

Diadolab : un outil de simulation des mouvements de la parole pour la prise en charge des troubles articulatoires et phonologiques

Anne Menin-Sicard*, Etienne Sicard**

* Orthophoniste, master en sciences du langage, 8 rue de Nîmes, 31400 Toulouse
anne.sicard2@orange.fr

** Professeur à l'INSA de Toulouse, département de génie électrique et informatique, 31077 Toulouse
etienne.sicard@insa-toulouse.fr

Résumé :

Les troubles articulatoires et phonologiques sont au cœur de la problématique orthophonique. Si le déficit de la proprioception articulatoire apparaît comme une évidence dans le cadre des troubles d'articulation ou de la dyspraxie verbale, elle l'est moins dans les troubles du langage écrit. Dans cet article nous évoquons le travail réalisé par des chercheurs et cliniciens dans le domaine de la conscience articulatoire et le lien avec les difficultés de lecture. Nous décrivons aussi les outils développés depuis une dizaine d'années, destinés à fournir au locuteur des informations sur sa propre articulation. Dans une deuxième partie, nous décrivons le logiciel Diadolab, ses différents modules, ses fonctionnalités ainsi que ses applications pour les pathologies concernées. Nous avons conclu cette présentation par un bref exposé de notre démarche scientifique en vue d'une validation future de l'outil. Diadolab est un outil de modélisation de la parole, complémentaire de Vocalab, élaboré en premier lieu pour renforcer la pratique clinique orthophonique.

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

Diadolab : a simulation tool illustrating speech movements for handling articulatory and phonological disorders

Summary:

Articulatory and phonological disorders are at the heart of the speech therapy. If the deficit of articulatory proprioception seems obvious in the context of articulatory disorders or verbal dyspraxia, it is less so in the written language disorders. In this paper, we discuss the results obtained by researchers and clinicians in the field of consciousness of articulation and the link with reading difficulties. We also describe the tools developed over the past ten years, intended to provide the patient information on its own articulation. In the second part, we describe the software Diadolab, its modules, its applications to the features and its target disorders.

Key words : talking heads, visualization of articulators, articulatory awareness, deafness, modeling of articulators, phonological disorders.

----- GENESE DU PROJET DIADOLAB -----

Le feed-back visuel des paramètres principaux de la voix est un outil puissant, à haute valeur ajoutée dans la pratique orthophonique, que ce soit en bilan ou en rééducation. En particulier le spectrogramme en temps réel, tel qu'implémenté dans le logiciel Vocalab (Menin-Sicard, Sicard, 2004), est largement utilisé pour la rééducation de multiples pathologies de la voix (Menin-Sicard, Sicard, 2009). Il manquait cependant une donnée fondamentale à ces données objectives : la configuration des articulateurs de la parole. La voix et la parole sont en effet étroitement liées et il est difficile d'envisager l'une sans prendre en considération l'autre. Montrer la place, la position et le mouvement des articulateurs pour chaque phonème est une étape indispensable. L'idée était de développer un outil permettant de travailler la conscience articulatoire et de rendre explicites des données proprioceptives auxquelles l'individu n'accède pas spontanément mais qui sont disponibles.

Tout comme Vocalab, la spécification s'est faite en partant de la pratique clinique. Elle s'est enrichie et précisée par des recherches menées dans le cadre d'un master en Sciences du Langage à l'université Stendhal de Grenoble (Menin-Sicard, 2007). Nous avons cherché à évaluer les capacités de conscience articulatoire de sujets sains et les comparer à des sujets présentant des troubles d'articulation. Ce travail a permis d'élaborer un premier protocole d'évaluation de la conscience articulatoire. Il a été administré à des sujets tout-venants et à des sujets suivis en orthophonie. Les premiers résultats étaient encourageants mais un travail portant sur un plus grand nombre de sujets permettrait de rendre les résultats plus explicites. Ce protocole d'évaluation de la conscience articulatoire a été repris et amélioré dans le cadre d'un mémoire d'orthophonie soutenu à Toulouse (Alcala, Faucher, 2009). Les résultats de l'étude portant sur 18 sujets montraient une amélioration significative des performances en conscience articulatoire et en conscience phonologique du groupe d'enfants ayant bénéficié d'un entraînement avec des supports imagés statiques illustrant la position des articulateurs. L'importance des capacités phonologiques et donc méta-phonologiques pour l'acquisition de la lecture a été largement décrite dans la littérature.

En s'inspirant des travaux sur la tête parlante développée au laboratoire GIPSA Lab (Badin et al., 2007), nous avons conçu un logiciel permettant de travailler spécifiquement la conscience articulatoire, sur la base d'animations simulant les phonèmes et les séquences articulatoires nécessaires à la prononciation de mots. Dans cet article, nous donnons quelques bases théoriques dans le domaine de la conscience articulatoire, puis nous détaillons l'architecture du logiciel Diadolab en explicitant l'intérêt de chaque module. Enfin, nous discutons des résultats préliminaires en évoquant quelques applications réussies.

----- BASES THEORIQUES -----

Nous présentons ici une revue des travaux effectués dans le domaine de la conscience articulatoire ainsi qu'un état des lieux des outils existants pour la prise en charge des troubles phonologiques. Nous ne pouvons évoquer la rééducation de la parole sans citer les travaux de S. Borel-Maisonny, éminente fondatrice de notre profession. Dans les années 70, elle a décrit très précisément grâce à des radiographies, la position des articulateurs pour chaque phonème et a élaboré à partir de ces clichés des schémas appelés ortho-diagrammes, supports préalables à sa méthode appelée phonético-gestuelle encore largement utilisée (Borel-Maisonny, 1972).

Une représentation sensorimotrice d'un phonème trop peu précise a pour conséquence des difficultés de production. Cette imprécision aura un impact sur l'enchaînement et sur la coordination des mouvements. Le répertoire phonétique peut être perturbé à des degrés divers et pour différentes raisons parmi lesquels un défaut de configuration de la langue, un frein trop court, un dysfonctionnement oro-facial d'origine neurologique, des troubles de la respiration tels que la ventilation buccale exclusive, les malformations de la sphère oro-bucco-faciale ou encore les troubles de la sensibilité oro-buccale (hyper ou hypo) retrouvés chez des enfants IMC ou porteurs de syndromes rares tels que le syndrome de Prader-Willi. Ces dysfonctionnements entraînent souvent une perturbation proprioceptive orale plus ou moins importante. Les points de contact entre la langue et le palais peuvent alors ne pas pouvoir s'installer et encore moins s'automatiser correctement. Les troubles de la maturation neurosensorielle sont aussi fréquents chez les grands prématurés et les enfants présentant un syndrome entraînant des malformations touchant la sphère oro-faciale. L'alimentation par voie entérale ou par sonde peut aussi perturber durablement l'oralité des tout-petits et générer par la suite d'importantes difficultés praxiques (Mellul, Thibault, 2004). Un travail spécifique veillant à dissocier les mouvements est alors nécessaire. 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 peut en être perturbé.

De nombreux travaux tels que ceux de Liberman et Mattingly (1985) ont ouvert le champ de la multi-modalité de la parole. Cette célèbre étude a donné lieu à la théorie motrice de la perception de la parole. Celle-ci démontre que nous percevons les mouvements articulatoires du locuteur, « *ses intentions motrices* », grâce aux sons qu'il émet, rendant ainsi ses mouvements « audibles ». Autrement dit, les unités de perception de la parole sont à mettre au niveau des processus moteurs sous-jacents et non au niveau de la perception acoustique. La représentation du phonème est donc autant motrice qu'auditive. Raynaud et Geneste (2004) démontrent quant à eux, une forte corrélation entre habiletés métaphonologiques et un babillage pauvre. Les auteurs montrent qu'un défaut d'entraînement du schéma de parole à un âge où il doit l'être, ou encore un problème au niveau du substrat cérébral comme une fragilité familiale ou une souffrance néonatale peuvent également être avancés comme cause de la connexion défailante entre schèmes auditifs et moteurs ayant pour conséquence un défaut de contrôle phonologique.

Le processus de la parole lui-même fournit des informations proprioceptives par l'intermédiaire des points et surfaces de contact des parties les plus sensibles, car très innervées des articulateurs (la pointe de langue, les alvéoles et les lèvres) et celles-ci sont normalement détectables. L'accessibilité à ces informations peut cependant varier d'un enfant à un autre. Si un sujet n'est pas capable d'accéder à ce système de repérage articulatoire, l'habileté à parler est forcément perturbée.

Une étude récente (Joly-Pottuz et al., 2008) conclut à un bénéfice statistique significatif à combiner un entraînement articulatoire avec des exercices phonologiques plus classiques. Ce dispositif semble aider à restaurer progressivement l'interface entre un message auditif contenant une information phonémique et un stimulus à caractère visuel transmettant les caractéristiques bucco-faciales du même phonème. Autrement dit, le travail articulatoire apparaît donc comme étant efficace pour améliorer et/ou renforcer une représentation phonémique pauvre. Il semble alors important pour les orthophonistes de disposer d'un outil permettant au sujet d'avoir accès à ce type d'information articulatoire et de pouvoir les

visualiser en temps réel ou en différé. A la lumière de ces résultats qui tendent vers un certain consensus, nous nous pencherons sur les outils existants permettant la visualisation des articulateurs de la parole ou étayant le développement des capacités proprioceptives articulaires.

Nous situons au début des années 90 l'apparition des travaux sur la visualisation des organes de la phonation appliqués à la rééducation orthophonique. Fletcher (1991) a montré qu'un entraînement intensif avec l'électropalatographie permettait au patient d'améliorer très significativement la prononciation des consonnes chez 5 sourds profonds. 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 vélares étant aussi plus facilement acquis que les contacts alvéolaires. Les résultats finaux montrent que le feed-back visuel des modèles articulaires - notamment celui des contacts postérieurs (linguo-palatal) - est un moyen efficace pour améliorer l'intelligibilité des patients. Cette technologie de feed-back, bien que complexe de mise en œuvre, se révèle (Dent, 1995) être intéressante pour les pathologies de l'articulation. L'inhibition des schémas moteurs défectueux et la mise en place de nouveaux gestes articulaires deviennent alors possibles. Elle est cependant limitée en clinique car invasive et contraignante.

Un peu plus tard Wrench et al. (2002) à Edinburg 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. Des calculs dits de centre de gravité ainsi qu'un index de variabilité permettent d'obtenir des informations sur le degré de justesse et de stabilité du point d'articulation. L'évolution temporelle du signal acoustique est donnée parallèlement. De nombreux auteurs sont convaincus de l'intérêt de cette technique pour la rééducation des troubles d'articulation (Gibbon et al., 1999). Forte de ces résultats pour des pathologies classiques, l'équipe d'Edinburg, particulièrement en avance dans le domaine, a utilisé l'électropalatographie pour des pathologies plus lourdes telles que le syndrome de Down pour laquelle les dysarthries sont fréquentes. Gibbon et al. (2003) ont conduit avec succès une thérapie assistée par l'électropalatographie avec une fillette âgée de 10 ans atteinte d'un trouble d'articulation et d'un dysfonctionnement vélaire.

Le système suédois ARTUR d'Engwall (2008) fonctionne de la façon suivante : une caméra filme le locuteur, le système déduit la position des organes par inversion articulaire et affiche sur un modèle en 3D la position de la langue du locuteur (têtes parlantes). Ces données visuelles complètent efficacement l'aide auditive et celle apportée par la visualisation du signal acoustique. Celle-ci apporte déjà une aide précieuse pour le paramètre de voisement notamment et pour l'aspect rythmique et prosodique du langage. Il est nécessaire de fournir un feed-back articulaire susceptible de renseigner le locuteur sur cette position correcte. Le *virtual language tutor* est développé pour l'apprentissage des langues mais pourrait tout aussi bien être utile dans le cadre de l'orthophonie. Oster et al. (2002) ont développé un projet appelé OLP (Ortho-Logo-Paedia) disponible sur internet destiné à aider les patients atteints de troubles sévères d'articulation. Ce projet est basé sur deux modules : le premier appelé OPTACIA permettant de visualiser la configuration du conduit vocal ainsi que les trajectoires

des mouvements de la langue et GRIFOS, système de reconnaissance automatique de la parole permettant d'analyser la parole et de juger de son degré d'intelligibilité.

Plusieurs laboratoires travaillent à l'élaboration d'outils permettant une visualisation en temps réel des articulateurs du sujet. 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 stéréoscopie d'un locuteur (Badin et al., 2007 ; Serrurier, Badin, 2008). Le logiciel 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, Serrurier, 2006).

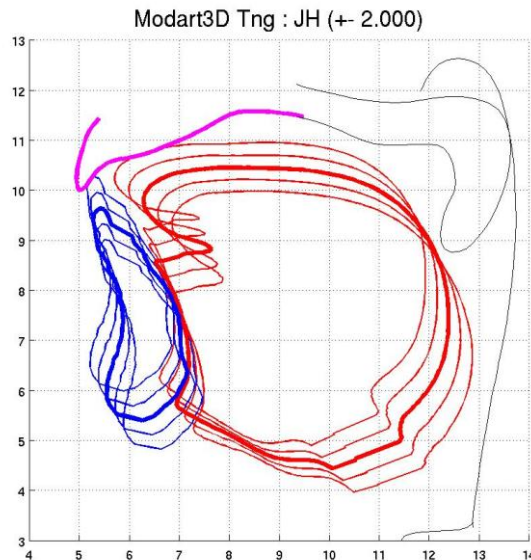


Figure 1. Variation de deux écarts-types du degré de liberté « Hauteur de la Mâchoire » (Jaw Height, JH, selon Badin, 2007).

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 et al. (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 "JH", correspond à une rotation globale de la masse de la langue autour d'un point situé à l'arrière (fig. 1). Les composantes corps de langue (TB), et dos de langue (TD) correspondent respectivement à des mouvements avant-arrière et aplatissement-bombement. Les composantes hauteur d'apex (TTV) et avancée d'apex (TTH) correspondent respectivement principalement à des mouvements verticaux et horizontaux de la pointe de la langue. D'autre part, le modèle de voile du palais comporte une composante principale VL qui correspond à un mouvement oblique haut-bas d'ouverture/fermeture du port vélopharyngé.

Une autre piste concerne aussi le système d'échographie ultrasonique permettant de visualiser en temps réel le mouvement de la langue, utilisé notamment par Stone et al. (1983) pour l'étude de la parole. Cette technique est peu invasive mais ne permet cependant pas de percevoir correctement l'apex de la langue ni les contours précis du voile. Elle nécessite de plus l'immobilisation de la tête du sujet. Un système plus sophistiqué développé par Denby et Hueber (2009) appelé Visart3D permettrait de décoder la parole et de reconstituer un signal

acoustique à partir des données d'une caméra filmant la bouche du locuteur et les données provenant de l'échographe. Ce système nécessite une phase d'apprentissage préalable, ce qui en limite l'utilisation en clinique pour le moment.

Ces recherches sont déterminantes pour l'avenir. Si ces outils ne sont pour le moment pas utilisables en clinique à cause des contraintes techniques et financières qu'ils imposent, leur adaptation serait appréciable. Pour être réellement utilisables à long terme, ces systèmes doivent s'ajuster finement aux contraintes et attentes de l'utilisateur.

Après avoir évoqué ces fondements théoriques, nous exposons l'architecture et détaillons les fonctionnalités de notre outil appelé Diadolab.

----- ARCHITECTURE ET FONCTIONNALITES DE L'OUTIL -----

DIADOLAB est un programme informatique conçu pour montrer la position et le mouvement des articulateurs de la parole. Il permet de travailler spécifiquement la conscience articulo-phonatoire et la programmation motrice de la parole. Diadolab propose un ensemble de modules et outils permettant de travailler de façon analytique et précise les praxies fines, la conscience articulo-phonatoire, la diadococinésie, l'articulation, la parole, ainsi que le lien graphie/phonie. Une tête parlante réaliste simule tous les phonèmes et séquences articulo-phonatoires nécessaires à la prononciation des mots. Il est conçu pour aider l'orthophoniste à accompagner les patients présentant des pathologies de la production de la parole telles que les troubles d'articulation, les troubles phonologiques, la dyspraxie, la déficience auditive, le bégaiement et la dysarthrie. Il peut être aussi utilisé dans le cadre de l'illettrisme et de la dyslexie phonologique. Il comporte quatre modules principaux : Praxies, Articulation, Parole et Lecture. Nous allons les détailler et illustrer avec quelques exemples d'utilisation.

1. Module Praxies

Le module "Praxies" permet d'animer une tête parlante, de connaître et mobiliser chaque articulateur suivant ses degrés de liberté propres. Le patient découvre ainsi les articulateurs difficilement accessibles (langue et voile) leur place dans le conduit vocal, leur configuration et leur mouvement. Les modes d'articulation (occlusif/constrictif) ainsi que les lieux de contact possibles de la langue au palais (alvéolaire, dental, vélaire) sont aussi représentés. Le dégradé de gris qui colore le conduit vocal permet de symboliser la pression (variable selon les phonèmes). Les taches colorées sur le palatogramme permettent de représenter le lieu et la surface de contact propre à chaque phonème.

Dans le cadre clinique, les orthophonistes ont besoin de montrer de façon la plus explicite possible tous les traits distinctifs des phonèmes permettant de lever les ambiguïtés phonologiques : le souffle pour les constrictives, la pression pour les occlusives, la vibration laryngée pour les sonores, le passage de l'air dans les cavités nasales pour les phonèmes nasaux. Le concept de réalité augmentée a été utilisé afin de focaliser l'attention du patient sur ces points pertinents. Ce module (Fig. 2) permet aussi de montrer la place du larynx dans le cou, la forme et le volume des principaux résonateurs utiles dans le cadre de la prise en charge des troubles de la voix mais aussi la position de la langue pour les malpositions linguales et dysphagies.

Par exemple l'épaississement des traits et la simulation de l'écrasement permettent de représenter la force de contact. C'est un support appréciable pour développer le schéma corporel intra buccal, la proprioception fine des organes et structures impliqués dans la production de la parole. Dans un certain nombre de troubles orthophoniques, des difficultés de dissociation de mouvements sont retrouvées. Ces difficultés de mouvement induisent des syncinésies (le patient ne peut mobiliser un articulateur sans en mobiliser un autre ce qui perturbe le résultat attendu).

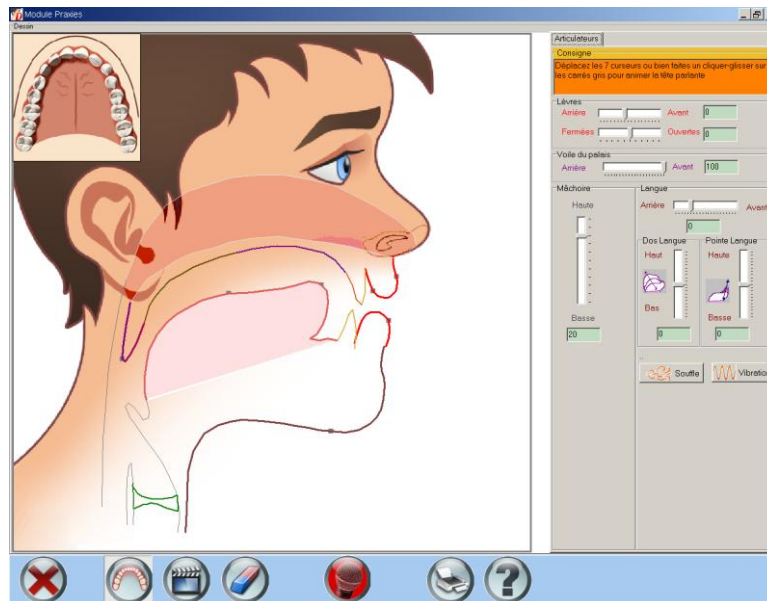


Figure 2. Module Praxies.

Le thérapeute anime lui-même la tête parlante en déplaçant les curseurs. Chaque curseur correspond à un degré de liberté. Les 7 curseurs représentent les degrés de liberté principaux de la mâchoire, de la langue et des lèvres, inspirés des recherches faites dans le cadre du laboratoire Gipsa Lab à Grenoble (Badin et al., 2007). Le travail praxique devient alors précis et ciblé sur les zones de contact les plus sensibles car les plus sollicitées lors de la parole (zone alvéolaire ou vélaire) et/ou les moins accessibles (zone palatale). Le patient peut lui-même piloter la tête et reproduire les mouvements à une vitesse déterminée par le praticien. Le patient est aidé dans la prise de conscience des mouvements possibles de la langue, de ses points de contact et apprend à dissocier chaque articulateur. Le module permet en outre de montrer des mouvements rapides et précis difficiles à montrer sur soi. Ce travail soutient la motivation du patient souvent peu motivé par ce type d'activité.

2. Module Articulation

Le module Articulation est particulièrement utile dans le cadre des troubles de type phonétique (trouble d'articulation, dyspraxie verbale, dysarthrie). Il comporte trois sous-modules : Phonèmes, Diadococinésie et Son/profil.

Le sous-module "Phonèmes" permet de travailler essentiellement le répertoire phonétique (Fig. 3). Il contribue à fiabiliser le lien entre un stimulus sonore, une représentation visuelle

de la position des articulateurs et la graphie correspondante. Tous les éléments distinctifs sont représentés pour chaque phonème : le lieu de contact (alvéolaire, dental, labial, vélaire ou dorsal), le mode de contact (occlusif, constrictif ou liquide), la nasalisation (non contraction du voile), la sonorisation (vibration laryngée) et enfin le souffle et sa pression dans le conduit vocal. L'allure temporelle permet de faire le lien avec les modalités d'émission du son et ses caractéristiques acoustiques. Il est simple mais se révèle efficace pour aider le sujet à positionner sa langue correctement.

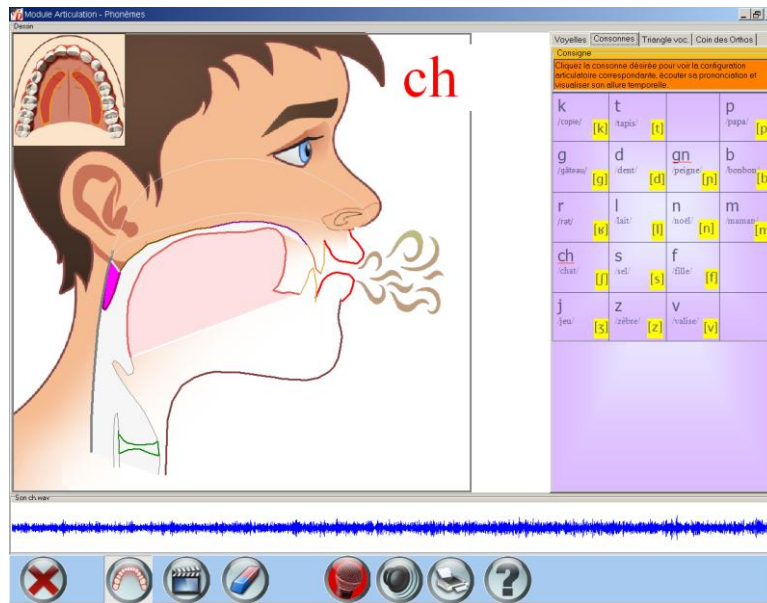


Figure 3. Module Phonèmes.

Les voyelles ont été classées par superposition au triangle vocalique. Lorsque le patient clique sur une case, il entend le son du phonème isolé et peut voir en même temps la position des articulateurs ainsi que les traits distinctifs qui le caractérisent. Le signe phonétique est ajouté ainsi que les différentes graphies homophones (ex : ain, in, ein). L'affichage optionnel du palatogramme permet aussi de renseigner le patient sur la surface et la pression de contact sur le palais pour chaque phonème. Le deuxième onglet qui concerne les consonnes est construit sur le même principe. Un support pédagogique permet d'illustrer des cours de phonétique/acoustique et de comprendre les concepts théoriques tels que les arbres de confusion ainsi que le triangle vocalique.

Ce module peut donner lieu à des activités de recherche ou de devinette. Ces activités très appréciées de l'enfant même en très grande difficulté phonétique (dyspraxie verbale) et phonologique (dysphasie) permettent de mettre en place très tôt (dès 3 ou 4 ans) un positionnement juste, précis et optimal des articulateurs et d'éviter que ne se fixent des gestes erronés particulièrement résistants ensuite à toute modification. En outre, la présentation de la graphie permet de familiariser précocement l'enfant avec la lecture et d'automatiser le plus tôt possible le lien entre graphie, phonie et positionnement articuloire.

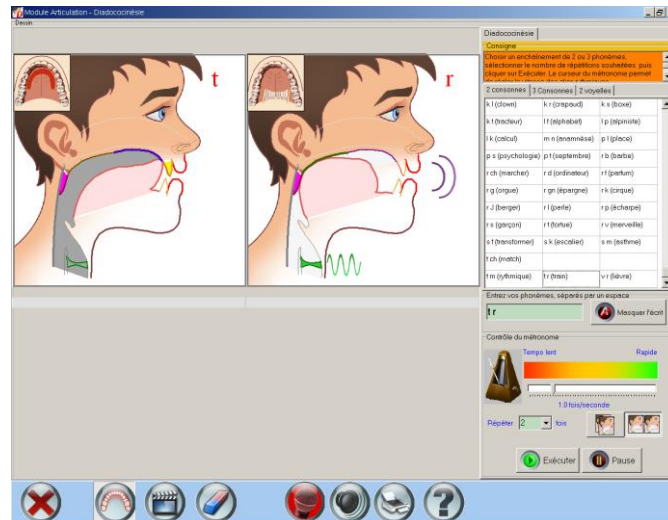


Figure 4. Module Diadococinésie.

Le sous-module “Diadococinésie” permet de travailler spécifiquement des transitions vocaliques et consonantiques (Fig. 4). Le contrôle phonologique est lié au choix et à l’agencement des phonèmes dans la syllabe (Borel-Maisonny, 1972). Une tâche de type diadococinésique consiste à faire répéter un, deux ou trois phonèmes successivement et le plus vite possible (ex : [p][t][k]). Elle permet de mesurer la capacité du sujet à produire des mouvements alternatifs rapides avec précision et tonicité, ce qui est le garant de la rapidité d’exécution. Cette tâche existe dans les bilans de la dysarthrie mais pas dans les bilans classiques destinés aux enfants. Un adulte peut produire 6 à 7 syllabes par seconde, un peu moins pour les enfants avant l’âge de la puberté (Kent, 1997).

Le phonème isolé peut être produit correctement isolément mais être altéré dès lors qu’il est co-articulé ou entraîner des syncinésies (un articulateur est entraîné à tort et contribue à ralentir voire altérer le mouvement de l’autre). La syllabe subit alors des déformations plus ou moins importantes en fonction du degré d’atteinte de cette fonction de coordination. Cela peut se traduire par des altérations du débit (accélération ou ralentissement, diminution de la tonicité et donc de la précision des mouvements articulatoires). C’est le passage rapide d’un mouvement à un autre qui est travaillé spécifiquement. Ce module est utilisé dans le cadre des troubles de la parole légers à sévères (TSLO) mais aussi dans le cadre du bégaiement. Un déficit diadococinésique est aussi fréquemment retrouvé dans le cadre des dysarthries.

Cette dynamique peut être perturbée, ralentie voire laborieuse ou à l’inverse accélérée. Cet outil permet de travailler la diadococinésie de façon méthodique, précise et adaptée aux difficultés. Ce module est indiqué pour un travail de coordination des articulateurs sur des transitions simples et complexes. Le thérapeute choisit une séquence vocalique ou consonantique de deux voire trois phonèmes et demande au patient de la répéter lentement puis de plus en plus vite.

Le module comporte un métronome permettant de travailler la régularité de l’enchaînement. Pour obtenir une intelligibilité maximale au regard des possibilités du patient, les mouvements doivent être bien dissociés, précis (place et mode de contact), rapides (ce qui nécessite une certaine précision et tonicité) et réguliers (contrôle du débit). Tous ces paramètres sont aisément dissociables avec Diadolab.

L’objectif est donc de travailler spécifiquement des enchaînements articulatoires particuliers. Deux listes en partant du plus facile au plus difficile sont proposées. Suivant le choix du

thérapeute dans une liste prédéfinie, la tête parlante va exécuter la série de phonèmes de façon rythmée. La vitesse peut être réglée précisément.

Il a été utilisé avec des patients adultes atteints de dysarthries neurologiques et le fait d'être contraint de respecter un rythme précis et de visualiser le mouvement exact leur apportait une aide significative. La liste des transitions consonantiques présentes en français permet d'apporter au thérapeute un cadre méthodologique lui permettant d'être efficace.

Par exemple, si le patient ne parvient pas à dire le mot « tracteur » et qu'il le substitue en « crateur », l'orthophoniste va choisir la série T-R. L'enfant va visualiser le mouvement et l'enchaînement des deux positions articulatoires de façon répétée et rythmée. Il va devoir se « caler » sur la tête parlante et l'exécuter de façon synchrone lentement puis de plus en plus vite.

Le sous-module «Son/profil» est un petit jeu permettant de vérifier le travail proprioceptif fait en amont. L'enfant doit déjà être familiarisé avec les articulateurs et ses degrés de liberté (praxies) ainsi qu'avec les traits distinctifs pour pouvoir réussir ce jeu. Le patient écoute un phonème et doit y associer un profil articulatoire parmi trois présentés, en tenant compte de tous les traits distinctifs (Fig. 5). La progression va du plus simple au plus complexe. Le patient va devoir associer un profil (configuration particulière des articulateurs) avec le son qu'il entend. Le palatogramme auquel il est familiarisé le renseigne sur la surface de contact ainsi que le mode d'articulation. L'orthophoniste attire l'attention du patient sur les éléments pertinents des profils (voisement, nasalité, souffle, pression) et sur le palatogramme pour l'aider au moins au début.

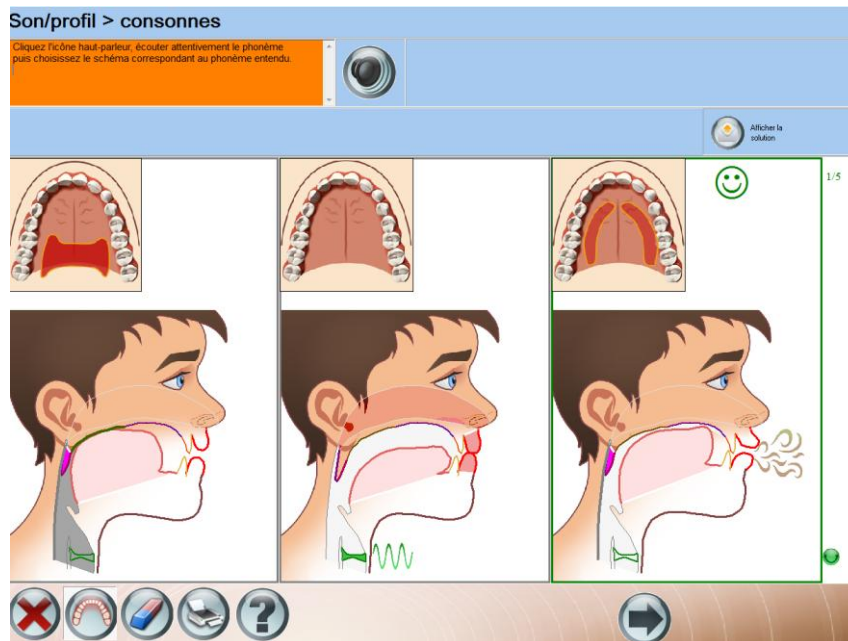


Figure 5. Module Son/profil.

3. Module Parole

Ce module comporte une tête-parlante animée qui prononce lentement, phonème par phonème des séquences ou des mots préalablement saisis. Ce module comporte 3 sous-modules destinés à travailler plus spécifiquement le contrôle phonologique.

Le premier sous-module appelé “Diphtongues” est basé sur le même principe que le module « articulation ». Un tableau présente le répertoire phonologique correspondant à des graphies particulières en français. Celles-ci posent très souvent des problèmes aux patients ayant des difficultés phonologiques dans la mesure où la correspondance phonème-graphème n’est pas congruente et que les graphies comportent souvent des phonèmes vocaliques très proches acoustiquement parlant (Fig. 6). Il est donc important de retravailler spécifiquement ces diphtongues (enchaînements de deux phonèmes) et triptongues (trois phonèmes).

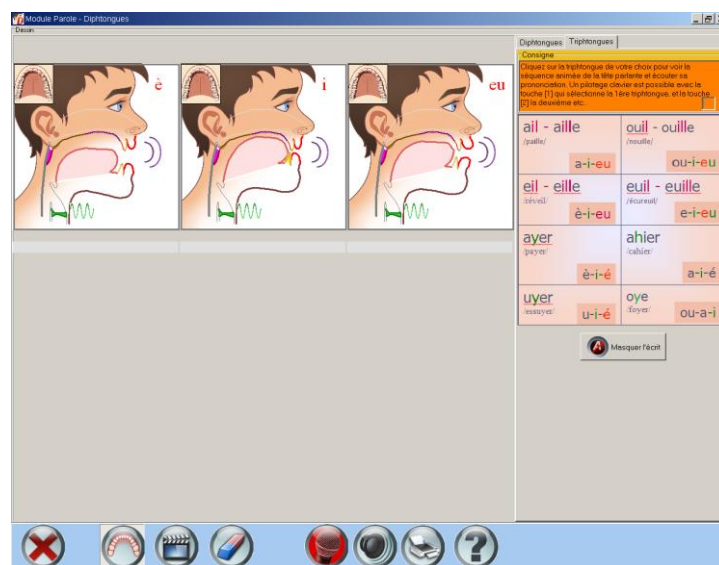


Figure 6. Module Diphtongues.

Le sous-module “Parler” est conçu pour aider le patient à contrôler la séquence articulaire nécessaire à la prononciation d’un mot difficile comme par exemple « tracteur », « spectacle » ou encore « infarctus ». Ce sous-module permet d’aider le patient à décomposer chaque mouvement d’un mot (Fig. 7).

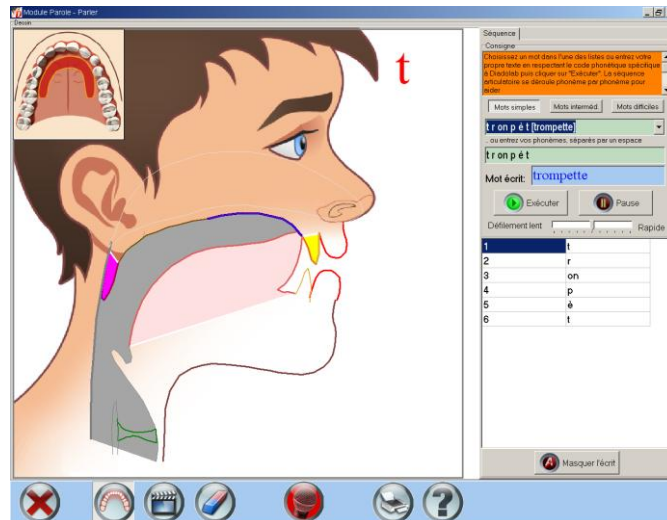


Figure 7. Module Parler.

Si l'enfant est entraîné très tôt à segmenter les unités phonémiques et peut compenser par un apprentissage explicite de type visuel de la séquence à réaliser, il sera fortement aidé non seulement pour améliorer son intelligibilité mais aussi pour le passage à l'écrit.

La base de données de mots comporte trois niveaux différents. Le niveau 1 correspond à des mots courants souvent altérés par les enfants car comportant une séquence articulatoire complexe. Le niveau 2 est plus difficile et peut être utilisé pour des enfants plus grands. Le niveau 3 est conçu pour les adultes.

Lorsque le patient altère une séquence articulatoire (simplification, anticipation, substitution etc), la tête-parlante prononcera lentement, phonème par phonème la séquence articulatoire, selon le code de Diadolab. Ex : cathédrale => k a t é d r a l ; automne => au t o n. Le thérapeute rentre la séquence dans l'espace prévu à cet effet en respectant le code de décomposition phonémique. Il clique sur « exécuter » pour que la séquence de phonème défile à une certaine vitesse. Il invite son patient à regarder attentivement la séquence. Puis il repasse la séquence en adaptant la vitesse de défilement. Le pilotage par clavier permet de contrôler manuellement le défilement, de s'arrêter sur un phonème ou de simuler un découpage syllabique.

Les phénomènes de coarticulation ne sont volontairement pas modélisés afin d'accentuer sciemment les composantes propres à chaque phonème, la coarticulation étant un phénomène normal de simplification articulatoire par anticipation. Le thérapeute peut insister sur certaines transitions difficiles. L'erreur ou les erreurs commises permettent de déterminer quelle transition articulatoire pose problème et pour quelle raison, et quel exercice de type diadococinésique sera alors proposé pour y remédier. Il est utile dans de multiples pathologies, notamment pour les patients atteints de déficience auditive.

Une activité de jeu incluse dans le sous-module "Lecture Linguale" permet de voir si le patient est capable de deviner un mot en analysant la succession de mouvements de la langue (Fig. 8). La lecture linguale requiert un bon niveau de conscience articulatoire que le patient intégrera progressivement en associant une représentation sonore avec une image articulatoire précise.

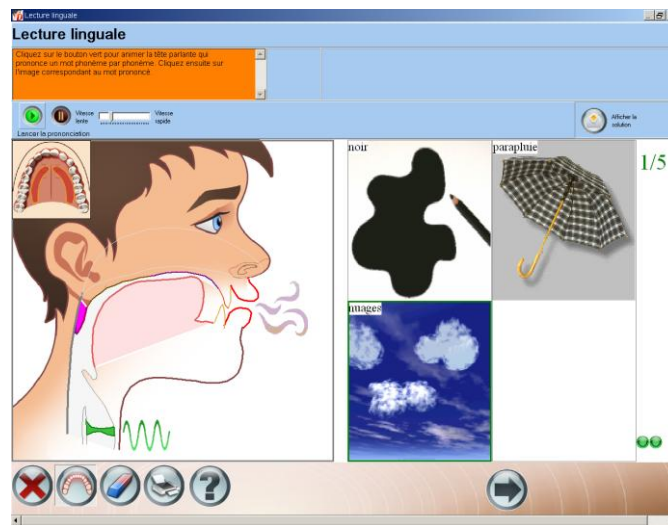


Figure 8. Module Lecture linguale.

Le niveau 1 comporte des mots très différents tant sur la longueur que sur son contenu phonémique (ex : nuage/parapluie/noir) et le niveau 2 comporte des listes de mots proches sur le plan phonémique (gâteau, bateau, râteau).

4. Module Lecture

Le module “Lecture” est destiné aux apprentis-lecteurs, aux enfants dyslexiques phonologiques ou aux patients en situation d'illettrisme. Il va les aider à acquérir le symbolisme de l'écrit en s'appuyant sur les compétences phonologiques préalablement travaillées. Il s'agit de montrer que le continuum sonore de type temporel peut avoir une représentation graphique de type spatial. Il permet de construire, fiabiliser et donc automatiser le lien graphie/phonie, nécessaire à la mise en place de la lecture par la voie d'assemblage. Celle-ci est déficitaire, fragile et extrêmement difficile à mettre en place chez les sujets dyslexiques, dysphasiques (de type phonologique). Il sera aussi très utile dans le cadre de la prise en charge de la déficience auditive et de l'illettrisme. Il comporte trois sous-modules : graphie/profil, construire une séquence et identifier une séquence. Le stimulus n'est plus auditif mais graphique. Le patient doit identifier une graphie ou lire une petite syllabe et trouver le ou les profils associés à ces syllabes dans l'ordre. Il permet au patient d'accéder à la lecture de petits mots de 3 phonèmes puis 4 phonèmes, ce qui est représentatif d'une syllabe et correspond à l'empan de lettres par saccades oculaires.

Le sous-module graphie/profil est basé sur le même principe que le module son/profil. La graphie est présentée en haut de l'écran avec 2 écritures différentes (script, cursive), en mode majuscule et minuscule. Le patient lit la graphie et clique sur son profil correspondant parmi un choix restreint (Fig. 9). Pour réussir le jeu, le patient doit s'appuyer sur ses compétences en conscience articulaire pour faire le choix du profil. L'orthophoniste assiste le patient dans la réalisation de la tâche en pointant du doigt les éléments à prendre en compte et en commentant oralement les stratégies déployées pour choisir un profil.

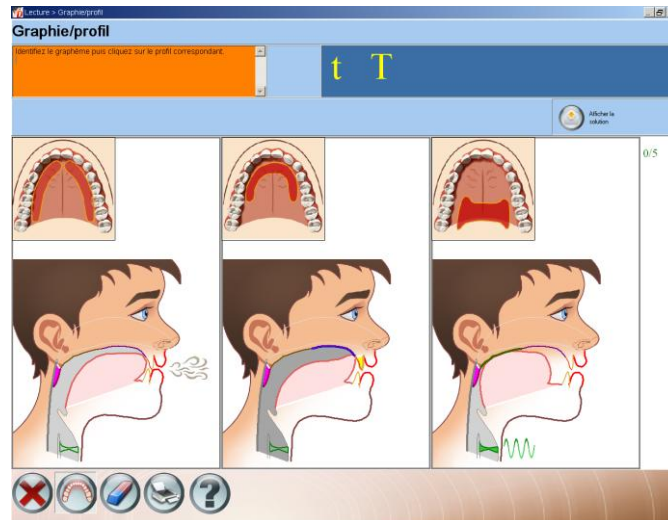


Figure 9. Module graphie/profil.

Le sous-module “Construire” permet de construire une séquence préalablement lue en choisissant dans l’ordre les profils correspondants (Fig. 10). L’écrit vient ainsi renforcer l’oral et vice versa.

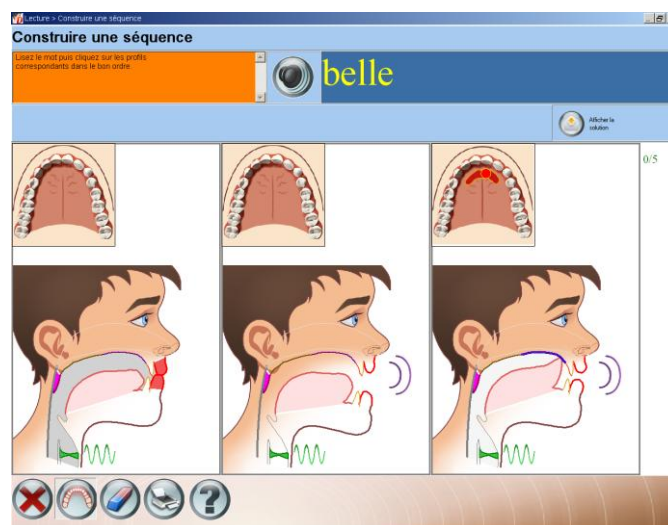


Figure 10. Module Construire.

Le sous-module “Identifier” : le patient « lit » dans le sens de la lecture une séquence de profil et doit deviner de quelle syllabe de trois graphies il s’agit (exemple de la fig. 11 : /gra/gar/rag). Cette activité permet de réduire les erreurs de type inversions fréquentes chez les dyslexiques. Des fonctionnalités intéressantes et complémentaires rendent l’outil flexible et adaptable à des activités diverses. L’orthophoniste peut enregistrer les productions de l’enfant pour les lui faire analyser en différé, masquer le texte pour des activités de devinettes. Certaines options permettent aussi d’adapter finement le travail aux compétences du patient.

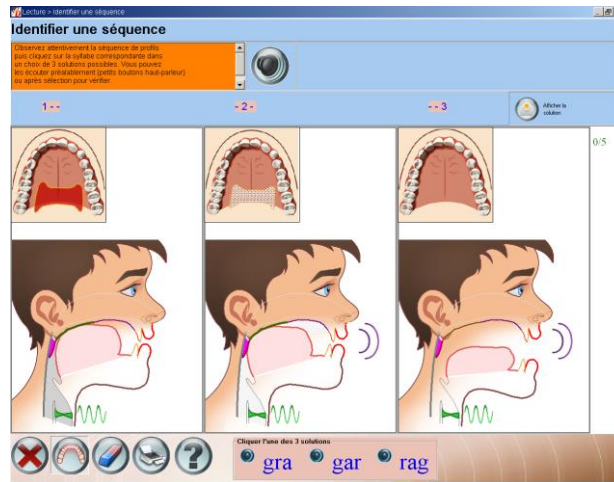


Figure 11. Module Identifier.

De plus l'ergonomie et les techniques de réalité augmentée permettent de focaliser l'attention du patient sur des éléments pertinents (palatogramme, voisement, coloriage des lèvres), ce qui en augmente l'impact. L'impression avec ou sans la graphie des profils sur du papier bristol permet une utilisation plus traditionnelle au bureau. Les listes de mots classés par difficulté croissante constituent une base de données précieuse pour un travail rigoureux.

Un recul de deux années d'utilisation clinique permet d'observer plusieurs indicateurs positifs. Le support visuel aide à la représentation mentale et donc à la compréhension fine des processus de parole. Ce support simple et stylisé se révèle adapté aussi bien aux enfants (à partir de 4 ans) qu'aux adultes. Il montre une réelle efficacité si le travail analytique, progressif et méthodique est respecté. Les premiers résultats sont encourageants notamment avec des sujets atteints de dyspraxies, dysphasies et surdités.

La mise au point du protocole d'évaluation de la conscience articulatoire et son utilisation dans une batterie d'évaluation du langage oral est en cours. Ce travail d'étalonnage des résultats à cette épreuve permettra plus tard de mener une étude à grande échelle permettant de confirmer ou d'infirmer l'efficacité de Diadolab. La validation par l'usage complètera utilement cette démarche qui rentre dans le cadre des pratiques probantes.

Le logiciel a été confié à une quinzaine de praticiens experts susceptibles de tester les fonctionnalités du logiciel, d'évaluer son efficacité clinique et de proposer des pistes d'amélioration. Sur une période d'un an environ, plus de 200 suggestions ont été émises et traitées dans les versions prototypes successives, qui ont ensuite été resoumises aux testeurs pour validation. Grâce à ce retour très riche et approfondi, les incohérences ont été corrigées, le modèle des articulateurs a été affiné et complété, les fonctionnalités ont été enrichies et optimisées sur chaque module. Le logiciel a été déployé graduellement, sans souci particulier, avec un retour d'utilisation qui sur un an s'avère très positif. Le logiciel s'est montré particulièrement performant dans un rôle illustratif et pédagogique dans les formations continues et formations initiales en écoles d'orthophonie.

----- CONCLUSIONS -----

Dans cet article, nous avons évoqué la genèse du projet Diadolab et détaillé le contexte théorique dans lequel il s'inscrit. Nous avons ensuite décrit son architecture et l'application de ses différentes fonctionnalités dans le cadre de la pratique orthophonique. Nous avons conclu cette présentation par un bref exposé de notre démarche scientifique en vue d'une validation future de l'outil. Diadolab est un outil de modélisation de la parole, complémentaire de Vocalab, élaboré en premier lieu pour renforcer la pratique clinique orthophonique. La démarche de recherche qui sous-tend le projet permettra de le faire évoluer et de faire des avancées significatives dans les domaines de la proprioception et de la coordination des articulateurs restant jusqu'alors assez peu explorés.

Son ergonomie intuitive en fait un outil simple à utiliser quotidiennement en plus d'être un support pédagogique intéressant. Il couvre un large spectre d'utilisations possibles dans les troubles purement orthophoniques et peut être utilisé dans le cadre de l'illettrisme et l'apprentissage du français. Il peut être utilisé aussi bien avec des enfants qu'avec des adultes. Les retours des utilisateurs et les premiers essais cliniques se révèlent encourageants et nous permettent d'évoluer rapidement vers des outils consensuels.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont encouragés à mener à bien ce projet, les testeurs qui par leurs nombreuses suggestions pertinentes ont grandement contribué à améliorer le logiciel, le graphiste qui a conçu l'ensemble des illustrations, ainsi que l'équipe technique qui assure sa promotion et sa diffusion.

----- BIBLIOGRAPHIE -----

Alcala, M., Faucher, P. (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. Non publié. Toulouse : Université Paul Sabatier.

Badin, P., Serrurier, A. (2006). Three-dimensional linear modeling of tongue : articulatory data and models. In H.C. Yehia, D. Demolin, R. Laboissière (Eds), *Proceedings of the 7th International Seminar on Speech Production, ISSP7* (pp. 395-402). Ubatuba, Brésil : Universidade Federal de Minas Gerais.

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*, 128(5), 289-295. Consulté le 01.01.2013 de : <http://www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/~christophe.savariaux/PDF/laryngo.pdf>

Borel-Maisonny, S. (1972). *L'acougramme phonétique : étude théorique et emploi clinique* (pp.162-164). Paris : Compagnie française d'Audiologie.

- Denby, B., Hueber, T. (2009). Analyse du conduit vocal par imagerie ultrasonore, imagerie médicale pour l'étude de la parole. In A. Marchal., C. Cavé (Eds), *L'imagerie médicale pour l'étude de la parole, Traité Cognition et Traitement de l'Information, IC2* (pp. 147-174). Hermes Science.
- Dent, H. (1995). The application of electropalatographie (EPG) to the remediation of speech disorders in school-aged and young adults. *European Journal disorders Community* 30, 264-277.
- Engwall, O. (2008). Can audio-visual instructions help learners improve their articulation ? - an ultrasound study of short term changes. *Proceedings of Interspeech 2008 : 9th annual conference of the international speech communication association*, 2631-2634. Consulté le 01.01.2013 de : <http://www.speech.kth.se/prod/publications/files/3207.pdf>
- Fletcher, S., Dagenais, P.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., Stewart, F., Hardcastle, W.J., Crampin, L. (1999). Widening access to electropalatography for children with persistent sound system disorders. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 8, 319-334.
- Gibbon, F.E., McNeill, A.M., Wood, S.E, Watson, J.M.M. (2003). Changes in linguapalatal patterns during therapy for velar fronting in a 10-year-old with Down's syndrome. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 38 (1), 47-64.
- Joly-Pottuz, B., Mercier, M., Leynaud, A., Habib, M. (2008). Combined auditory and articulatory training improves phonological deficit in children with dyslexia. *Neuropsychological Re-habilitation, Psychology Press*, 18, (4), 402-429. Doi: 10.1080/09602010701529341
- Kent, R.D. (1997). *The Speech Sciences* (pp. 60-67). San Diego, SA : Singular Publishing Group.
- Lieberman, A.M., Mattingly, I.G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition* 21(1), 1-36.
- 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 Grenoble : Université Stendhal.
- Menin-Sicard, A., Sicard, E., (2004). Evaluation et rééducation de la voix et de la parole avec Vocalab. *Glossa* 88, 62-76.
- Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2009). Utiliser le logiciel Vocalab dans le cadre de la prise en charge des pathologies de la voix. In P. Gatignol (Ed). *La voix dans tous ses maux* (pp. 27-47). Isbergues : Ortho-Editions.

Oster, A.M., House, D., Protopapas, A., Hatzis, A. (2002). Presentation of a new EU project for speech therapy : OLP (Ortho-Logo-Paedia). *Proceedings of Fonetik, TMH-QPSR 44(1)*, 45-48. Consulté le 01.01.2013 de :

http://www.speech.kth.se/prod/publications/files/qpsr/2002/2002_44_1_045-048.pdf

Raynaud, S., Geneste, J. (2004). Articulation de la parole et apprentissage de la lecture. *ANAE. Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant*, 78, 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. Doi:10.1121/1.2875111

Stone, M., Sonies, B., Shawker, T., Weiss, G., Nadel, L. (1983). Analysis of real-time ultrasound images of tongue configuration using a grid-digitizing system. *Journal of Phonetics*, 11, 207-218.

Wrench, A., Gibbon, F., McNeil, A., Wood, S. (2002). An EPG therapy protocol for remediation and assessment of articulation disorders. In J.H.L. Hansen, B.L. Pellom (Eds.), *Proceedings of the 7th International Conference on Spoken Language Processing* (pp. 965-968). Denver : ICSLP-Interspeech. Consulté le 01.01.2013 de :
http://eresearch.qmu.ac.uk/2291/1/wrench02_icslp.pdf