Stratégie} \end{matrix} \quad (1)$$

pour tout j compris entre 1et 4

$$\text{avec } \begin{cases} \beta_6^j = -(\beta_1^j + \beta_2^j + \beta_3^j + \beta_4^j + \beta_5^j) \\ \beta_{10}^j = -(\beta_7^j + \beta_8^j + \beta_9^j) \\ \beta_{13}^j = -(\beta_{11}^j + \beta_{12}^j) \end{cases}$$

On obtient par exemple pour le rapport des probabilités en K1 et K5 :

$$\ln\left(\frac{p_1}{p_5}\right) = -4.49^* + \begin{matrix} \left[\begin{matrix} +6.69^* \\ +3.78^* \\ +0.52 \\ -1.80^* \\ -4.06^* \\ -5.12^* \end{matrix} \right] \begin{matrix} 3m \\ 6m \\ 1an \\ 2ans \\ 3ans \\ 4ans \end{matrix} \\ \text{Session} \end{matrix} + \begin{matrix} \left[\begin{matrix} -6.89^* \\ -0.31 \\ +0.37 \\ +6.83^* \end{matrix} \right] \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \\ \text{préIC} \end{matrix} + \begin{matrix} \left[\begin{matrix} +2.59^* \\ -0.39 \\ -2.21^* \end{matrix} \right] \begin{matrix} 8 \text{ canaux} \\ \text{HiRes} \\ \text{HiRes120} \end{matrix} \\ \text{Stratégie} \end{matrix} \quad (2)$$

Les coefficients marqués d'un * sont significativement différents de 0 ($p < 0.01$). Ce modèle est particulièrement intéressant dans notre domaine ; il montre tout d'abord l'effet de l'apprentissage au cours du temps : le signe et les valeurs des coefficients devant la variable *Session* montrent que la probabilité d'être en K=1 diminue avec la durée d'utilisation du système. De plus, l'effet du niveau d'audition avant implant est conforme à l'observation clinique : moins le sujet entendait avant l'implantation, plus la probabilité d'être en K=1 est grande. Enfin, le modèle permet de quantifier l'apport des générations de stratégies de codage : la plus récente (HiRes120), fait diminuer la probabilité d'être en K=1.

Conclusion

Les cinq critères A, P, C, E, I reflètent des aspects complémentaires de la performance avec l'implant cochléaire. Afin d'en faciliter l'interprétation, nous avons proposé de réduire la dimension de cet indicateur en passant de cinq variables à une. Le nouvel indicateur — K —, a été construit sur la base de données des patients à 2 ans d'implantation.

Nous avons ensuite proposé un modèle pour expliquer la valeur prise par K, en fonction de variables explicatives : la durée d'utilisation, le niveau d'audition avant l'implant et la stratégie de codage. La variable la plus explicative est la durée d'utilisation du système : plus le sujet utilise son système depuis longtemps, meilleure est sa note à K. De l'interprétation des modalités de K, nous concluons que le niveau de complexité de la performance s'installe séquentiellement dans le temps.

Notre travail montre que la stratégie de codage explique une partie de la performance ; plus

précisément, la stratégie de codage la plus évoluée a un effet positif significatif, quelle que soit la valeur des autres variables. Ceci conforte le constructeur dans ses choix de recherche et développement, particulièrement axés sur les stratégies de codage, dans le but d'améliorer la performance avec l'implant.

La part due au matériel reste faible comparée au temps et au niveau d'audition avant l'implantation. Cette dernière variable semble déterminer une part importante de la performance avec l'implant, en deuxième position après la durée d'utilisation.

Nous prévoyons de construire la variable K sur une base de données contenant davantage d'individus. Le modèle proposé servira à construire des profils types, appréciés des cliniciens, qui pourront alors comparer l'évolution observée d'un sujet avec l'évolution attendue, et adapter le suivi en cas d'écart jugé important.

Bibliographie

- [1] Chavent, M., Guinot, C., Lechevallier, Y., Tenenhaus, M. (1999), Méthodes divisives de classification et segmentation non supervisée : recherche d'une typologie de la peau humaine saine, *Revue de statistique appliquée*, tome 47, n°4, p. 87-99.
- [2] Chavent, M., Lechevallier, Y. (2007) Évaluation d'une approche de classification conceptuelle, *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information, Extraction et Gestion des Connaissances*, Ed. M. Noirhomme.
- [3] Cheng, A. K., Grant, G. D., Niparko, J. K. (1999) Meta-analysis of pediatric cochlear implant literature, *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. Supl.* 177 :124-8.
- [4] Dumont, A. (2008) Orthophonie et surdité : communiquer, comprendre, parler, Ed. Masson.
- [5] Falissard, B. (2005) Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie, *collection Abrégés*, 3^e édition, Ed. Masson.
- [6] First, J. B., Holden, L. K., Reeder, R. M., Skinner, M. W. (2009) Speech recognition in cochlear implant recipients: comparison of standard HiRes and HiRes120 sound processing, *Otol. Neurotol*, 30(2):146-52.
- [7] Gonzalez, P. L. (2005) Modèles linéaires généralisés, chapitre 5 du livre *Modèles statistiques pour données qualitatives*, Ed. J. Dreesbeke, M. Lejeune & G. Saporta, Ed. Technip.
- [8] Haensel, J., Engelke, J. C., Ottenjann, W. (2005) Long-term results of cochlear implantation in children, *Otolaryngol Head Neck Surg*, 132(3) : 456-458.
- [9] http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/rapport_implants_cochleaires.pdf
- [10] Lebart, L., Morineau, A., Piron, M. (2000) *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, 3^e édition, Ed. Dunod.
- [11] Le Normand, M. T. (2003) Acquisition du langage chez l'enfant sourd porteur d'un implant cochléaire, *Connaissances Surdités*, Hors série N°1, 148-155.
- [12] Noël-Petroff, N., Dumont, A., Busquet, D. (2006) Le profil A.P.C.E.I : une méthode d'affichage des performances audio-phonologiques des enfants appareillés ou implantés cochléaire, *Connaissances Surdités*, vol 17.
- [13] Saporta, G. (2006) Probabilités, analyse des données et statistique, Ed. Technip.
- [14] Skinner, M. W., Holden, T. A., Whiting, B. R., Voie, A. H., Brunnsden, B., Neely, J. G., Saxon, E.A., Hullar T. E., Finley, C. C. (2007) In Vivo estimates of the Position of Advanced Bionics Electrode Arrays in the Human Cochlea, *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology*, 116 (4), Suppl. 197 :1-24.
- [15] Spahr, A. J., Dorman, M. F. (2004) Performance of subjects fit with the Advanced Bionics CII and Nucleus 3G cochlear implant devices, *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.*, 130(5):624-8.
- [16] Tenenhaus, M., Le Roux, Y., Guimart, C., Gonzalez, P. L., Malvy, D. J. M. (2005) Le modèle

à réponse multinomiale, application à la lutte contre le goitre endémique, chapitre 11 du livre *Modèles statistiques pour données qualitatives*, Ed. J. Dreesbeke, M. Lejeune & G. Saporta, Technip.

[17] Tufféry, S. (2010) *Data mining et statistique décisionnelle*, Ed. Technip.