

*Les ressources actuelles de l'informatique, de la télématique, de l'enregistrement numérique sur audiodisque ou vidéodisque, qui ont comme dénominateur commun le codage numérique (l'information est traitée, codée, stockée, transmise par les mêmes procédures et les mêmes réseaux), permettent la création d'aides sensorielles, motrices, éducatives, thérapeutiques, sociales, de plus en plus homogènes et performantes dans le domaine du traitement des troubles de la communication et en particulier de la surdité.*

## **INFORMATIQUE ET SYSTEMES DE COMMUNICATION ALTERNATIFS OU AUGMENTÉS APPLIQUÉS A LA SURDITÉ**

par **C. CALBOUR**

**C. CALBOUR**  
Orthophoniste  
15, rue Ph. Thomas  
03000 MOULINS

L'informatique s'applique maintenant aux diverses pathologies du langage. Elle autorise non seulement la conception de systèmes qui n'auraient pu exister sans son apport original, mais elle améliore sensiblement les performances de systèmes classiques en offrant davantage d'informations fiables et exploitables dans un contexte d'utilisation évolutif.

L'informatique est impliquée dans la prise en charge des troubles de la communication selon cinq axes principaux :

- \* Mise au point de PROTHÈSES compensant les DÉFICIENCES ORGANIQUES à l'origine des troubles de la communication.
- \* Elaboration de SYSTÈMES de COMMUNICATION ALTERNATIFS ou AUGMENTÉS compensant les LIMITATIONS FONCTIONNELLES
- \* Edition de LOGICIELS spécifiques à l'ÉDUCATION LANGAGIÈRE et SCOLAIRE du handicapé.
- \* Création d'un ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE favorable à la CURE des TROUBLES du LANGAGE ORAL ou ÉCRIT.

L'informatique est engagée dans la prise en charge de la surdité selon ces mêmes orientations. Elle s'applique en particulier à la création de systèmes de communication alternatifs.

Dans ce colloque, dense en spécialistes tout à fait à la pointe de leurs recherches, notre voix sera celle du "généraliste" de la thérapie des troubles de la communication qui, dans sa pratique, doit provoquer le difficile accord entre la technologie et l'individu.

### **I - Amélioration de la réception auditive**

#### **1. Les prothèses auditives**

Les prothèses auditives intègrent des microprocesseurs, soit pour privilégier le message utile en "écrasant" les perturbations acoustiques et les bruits (Prothèse 283 ASP de Siemens - AUDIPHA ACOUSTIQUE) soit pour gérer le "recodage" des sons parlés non perçus dans une zone de restes auditifs (Prothèse à Compensation de J.-C. LAFON). Les signaux "améliorés" à travers ces prothèses sont directement exploitables au niveau de l'intelligibilité de la parole.

## 2. Les prothèses "cochléaires"

La plupart des surdités profondes résultent de la lésion de l'organe de CORTI dont le rôle dans l'oreille interne est la transformation des VIBRATIONS ACOUSTIQUES MÉCANIQUES en SIGNAUX ÉLECTROPHYSIOLOGIQUES auxquels le NERF AUDITIF est sensible.

Si des fibres de NERF AUDITIF sont conservées, on "court-circuite" l'organe de CORTI défaillant (par l'intermédiaire d'une prothèse implantée) en apportant directement de l'INFORMATION au niveau du NERF AUDITIF.

L'apparition des microprocesseurs a relancé, dès 1975, le développement des prothèses à implants cochléaires. Le Professeur C.H. CHOUARD (Hôpital St Antoine - PARIS) et la Société BERTIN ont mis au point selon le principe de la stimulation multi-canal la prothèse CHOMIRAC, qui ne cesse d'évoluer en miniaturisation et en précision.

A partir d'une prise de son par microphone, le système externe transforme le signal sonore en l'adaptant aux impératifs physiologiques de la stimulation électrique du nerf auditif, puis code les informations ainsi définies pour qu'elles puissent être facilement transportables par voie électro-magnétique. Le récepteur implanté décode le message transmis par l'onde porteuse délivrée par l'émetteur et la répartit spécifiquement en fréquence, voltage, durée, à chacune des douze électrodes. Dans cette prothèse, les microprocesseurs assurent le transport séquentiel de la totalité de l'information en un temps suffisamment rapide pour que celle-ci apparaisse comme étant fournie instantanément à l'oreille qui la reçoit. C'est aussi grâce à l'informatique que CHOMIRAC a pu être étudiée et son efficacité démontrée.

Le résultat global au niveau central, est une certaine intelligibilité de la parole sans recours à la lecture labiale. Cependant, cette technique de réhabilitation qui s'adresse aux sujets atteints de surdité totale bilatérale, n'est pas immédiatement fonctionnelle. Pour le sourd "implanté", il faut plusieurs mois d'entraînement perceptif avant de parvenir à une intelligibilité de 50%. CHOMIRAC 12 paraît dans son état actuel déjà adaptée à la transmission de la parole, la médiocrité relative de certains résultats cliniques étant liée aux problèmes neuro-physiologiques inhérents à la surdité (degré d'atteinte du nerf auditif, troubles anatomiques ou fonctionnels de l'appareil auditif).

Lorsque la surdité est si profonde que la stimulation multi-électrodes nécessite une trop grande énergie pour obtenir une sensation sonore, qui, par ailleurs s'épuise rapidement sans fournir un signal exploitable au niveau du langage, le Professeur C.H. CHOUARD implante alors une prothèse monocanal (MONOMAC), moins sophistiquée et moins performante, mais qui s'avère globalement efficace dans ce cas. Cette technique simple, peu encombrante, réversible, est aussi utilisée avec le jeune enfant car elle permet :

- de le placer précocement dans un bain sonore,
- de favoriser le développement des voies nerveuses sus-jacentes,
- de supprimer l'implant monocanal ou de le remplacer par une prothèse plus performante quand il devient possible d'obtenir une mesure fiable de la surdité de l'enfant, ce qui en général n'est guère réalisable avant six ans.

Enfin, le Professeur C.H. CHOUARD annonce pour le mois de mai 1987 MULTIMAC, une nouvelle version miniaturisée et complètement numérique de CHOMIRAC, qui comportera 15 électrodes au lieu de 12 et existera sous forme intra-cochléaire ou sous forme extra-cochléaire.

La prothèse cochléaire implantée PRELCO développée par Y. CAZALS (INSERM-BORDEAUX) se fonde sur une stimulation uni-canal. Si elle paraît théoriquement moins précise au niveau de l'analyse du signal, la mise en place d'une seule électrode est une opération chirurgicale simple et réversible qui préserve les structures nerveuses dans l'éventualité de l'application d'une nouvelle technologie prothétique.

## 3. Le Voiscope

Le VOISCOPE développé par le Professeur P. ELBAZ (1984) utilise comme entrée un glottographe qui fournit une courbe d'ouverture et de fermeture des cordes vocales. L'image obtenue, beaucoup plus simple que celle résultant d'une analyse directe de la fourniture vocale, est interprétée par un ordinateur sous forme d'histogrammes. Ainsi peuvent être dépistés,

diagnostiqués, surveillés, rééduqués, les troubles de la voix. Le VOISCOPE a été aussi adapté à l'éducation des sourds-profonds. En débarrassant le message sonore de ses harmoniques, le système ne conserve que le fondamental de la voix représenté par les fréquences basses (autour de 100 Hz chez l'homme et 200 Hz chez la femme) souvent perçues par les sourds profonds. Par ce type de prothèse, on peut apporter une information visuelle complémentaire sur le rythme et l'intonation de la phrase (affirmation, négation, doute, expression de sentiments) ce qui s'avère très utile pour la pratique de la lecture labiale.

#### **4. Une prothèse de parole pour les sourds ?**

Remplacer la parole articulée par une prothèse de parole pour le sourd profond à partir de la synthèse vocale et d'une entrée écrite, paraît techniquement possible. Mais l'adoption d'un mode d'expression artificiel bouleverse les habitudes, voire les tabous qui font du langage articulé naturel la norme en matière de démutisation.

Les prothèses de parole sont actuellement utilisées chez le tétraplégique parce qu'il n'y a pas d'autres possibilités aussi performantes de communiquer.

Mais en matière de surdité, d'autres moyens d'expression sont mis en place avec une certaine efficacité.

Les questions fondamentales que pose la prescription d'une prothèse de parole sont :

— peut-on remplacer le langage articulé par une prothèse de parole si celle-ci se révèle être de qualité supérieure en intelligibilité ?

— doit-on réserver la prothèse de parole à des applications dites de "confort" ou l'intégrer dans un processus de démutisation ?

Nous ne connaissons actuellement pas les conséquences psychologiques et langagières :

— de l'absence ou de la réduction de l'articulation chez un enfant sourd profond ;

— de l'utilisation d'une machine "à parler" qui de plus pose les problèmes inhérents à toute technologie de compensation.

Par contre, nous semble-t-il, une prothèse de parole pourrait aider des sourds profonds pratiquant la L.S.F. et le langage écrit dans leurs relations orales avec les entendants qui ne connaissent pas cette langue. En effet, ces sourds, même lorsqu'ils parviennent à articuler avec une intelligibilité suffisante, paraissent gênés par l'absence de feed-back auditif. Avec une prothèse de parole dont les performances sont constantes et qui possède un feed-back visuel écrit, ils parviendraient peut-être à se libérer des contraintes que leur impose le langage articulé.

Il ne faut donc pas adopter ou rejeter d'emblée les possibilités offertes par le T.A.P. dans le domaine de la surdité. Il faut réfléchir sans préjugés et expérimenter avec rigueur tout en remarquant que la prescription d'une "machine" qui parle ou comprend a des conséquences psychologiques primordiales que l'on doit étudier prioritairement.

## **II - Aide à la lecture labiale par le canal visuel**

L'informatique permet la création de programmes d'aide à l'acquisition de la lecture labiale.

### **1. Une "machine à écrire" labiale**

En 1983, nous avons proposé le cahier des charges d'un logiciel (non réalisé) selon le schéma suivant :

\* entrée orthographique du texte en séparant chaque graphème et chaque mot par un marqueur particulier ;

\* transformation des graphèmes (environ 480 en langue française) en phonèmes à partir d'un lexique de conversion graphèmes/phonèmes ;

\* transformation des phonèmes en formes labiales correspondantes (images fixes pour les voyelles/séquences animées pour les consonnes) ;

\* dessins animés labiaux de mots ou de phrases sous-titrés, en sortie ;

\* possibilité de modification des longueurs et des temps d'affichage ; répétition, mémorisation de séquences.

## **2. L'apprentissage du L.P.C. assisté par ordinateur.**

Le Professeur MARCO a créé un logiciel d'apprentissage du L.P.C. en partant de l'idée que la micro-informatique peut, sous forme d'E.A.O., apporter :

— une aide complémentaire aux étudiants sourds dans le cadre universitaire ;

— une aide précoce à l'acquisition du langage pour l'enfant sourd dans le cadre familial ; la souplesse de l'outil informatique libère les apprenants des contraintes de lieu, de temps, de personnes...

Le cours lui-même est un ensemble de 17 leçons réparties sur 3 disquettes (micro-ordinateur - APPLE II). L'écran vidéo affiche un mot, des mots, une phrase, des comptines au rythme normal de la parole. L'apprenant peut coder des séquences en kinèmes et ensuite faire apparaître sur le moniteur à une vitesse variable les dessins des kinèmes situés par rapport à un visage fixe et correspondants au texte. Il peut ainsi vérifier sa propre production. Le but de cet E.A.O. applicable à n'importe quel âge, est d'obtenir une automatisation du L.P.C.

## **3. Ellebore V.01**

M. S. BARTH de l'I.N.J.S. de CHAMBERY a mis au point un logiciel ELLEBORE V.01 de simulation de production de L.P.C. avec une animation coordonnée des lèvres, à partir d'une phrase écrite, sans limitation de vocabulaire. Le programme (micro-ordinateur I.B.M./P.C.) commence par transformer les graphèmes du texte, saisis orthographiquement, en une suite de symboles phonétiques, elle-même segmentée en groupes VOYELLES-CONSONNES correspondants aux kinèmes.

Une procédure particulière associe alors chacun de ces groupes à une série de codes :

— un code FORME dépendant de la consonne et un code POSITION dépendant de la voyelle ;

— deux codes LEVRES associés respectivement à la consonne ou à la voyelle et restituant les mouvements labiaux articulateurs ;

— deux codes TEMPS associés respectivement à la consonne ou à la voyelle et restituant une durée d'articulation assez conforme à la réalité.

Le texte initial est alors visualisé sous forme de kinèmes et de mouvements de lèvres correspondants ; la vitesse d'affichage est variable et la présentation kinème après kinème possible.

Malgré des résultats satisfaisants pour un vocabulaire courant ELLEBORE V.01 est déjà en voie d'amélioration, surtout au niveau de la transcription phonétique.

## **4. Le projet L.P.C. SOFT**

M. BUZZY (Ecole Polytechnique) a réalisé en 1981 un logiciel d'apprentissage du L.P.C.

Le micro-ordinateur affiche un visage sur lequel apparaît, au niveau de la bouche, les phonèmes d'une phrase introduite par l'apprenant, tandis que se dessine en correspondance le graphisme du L.P.C.

Mais comme le remarquait M. BUZZY, l'apprentissage de la lecture labiale nécessite aussi l'observation des mouvements labiaux pendant la parole. Il suggérerait donc d'ajouter à son programme initial une animation des lèvres en rapport avec l'articulation et une sonorisation par synthèse de parole.

## **5. E.A.V.O. de la lecture labiale.**

On peut concevoir aussi un système d'aide à l'acquisition du L.P.C. intégrant un vidéodisque sur lequel serait gravées, non seulement une banque de kinèmes, mais aussi une banque d'exercices, le tout piloté par micro-ordinateur, ce qui permettrait une grande qualité de visualisation et une souplesse d'utilisation.

Un projet d'acquisition de la lecture labiale implanté sur vidéodisque est à l'étude au C.N.E.T.

NOTE : Le L.P.C. paraît être le système de communication le plus utilisé en matière d'E.A.O. Mais il pourrait en être de même pour l'AKA ou tout autre système de nature similaire.

## 6. Les aides automatiques à la lecture labiale.

Comme l'affirmait le Dr CORNETT, créateur du Cued Speech : « *Tous les systèmes d'aide à la lecture ont un défaut : la plupart des gens ne consentiront pas à faire l'effort d'apprendre un système spécial pour parler aux sourds. Même si nous prétendons que les enfants éduqués à l'aide du Cued Speech deviennent d'excellents lecteurs labiaux, la lecture est très fatigante et ne permet pas l'apprentissage de nouveaux langages.* »

Le principe de toutes les aides automatiques est de faire apparaître un indice complémentaire à la lecture labiale sans aucune intervention humaine. L'idéal serait d'afficher en temps réel le texte écrit du locuteur. Mais cette performance est impossible dans l'état actuel de développement des reconnaisseurs de parole qui sont au cœur de ces systèmes. En effet, dans le meilleur des cas, les reconnaisseurs "comprennent" un vocabulaire appris de 200 à 300 mots (un mot est une durée d'environ 2 secondes) en mode monolocuteur, ces performances tombant à 10 ou 20 mots en mode multi-locuteur.

La structure de toutes les aides automatiques est donc entièrement liée aux performances du reconnaisseur qui les anime et aux possibilités de miniaturisation.

Le projet AUTOCUER du Dr CORNETT consiste à fournir automatiquement du Cued Speech à un sourd.

Le boîtier d'analyse porté à la ceinture est relié par un câble à des lunettes affichant les CUES (clés). Le principe de fonctionnement de cet appareil est le suivant :

— le signal recueilli par un microphone est analysé de manière à séparer le message parlé en phonèmes ;

— un système de prédiction linéaire classifie chaque son en consonne ou voyelle et l'associe à une cue ;

— l'affichage des cues se fait :

\* par l'intermédiaire de minuscules segments lumineux dont l'allumage obéissant à un code pré-défini est piloté par microprocesseurs ;

\* dans le foyer de lunettes conçues optiquement de manière à fournir une image visuelle très agrandie de l'affichage.

Les diodes forment 2 HUIT, c'est-à-dire quatre carrés, chacun étant attribué à un groupe de voyelles (en langue française il y a 5 groupes de voyelles ce qui pose un problème) tandis que les consonnes sont représentées par des segments lumineux dont le code est différent de celui des signes manuels.

Le Centre Scientifique d'I.B.M. FRANCE développe un projet d'aide à l'acquisition de la lecture labiale à partir d'une carte expérimentale de reconnaissance de parole de type monolocuteur.

L'avantage d'une telle approche est d'offrir aux enfants sourds les informations les plus fiables et précises possible au niveau de la reconnaissance et donc du complément à la lecture labiale. Mais le système monolocuteur nécessite une phase d'apprentissage de la voix à traiter, ce qui restreint son utilisation au cadre familial ou aux intervenants habituels au niveau de l'éducation langagière.

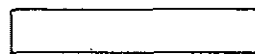
Dans le système d'I.B.M. France, le principe d'analyse consiste à découper le signal vocal en segments correspondants à des phonèmes, puis à les identifier par rapport aux modèles appris par le reconnaisseur.

« *La proportion de codes phonétiques corrects obtenus dans les essais préliminaires est de l'ordre de 70 %, ce qui est encourageant surtout si on la compare au taux d'informations perceptibles sur les lèvres seules qui est inférieur à 30 %* » (Francis DESTOMBES Centre Scientifique I.B.M. France).

Cette reconnaissance de la parole s'effectuant en temps réel sur un micro-ordinateur I.B.M. PC, il est possible d'afficher les codes phonétiques sur l'écran graphique. Mais par la suite, les sorties visuelles pourront être des

lunettes ou un écran à cristaux liquides... Actuellement aucun système particulier de différenciation phonétique n'a été retenu (AKA, Cued Speech ou autres...), cette recherche étant surtout dans sa phase d'amélioration des performances de la reconnaissance qui de plus détermineront la nature du codage.

### **III - Systèmes d'aide à la perception de la parole ou de l'environnement à sortie vibro-tactile**



Il est traditionnel d'utiliser le sens tactile comme voie de passage pour des informations contenues dans la parole.

Cependant, il y a un énorme décalage entre le débit d'informations porté par la parole (200.000 bits/seconde) et le débit d'informations admissible par le sens tactile (10 bits/seconde).

Néanmoins, le message sonore est redondant et un codage approprié permet un flux d'informations de 40 ou 50 bits/seconde sans détérioration du contenu.

Si l'on élimine tous les éléments perçus par la lecture labiale, on obtient un débit de 20 bits/seconde en élocution à vitesse normale.

Certains aveugles peuvent percevoir l'écriture Braille par voie tactile avec un débit de 60 bits/seconde, ce qui montre que par apprentissage, on peut multiplier par cinq ou six le débit admis. Ceci serait possible aussi pour les sourds si le sens vibro-tactile était systématiquement utilisé et entraîné.

Enfin, le recours de l'informatique apporte une efficacité et une stabilité des stimulations dans ce domaine.

#### **1. Le Mini-Fonator de Siemens**

Le MINI-FONATOR est une aide vibro-tactile comportant un microphone pour recueillir les paroles, une unité de traitement gérée par microprocesseur qui produit des vibrations perceptibles tactilement à travers un vibreur porté au poignet.

Si la compréhension directe des sons n'est pas possible, le MINI-FONATOR en transposant des sons aigus dans des zones de fréquences plus graves sous forme de vibrations tactilement différenciées, permet aux sourds :

- d'entendre son environnement et de réagir aux signaux sonores de danger ;
- de percevoir certains composants de sa voix et de sa parole, ce qui constitue un feed-back nécessaire à l'expression orale ;
- de discriminer certains phonèmes ou mots phonétiquement proches ;
- d'améliorer la différenciation des sosies labiaux ;
- de sentir le rythme de la musique.

#### **2. La prothèse tactile de substitution**

La conception d'une prothèse tactile de substitution pour enfants sourds profonds par l'équipe du Dr F. de RIBEAUPIERRE (Lausanne), puis par M. VILACLARA au Laboratoire d'Electro-Magnétisme et d'Acoustique de l'Ecole Polytechnique de Lausanne, débute par la mise au point de jouets tactiles pour observer comment le sens vibro-tactile peut être optimisé au niveau de la prothèse.

Le premier jouet réalisé consiste à faire repérer par l'enfant deux types de plots différenciés par leur période vibratoire.

Le second jouet, JOUTAC II, plus sophistiqué analyse les sons dont les fréquences sont comprises entre 300 et 6000 Hz, lesquels sont restitués par un vibreur entre 9 et 188 Hz (division par 32) et équilibrés en intensité par un compresseur de dynamique. L'enfant doit retrouver par palpation tactile des fréquences émises dans 8 bandes allant de 300 Hz à 6000 Hz.

Le transducteur vibro-tactile géré par microprocesseurs, traite la composante mélodique de la voix et restitue deux types d'informations utiles :

- la discrimination voisée/non voisée, ce qui permet de réduire les principales confusions en lecture labiale (p/b - p/m ; t/d - t/n ; k/g ; f/v ; s/z ; ch/j...);

— les variations mélodiques qui contribuent au contenu linguistique en y apportant des facteurs significatifs (affirmation, interrogation, négation) ainsi que des caractéristiques émotives ou esthétiques (gaieté, tristesse, rythme, accent...). Ces traits complémentaires au niveau sémantique situent la parole dans son contexte.

Le transducteur final peut être un bracelet vibrant ou une matrice vibrante. Cette prothèse tactile de substitution est toujours en voie de développement.

#### **IV - Aide à l'acquisition de la langue des signes française et à la dactylogogie.**

A partir d'une entrée écrite par mots et par phrases, il est possible de concevoir des logiciels d'E.A.O. reproduisant sous une forme animée les signes utilisés dans la L.S.F.. Il serait intéressant d'élaborer un système "auteur" qui, partant d'une banque des signes et des règles, permettrait aux éducateurs de concevoir de l'E.A.O. scolaire en langue des signes.

De plus, à partir de la transcription alphabétique de la L.S.F. conçue par Mrs COMPANYS et SARO-GUILLAUME, on peut imaginer toutes sortes de traitements informatiques entre l'image graphique de la L.S.F. et son correspondant écrit selon ce code.

M. PAULIN (ARGAM) en collaboration avec l'I.N.J.S. de Paris a enregistré sur vidéodisque 500 signes ou phrases de la L.S.F.. Un logiciel de pilotage permet d'accéder aux séquences ou aux images fixes. Un tel système, encore extensible en vocabulaire (au moins 2000 mots), permet :

- l'E.A.V.O. de la L.S.F.,
- de disposer d'un dictionnaire de signes permanent donc stable,
- de concevoir de l'E.A.V.O. scolaire,
- de travailler des correspondances entre L.S.F., langage écrit, visualisation de la parole, image sémantique du signe...

M. René LEGAL, sourd profond, a développé un programme d'acquisition de la DACTYLOGIE avec des exercices et des notations. Cette réactualisation par l'informatique de ce qu'on a appelé longtemps l'alphabet des sourds muets, présente un grand intérêt au niveau de la maîtrise du langage écrit et de sa syntaxe par le sourd profond. Elle peut être ce pont nécessaire entre la L.S.F. et l'écrit, via le langage oral. L'aspect ludique de DACTYLOGIC donne un attrait supplémentaire à cet alphabet.

M. LEGAL développe un autre logiciel DACTYLOGIC II dont la particularité sera de posséder un dictionnaire de mots à caractère interactif. Chaque utilisateur pourra créer son propre répertoire de mots ou éléments de phrases pour composer des E.A.O. ou communiquer.

#### **V - Visualisation de la voix et de la parole assistée par ordinateur**

La surdité profonde ou sévère, en privant l'individu de la perception directe de la parole de ses interlocuteurs, ne laisse ni le LANGAGE, ni le FEED BACK AUTO-CORRECTIF se construire naturellement.

Il faut donc recourir à des ARTIFICES pour compenser la carence de l'ouïe, en particulier utiliser la vue pour la réception d'une TRANSCRIPTION VISUELLE du message sonore et offrir une CONTRE RÉACTION VISUELLE qui permettrait au sourd de contrôler ses propres productions sonores.

De nombreux concepteurs, depuis fort longtemps, tentent de créer une visualisation de la parole assez significative pour aider le sourd à mieux comprendre et à mieux émettre. Mais la transformation du MESSAGE SONORE en MESSAGE VISUEL est difficile à réaliser en raison de DIFFÉRENCES PHYSIOLOGIQUES entre la vue et l'ouïe.

Le codage d'un message sonore en message visuel, ne peut s'obtenir par une simple variation d'intensité. Il faut donc réaliser des équivalences perceptives entre la vue et l'ouïe en :

- créant de l'information globale plutôt que segmentaire ;
- renforçant la dynamique visuelle par des artifices de présentation (couleurs... formes...);
- améliorant l'adaptation de l'œil aux variations d'intensité par la pratique d'exercices visuels adaptés ;
- choisissant une image de la parole qui reproduise "spatialement" la temporalité de l'audition.

Dès 1946, les laboratoires BELL aux U.S.A. développent le **VISIBLE SPEECH**, système analogique de visualisation de la parole qui dessine sur un écran cathodique des bandes de fréquences correspondant au spectre simplifié du phonème émis.

Depuis, de nombreux appareils électroniques, plus ou moins complexes, dédiés au travail de l'un ou l'autre paramètre vocal (intensité, hauteur, rythme, mélodie) visualisent des informations difficiles à interpréter. Le problème fondamental qu'il faut résoudre dans ce domaine, consiste à apporter au sourd un indice visuel lui permettant de différencier du sens en temps réel.

L'avènement de la mini puis de la micro-informatique aboutit à une relance et une amélioration de la conception de systèmes de visualisation de la parole.

### **1. Sirène (CRIN-NANCY)**

En France, depuis 1974, le C.R.I.N. NANCY, sous l'impulsion de Marie-Christine et Jean-Paul HATON a développé le Système de Rééducation Vocale pour Enfants Non-Entendants (SIRENE). Devenu opérationnel sur mini-ordinateur en 1978/1979, il est actuellement en cours de transposition et d'expérimentation sur micro-ordinateur (MICRO-SIRENE).

Les avantages de l'introduction de l'informatique dans un système tel que SIRENE par rapport aux matériels électroniques de la génération précédente sont :

- l'homogénéité: le système utilise le même processus pour des tâches diverses (préanalyse du signal, réduction de données vocales, extraction de paramètres de base);

- l'ergonomie accrue par :

- \* la réduction des problèmes manipulatoires pour une gestion automatisée (donc stable au niveau des performances) des diverses fonctions du système ;
- \* l'interactivité du système (choix des procédures de rééducation, ajustements des seuils, lancement des divers modules);
- \* la sauvegarde du travail, ce qui permet de comparer, d'opérer en temps différés, d'analyser des réponses et de suivre la progression de l'enfant sourd ;
- \* le recours à des procédures d'aides.

Les avantages d'un MICRO SIRENE par rapport à SIRENE, sont :

- une modularité qui augmente la souplesse d'utilisation ;
- une ergonomie accrue par la miniaturisation du système d'analyse de la parole et l'amélioration du graphisme ;
- un abaissement considérable des coûts de réalisation ;
- l'utilisation de la bibliothèque de logiciels du microprocesseur.

La structure du MICRO SIRENE, permet de traiter :

- le fondamental de la voix,
- la succession dans le temps de spectres à court terme constitués des valeurs des intensités de sorties des canaux de l'analyseur spectral (12 à 15 canaux répartis dans la zone informante de la parole soit environ de 200 à 4000 Hz),
- le signal échantillonné et numérisé qui, pour des besoins d'analyse plus fine, peut être mémorisé et traité en temps différé.

La fonctionnalité de MICRO SIRENE s'organise autour de 2 modules de jeux sélectionnables par menus avec la possibilité de modifier des seuils ou des conditions de travail. Ces jeux permettent de visualiser :

- des PARAMETRES PROSODIQUES : les exercices et leur combinaison s'appliquent aux paramètres supra-segmentaux :
- \* hauteur, fréquence fondamentale de la voix et son évolution dans le temps ;
- \* contour mélodique ;



\* intensité, durée, rythme.

Une progression d'acquisition des divers paramètres est organisée de manière à favoriser leur maîtrise. « Suivant le cas, l'apprenant doit suivre un trajet, reproduire une courbe de référence. »

— des PARAMETRES FREQUENTIELS, qui sous-tendent les timbres et caractérisent les sons articulés ; ils sont visualisés en temps réel par des courbes.

SIRENE par rapport à MICRO SIRENE intégrait un module de reconnaissance automatique de mots de façon à apprécier les performances vocales de l'apprenant dans l'articulation des mots pris dans leur globalité. Son rôle, essentiellement incitatif, a été mis à profit avec des sujets (adolescentes) dont l'élocution manquait de fluidité à cause d'efforts articulatoires trop importants.

« Dans un premier exercice, le système renseigne sur la forme la plus voisine de la forme présentée à l'intérieur d'un système de référence. Ceci est réalisé à travers le déplacement d'un mobile dans un labyrinthe à l'aide des commandes : "à droite", "à gauche", "en haut", "en bas".

Dans le second exercice, le système intervient pour décider si la forme présentée est assez proche ou non de la forme attendue ; la réussite modulée par un seuil de difficulté et un nombre d'essais autorisés, se traduit par la construction progressive d'un dessin sur l'écran, les étoiles figurant les échecs. »

## 2. Le système développé par le Centre Scientifique I.B.M. France

Au début de 1978, le Centre Scientifique d'I.B.M. France a commencé ses recherches dans le domaine de l'éducation de la parole assistée par ordinateur pour des enfants sourds.

Le premier prototype bâti autour d'un mini-ordinateur était "figé" dans la mesure où les programmes de fonctionnement résidaient en mémoire morte. Dès 1981, l'apparition de l'ordinateur personnel I.B.M. permet le développement d'un système programmable avec les nombreux avantages d'une telle configuration :

— le matériel presque entièrement standard, donc moins onéreux, (seule la carte de traitement de la parole est un prototype), est utilisable dans d'autres contextes que l'éducation de la parole à travers les nombreux logiciels développés pour lui ;

— l'admission de nombreuses entrées et sorties augmente les potentialités manipulatoires du système ;

— au-delà de la carte de reconnaissance, dont la programmation n'est pas accessible à l'utilisateur, les autres fonctions du système assurées par le P.C. peuvent évoluer librement.

En particulier les programmes d'affichage écrits en BASIC, permettent à l'éducateur de modifier assez facilement le graphisme selon ses visées pédagogiques.

Les logiciels expérimentaux qui animent cette configuration comprennent :

\* un menu de lancement des sous-programmes,

\* un réglage d'amplitude pour éviter la saturation du convertisseur analogique digital,

\* un affichage de la mélodie et/ou de l'intensité qui permet de visualiser le rythme d'une phrase simple, la tenue d'une production sonore, la différenciation sourde/sonore pour certaines consonnes (f)/(v), (s)/(z), (p) et (b/m). L'écran, divisé en deux parties, affiche d'abord en haut le modèle que l'enfant essaye de reproduire en bas,

\* des jeux animés par la mélodie. Le principe de tous ces jeux est le guidage en fonction de la fréquence fondamentale de la voix, dans une plage de fréquence choisie par l'utilisateur, d'un mobile (dont le graphisme est modifiable) à travers un champ d'obstacles dont le graphisme et l'emplacement sont aussi modifiables.

\* un jeu contrôlé par le voisement.

Il s'agit pour le sourd de piloter un aérostat en prononçant des voyelles soutenues, dans un "profil" montagneux dont le tracé a été défini par l'éducateur ;

\* un jeu d'articulation des voyelles.

Ce jeu sophistiqué au niveau de la reconnaissance de la parole, propose à l'enfant de guider un mobile dans un labyrinthe en articulant l'une des quatre voyelles qui code l'une des quatre directions. Il faut choisir auparavant le groupe des quatre voyelles parmi des groupes proposés par le programme et que le reconnaisseur peut traiter efficacement.

\* l'affichage voisement/amplitude.

L'écran visualise un graphe qui varie en épaisseur selon l'amplitude, tandis que l'opposition voisement/non voisement est représentée par un changement de couleur.

\* le jeu "visage"

La bouche d'un visage schématisé varie en dimension proportionnellement à l'amplitude du message sonore, tandis que les yeux changent de couleur selon le voisement.

\* l'affichage de paramètres pour une phrase.

Ce programme visualise des paramètres analysés par le "reconnaisseur" pour une phrase d'une durée d'environ 3 secondes. Si cette visualisation est trop complexe pour être utilisée par l'enfant, elle est un excellent moyen d'étude et de recherche pour le développeur.

\* le choix d'une langue.

Les messages délivrés par le programme peuvent être sélectionnés en 6 langues (français, anglais, allemand, espagnol, italien, néerlandais).

A travers un ensemble de sous-programmes utilitaires le système d'aide à l'éducation de la parole est aisément programmable, ce qui augmente encore son efficacité et sa convivialité.

### **3. Savane (CRAN - NANCY)**

En 1981, l'équipe du CRAN (NANCY) a commencé le développement d'un système de visualisation de la parole destiné à l'éducation précoce d'enfants sourds en collaboration avec des orthophonistes pour définir des visualisations symboliques et ludiques de paramètres de la parole accessibles aux très jeunes enfants (intensité, hauteur de voix, rythme, temps, sons isolés et leurs oppositions).

Cette équipe de recherche s'était fixée comme objectifs :

— le travail en temps réel pour obtenir un véritable feed-back visuel de suppléance ;

— une transposition visuelle de qualité pour chaque paramètre (en particulier en utilisant toutes les ressources du graphisme pour la lisibilité) ;

— plusieurs représentations du même paramètre afin de le travailler sous des formes différentes ;

— transparence des jeux au niveau des règles et des résultats ;

— simplicité manipulative la plus grande possible.

Les jeux qui animent SAVANE se répartissent en deux séries selon que le travail porte sur l'INTENSITÉ OU LA MÉLODIE.

Les jeux consacrés à la mélodie reprennent pour la plupart, les règles d'utilisation des jeux consacrés à l'intensité.

SAVANE a été implanté sur un micro-ordinateur conçu spécialement pour lui et de ce fait ne connaît pas de développement particulier en ce moment.

### **4. Le système de visualisation de l'I.N.J.S. de Chambéry**

M. BARTH informaticien à l'I.N.J.S. de Chambéry a développé un système d'enseignement de la parole assisté par ordinateur en retenant 3 critères de conception :

— "simplicité d'utilisation" pour libérer le pédagogue de la contrainte manipulative source de perte de temps ;

— "souplesse d'utilisation", afin d'offrir au pédagogue une gamme d'exercices assez divers pour ne pas stéréotyper le travail éducatif et pour induire la

créativité du couple enfant/pédagogue.

— “intérêt pédagogique” par la mise en relation directe des paramètres extraits de la parole et de la réalité phonétique correspondante ; la visualisation doit, au-delà de la simple matérialisation d’un phénomène qui échappe au sourd lui apporter aussi de l’information sur le sens.

Après une étude phonétique comparative des paramètres dynamiques de la parole chez l’enfant sourd, le système développé par l’I.N.J.S. de Chambéry a été limité au “travail” sur le tenu, le rythme et la mélodie.

Une carte spécialisée dans l’analyse de l’intensité et du fondamental pour coupler un amplificateur à un micro-ordinateur et des programmes de visualisation basés sur le principe du dessin animé par le paramètre choisi, ont été élaborés dans le cadre de l’Institut.

Actuellement, ce système est utilisé en éducation précoce avec des résultats intéressants, surtout pour les surdités les plus sévères.

## **VI - Structuration sémantique de la communication**

### **1. Visualisation sémantique du langage assisté par vidéodisque et ordinateur.**

Pour le sourd profond, la compréhension constitue la difficulté majeure dans sa construction et sa pratique de la communication.

Au-delà des troubles de la réception, le sens figuré, les images et les ambiguïtés verbales, le remaniement incessant du sens dans un contexte donné, sont autant de sources d’incompréhension pour le sourd profond, ces limites de l’entendement étant accentuées par l’absence de la perception de la mélodie.

Il faut donc, dans toute éducation langagière précoce, quel que soit le système d’expression choisi, établir primitivement des éléments de compréhension à partir desquels se développeront les modes d’expression.

Nous ne disposons pas d’outil correct pour figurer le sens. Nos mimes, des livres, des images, nos dessins ne suffisent pas.

Nous avons donc proposé une visualisation du sens de mots et de phrases par l’intermédiaire d’un VIDEODISQUE piloté par ordinateur. On entre sur le clavier la forme écrite du mot à visualiser. Le programme de pilotage recherche alors l’image correspondante, l’affiche selon une durée préalablement déterminée, la sous-titre. Comme pour la création des idéogrammes, la représentation visuelle se heurte rapidement à des limites. Une étude de l’image doit être réalisée, tant au niveau de la forme que du contenu.

Les noms concrets pourraient être représentés par des images fixes, les verbes concrets par une séquence d’images, les adjectifs par des images avec du symbolisme, les mots non usuels par des images ou des séquences symboliques.

Enfin, les possibilités offertes par une digitalisation des images, maintenant techniquement plus facile, et par les mémoires de masse plus puissantes pour un coût abaissé, pourraient favoriser un projet de visualisation “sémantique” implanté uniquement sur micro-ordinateur.

### **2. Système de génération d’exercices à base d’images pour l’éducation des enfants sourds.**

Nous vous rapportons les travaux de M. Ph. PAPAIX qui a étudié un tel système « destiné à fournir une aide aux professionnels intervenant auprès d’enfants sourds (enseignants, éducateurs, orthophonistes...) ». Il est composé d’un micro-ordinateur doté d’un écran graphique et d’une tablette.

Le logiciel permet à l’utilisateur de construire un exercice à base d’images adapté à ses objectifs pédagogiques.

Suivant les spécifications fournies par l’utilisateur concernant la définition d’un exercice, le système génère une image illustrant ce dernier et il mène un dialogue avec l’enfant.

Cette génération d’images est réalisée à partir de la base de l’Univers comprenant des informations structurelles décrivant les objets (forme, représentation, composition...).

Le dialogue consiste à poser des questions à l'enfant à l'aide de l'image. Il l'amène à comprendre un concept, reconnaître un élément ou exécuter une consigne de l'éducateur.

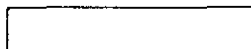
L'enfant devra prendre une attitude active qui le motive. Il dispose pour cela d'opérateurs simples qu'il actionne à l'aide de curseur sur la tablette graphique : il peut effacer, repérer, colorier, déplacer un élément...

Cela permet de faciliter son apprentissage de la communication et des connaissances scolaires.

L'éducateur joue également le rôle actif dans le déroulement du dialogue (estimation de la qualité des réponses). »\*

\*(Ph. PAPAIX)

## VII - Télécommunications



### 1 - La communication MIXTE à travers le MINITEL

Au début des années 80, a été mis en vente un appareil téléphonique, le PORTATEL, qui permet aux sourds de communiquer par écrit, les messages étant affichés sur un écran lumineux à déplacement continu.

Les désavantages d'un tel système sont un coût élevé et un affichage limité.

La France ayant opté pour un développement rapide du réseau télématique, les ingénieurs du C.N.E.T. ont transformé le MINITEL normal en un terminal permettant une communication directe et écrite à travers le réseau ordinaire. Ils ont d'abord adjoint un ADAPTATEUR au MINITEL et expérimenté la communication ECRIT/ECRIT auprès des sourds, pour ensuite l'étendre à d'autres handicapés de la voix ou de la parole.

Par la suite, il a été ajouté à l'adaptateur, la fonction PHONIE, ceci permettant une communication MIXTE (PHONIE pour le parlant/ECRIT pour le non parlant). Enfin l'adaptateur a été intégré dans le boîtier du MINITEL normal pour devenir le MINITEL "DIALOGUE", maintenant distribué par les P. et T.

Malgré un support technologique efficace, ce type de communication téléphonique demeure limité. Si la manipulation du clavier et de la langue écrite (orthographe, syntaxe), constitue déjà un obstacle à la "fluidité" de l'échange, la pauvreté textuelle chez les sourds limite encore plus le dialogue.

### 2. La communication téléphonique par images

#### a) Le Visiophone

Le VISIOPHONE ou téléphone à images, permet de voir votre correspondant pendant qu'il peut vous voir. Ce service nécessite une liaison par un réseau de fibres-optiques. Les ingénieurs du C.N.E.T. ont tenté de faire télécommuniquer des sourds pratiquant la L.S.F. à travers le VISIOPHONE. Des problèmes techniques se sont alors rapidement posés. Ainsi, l'obligation en L.S.F. d'avoir une image plus vaste que le visage, ce qui complique la mise au point, l'éclairage et la lisibilité des gestes.

Afin d'améliorer l'information visuelle portée par l'image, les concepteurs de cette expérience de télécommunication recherchent parmi tous les systèmes de communication utilisés par les sourds, un complément d'image qui permettrait une meilleure identification du sens.

#### b) Le projet Télésigne

Le projet TELESIGNE développé par l'INRIA a pour objet de faire communiquer téléphoniquement des sourds profonds pratiquant la langue des signes. Mais au lieu de transmettre des images vidéo complètes du sourd qui s'exprime par gestes (débits de l'ordre de millions de bits par seconde), le système TELESIGNE simplifie celles-ci en ne retenant que leur contour comme information échangée (débits de milliers de bits par seconde), compatible avec les transmissions par le nouveau réseau téléphonique (64.000 bits/seconde).

Les zones significatives de l'image retenues pour la détection de contours, sont les zones claires du visage et des mains, essentielles dans la production de la L.S.F. Les contours sont calculés de manière à agrandir ces zones, le dessin obtenu constituant alors une "caricature" de l'image initiale.

A l'émission une caméra filme l'utilisateur. Un système informatique extrait le contour de l'image filmée, code cette information, l'envoie sur le réseau téléphonique. A la réception, l'information est décodée, l'image des

contours restituée sur le moniteur T.V. du correspondant. Chacun des interlocuteurs perçoit un dessin animé des contours de l'autre.

Une expérience menée à l'I.N.J.S. de Paris aboutit à un taux de compréhension correct supérieur à 90 %.

## VIII - Le sous-titrage de la parole

Le sous-titrage en temps réel du discours d'émissions de télévision, permettrait aux sourds de mieux participer à la vie scolaire, universitaire, sociale, culturelle. De nombreux projets sont donc en cours d'élaboration avec le plus souvent, la transcription automatique de la sténotypie comme "noyau" du système de fabrication des sous-titres.

La sténotypie (méthode GRANDJEAN) est un système de transcription de la parole en temps réel, à partir d'un clavier spécialisé de 21 touches et d'une méthode de codage.

Le nombre réduit de touches introduit des confusions systématiques entre certains phonèmes. De plus, les nombreux homophones du français ne sont pas distingués. Enfin, il n'y a pas de séparation entre les mots, la reconstitution du texte en clair nécessite donc un important effort d'interprétation.

### 1. Le système L.E.O.N.

En France dès 1977, le Docteur MOATTI proposait pour les sourds, la traduction de la parole en sténotypie, la bande sténotypée étant filmée par une caméra de télévision et reproduite sur un moniteur.

Ainsi, le sourd, après un apprentissage de la lecture de textes sténotypés pouvait avoir accès à une compréhension quasi simultanée de la parole. Le système a été perfectionné avec l'adjonction d'un traitement informatique, pour devenir L.E.O.N. (Lecture Extemporée d'un message Oral à vitesse Normale - 1981). La restitution finale est un texte phonétique syllabe par syllabe qui comporte encore des ambiguïtés introduites par la sténotypie, mais qu'un affichage approprié permet de réduire en partie, le contexte clarifiant aussi certaines confusions.

### 2. Transcription automatique de la sténotypie.

Le Centre Scientifique d'I.B.M. France développe un programme de Transcription Automatique de la Sténotypie assisté par ordinateur à partir d'un dictionnaire "sténo/français écrit" qui comporte 250.000 formes orthographiques regroupant pour chaque mot sa forme sténotypique, ses classes grammaticales et les fréquences correspondantes.

Un modèle de langage choisit la bonne orthographe parmi toutes les possibilités selon :

— un modèle MARKOVIEN implanté sur I.B.M. - PC ; le pourcentage de mots incorrectement transcrits est de 7 % auquel s'ajoutent les erreurs de frappe en sténotypie, les lacunes du dictionnaire.

— un modèle grammatical qui nécessite une puissance de calcul importante (non compatible avec un micro-ordinateur personnel) réduit le taux d'erreurs à presque 5 %.

Bien que non développée par une application "sous-titrage", cette Transcription Automatique de la Sténotypie, qui transforme des chaînes de sons "écrits" en suites écrites signifiantes correctement orthographiées, est tout à fait adaptée à un tel usage.

### 3. Le sous-titrage de la parole pour les sourds

Le premier système étudié par LIMSI (C.N.R.S. - ORSAY) concerne le sous-titrage d'émissions télévisées avec un léger différé. A partir d'un texte saisi au "kilomètre", l'automatisation de nombreuses fonctions (mise en page ; synchronisation entre le texte parlé et l'affichage des sous-titres ; utilisation "d'artifices" de visualisation afin d'améliorer la lisibilité) permet la production rapide de sous-titres en léger différé quand le débit de parole est élevé.

Le deuxième système étudié par LIMSI s'applique au sous-titrage en temps réel. La saisie de la parole va être réalisée par l'intermédiaire d'un clavier sténotypique associé à une Traduction Par Ordinateur (T.P.O.) qui transforme automatiquement le texte sténotypé en texte écrit.

La reconstitution du texte écrit se décompose en plusieurs phases :

- sélection lexicale dans un dictionnaire de 570.000 formes sténotypiques correspondant à 270.000 formes orthographiques ;
- sélection syntaxique ;
- sélection par le critère du “minimum de mots” dans une phrase (à corps dans le père mis/accordant le permis) ;
- règles d’accords.

Les premiers résultats expérimentaux ont donné de 7 % à 20 % d’erreurs selon le contexte.

Le sous-titrage “automatisé” que ce soit en léger différé ou en temps réel, augmente les possibilités de sous-titrage à destination des malentendants en apportant :

- une réduction des coûts de production, ce qui rentabilise le sous-titrage des cassettes vidéo ;
- une réduction du temps de production, ce qui provoque l’augmentation du volume des émissions sous-titrées ;
- le sous-titrage de la parole en direct, ce qui améliore la compréhension immédiate du sourd.

## Conclusion

La mode actuelle dans le domaine du handicap est aux exploits technologiques qui se médiatisent, se vendent, s’exportent, le produit étant le plus souvent privilégié par rapport à son application.

Pour le concepteur d’un système de compensation, il s’agit, par nature, de réparer alors que pour le handicapé, il s’agit de vivre.

Par les nombreuses implications intellectuelles, psycho-affectives, sociales, qu’elle génère, la prescription d’une machine n’est jamais un acte banal du genre “à tel symptôme correspond tel remède”. Il faut donc être prudent dans ce domaine en remarquant :

- que la machine peut s’avérer moins performante que prévue et potentialiser de faux espoirs pour finalement provoquer déception puis régression.
- que l’efficacité d’une machine compensatoire est imprévisible, dans la mesure où elle dépend de la personnalité de l’utilisateur plus que de la technologie mise en œuvre.

- que percevoir et émettre du langage, sont, une fois acquis, des actes en grande partie automatisés devenant de nature inconsciente ; pour ces mêmes fonctions, la technologie propose, par rapport à la nature, des artifices qui obligent l’utilisateur à pratiquer un effort conscient épuisant dont il faut tenir compte au niveau de la conception.

Mais, sous prétexte d’inadéquation entre la probabilité technologique et son efficacité fonctionnelle dans un contexte donné, il ne faut pas conclure que tout est inadéquat.

Si l’informatique est sans compétence, elle n’en demeure pas moins performante. C’est donc dans ce domaine qu’elle offre une aide originale aux sourds en augmentant leur possibilité de comprendre, d’apprendre, de jouer à travers une manipulation améliorée des données.

Cependant, pour la surdité, l’absence d’un milieu d’application cohérent, réduit sensiblement l’efficacité des systèmes de compensation et d’éducation.

Il nous apparaît donc comme primordial d’établir en amont de n’importe quelle forme de technologie un programme de prise en charge, davantage sur les besoins réels de l’individu sourd, que sur les idéologies des intervenants.

Enfin, la participation du clinicien à toutes ces expériences que nous vous avons longuement décrites, demeure encore le meilleur moyen de les optimiser et de les humaniser.

## Bibliographie

- “Informatique et surdité” (compte-rendu du colloque du 18 avril 1985 publié par ACTIF - HANDITEC).
- C. CALBOUR “Informatique et traitement des troubles de la communication verbale” (Lieux de l’Enfance n° 4 - nov. 1985 - PRIVAT).
- C. CALBOUR “Elaboration d’un programme de traitement global de l’individu sourd profond (Communication à HANDITEC - Déc. 1985 - publié dans GLOSSA n° 1 - 1986).