

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ET AUDIOLOGIE

*Monsieur Bernard AZEMA - Monsieur Benoît VIROLE
Laboratoire de recherches acoustiques, L'Aide auditive Paris
230, rue du Faubourg - Saint - Honoré - 75008 Paris
Tél. : (1) 43.59.14.10*

RESUME

Les auteurs soulignent l'intérêt de l'analyse phonétique automatique des erreurs d'identification pour la génération de règles d'interprétation qui constituent la base logique d'un système expert en audiologie.

MOTS CLES

Audiologie, Audiophorèse, Informatique, Intelligence artificielle, Synthèse et reconnaissance de la parole.

SUMMARY

The authors want to give an overview of the techniques used in the Earing Aid Field. Specially on systems using Artificial Intelligence.

KEYWORDS

Audiology, Earing Aid, Software, Artificial Intelligence, Speech.

INTRODUCTION

En audiologie comme dans d'autres domaines, l'informatique classique de gestion de données permet d'assurer trois fonctions types

1 ° - Recueillir des données, rapidement et simplement afin d'améliorer la rapidité d'exécution des opérations liées à l'appareillage, tout en conservant l'efficacité et la disponibilité de l'audioprothésiste vis-à-vis du déficient auditif.

2 ° - Stocker des données en mémoire.

3 ° - Traiter ces données en se servant des capacités de calcul de l'ordinateur et se servir des possibilités de traitement statistique ou analytique de l'informatique.

L'usage des techniques d'intelligence artificielle permet aujourd'hui de compléter ces fonctions par une capacité de raisonnement par règles d'inférences logiques qui trouve en audiologie comme en audiophorèse des applications prometteuses.

1. LE LOGICIEL ANAPRO

Le logiciel Anapro est principalement un outil d'aide à l'investigation de l'identification phonétique de déficients auditifs ou de personnes souffrant de difficultés d'intégration de la parole. Il fournit à -l'utilisateur, clinicien, chercheur, audioprothésiste ou orthophoniste, un « savoir » de base en phonétique acoustique, mais il lui laisse le choix de l'analyse et donc ceux de la réflexion et de la décision. Il n'est assujéti à aucune méthode particulière de rééducation, d'appareillage, ou d'exploration fonctionnelle et est d'une souplesse suffisante pour répondre à des besoins diversifiés dans toutes les professions et les secteurs industriels concernés soit par l'audio -phonologie clinique, soit par le traitement de la parole. Anapro est conçu pour fonctionner sur micro-ordinateur de type IBM Personal Computer ou compatibles et dans l'environnement MS-DOS comme système d'exploitation. Anapro possède une architecture modulaire. Nous ne décrivons ici que les modules possédant une fonction de raisonnement artificiel.

2. INTERPRÉTATION LOGIQUE DES AUDIOGRAMMES

Le module audiométrie a pour objectifs de remplacer la saisie manuelle de l'audiogramme par une saisie informatique permettant d'améliorer la rapidité, la fiabilité et la disponibilité des résultats de ces examens. Il permet de recueillir l'audiogramme tonal en sélectionnant les différents types de courbe et les modalités de passation. Il affiche à l'écran le graphique avec la codification internationale en usage en clinique et permet l'impression du graphique.

Par l'intégration d'un système de règles d'inférence de type SI...

ALORS, le module d'audiométrie tonale est capable à lui seul d'interpréter les courbes et de fournir automatiquement sous forme de phrases écrites en français l'interprétation clinique de l'audiogramme. Il interprète ainsi :

- le calcul de la perte tonale et l'établissement de la classification audiométrique des déficiences auditives selon la recommandation 02 du BIAP en tenant compte de l'âge du patient ;
- l'évaluation du champ dynamique, soit l'écart entre le seuil auditif aérien et le seuil subjectif d'inconfort, et ceci pour toutes les fréquences du champ auditif ;
- l'évaluation d'un déséquilibre en fréquence dès lors que celui-ci peut avoir une répercussion sur l'intelligibilité phonétique ;
- le calcul du Rinne audiométrique dès lors qu'une courbe osseuse est saisie ;
- la détection automatique d'une encoche sur le 4 000 Hz ;
- dans la configuration pour audioprothésistes, Anapro effectue le calcul automatique des valeurs de préréglage audioprothétique et celui du gain prothétique.

L'ensemble extensif des règles a été établi après consultation d'experts cliniciens et une revue de la littérature. Ces règles peuvent à tous moments être modifiées ou complétées par de nouvelles règles.

3. L'USAGE D'UN « EXPERT PHONETICIEN » AUTOMATISE POUR L'INTERPRETATION QUALITATIVE DES RESULTATS DE L'AUDIOMETRIE VOCALE

Le module d'audiométrie vocale permet la passation en temps réel de différents tests vocaux dont le test phonétique de J.-C. Lafon (Lafon, 1964), de recueillir les scores d'erreurs réalisées et les phonèmes substitutifs qui ont été répétés par le patient, d'en donner une interprétation graphique et enfin une interprétation clinique par intégration d'un système de règles d'inférences de type système expert.

3.1. L'usage d'une carte de « synthèse vocale »

Après le choix de test, l'utilisateur sélectionne les modalités de passation et fait passer le test en recueillant les erreurs et les phonèmes confondus. La passation se fait en temps réel. Une carte d'enregistrement numérique de la parole permet à volonté l'enregistrement et l'émission des mots de tests de façon constante en réduisant ainsi totalement les variabilités inter et intralocuteurs préjudiciables à la rigueur de l'audiométrie vocale. Anapro est interfacé avec cette carte délivrant un signal de synthèse de haute qualité (32 000 bits/s) SINFRAVOX.

Les confusions phonétiques réalisées par un patient sourd à un test d'audiométrie vocale sont recueillies au niveau linguistique et on utilise donc l'unité phonème sur lequel est bâtie l'interprétation et la notation de l'erreur recueillie. Or, le phonème est d'abord une unité distinctive avant d'être une unité pourvue d'une matérialité acoustique sur laquelle joue la correction audioprothétique. Pour pouvoir relier l'unité phonème au niveau physique qui la sous-tend, il est nécessaire de passer par plusieurs niveaux intermédiaires d'analyse qu'Anapro effectue de façon autonome de telle sorte que l'utilisateur peut sélectionner celle qu'il désire voir exécuter. Les différentes analyses d'erreurs qu'effectue Anapro sont issues de modèles théoriques appartenant à différentes disciplines scientifiques concernées par l'identification de la parole. Elles ne sont donc que l'application pratique sous forme de modélisation théorique « idéale », des modèles utilisés pour décrire l'identification de la parole. Elles n'en fournissent que des images approchées grâce à un système de description formelle aboutissant à des conclusions interprétatives.

3.2. Analyse par matrices de confusion

Les matrices de confusion permettent de visualiser à l'écran les systèmes de fautes et d'en donner une première analyse topologique. Les matrices de confusion sont construites de telle manière que la disposition et le comptage des erreurs sur le plan de la matrice donnent des indications sur la nature de la perturbation de la discrimination phonétique et de la gravité relative de cette perturbation.

3.3. Analyse fréquentielle

Anapro effectue sur la base des corpus d'erreurs sélectionnées par l'utilisateur une première analyse fréquentielle, analyse partielle et bidimensionnelle puisqu'elle ne prend en compte que la fréquence et l'intensité. Elle permet de visualiser sur un graphique les correspondances éventuelles entre la perte tonale et les zones fréquentielles sur lesquelles ont porté les confusions.

Cette analyse, partielle, des erreurs permet néanmoins une opérationnalité pratique sur le réglage des prothèses et la modification de la courbe de réponse en diminuant ou en augmentant les paramètres de gain sur chaque fréquence considérée.

Cette analyse ne tient donc pas compte des caractéristiques temporelles qui doivent être analysées au niveau des indices acoustiques, ou des traits. Les différentes analyses phonétiques qu'effectue Anapro sont ainsi toutes complémentaires les unes des autres.

Les analyses par matrices de confusions et fréquences permettent de connaître simplement la forme globale d'un système de faute. Dans ces deux analyses, chaque erreur phonétique est considérée comme si le phonème était isolé dans la chaîne parlée, ce qui ne correspond pas à la réalité puisque les phonèmes se colorent les uns les autres dans leur concaténation linéaire. Afin de pouvoir prendre en compte le contexte phonémique de chaque erreur pour les analyses en traits et indices acoustiques, nous avons résolu le problème de la segmentation phonétique en analysant les séquences triphonématiques et en traduisant toute erreur sous la forme d'un opérateur de type :

$aXb cYd$, avec les valeurs suivantes des variables ;

- X est le phonème erroné ;
- Y est le phonème substitué ;
- a, b, c, d, sont les phonèmes contextuels de X et Y.

(a, b, c, d, X, Y) appartiennent à l'ensemble des phonèmes de la langue française plus le phonème vide. Ainsi, tous les cas de figure peuvent être traités, y compris les omissions et les rajouts. Chaque erreur est ainsi identifiée et analysée vis-à-vis des phonèmes proximaux par l'intégration automatique de règles phonologiques.

3.4. Analyse par traits distinctifs

Pour pouvoir relier l'unité linguistique « phonème » au niveau physique qui le sous-tend, il est nécessaire de passer par le niveau des traits distinctifs acoustiques qui ont été mis en évidence par les travaux de Jakobson (Jakobson, 1979).

Chaque phonème de chaque système phonétique est constitué par un faisceau de traits distinctifs binaires pouvant chacun prendre une valeur positive ou négative. Ainsi, un phonème X est soit nasal, soit oral, mais ne peut pas être les deux à la fois, puisque nasal et oral constituent les deux valeurs opposées d'un même trait distinctif, celui de la nasalité.

Le répertoire des traits distinctifs acoustiques binaires utilisé dans Anapro constitue la carte d'identité de tous les phonèmes. Chaque phonème de chaque langue est caractérisé par ces traits qui doivent chacun prendre une valeur soit positive soit négative.

Huit traits distinctifs suffisent en français pour décrire l'ensemble du système phonétique de cette langue ainsi que l'ensemble des confusions phonétiques.

Ainsi, on peut analyser la confusion entre le mot « bile » et le mot « pile » à l'aide des traits distinctifs.

Liste des traits	mot stimulus			mot réponse				R
- écriture alphabétique	B	i	le	p	i	l	e	
- écriture phonétique		<i>	<l>	<p>	<i>	<l>		O/N
vocalique	-	+	+	-	+	+		0
consonnatique	+	-	+	+	-	+		O
continu	-	+	+	-	+	+		O
voisé	+	+	+	-	+	+		N
nasal	-	-	-	-	-	-		O
compact	-	-	-	-	-	-		O
aigu	-	+	-	-	+	-		O
bémolisé	-	-	-	-	-	-		O

La comparaison entre les deux cartes d'identité en traits distinctifs de chaque phonème de deux mots (stimulus et réponse) comparés lors de l'analyse permet d'extraire le trait distinctif responsable de la confusion entre < b > et < p > , à savoir le trait de voisement qui est + pour < b > et - pour < p > . La confusion phonétique a donc été déterminée par l'absence d'identification du trait de voisement. Anapro procède de la sorte pour tous les phonèmes de tous les mots des listes sélectionnées pour l'analyse, il effectue la sommation pour chaque trait distinctif des erreurs portant sur ce trait et les représente sous forme d'histogrammes graphiques.

Les indices acoustiques sont des éléments du substrat acoustique de la parole qui sont investis dans le processus de reconnaissance de la parole d'une fonction particulière. Leur perception déclenche un processus de catégorisation aboutissant à l'identification phonétique. Leur nombre est largement redondant, ce qui explique que la parole puisse être perturbée dans de larges proportions, par du bruit masquant par exemple, sans que l'intelligibilité puisse en pâtir (Azema, 1980).

La liste des indices acoustiques du français a été établie par Delattre et remise à jour par les nombreux travaux actuels concernant la synthèse et la reconnaissance de la parole. Elle est divisée en deux catégories, les indices vocaliques et les indices consonnatiques (Delattre, 1958).

Anapro permet par la visualisation sur des graphiques exprimant la perte de discrimination sur chaque indice d'approcher non seulement la qualité de l'identification phonétique, mais également la détermination des confusions. Celle-ci peut être affectée par un ensemble de facteurs audiologiques et neuropsychologiques mais il est possible de dégager sur la base de l'analyse en indices des confusions certaines règles d'occurrences d'erreurs et de proposer un type d'amplification susceptible de restaurer une discrimination phonétique optimale.

L'usage en audiologie des indices acoustiques est encore rare même s'il est maintenant établi qu'un changement qualitatif important sera amené par la connaissance de l'influence des procédés d'amplification sur la saillance perceptive de tel ou tel indice acoustique.

La distorsion transitoire des systèmes de compression AGC induit des modifications temporelles du signal acoustique. Ces modifications perturbent la discrimination phonétique en modifiant les dimensions temporelles des indices acoustiques nécessaires à cette discrimination.

En effet, pour tout système électroacoustique, plus les temps de réaction sont courts, plus la distorsion harmonique est élevée, et plus la distorsion transitoire est faible. Elles sont donc comparables à deux vecteurs antagonistes exerçant leur influence contraire sur l'intelligibilité de la parole et donc sur la discrimination de certains indices acoustiques (Virole, 1988).

Les erreurs de discrimination sur les indices acoustiques possédant une dimension temporelle sont justement classés à part sur les graphiques d'Anapro et constituent ainsi une indication des effets perturbants des systèmes de compression. Par contre, si le nombre d'erreurs de discrimination sur les indices fréquentiels est plus important que sur les indices temporels, alors il faut modifier la courbe de réponse, sans modifier les paramètres de temps de la prothèse. Tout un ensemble extensif de règles d'inférences de ce type est intégré directement à Anapro et permet une interprétation automatique du système de faute sous forme de phrases écrites en français à l'écran.

L'usage dans Anapro d'un système utilisant le « savoir interpréter d'un expert phonéticien » permet surtout à l'utilisateur d'Anapro de connaître sur la base de l'analyse des confusions phonétiques réalisées par un patient dans différentes modalités de passation, de test, la configuration de sa stratégie d'identification phonétique. Car l'expérience clinique montre que les déficiences auditives relativement électives des zones fréquentielles attribuées à tel ou tel indice acoustique n'avaient pas de conséquences sur la reconnaissance des phonèmes caractérisés par ces indices. Si en l'absence de perception de ces indices la reconnaissance phonétique a pu s'effectuer, c'est que d'autres indices ont servi de support à la discrimination catégorielle.

4. CONCLUSIONS

Il existe ainsi au niveau des indices acoustiques un phénomène de compensation dont les travaux expérimentaux en reconnaissance de la parole synthétique ont donné confirmation. Ces relations de compensation prennent une importance fondamentale en audioprothèse car elles permettent de privilégier au niveau de l'amplification les indices actifs de la discrimination et ceci compte tenu des données cliniques de chaque patient. L'analyse qualitative automatique des systèmes de confusions de fautes est ainsi appelé à rendre de grands services pour le réglage de nouvelles prothèses à canaux, ainsi que pour la définition des paramètres de réglage numérique.

Elle présente également un intérêt actuel pour l'évaluation des implantations cochléaires (Soussi, 1989). Mais elle devrait posséder également en exploration fonctionnelle un intérêt clinique important. Cependant la complexité des facteurs mis en cause dans les problèmes d'identification de la parole nécessite, certes, l'usage des techniques d'interprétation par règles logiques d'inférences et construction de réseaux, mais surtout la construction extensive d'une base de connaissance en audiologie sur les problèmes d'identification de la parole. La qualité de cette base de connaissance, c'est -à- dire la façon dont elle est organisée logiquement, constituera l'atout le plus sûr pour vaincre les résistances naturelles à l'encontre de l'usage des techniques de l'intelligence artificielle en clinique.

5. BIBLIOGRAPHIE

- AZEMA B., Pour une pratique systématique de l'appareillage en présence du bruit perturbant. *Audition et Parole*, Vol. 2, n° 2, 1980.
- DELATTRE P., Les indices acoustiques de la parole. *Phonetica II*, 1-2, 1958.
- DELATTRE P., Le jeu des transitions de formants et la perception des consonnes. *Studies in French and Comparative Phonetics (Selected papers)*, Mouton, Paris La Haye, 1966..
- JAKOBSON R. et WAUGH L., *La Charpente phonique du langage*. Minuit, 1979.
- LAFON J.-C., *Le Test phonétique et la mesure de l'audition*. Ed. Centrex, Eindhoven, 1964.
- MILLER A. et NICELY T.P., Analyse de confusions perceptives entre consonnes anglaises. *Journal of acoustical Society of America*, 27, n° 2, 1955, trad. française Mouton, 1974.
- Sovssi T., *Les Implants cochléaires*. Thèse de doctorat de médecine, université Paris-VII, Lariboisière Saint-Louis, 1989.
- VIROLE B., *Analyse phonétique des déficients auditifs*, n° 1, 1988.