

XVIèmes Rencontres Internationales d'Orthophonie

Jeudi 08 et vendredi 09 décembre 2016

Thème : «**ORTHOPHONIE ET TECHNOLOGIES INNOVANTES**»

Lieu : Paris Espace Diaconesse

Intérêt de la visualisation de la position et du mouvement des articulateurs pour améliorer l'intelligibilité : Plate-forme Diadolab

Anne MENIN-SICARD, Orthophoniste, Master en Sciences du Langage, chercheur associé au LURCO (ERU15), Formatrice indépendante, Lieu-dit Jalabert, 81390 PUYBEGON, anne.sicard2@orange.fr
06.15.30.19.75

Etienne SICARD, Professeur à l'INSA de Toulouse, Directeur de recherche ERU 15 au LURCO, INSA de Toulouse, 135 avenue de Rangueil, 31400 TOULOUSE
etienne.sicard@insa-toulouse.fr
06.23.15.35.74

Marie BEZARD, Orthophoniste Besançon, 21 rue du château, 50190 Gorges
bezard.marie@hotmail.fr 06 79 23 67 83

Mots-clés : tête-parlante, visualisation des articulateurs, conscience articuloire, modélisation des articulateurs, intelligibilité, reconnaissance vocale

Résumé français (200 à 300 mots) :

Les troubles praxiques, phonologiques et arthriques sont au cœur de la problématique orthophonique. Pourtant nous ne disposons pas d'outils cliniques permettant de visualiser la position ou le mouvement des articulateurs et notamment ceux peu visibles. En s'inspirant des travaux sur la tête parlante développée par le laboratoire GIPSA Lab, nous avons développé un outil permettant de travailler la conscience articuloire afin de rendre explicites des données proprioceptives auxquels l'individu n'accède pas spontanément ou en sont privées du fait d'un déficit proprioceptif ou sensitif. Le logiciel, appelé Diadolab, facilite la visualisation des articulateurs, des traits distinctifs de chaque phonème et peut apporter une aide significative dans le travail de proprioception articuloire et de l'intelligibilité de la parole, notamment pour des pathologies telles que la dyspraxie verbale, le bégaiement, la dysarthrie ou encore le déficit auditif. Le bénéfice apporté par le travail de conscience articuloire à l'aide de Diadolab sur l'intelligibilité de la parole chez deux enfants sourdes profondes a été évalué, dans le cadre d'un mémoire réalisé par Marie Bézard avec des résultats préliminaires encourageants.

Mots clés : tête-parlante, visualisation des articulateurs, conscience articuloire, surdité, modélisation des articulateurs, troubles phonologiques.

Introduction

Les troubles praxiques, arthriques et phonologiques sont au cœur de la problématique orthophonique. Ils représentent à eux-seuls environ 60 à 75 % des demandes de consultation en cabinet. Dans la grande majorité des cas, il s'agit d'une immaturité qui concerne soit la réalisation d'un ou plusieurs phonèmes en particulier (le plus souvent les phonèmes constrictifs /ch/ /j/ ou la liquide /l/), soit la coordination de mouvements fins pour la réalisation de certaines séquences articulatoires complexes telles que /tr,/dr,/pl,/bl/ pour ne citer que les plus fréquentes. Avec une méthodologie adaptée et rigoureuse, un suivi régulier et une bonne coopération de l'enfant, les difficultés s'estompent généralement assez rapidement. En revanche, lorsqu'il s'agit d'un trouble spécifique (dyspraxie verbale), les schémas moteurs sont beaucoup plus longs à mettre en place et les orthophonistes observent des résistances importantes à l'intervention ainsi que des difficultés d'automatisation. Ces difficultés s'accompagnent de marques d'effort, de syncinésies et parfois de réactions secondaires observables (opposition, découragement, stratégies d'évitement). Un travail plus méthodique et systématique donne de bons résultats en ce qui concerne l'intelligibilité de la parole mais au prix de beaucoup d'investissements de la part de l'orthophoniste et de l'enfant. Des supports adaptés, une méthodologie rigoureuse et un suivi intensif est pourtant le gage de l'efficacité du suivi.

Historique

En France, dans les années 1980, Suzanne Borel-Maisonny a été parmi les premières à s'interroger sur le développement de la parole chez l'enfant et réfléchir sur l'intérêt de la visualisation de la position des articulateurs dans le cadre du suivi des retards ou troubles de la parole. Suzanne Borel-Maisonny a élaboré et dessiné des «ortho-diagrammes phonétiques» à partir de simples radiographies retouchées. Ce travail de recherche clinique scientifique, admirable en tous points, a permis d'élaborer une méthode phonético-gestuelle encore utilisée de nos jours pour la démutisation des enfants déficients auditifs ou dysphasiques.

Citons aussi la méthode appelée Dynamique Naturelle de la Parole (DNP) créée en 1975 par Madeleine Dunoyer De Segonzac qui vise à aider les enfants sourds à acquérir les sons de la parole par l'expression gestuelle et corporelle. Elle s'est inspirée de la méthode verbo-tonale élaborée dans les années 50-60 par Peter Guberina de l'université de Zagreb. Le LPC (Langage Parlé Complété), créé en 1967 par le Docteur R. Orin Cornett, physicien américain, et importé en France vers 1977, permet de coder gestuellement les sosies labiaux et aide les jeunes sourds à accéder au langage écrit. Ces techniques de démutisation et de réhabilitation des troubles phonologiques sévères exploitent à leur façon la polysensorialité et la multimodalité spontanée propre à l'acquisition de la parole. Les publications, dont celle de Dumont (1997) montrent les caractéristiques de l'intelligibilité de la parole propres à l'enfant sourd. Dumont décrit la relation entre intelligibilité et clarté consonantique. Elle observe chez l'enfant sourd le non respect du voisement et les élisions de consonnes qui dégradent la qualité de la parole de l'enfant déficient auditif qui ne peut pas compter sur sa boucle audio-phonatoire pour ajuster et contrôler sa production. Bien que toutes ces méthodes aient fait leur preuve en clinique, elles offrent à l'enfant déficient auditif une vision peu précise de ce qu'il se produit dans sa bouche, une représentation indirecte et parfois arbitraire du phonème.

C'est pourquoi nous nous sommes interrogées sur les bénéfices de l'illustration visuelle précise et de la conscience articulatoire pour améliorer l'intelligibilité des enfants déficients auditifs. Peu d'outils existent pour offrir un retour visuel au niveau des articulateurs internes. Or ces outils s'appuient sur l'exploitation naturelle par tous les sujets de la modalité visuelle lors de l'intégration de la parole. Cette capacité est décrite par Kulh et Meltzoff (1982) qui ont

constaté que les nouveau-nés sont capables d'associer sons et gestes articulatoires visibles. L'importance de la vision dans l'intégration multimodale de la parole est également démontrée par la compétence naturelle de lecture labiale. En 1985, Liberman et Mattingly élaborent la théorie motrice de la perception de la parole et affirment qu'il est fondamental que l'enfant convertisse les graphèmes en schèmes articulatoires pour parvenir à se représenter le langage écrit et à le comprendre. Stoel-Gammon (1986) ajoute que les phonèmes labiaux, parce qu'ils sont visibles, semblent majoritairement présents dans les premières productions de l'enfant déficient auditif. Depuis la découverte de l'effet Mc Gurck (Colin, 2003), l'information visuelle est considérée comme une composante essentielle dans la perception de la parole. En d'autres termes, la lecture labiale, linguale et mimo-gestuelle est très importante pour étayer, préciser la perception et la discrimination des phonèmes. L'acquisition du langage passe principalement par l'audition mais elle est renforcée par la vision des articulateurs ainsi que par le décodage de la mimogestualité.

L'idéal serait donc de fournir à l'enfant déficient auditif une visualisation du mouvement de la langue et des traits distinctifs pour que l'information soit complète et qu'il puisse construire son répertoire phonétique et phonologique de façon fiable. Pour se faire, les objectifs consistent à développer la conscience articulatoire : connaître la forme et la position de ses propres articulateurs. Les outils de biofeedback visuel ou d'illustration visuelle répondent à ces exigences

En 1981, Montgomery et coll. montrent que les enfants dyslexiques ont un déficit marqué dans les tâches de conscience articulatoire comparativement à des normo-lecteurs. Les orthophonistes proposent de nombreuses activités ludiques basées sur la discrimination et la segmentation des unités phonologiques. Elles observent que, malgré cet entraînement, la compétence de segmentation phonologique demeure très difficile à acquérir pour les enfants ayant un trouble phonologique avéré. Le travail s'oriente alors vers des activités de compensation du trouble : diversification lexicale, étayage morphosyntaxique, mise en place du langage écrit. Lorsque l'enfant démarre l'acquisition de la lecture, la correspondance phono-graphémique va venir étayer et consolider le répertoire phonétique et phonologique de l'enfant. Un entraînement associant feedback auditif et prise de conscience des organes bucco-phonatoires lors de l'articulation des phonèmes a un effet positif sur les troubles de la conscience phonologique et sur l'identification des mots écrits des sujets dyslexiques (Alexander, 1991). Ces observations ont été précisées en recherche par l'étude de Griffiths et Frith (2002) qui démontrent la persistance d'un déficit de la conscience articulatoire à l'âge adulte même lorsque les habiletés en lecture ne sont plus sérieusement déficientes. Plus tardivement, une étude conduite par B. Joly-Pottuz et coll (2008) conclut aussi à un bénéfice statistique significatif à combiner un entraînement articulatoire avec des exercices phonologiques plus classiques.

Selon Vaissière (2006), la conscience phonologique ne s'appuie pas seulement sur la capacité de l'enfant à analyser acoustiquement et à segmenter des enchaînements sonores, mais également sur sa capacité à déduire des mouvements articulatoires à partir des sons entendus. Le graphème renvoie à une représentation articulatoire et celle-ci doit être la plus stable et précise possible. Les résultats d'une étude de Plaza et Raynaud (2007) ont montré qu'un programme de rééducation basé sur la production a permis à tous les sujets d'améliorer leur sensibilité phonologique alors qu'aucun exercice purement phonologique n'avait été fait. Raynaud et Geneste (2004) montrent que les enfants dyslexiques n'ont pas une bonne représentation motrice du mot, soit en raison de problèmes d'audition dépistés tardivement d'où la construction de schémas flous lié à un mauvais feedback auditif ayant freiné la

représentation articulatoire des mots, soit en raison d'un mauvais contrôle de leur motricité fine entraînant des schèmes moteurs de parole imprécis (dyspraxie verbale).

Les troubles de l'oralité peuvent également être un facteur explicatif de ce déficit. Dans un ouvrage paru en 2007, Thibault souligne la nécessité de développer une activité neuromusculaire énergique de la sphère oro-faciale et insiste sur la détente, la précision et l'indépendance des actions musculaires nécessaires à une fluidité de la parole. Les enfants présentant des troubles de l'oralité alimentaire ont plus de risques d'avoir un trouble de l'oralité verbale associé (Vannier 2008). Une sensibilité exacerbée (hypernauséeux) ou diminuée, ou encore un manque de stimulation orale précoce peuvent tout aussi bien interférer avec la mise en place du répertoire phonologique. Des troubles phonétiques et secondairement phonologiques sont alors retrouvés dans le bilan orthophonique. L'alimentation par voie entérale ou par sonde peut aussi perturber durablement l'oralité et entraîner par la suite d'importantes difficultés praxiques et phonologiques (Mellul et Thibault, 2004). Ces dysfonctionnements peuvent entraîner une perturbation des repères proprioceptifs intra-buccaux plus ou moins sévères. Les points de contact entre la langue et le palais sont alors instables et donc non automatisés.

Une grande majorité des patients que nous recevons en cabinet ont des troubles primaires ou secondaires touchant l'un des modules impliqués de la boucle audio-phonatoire, c'est-à-dire le lien entre la réception et la production de la parole. Nous savons que la réception précède la production. Si la réception du message est altérée ou inexistante, si la discrimination des phonèmes ne se fait pas correctement et précisément, la production du son en sera forcément affectée. Cette boucle audio-phonatoire est illustrée par plusieurs modèles (Coquet et al, 2006), (Teichmann, 2009) pour ne citer qu'eux.

Nous savons que lorsque la conscience articulatoire est déficitaire, c'est-à-dire lorsque les afférences nécessaires au traitement de l'information proprioceptive sont peu ou pas fonctionnelles, le contrôle moteur est secondairement altéré. Si la motricité volontaire est perturbée comme dans le cas des dyspraxies, la proprioception intra-buccale se construira de façon erratique et peu précise. La coordination fine des mouvements nécessaires à la production de la parole dépend aussi du développement de la phonologie. L'intelligibilité dépend de la précision phonologique. Selon Kent (1997), la vitesse de la parole chez un adulte est en moyenne de 6 à 7 syllabes par seconde, un peu moins chez l'enfant (5 à 6 syllabes). La coordination motrice doit être optimisée afin de répondre à des exigences d'efficacité de communication.

De multiples facteurs peuvent perturber à des degrés divers cette mécanique de haute précision : des facteurs anatomiques tels que le défaut de configuration et/ou de volume de la langue, frein court, divisions palatines, exérèses chirurgicales, dysmorphoses etc., ou facteurs fonctionnels comme le déséquilibre oro-facial, les troubles de la coordination pneumophonique, troubles de la sensibilité buccale, lésions cérébrales, pathologies dégénératives, etc. Cependant les gestes utilisés, même reliés à des caractéristiques physiques propres au phonème (tonicité, configuration des articulateurs, lieux de rapprochement ou contact) fournissent des informations imprécises et incomplètes sur le mode de réalisation exact des phonèmes.

Les outils de visualisation de la parole

Les orthophonistes peuvent tirer bénéfice d'un système simple permettant la lecture linguale en temps réel avec l'affichage des traits pertinents permettant de différencier des mots proches dans une interaction spontanée. Un certain nombre d'équipes ont travaillé à la mise au point

d'outils ou de méthodes, dont nous citons ci-après certaines des plus intéressantes pour la rééducation orthophonique.

Nous situons au début des années 90 l'apparition des travaux sur la visualisation des organes de la phonation. La technique de l'électropalatographie a été utilisée dans le cadre de l'université d'Alabama à Birmingham. Fletcher, Dagenais & Critz-crosby (1991) ont montré qu'un entraînement intensif avec l'électropalatographie permettait au patient d'améliorer très significativement la prononciation des consonnes chez 5 sourds profonds (Fig.2).

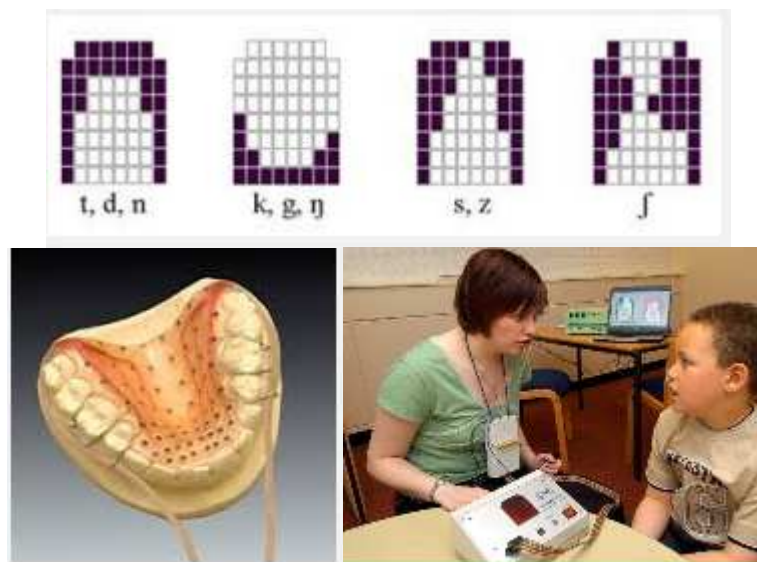


Figure 1 : Système d'électro-palatographie (Hardcastle 2009)

Un placement de langue plus précis, acquis plus rapidement a été constaté chez tous les sujets et ce plus particulièrement pour les contacts linguo-palataux, les contacts vélaire étant aussi plus facilement acquis que les contacts alvéolaires. Les résultats finaux montrent que le feedback visuel des modèles articulatoires et notamment ceux des contacts postérieurs (linguo-palatal) est un moyen efficace d'améliorer l'intelligibilité des patients. Cette approche est cependant limitée en clinique car invasive et contraignante, nécessitant des consignes d'hygiène strictes et une adaptation de la forme du palais artificiel muni de capteurs à la physiologie de l'enfant. Le système est aussi très onéreux et donc réservé aux institutions hospitalières.

Un peu plus tard, Wrench, Gibbon & Mac Neil (2002) à Edinbourg en Ecosse, démontrent l'intérêt de l'électropalatographie dans la rééducation des troubles d'articulation notamment pour les phonèmes postérieurs et utilisent couramment cette technique dans le cadre de la prise en charge des dysarthries et des déficits auditifs. Le patient visualise en temps réel les points d'appui de la langue sur l'écran sous la forme d'une matrice de diodes dont la couleur change en fonction de la surface de contact. Le patient peut ainsi ajuster la position de sa langue en fonction d'une cible donnée. De nombreux auteurs sont convaincus de l'intérêt de cette technique pour la rééducation des troubles d'articulation (Gibbon 2010), (Howard 2007), (Hardcastle 2009).

Nous citons aussi le système suédois ARTUR (Articulation Tutor) qui fonctionne de la façon suivante : une caméra filme le locuteur, le système déduit la position des organes par inversion articulatoire et affiche sur un modèle en 3D la position de la langue. Ces données visuelles complètent efficacement l'aide auditive et celle apportée par la visualisation du

signal acoustique. Une autre piste intéressante concerne aussi le système d'échographie ultrasonique permettant de visualiser en temps réel le mouvement de la langue (Preston, 2013). Cette technique est prometteuse car moins invasive. Elle permet d'avoir un vrai feedback en temps réel de la forme de la langue mais l'image, difficile à interpréter, ne permet pas de percevoir correctement l'apex de la langue, le palais osseux et les contours précis du voile (Fig.3). Ces systèmes performants mais onéreux sont difficilement accessibles à la clinique non hospitalière.



Figure 2 : Système de feedback par ultrason utilisé par le laboratoire Haskins (Preston 2013)

Un système développé par Denby et Huebert (2009) appelé Ultra-speech permet de décoder la parole à partir des données d'une caméra filmant la bouche du locuteur et les données provenant de l'échographe, pour reconstituer un signal acoustique. Ce système nécessite une phase d'apprentissage préalable et l'immobilisation de la tête du sujet, ce qui en limite l'utilisation en clinique. Si les outils cités ici sont prometteurs, ils demeurent pour le moment difficilement utilisables en clinique, à cause des contraintes techniques qu'ils imposent et de leur coût. Leur adaptation en orthophonie serait pourtant un progrès considérable.

La plate-forme Diadolab

Nous avons cherché à développer un outil permettant de travailler la conscience articulaire afin de rendre explicite des données proprioceptives auxquelles l'individu n'accède pas spontanément, ou en est privé du fait d'un déficit proprioceptif ou sensitif. Le feedback visuel tel qu'il est donné dans le logiciel Vocalab (Sicard, 2013) apporte des données précieuses telles que la hauteur du son, sa puissance, son timbre. L'aspect formantique, illustré figure 3, apporte un élément crucial dans la parole : la tonicité et la stabilité de la constriction nécessaire à la production des consonnes constrictives et occlusives. La place des formants détermine aussi la position de la langue, voire sa forme. Il apporte de plus une information de discrimination déterminante : la distinction entre consonnes sourdes et sonores. La vibration pré-explosion pour les occlusives sonores requiert une coordination très précise et fine des séquences : mise en vibration puis occlusion, mise en pression du conduit par la fermeture labiale puis relâchement (Figure 4).

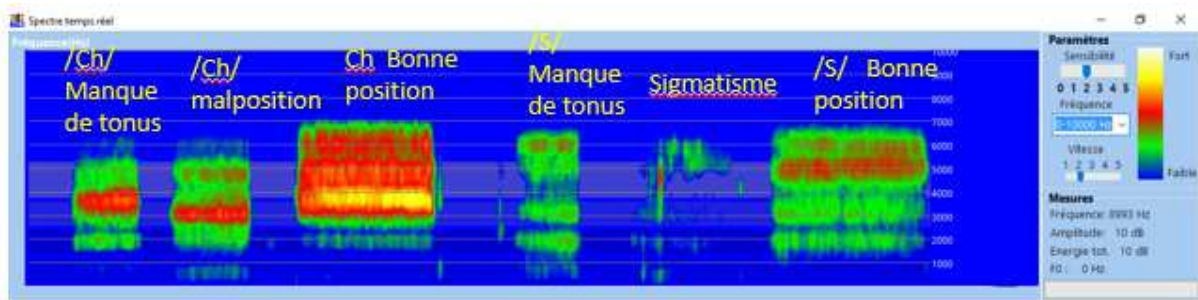


Figure 3 : Représentation montrant les différences formantiques avec VOCALAB en fonction de la tonicité et place de la langue pour les phonèmes /ch/ et /s/

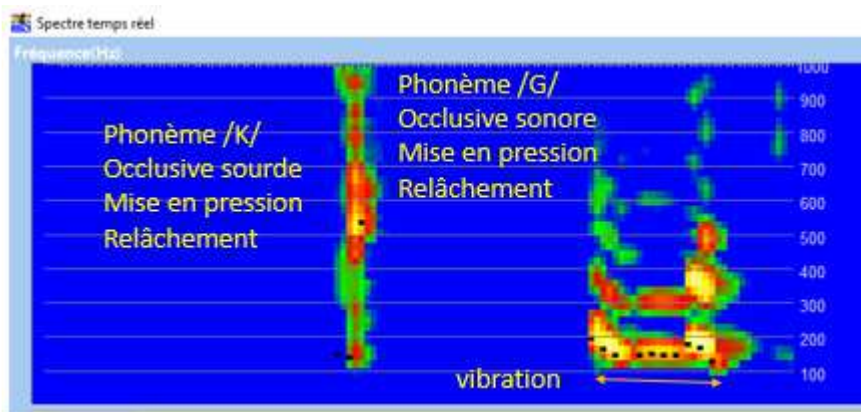


Figure 4 : Représentation formantique montrant les différences sourdes/sonores avec VOCALAB pour les phonèmes /ch/ et /s/

Les informations fournies par la proprioception et la vision des articulateurs sont déterminantes pour construire un répertoire phonétique et phonologique solide. Les informations proprioceptives émanant du contact lèvres supérieure/lèvre inférieure, dent/lèvre sont des de trois ordres :

- La pression : (faible/moyenne/forte)
- La localisation du contact langue/palais
- La nature du contact : constriction, friction, occlusion.

La réalisation précise et intelligible du phonème dépendra de ces éléments. L'entraînement articulaire apparaît donc comme étant efficace pour améliorer et/ou renforcer une représentation phonémique aux contours imprécis. Il semble alors fondamental pour les orthophonistes de disposer de supports et d'outils permettant au sujet d'avoir accès à ce type d'information articulaire et de visualiser en temps réel ou en différé tous les traits et caractéristiques propres à chaque phonème. Pour répondre à ce besoin, nous avons imaginé un outil spécifique, complémentaire de Vocalab, capable de donner ces informations. Ce projet s'appelle Diadolab.

Genèse du projet

Le projet Diadolab a débuté en 2006. Tout comme Vocalab, il est né dans la clinique et s'est enrichi et précisé grâce à la logique de l'usage ainsi que les retours des utilisateurs de plus en plus nombreux. Ces méthodes dites « agiles » permettent d'ajuster les outils au plus près des attentes des cliniciens qui ne disposent, dans la grande majorité des cas, que de très peu de temps et de moyens. Sur le plan théorique et technique, Diadolab s'inspire de recherches menées dans le cadre d'un master en Sciences du Langage suivi à l'université Stendhal de Grenoble (Menin-Sicard, 2007), ainsi que des travaux sur la tête parlante développée au laboratoire GIPSA Lab (Badin et al, 2007), (Serrurier et al, 2008). L'équipe grenobloise MaGIC du laboratoire Gipsa-Lab a développé des modèles des articulateurs de la parole à partir de données obtenues par IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) et vidéo stéréoscopique d'un locuteur (Badin et al, 2007)(Serrurier, 2006). L'outil développé par cette équipe peut afficher les articulateurs virtuels et montrer les organes habituellement non visibles tels que la langue ou le voile du palais (Badin et al, 2007).

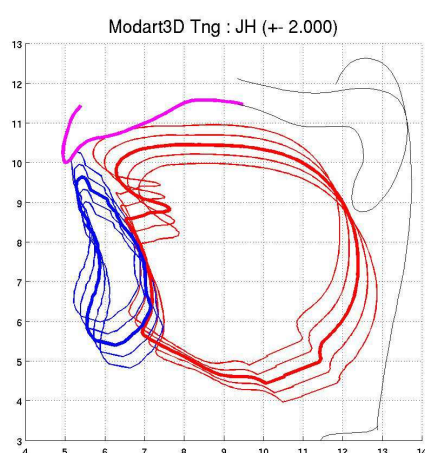


Figure 5 : Variation de deux écarts-type du degré de liberté « Hauteur de la Mâchoire - Jaw Height JH » (Badin, 2007)

Nous retenons de ces études la possibilité de modéliser la langue, les lèvres et le voile du palais avec un nombre limité de degrés de liberté. Le modèle mâchoire - langue proposé par (Badin, 2007) possède six composantes. L'ensemble de ces composantes permet de représenter près de 90 % de la variance totale des données tridimensionnelles de la langue. La première, liée à l'ouverture de la mâchoire, correspond à une rotation globale de la masse de la langue autour d'un point situé à l'arrière (figure 5). Les composantes corps de langue, et dos de langue correspondent respectivement à des mouvements avant/arrière et aplatissement/bombement. Les composantes hauteur d'apex et avancée d'apex correspondent respectivement à des mouvements verticaux et horizontaux de la pointe de la langue. D'autre part, le modèle du voile du palais comporte une composante principale qui correspond à un mouvement oblique haut/bas d'ouverture/fermeture du mouvement vélopharyngé. L'ensemble de ces degrés de libertés, 7 au total, a été rendu accessible grâce à une interface représentée Figure 6, appelée « tête parlante ».

La tête parlante

Une tête parlante a pour but de simuler tous les phonèmes et séquences articulatoires de la langue française. Le patient découvre au travers d'une vue médio-sagittale (Figure 6) les

articulateurs invisibles (langue et voile), leur place dans le conduit vocal, leur configuration et leur mouvement.

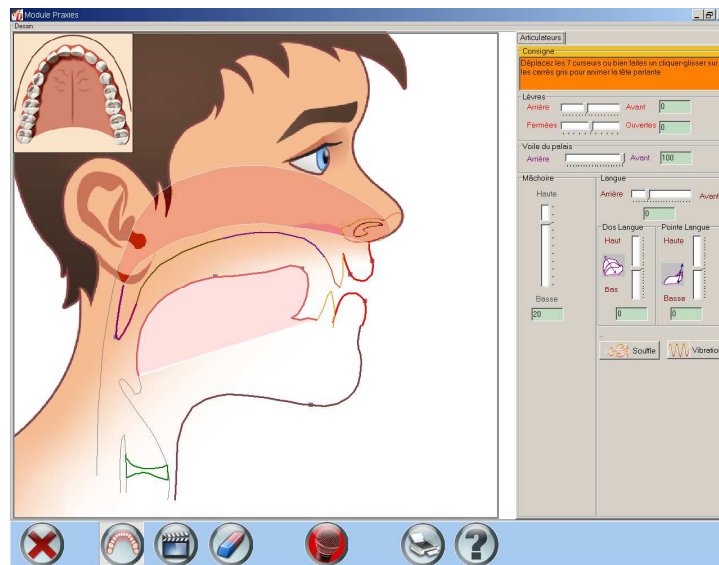


Figure 6 : Module Praxies : En déplaçant les curseurs, le sujet peut mobiliser les articulateurs suivant leurs degrés de liberté propres

Le thérapeute anime la tête parlante en déplaçant des curseurs horizontaux ou verticaux. Les 7 curseurs (Figure 7, menu de droite) et points associés (petits carrés placés sur le dessin de la tête parlante) représentent les degrés de liberté principaux de la mâchoire, de la langue et des lèvres. Le travail praxique devient alors précis et ciblé sur les zones de contact importantes (la zone alvéolaire et la zone vélaire).

Le palatogramme (Figure 8) a été imaginé dans le but d'aider l'orthophoniste à travailler plus spécifiquement la conscience du contact langue/palais. Il aide le patient à fixer un articulateur pour en mobiliser un autre et lutter contre les syncinésies articulaires particulièrement fréquentes et tenaces chez les sujets atteints de dyspraxie. Un travail analytique et méthodique des praxies intra-buccales spécifiques à la parole permet d'améliorer significativement la coordination des mouvements indispensables à une parole fluente. Les zones colorées en rose foncé correspondent à la surface de contact entre les bords latéraux de la langue et le palais. Dans le schlintement par exemple, les bords latéraux ne viennent pas en contact par excès de contact de l'apex de la langue contre le palais.

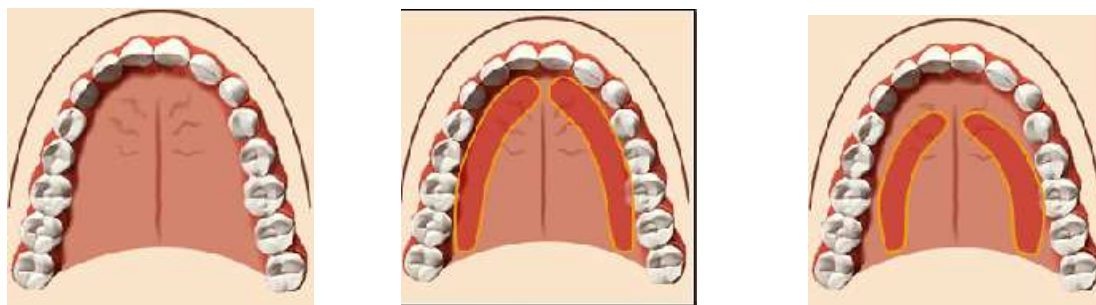


Figure 8 : Palatogrammes des phonèmes [p] [s] et [ch]

Réalité augmentée

Les modes d'articulation (occlusifs/constrictifs) ainsi que les lieux de contact possibles de la langue au palais (alvéolaires, dental, vélaire) sont représentés dans la tête parlante grâce à des illustrations spécifiques. Montrer de façon symbolique tous les traits distinctifs des phonèmes permet de lever les ambiguïtés phonologiques : la pression pour les occlusives (Figure 9), le souffle pour les constrictives (Figure 10), la vibration laryngée pour les consonnes sonores, le passage de l'air dans les cavités nasales pour les phonèmes nasals. Les zones colorées et l'épaississement des traits permettent de focaliser l'attention du patient sur des points précis tels que le lieu de contact mais aussi la pression nécessaire à l'articulation d'un phonème occlusif.

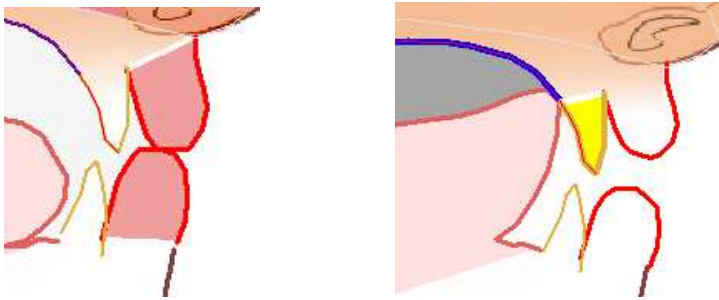


Figure 9 : couleurs/épaississement des traits pour focaliser l'attention du sujet sur les lieux de contact.

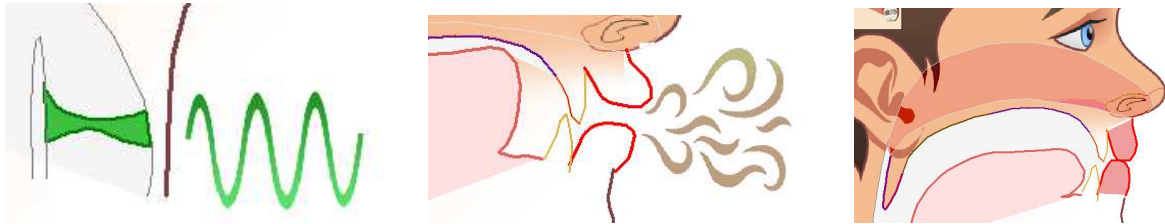


Figure 10 : représentation symbolique des traits distinctifs : le voisement (vibration laryngée), le souffle (constrictive), la nasalisation (relâchement du voile du palais)

La vision de la position articuloire aide l'enfant à positionner et configurer sa langue de façon précise. Le travail de conscience articuloire contribue à fiabiliser le lien entre un stimulus sonore, une représentation visuelle de la position des articulateurs et la graphie correspondante.

Structure du logiciel

Le logiciel Diadolab a été conçu pour travailler la conscience articuloire, les praxies, le répertoire phonétique ainsi que la diadococinésie. Il comprend 4 modules principaux : Praxies qui donne accès à la tête parlante décrite figure 7, Articulation, Parole et Lecture. Nous donnons un bref aperçu des modules Articulation et Parole dans les paragraphes suivants.

Module Articulation

Le module « Articulation » est composé de 3 sous-modules Phonèmes, Diadococinésie et Son/profil. L'écran de diadococinésie (Figure 11) aide l'enfant à mettre en place très tôt un positionnement juste, précis et optimal des articulateurs et d'éviter que ne se fixent des gestes

erronés particulièrement résistants ensuite à toute modification. Les données visuelles articulatoires et proprioceptives guident le sujet dans son positionnement et installe de façon claire le lien graphie/phonie.

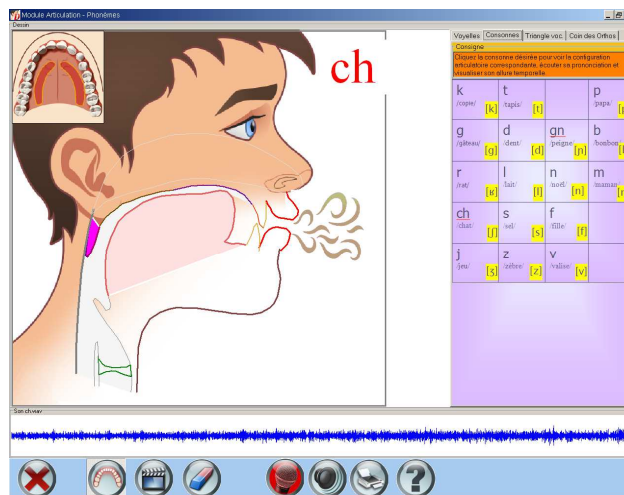


Figure 11 : Dans le module « Articulation », le sous-module appelé « Phonèmes » permet de travailler le répertoire phonétique et lien graphie-phonie

Ce travail systématique et méthodique fait en amont avec des sujets dysphasiques et déficients auditifs permet d'améliorer significativement l'intelligibilité et de limiter au maximum le retard d'acquisition de la lecture. La diadococinésie articulaire se définit comme la capacité à exécuter alternativement des mouvements rapides et réguliers (diadokhos = qui succède, cinésie = le mouvement). La synchronisation des mouvements est une « horlogerie » de très haute précision. Le phonème isolé peut être produit correctement mais altéré, substitué ou déplacé lorsqu'il est co-articulé, soit parce que le phonème voisin est peu facilitateur, soit parce que la langue est incapable de changer rapidement de configuration (ex : passer de la position concave à convexe). La séquence subit alors des déformations plus ou moins importantes en fonction du degré d'atteinte physiologique ou anatomique de l'ensemble du système. Cette dynamique peut être perturbée, ralentie, voire laborieuse ou à l'inverse accélérée et escamotée à cause d'un dysfonctionnement.

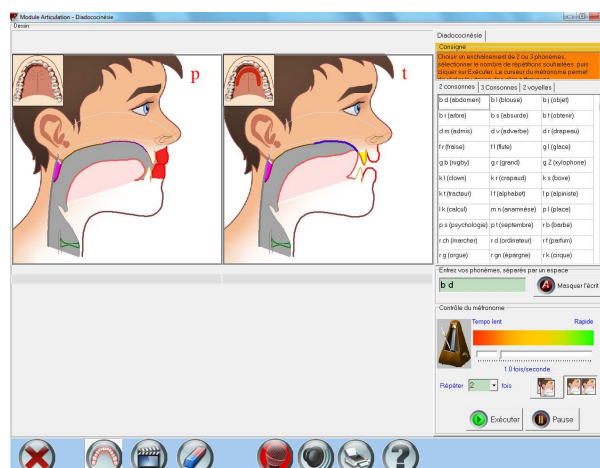


Figure 12 : Le Module « Diadococinésie » de Diadolab, illustré ici avec les consonnes /p/ et /t/

Le module de diadococinésie (Figure 12) permet de travailler les séquences articulatoires avec un métronome virtuel, sur la base de 2 ou 3 consonnes/voyelles prédéfinies, ou de phonèmes choisis par l'orthophoniste. Le métronome ainsi que la tête-parlante animée aide et contraint le sujet à une parfaite régularité de passage entre une position et une autre. Pour obtenir une intelligibilité maximale au regard des possibilités du patient, les mouvements des articulateurs doivent être bien dissociés les uns des autres, précis rapides et toniques. Le sujet va se « caler » sur la tête parlante et exécuter la séquence de façon synchrone lentement puis de plus en plus vite en fonction de ses possibilités. Une liste exhaustive de transitions complexes est proposée. Cet outil se révèle très utile dans la prise en charge des patients dyspraxiques, cérébraux-lésés ayant une dysarthrie associée et/ou un trouble du contrôle phonologique ainsi que pour les sujets atteints de dysarthries (SLA, Parkinson).

Module Parole

L'outil « Parole » permet, notamment au travers du sous-module « Parler », de travailler la diadococinésie sur des mots complets, de façon méthodique, précise et adaptée aux difficultés de l'enfant pour un travail de coordination des articulateurs sur des transitions de plus en plus complexes. Le module « Parler » permettant au sujet de visualiser le mouvement et l'enchaînement des positions articulatoires. Il est conçu pour aider le patient dyspraxique, dysphasique ou dysarthrique à contrôler la séquence articulatoire nécessaire à la prononciation de mots difficiles, souvent et durablement altérés (Figure 13).

Les lois de facilitation articulatoire sont étroitement liées au geste articulatoire mais pas seulement. Si le sujet a un défaut de positionnement de la langue (antériorisation importante), le trajet d'un phonème à l'autre sera plus long. En débit normal, il aura tendance à substituer un phonème antérieur par un phonème postérieur. Si les phonèmes sont très proches (ex : /s/-/ch/), la trajectoire est plus réduite mais le passage difficile d'une configuration de langue à une autre peut altérer ou ralentir le processus. Les phénomènes de coarticulation se traduisent par des mécanismes d'anticipation et de contamination contextuelles, qui déplacent les points de contact de la langue. Ces modifications sont proportionnelles à la vitesse d'élocution dans un souci d'efficacité articulatoire.

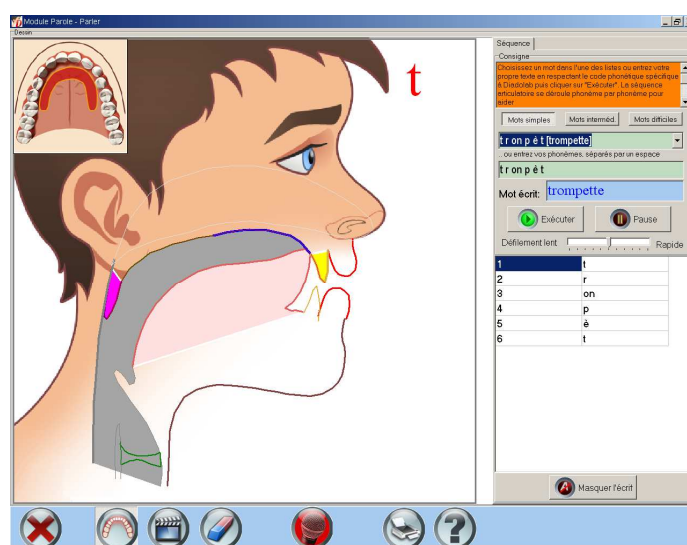


Figure 13 : Module « Parler » : exemple de la décomposition du mot « trompette »

La tête parlante prononce lentement, phonème par phonème des séquences ou des mots préalablement saisis, en respectant le code de décomposition phonémique spécifique à l'outil. Les phénomènes de coarticulation ne sont volontairement pas modélisés afin d'accentuer sciemment les composantes propres à chaque phonème. L'orthophoniste attire l'attention du patient sur les éléments pertinents des profils (voisement, nasalité, souffle, pression) et sur le palatogramme.

Les listes de mots classés en trois niveaux de difficultés, permettent à l'orthophoniste de choisir rapidement les items les mieux adaptés au stade de la rééducation. En visualisant les séquences au ralenti puis de plus en plus vite, le patient peut comprendre ses propres erreurs d'articulation et rectifier plus facilement la position des organes phonateurs. Ce qui est implicite et inconscient car parfaitement automatisé chez le normo-parlant devient explicite et conscient chez le sujet atteint de troubles expressifs quels qu'ils soient. La lecture linguale requiert un bon niveau de conscience articulatoire que le patient obtiendra progressivement en associant une représentation sonore avec une sensation proprioceptive précise renforcée par l'image.

Utilisation de Diadolab

Une première phase d'expérimentation a été conduite en lien avec le mémoire de Alcalá et Faucher (2009). Le travail a consisté à élaborer un protocole d'évaluation de la conscience articulatoire, de choisir les épreuves, d'en valider les items et définir des consignes. Dans un deuxième temps, une expérimentation test a été conduite sur une population de 18 enfants répartis en deux groupes de 9 sujets. Un groupe bénéficiant d'un suivi dit classique et un autre bénéficiant d'un entraînement spécifique à la conscience articulatoire. La comparaison des résultats obtenus aux épreuves de conscience phonologique et d'intelligibilité montre qu'il existe une corrélation entre les performances en conscience articulatoire et en conscience phonologique. Le groupe de 9 enfants entraînés à la conscience articulatoire a obtenu des résultats deux fois supérieurs au niveau des aptitudes phonologiques au groupe sans entraînement. Les premiers résultats sont prometteurs mais le protocole devait être remodelé pour un usage plus clinique et mis en œuvre sur une population plus large.

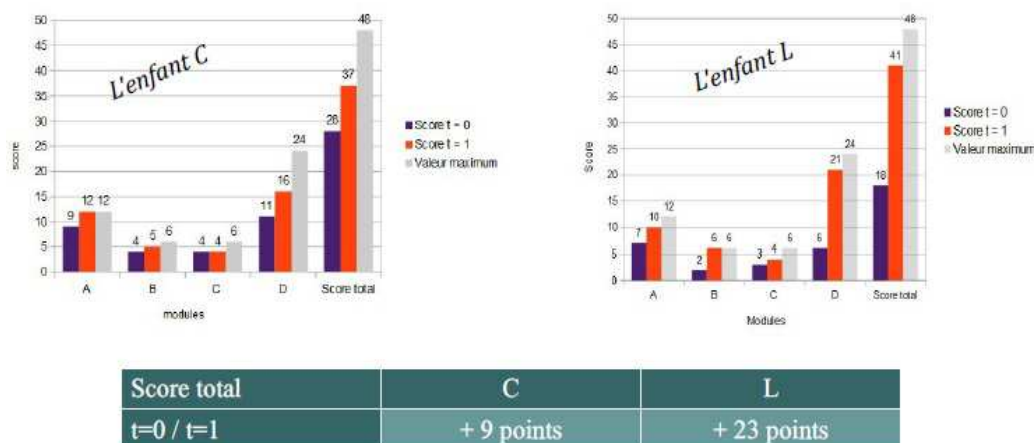
Un mémoire conduit par E.Fauville (2012) une étudiante de la Haute école de la province de Liège apporte un regard critique et objectif sur le logiciel en lui-même. Elle souligne l'intérêt de la décomposition précise des phonèmes étudiés et de l'importance du travail de la proprioception. Elle fait des observations pertinentes sur l'intérêt mais aussi sur les limites et imprécisions de l'outil. Nous tiendrons compte de ce travail pour apporter des améliorations techniques et trouver des solutions aux problèmes liés au régionalisme des prononciations. D'autre part, le retour des utilisateurs permet aussi des améliorations et des innovations le plus souvent pertinentes sur le plan clinique.

Dans le cadre du mémoire de M.Bézart (2015), nous avons étudié d'une part la capacité de conscience articulatoire avant et après l'entraînement et d'autre part, l'intelligibilité avant puis après l'entraînement. Deux enfants ont participé à notre étude. La première C, jeune fille âgée de 9 ans, atteinte d'une surdité évolutive dépistée à 19 mois. Elle est appareillée. Récemment (mars 2014) elle reçoit un implant cochléaire à droite. Son audiogramme (novembre 2014) révèle une surdité profonde bilatérale. Son système linguistique est la langue française orale. Le LPC et la DNP ont été investis. Son intelligibilité est encore imparfaite mais elle arrive à se faire comprendre. La seconde, L, jeune fille âgée de 13 ans, atteinte d'une surdité profonde. Elle est implantée à l'âge de 2 ans. Son système linguistique est la langue française orale et la

LSF. Son intelligibilité est imparfaite, il n'est pas aisé de se faire comprendre.

Le protocole décrit une partie évaluative et une partie dédiée à l'entraînement. Nous avons évalué la conscience articulatoire avant et après l'entraînement avec le test EVALEO (Launey, Maeder, Roustit, Touzin, sous presse). L'intelligibilité a été évaluée à travers la dénomination orale d'images pour les mots, et la compréhensibilité à travers la lecture à voix haute d'un texte. Pour la dénomination, 10 mots seront entraînés pendant nos séances, pour voir l'efficacité de l'entraînement, et 54 mots ne seront pas entraînés afin de vérifier s'il existe une généralisation des performances. Les enfants ont été enregistrés, les écoutes sont soumises aux transcriptions de 7 auditeurs naïfs, un pourcentage d'intelligibilité est calculé. Nous avons vu les enfants durant 10 séances de 30 min chacune, une fois par semaine.

Pendant l'entraînement nous nous sommes servis d'un moulage dentaire pour que les enfants prennent conscience des mouvements de la langue (praxies et mouvements de la langue dans la réalisation des phonèmes), se familiarisent de façon ludique et accessible avec le vocabulaire anatomique et puissent établir les liens acoustico-articulatoires propres à chaque phonème. Nous avons également utilisé des cartes coupes sagittales (Faucher et Alcalá 2009). Nous insistons sur le lien acoustico-articulatoire et essayons de conduire les enfants vers une plus grande abstraction en décodant les traits distinctifs. Lors des 5 dernières séances nous avons utilisé le logiciel Diadolab (Sicard et Sicard, 2011). A travers la visualisation de cette tête parlante, nous visons l'appropriation des liens acoustico-articulatoires. Dans notre étude nous travaillons avec le module parole du logiciel. Ce module nous sert à favoriser le contrôle de l'enfant sur sa production et le séquençage de tous les sons pour ainsi éviter les erreurs de type omission des phonèmes. Nous avons entraînés les enfants sur la production de mots et de logatomes et également sur 10 des 54 mots évalués par la dénomination d'images. Nous avons utilisé également le module articulation pour travailler sur le son isolé et ses caractéristiques articulatoires. Nous avons pour cela opposé les consonnes sourdes/sonores par paires.



Les résultats de notre études sont décrits dans les tableaux ci-dessous :

Fig 1 : évaluation de la conscience articulatoire à t=0 et t=1 pour l'enfant C et l'enfant L

Au niveau de la conscience articulatoire évaluée C gagne 9 point après l'entraînement ; L gagne 23 points. L'amélioration est moindre pour C, mais le score initial est plus élevé. Les deux enfants se sont investies et ont rapidement acquis les compétences de lecture linguale. Suite à l'entraînement, la compétence de conscience articulatoire est améliorée.

	C		L	
	Score t=0	Score t= 1	Score t=0	Score t= 1
Mots travaillés	50 %	84%	30%	74%
Mots non travaillés (%)	88%	95%	57%	70%
Intelligibilité	correcte (3/5)	bonne (4/5)	mauvaise (1/5)	faible (2/5)
Texte	93%	97%	71%	96%
PCC	83%	92%	62%	79%
Intelligibilité	moyenne (3/4)	bonne (4/4)	modérée (2/4)	moyenne (3/4)

Fig 2 : évaluation de l'intelligibilité de la parole à t=0 et t=1 pour l'enfant C et l'enfant L

Pour les 10 mots travaillés avec la tête parlante, il existe pour les deux enfants une amélioration de l'intelligibilité, les mots sont mieux reconnus par tous les juges. Il existe des différences inter-juges. Aussi l'analyse par item montre que la totalité des items n'est pas améliorée ; 8 des 10 mots pour C et 7 des 10 mots pour L sont mieux reconnus à t=1.

Pour les mots non entraînés, 6 des 7 juges définissent un gain d'intelligibilité à t=1 à travers les classes notées de 1 à 5 pour les deux enfants. C passe d'une intelligibilité correcte à bonne, L d'une intelligibilité mauvaise à faible.

Suite à l'expérimentation, chez les deux enfants on constate une amélioration de l'intelligibilité sur les mots entraînés et une généralisation aux mots non entraînés. Le calcul du pourcentage de consonnes correctes (PCC) lors de l'analyse de la transcription des juges pour les mots permet d'appuyer le constat : l'intelligibilité augmente d'un grade en passant de moyenne à t=0 à bonne à t=1 pour C et de modérée à t=0 à moyenne à t=1 pour l'enfant L. Tous les phonèmes consonantiques ne sont pas marqués par une évolution positive. On constate moins d'omissions et moins de changement de lieu. Une nasalisation excessive est davantage décrite à t=1.

Concernant la compréhensibilité de la parole évaluée, nous ne notons pas de réelles différences à t=0 et t=1 pour C, l'évolution est plus marquée pour L, les auditeurs faisant moins d'erreurs d'interprétation. La présence d'un contexte narratif a probablement été favorable pour C. Cependant nous nous sommes rendue compte que la lecture à voix haute d'un texte ne reflète pas fidèlement la compréhensibilité de la parole. Notamment pour L, où la construction syntaxique souvent défailante dans ses productions spontanées altère la compréhensibilité. Nous émettons une première limite de notre étude.

Selon nos résultats, nous soumettons que les bénéfices apportés par l'illustration visuelle sont encourageants pour notre étude de cas, avec une meilleure intelligibilité décrite. Nous rejoignons les conclusions déjà formulées au moyen d'outils de biofeedback visuels et d'illustration visuelle (Fletcher et al 1991, Massaro et al 2004). Ces résultats sont prometteurs. Nous sommes cependant conscients de certaines limites de l'étude qui nuancent nos propos.

Tout d'abord la restriction du nombre de sujets : les résultats de cette étude ne valent que pour nos deux sujets et ne permettent pas la généralisation à tous les déficients auditifs. Aussi, il serait souhaitable d'améliorer le protocole en proposant par exemple une liste de mots plus vaste et donc des items à entraîner plus nombreux pour que les conclusions soient plus fiables. Pourraient également être utilisées une ligne de base pour des résultats plus rigoureux et la mesure d'un maintien des performances plusieurs semaines après l'expérimentation.

Prospectives

En coopération avec le laboratoire d'informatique IRIT de Toulouse, équipe Samova, nous réfléchissons à la possibilité d'intégrer dans Diadolab un outil de reconnaissance en temps réel de la parole, dans le but de piloter de manière automatique l'articulation de la tête parlante, et des jeux ciblés vers la rééducation de l'articulation pour les jeunes enfants. Toutefois, les techniques actuelles d'identification des phonèmes, pour la plupart basés sur des Réseaux de Neurones profonds, ont plusieurs limitations intrinsèques : un taux de reconnaissance et une robustesse dans un contexte de voix altérée/pathologique souvent insuffisant, des expressions mathématiques très coûteuses en temps de calcul, nécessitant de nombreuses astuces logicielles et matérielles pour donner une évaluation en temps réel, l'utilisation de bibliothèques informatiques fournies par des tiers (telles que TensorFlow de Google), elles-mêmes reposant sur des bibliothèques sous licence, mais surtout, un entraînement sur la base de corpus assez éloignés du contexte spécifique des voix d'enfants. De ce fait, une approche par confusion (détection ciblée /f/v/, /ch/s/ par exemple) et l'apprentissage sur un corpus composé principalement de voix d'enfants dans la tranche cible de l'application de l'outil (4-8 ans) ont été privilégiés. Dans le cadre de l'équipe de recherches ERU15 de l'Unadreo, un protocole de passation des voyelles et consonnes a été défini, pour être ensuite appliqué à l'enregistrement de 50 à 100 voix de jeunes enfants. L'exploitation de cette base sonore spécifique devrait permettre d'élever les scores de reconnaissance vocale et fiabiliser la détection des confusions. La conception de jeux sur la base de ce moteur d'identification de phonèmes est aussi à l'étude.

Conclusion

Les bénéfices de la modalité visuelle semblent obtenir un consensus pour renforcer les connaissances du système articulatoire. L'image du clone facilite l'imitation et la position méta donnée à l'enfant, favorise le contrôle et l'autonomie de parole.

D'autres études portant sur l'articulation et la parole ont montré les bénéfices du biofeedback visuel dans différentes pathologies. C'est le cas par exemple pour les sujets atteints de fentes palatines, de paralysies cérébrales légères ou de Trisomie 21 (Gibbon 2001,2003, technique de l'EPG). La rééducation à travers l'illustration visuelle est également bénéfique au sujet dyslexique phonologique. Dans cet article, après une revue synthétique de la littérature, nous avons souhaité apporter notre pierre à l'édifice et proposer un outil permettant d'améliorer l'efficacité de la prise en charge des troubles arthriques et phonologiques sévères. La plateforme Diadolab a été conçue pour aider les orthophonistes dans le travail souvent long et répétitif et montrer le rôle de la conscience articulatoire sur l'intelligibilité de la parole d'une part et de la fiabilité du lien graphie phonie d'autre part. Tout comme Vocalab, Diadolab évolue en fonction des retours des utilisateurs afin de s'ajuster au mieux aux attentes des cliniciens. Des études sur des corpus plus importants démarrent dans le cadre de l'ERU 15 avec des corpus d'enfants tout-venant et d'enfants présentant des dyspraxies verbales ou des troubles phonologiques.

Références

Alexander, A., W, Anderson, H G., Heilman PC. (1991). *Phonological awareness training and remediation of analytic decoding deficits in a group of severe dyslexic*, *Annales Dyslexia*, 41, 193-206

Badin, P., Serrurier, A. (2006). Three-dimensional linear modeling of tongue: Articulatory data and models. In Yehia (Eds). *7th International Seminar on Speech Production, ISSP7* (pp. 395-402).

Badin, P., Elisei, F., Bailly, G., Savariaux, C., Serrurier, A. & Tarabalka, Y. (2007). Têtes parlantes audiovisuelles virtuelles : données et modèles articulatoires - applications. *Revue de Laryngologie, Otologie, Rhinologie - European Review of ENT*, 128 (5), 289-295.

Badin, P., Elisei, F., Bailly, G. & Tarabalka, Y. (2008). An audiovisual talking head for augmented speech generation: models and animations based on a real speaker's articulatory data. In Perales (Ed). *Vth Conference on Articulated Motion and Deformable Objects* (pp. 132-143). Berlin : Springer Verlag.

Bézart, M., (2015). *Conscience articulatoire et illustration visuelle : effet d'un entraînement pour l'amélioration de l'intelligibilité de l'enfant déficient auditif, étude de cas*. Mémoire de fin d'études. Besançon : Université de Franche-Comté.

Colin, C., Radeau, M., (2003). Les illusions McGurk dans la parole : 25 ans de recherches. *L'année psychologique*, 103(3), 497-542.

Coquet, F., Ferrand, P., Roustit, J., Nespoulous, J.L. (2006). Réflexions pour la mise au point d'une batterie d'évaluation du langage oral. *Glossa*, 95, 60-72.

Dumont, A. (1997). *Implantations cochléaires : guide pratique d'évaluation et de rééducation*. Isbergues. L'Ortho Edition

Hueber, T., Denby, B. (2009). Analyse du conduit vocal par imagerie ultrasonore. In Marcharl (Ed). *L'imagerie médicale pour l'étude de la parole, Traité Cognition et Traitement de l'Information, IC2*, Hermes Science, 147-174.

Faucher, P., Alcalá, M. (2009). *Intérêt d'un entraînement à la conscience articulatoire dans le cadre d'une dyslexie : proposition d'un protocole d'évaluation et d'un matériel de rééducation*. Mémoire pour l'obtention du certificat de capacité d'orthophoniste, Toulouse : Université Paul Sabatier.

Fauville, E (2012). *Critique du logiciel DIADOLAB dans la prise en charge d'enfants présentant des troubles articulatoires et phonologiques*. Mémoire pour l'obtention du grade de Bachelier en logopédie.

Gibbon, F. and Wood, S. (2010). *Visual feedback therapy with electropalatography (EPG) for speech sound disorders in children*. In Williams (Ed.), *Interventions in Speech Sound Disorders*. Brookes: Baltimore. pp. 509-536.

Fletcher, S., Dagenais, A., Paul, A., Critz-Crosby, P. (1991). Teaching consonants to profoundly Hearing-Impaired speakers Using palatometry, *Journal of speech and hearing research*, 34, 929-943.

Gibbon, F. E., McNeill, A. M., Wood, S. E., & Watson, J. M. (2003). *Changes in linguopalatal contact patterns during therapy for velar fronting in a 10-year-old with*

Down's syndrome. International Journal of Language & Communication Disorders, 38(1), 47–64.

Gibbon, F. E., & Wood, S. E. (2003). *Using electropalatography (EPG) to diagnose and treat articulation disorders associated with mild cerebral palsy: a case study*. *Clinical linguistics & phonetics*, 17(4-5), 365–374.

Gibbon, F., Hardcastle, W. J., Crampin, L., Reynolds, B., Razzell, R., & Wilson, J. (2001). *Visual feedback therapy using electropalatography (EPG) for articulation disorders associated with cleft palate*. *Asia Pacific Journal of Speech, Language and Hearing*, 6(1), 53-58. <http://doi.org/10.1179/136132801805576798>

Griffiths, S., Frith, U., (2002). *Evidence for an articulatory awareness Deficit in Adult Dyslexics*, *Dyslexia*, 8 (1),14-21.

Hardcastle, W.J. and Gibbon, F.E. (2009). *Electropalatography as a research and clinical tool: 30 years on*. In Powell and Ball (eds.) *Clinical Linguistics: Critical Concepts in Linguistics*, Volume II, Part 5. London: Routledge

Howard, S. (2007). The interplay between articulation and prosody in children with impaired speech: Observations from electropalatographic and perceptual analysis. *Advances in Speech-Language Pathology*, 9, 20-35.

Joly-Pottuz, B., Mercier, M., Leynaud, A. & Habib, M. (2008). Combined auditory and articulatory training improves phonological deficit in children with dyslexia. *Europsychological Re-habilitation, Psychology Press 18 (4)*, 402-429.

Kent, R.D. (1997). *The Speech Sciences*, San Diego : Singular Publishing Group, Inc.

Kuhl, PK., Meltzoff, AN. (1982). *The bimodal perception of speech in infancy*. *Science*, Vol. 218, n°4577, pp. 1138-1141.

Lieberman, A. M., Mattingly I.G., (1985), *The motor theory of speech perception revised*. *Cognition*, 21:1–36

Massaro, D. W., & Light, J. (2004). *Using Visible Speech to Train Perception and Production of Speech for Individuals With Hearing Loss*. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 47(2), 304.

Mellul, N., Thibault, C. (2004). L'éducation orale précoce. *Rééducation orthophonique*, 220.

Menin-Sicard A. (2007). *Visualisation des articulateurs de la parole : Intérêt de l'image IRM dans la conscience articulatoire*. Mémoire de master en Sciences du Langage, Grenoble : Université Stendhal.

Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2012). *Intérêt de la visualisation de la position et du mouvement des articulateurs dans la prise en charge des troubles phonologiques*. *Entretiens de Bichat, Entretiens d'orthophonie* : 31-40

- Montgomery D., (1981), *Do Dyslexics Have Difficulty Accessing Articulatory Information*, *Psy-chological Research* 43 : 235-243
- Preston, J. L., Brick, N., & Landi, N. (2013). *Ultrasound biofeedback treatment for persisting childhood apraxia of speech*. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 22(4), 627-643.
- Plaza, M., Raynaud, S. (2007). Dyslexie et traitement plurimodal : de l'autre côté du miroir. *Le Journal des psychologies*, 251(8) , 31-35.
- Sicard E., Perrière S., Menin-Sicard A., (2013), *Développement et validation d'outils de mesures de la qualité de la voix dans le logiciel VOCALAB*, *Glossa*, 113, 63-80.
- Sicard, A., & Sicard, E. (2011). Diadolab. Retrieved 03, 08, 2014, from : http://www.gerip.com/shop/article_diadolab_86.html
- Raynaud, S., Geneste, J. (2004). Articulation de la parole et apprentissage de la lecture. *Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 75, 181-188
- Serrurier, A. & Badin, P. (2008). A three-dimensional articulatory model of the velum and nasopharyngeal wall based on MRI and CT data. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(4), 2335-2355.
- Stoel-Gammon, C., & Otomo, K. (1986). *Babbling Development of Hearing-Impaired and Normally Hearing Subjects*. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 51(1), 33.
- Teichmann, M., Darcy, I., Bachoud-Lévi, A. C., Dupoux, E. (2009). *The role of the striatum in phonological processing: evidence from early stages of Huntington's disease*. *Cortex*, 45(7):839-49.
- Thibault, C. (2007). *Orthophonie et oralité la sphère orofaciale de l'enfant*. Elsevier-Masson
- Thibault, C., (2004). Les troubles de l'oralité alimentaire chez l'enfant. *Rééducation orthophonique*, 220. Paris : Fédération Nationale des Orthophonistes.
- Vaissière, J., (2006). *La Phonétique*. Que sais-je. Paris : Presses Universitaires de France.
- Vannier, S. (2008). *Evaluation de la sphère oro-faciale chez l'enfant âgé de 5 à 6 ans : élaboration et validation d'un outil d'évaluation auprès de 164 enfants*. Mémoire d'orthophonie, Université de Montpellier.
- Wrench, A. A., Gibbon, F. E., McNeill, A. M., Wood, S. E. (2002). *An EPG therapy protocol for remediation and assessment of articulation disorders*. In John, Hansen and Pellom (eds.) *Proceedings of ICSLP-2002*, 965-968.

