



Méthodologie d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie - Vers un bilan rapide à destination des orthophonistes

Anne Menin-Sicard, Etienne Sicard

► To cite this version:

Anne Menin-Sicard, Etienne Sicard. Méthodologie d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie - Vers un bilan rapide à destination des orthophonistes. 8èmes Journées de Phonétique Clinique (JPC 2019), May 2019, Mons, Belgique. hal-02127039

HAL Id: hal-02127039

<https://hal.science/hal-02127039>

Submitted on 13 May 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Journées de Phonétique Clinique, Mons, 14-16 Mai 2019

Titre : Méthodologie d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie

Vers un bilan rapide à destination des orthophonistes

Auteurs : Anne MENIN-SICARD (1), Etienne SICARD (2)

Affiliation :

- (1) Orthophoniste ; Chercheur LURCO/UNADREO ; Formatrice Voix et Parole ; email : anne.sicard2@orange.fr
- (2) Professeur INSA-GEI, 135 Av de Rangueil, 31077 Toulouse ; Directeur de recherches LURCO/UNADREO ; Chercheur associé IRIT/Samova ; email : etienne.sicard@insa-toulouse.fr

Résumé : Dans cet article, nous présentons un protocole d'évaluation de la phonologie, de la fluence et de la prosodie à destination des orthophonistes. Nous expliciterons rapidement notre démarche de recherche, nos choix méthodologiques, nos valeurs référentielles et le protocole synthétique proposé. Nous montrerons tout d'abord la segmentation d'une phrase courte qui comporte les extrêmes du triangle vocalique, les extrêmes consonantiques et une représentativité équilibrée des lieux d'articulation et plus généralement des différents processus de parole (constriction/voisement/occlusion/nasalisation/diphthongues et clusters). La comparaison entre phonèmes perçus et attendus permet d'extraire un score d'articulation, que nous illustrerons par divers exemples de parole normale, altérée et pathologique. Nous détaillerons aussi les mesures d'intonation, de débit, que nous corrélons avec des éléments plus qualitatifs telles que la fidélité de la reproduction intonative du patient et les disfluences constatées : pauses, allongements et répétitions.

Nous illustrerons ensuite les mesures de diadococinésie, en lien avec le contrôle phono-articulatoire puis nous présenterons 4 indicateurs d'altération, en analysant leur pertinence avec des cas cliniques de parole d'enfants et d'adultes. Au travers de divers cas cliniques de parole normale, altérée et pathologique, nous illustrerons l'extraction des paramètres d'intelligibilité et de fluence, d'après les différents indicateurs précédemment calculés combinés à l'avis du clinicien. Nous présenterons aussi l'intégration de ce protocole dans l'outil DIADOLAB et son application en clinique orthophonique ainsi qu'en recherche, en particulier dans le cadre de mémoires de Master d'Orthophonie.

Mots-clé : orthophonie, évaluation de la parole, articulation, débit, intonation, diadococinésie, indicateurs d'altération, Diadolab, statistiques, bases de données de parole, parole altérée, parole pathologique

I. Introduction

Disposer d'outils d'analyse objective de la parole est une demande des orthophonistes très ancienne. En effet, l'évaluation à l'oreille est peu précise et peu fiable, avec une tendance à négliger des imprécisions voire des altérations, et se révéler soit indulgent du fait de la familiarité avec l'enfant et suppléer aux omissions du patient, soit au contraire en étant trop exigeant, par exemple au regard de l'âge. Divers biais sont illustrés à la figure 1. Du fait de l'état de fatigue, du comportement de l'enfant ou de paramètres extérieurs, la fiabilité de l'évaluation perceptive du thérapeute peut être remise en question.



Figure 1 : Biais dans l'évaluation subjective de la parole

De nombreux tests du langage oral, principalement à destination des enfants, ont été publiés depuis les années 80, afin de tenter de rendre l'évaluation plus objective, et moins dépendante du ressenti du thérapeute. Le tableau 1 cite quelques-uns des bilans les plus utilisés par les orthophonistes, actuellement édités ou commercialisés, à partir de 2000. Nous n'avons pas cité des tests antérieurs à 2000, ou des tests non édités ou épuisés. Cette liste n'a toutefois pas un caractère exhaustif. Elle recoupe différentes sources d'information, notamment des « Testothèques » en provenance d'Universités telles que Lille, Genève et de sites de diffusion majeurs tels que Pearson-ECPA et Ortho-éditions. Nous précisons les âges visés, les auteurs, l'éditeur et la durée de passation si celle-ci est mentionnée explicitement sur le site de ressources. Cette dernière information apparaît en clair sur le site Pearson-clinical pour toutes les batteries de bilan mais n'apparaît pas sur le site de Ortho Editions.

Acronyme	Définition	Année de parution	Age	Auteurs	Edité par	Temps de passation
BILO	Bilans Informatisés de Langage Oral BILO 2, EC2, 3C	2007	5-7 8-15	Khoms A. J.Khoms F.Pasquet A.Parbeau-Gueno	Pearson clinical	30 mn
CLEA	Communiquer, Lire, Ecrire, Apprendre	2014	2-14	Pasquet F. ; Parbeau-Gueno A. ; Bourg E	Pearson clinical	15 mn à 1H
DPL-3	Dépistage et Prévention du Langage chez les enfants de 3 ans - 2ème version	2010	3-4	F. Coquet, M. Bruno	Ortho Edition	
DIADOLAB	Bilan et rééducation de la parole	2019	>3	A. Menin Sicard, E. Sicard	GERIP	15 mn
ELO	Evaluation du Langage Oral	2001	3-10	Khoms A.	Pearson clinical	30 mn
EVALO 2-6	Bilan du langage de l'enfant de 2 à 6 ans	2009	2-6	F. Coquet, J. Roustit, P. Ferrand	Ortho Edition	
EXALANG	Batterie informatisée pour l'examen du langage oral chez l'enfant		3-6 6-8 8-11 11-15 15-20	M.C. Helloin, M.P. Thibault, M. Lenfant	Happy neuron pro	45 mn à 1H
IFDC	Inventaire Français du Développement Communicatif	2010	1-3	S. Kern, F. Gayraud	Editions cigale	
ISADYLE	Instrument pour le Screening et l'Approfondissement de l'examen des Dysfonctionnements du Langage chez l'Enfant	2012	3-12	B. Piérart, A. Comblain, J. Grégoire, P. Mousty	Deboeck Superieur	
L2MA-2	Batterie langage oral, langage écrit, mémoire, attention – 2ème édition	2010	8-11	Chevrie-Muller C, Maillart C, Simon A.M., Fournier S	Pearson clinical	1 H
N-EEL	Nouvelles épreuves pour l'examen	2001	2-8	C. Chevrie Muller, M.Plaza	Pearson clinical	50 mn
PEES	Protocole d'Evaluation de l'Expression Syntaxique	2008	3-8	C. Boutard, M. Bouchet	Ortho Edition	
PELEA	Protocole d'Évaluation du Langage Élaboré de l'Adolescent	2010	11-18	A. Guillon – C. Boutard	Ortho Edition	
TLOCC	Test de Langage Oral Complexe pour Collégiens	2006	11-15	N. Maurin-Chérou	Ortho Edition	

Table 1 : Sélection de tests généralistes édités depuis 2000, classés par ordre alphabétique

Avec les progrès de l'informatique, les bilans se sont adossés graduellement à des outils, voire à des sites ou plateformes dédiés. De manière récente, il est devenu possible de déléguer aux outils informatiques le soin de traiter de manière automatique un certain nombre de tâches, comme l'évaluation de scores et la comparaison à des normes, voire de générer des éléments en vue du bilan.

L'adossement à des démarches de recherche et de pratiques probantes a poussé les auteurs de ces bilans à étalonner les tests sur des centaines, voire des milliers de sujets. A notre connaissance, il n'existe pas au niveau Français un travail de recensement aussi sérieux que [Monetta 2016] au Québec, qui décrit sous forme de fiches descriptives les outils validés et/ou normés pour l'évaluation de la parole, en précisant les références, les composantes évaluées, les âges ciblés, la passation, la durée, l'étalonnage/normalisation, la validité, la fidélité et les modalités d'acquisition du test.

Notre démarche s'inscrit dans la mise au point d'un bilan très court, tout en restant efficace, afin de juger de l'intelligibilité et la fluence pour évaluer précisément le degré d'altération de la parole. L'une des originalités de nos travaux est d'adresser à la fois la parole de l'enfant et de l'adulte, avec la construction de repères pour tous âges, et à restreindre le protocole à seulement deux épreuves, mais aussi et surtout à conduire l'exploitation des données et la génération d'un bilan en moins de 30 mn, ce qui situe notre approche très en deçà des durées de passation et d'exploitation, notamment dans des bilans exhaustifs.

Il est évident qu'une telle concision limite les capacités du protocole à détecter toutes les formes d'altération et de pathologie de la parole. Mais l'idée est de se concentrer sur des métriques essentielles, développer les outils nécessaires à une semi-automatisation des analyses, afin de permettre la génération de bilan précis. Le but est aussi de permettre d'évaluer la pratique orthophonique grâce à des comparaisons de scores de bilan court avant et après prise en charge, une approche en phase avec les pratiques probantes au cœur de la réflexion sur l'efficacité des approches orthophoniques.

II. Un Protocole très court

Principes de base

Pour limiter les biais d'évaluation et permettre une évaluation rapide de la parole, nous avons défini un protocole strict, ultra compact et efficace : très peu d'items sont demandés au patient, ce qui évite les biais de lassitude, de fatigabilité et de démobilitation attentionnelle, risque souvent négligés dans la passation de batteries exhaustives. Nous nous basons sur seulement deux enregistrements pour explorer un grand nombre de processus de parole (15 au total dont 10 mesures objectives). Les consignes sont précises, voire rigides, pour limiter les variabilités entre opérateurs. Le protocole est explicité dès la phase d'enregistrement. Nous donnons un support sous formes de fiches pratiques, FAQ et recommandations quant au choix du matériel d'enregistrement et du réglage associé, bénéficiant notamment de l'expérience accumulée par le suivi utilisateurs de VOCALAB4.

Nous mettons à disposition des modèles pré-enregistrés, homme/femme/enfant, afin d'éviter toute influence de l'orthophoniste elle-même (risques de régionalisation). Les analyses instrumentales sont informatisées depuis l'enregistrement jusqu'à la génération de la fiche bilan, pour limiter toute perte d'information.

Démarche suivie

L'une des actions préliminaires à la construction du bilan a été de conduire une étude bibliographique, notamment en ciblant les méta-analyses portant sur les épreuves de phonologie, l'analyse de la prosodie et l'articulation, en tentant de dégager à chaque fois ce qui relève de la parole normale et de la parole pathologique. Grâce à des ouvrages de référence tels que [Baken2000], puis d'ouvrages

dédiées sur la dysarthrie [Duffy 2013], le bégaiement [Monfrais 2014] ou la prise en charge des troubles de la parole [Shipley 2015]][Webb 2017][Mc Neil 2009], la réflexion sur le protocole a pu être affinée et nous avons pu converger vers un choix d'items et consignes de passation robustes, abondamment étudiées dans la littérature et pour laquelle un véritable consensus se dégage. En particulier, nous avons pu sans trop de difficulté dégager des valeurs référentielles de débit, d'acquisition des phonèmes et de diadococinésie en fonction de l'âge.

Nos réflexions sur les indicateurs pertinents pour mesurer la fluence et l'intelligibilité ont aussi bénéficié de d'implications dans des démarches de recherches tels que les projets C2SI [JPC2017], Voice4PD, et l'accès à des corpus tels que J. Rusz [Rusz2015] pour le diagnostic différentiel des syndromes Parkinsoniens et des études très approfondies des marqueurs les plus tangibles de la parole.

Nous avons aussi constitué une équipe de recherche orthophonique au sein du laboratoire LURCO de l'UNADREO, l'ERU 46 « Parole pathologique » [LURCO], et démarré l'enregistrement d'enfants et d'adultes pour constituer une base de données de parole. Le protocole étant très court, un ensemble de 150 cas de parole normale et pathologique a été rapidement constitué.

Le logiciel support à nos recherches a été la plateforme DIADOLAB [Menin Sicard 2019], qui initialement ne comportait pas de module de bilan. Les outils de gestion du spectrogramme de VOCALAB [Vocalab 2019] ainsi que les indicateurs d'altération du /a:/ ont été intégrés dans DIADOLAB. Un important travail de développement a été fourni pour disposer de modules d'analyse objective de la parole, en se focalisant sur l'intelligibilité et de la fluence.

Ceci a amené à la construction de 3 outils distincts : « Phonologie », « Prosodie » et « Diadococinésie ». En se reposant sur les différents repères évoqués plus haut (représentés à gauche dans la figure 2), les enregistrements de phrase et de diadococinésie permettent l'évaluation de l'altération de l'articulation, de la prosodie et de la diadococinésie dont nous dérivons l'intelligibilité et la fluence.

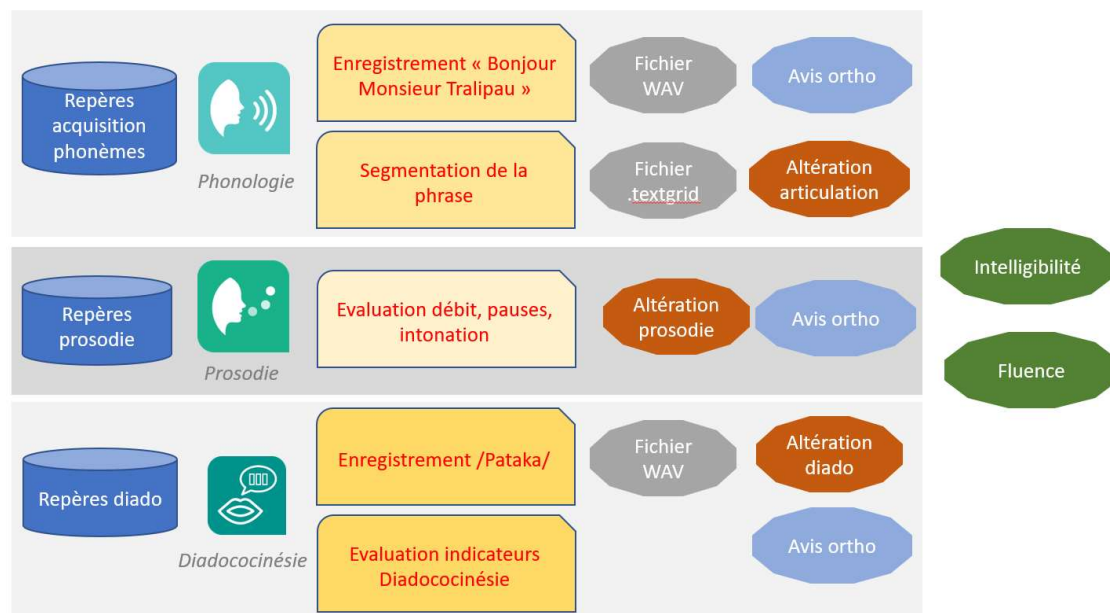


Figure 2 : Le bilan de la parole utilise deux enregistrements et trois outils distincts, afin de produire deux scores : intelligibilité et fluence.

Choix de la phrase

Le protocole de passation inclut l'enregistrement de la phrase « Bonjour Monsieur TraLiPau », une phrase simple facile à retenir avec quasiment tous les processus de parole.

- « Bonjour »: contexte écologique, mots très usuel pour engager la conversation
- « Monsieur »: /m/ et /s/ extrêmes de la banane vocalique, distance corrélée à l'intelligibilité [Sicard 2017], /eu/ voyelle neutre, /ieu/ => diphtongue
- « TraLiPau » : Mot traité comme un logatome, permettant de compléter le parcours extrême du triangle vocalique, le parcours des différents points d'articulation des consonnes, avec une combinaison consonne voyelle non facilitatrice



Figure 3 : La phrase « Bonjour Monsieur TraLiPau » explore les extrêmes du triangle vocalique et des consonnes (ici, repères enfants)

Phonème	Processus	Note
B	Voisement puis occlusion	
On	Voyelle nasale	Peu sensible à la régionalisation
J	Constriction et voisement	Processus simultanés
Ou	Extrême vocalique postérieure	Accent tonique, prolongation, Extrême du triangle vocalique
R	Constriction extrême postérieure	
M	Voisement, nasalisation, occlusion antérieure extrême	Energie concentrée vers les basses fréquences
Eu	Phonème neutre, central	
S	Constriction extrême	Energie concentrée vers les hautes fréquences
Ieu	Diphtongue	
Tr	Cluster	Souvent substitué en KR
A	Extrême vocalique bouche ouverte	Extrême du triangle vocalique
L	Voisement puis occlusion	Souvent substitué « ieu »
I	Extrême vocalique langue antérieure	Extrême du triangle vocalique
P	Occlusion, explosion extrême	Visible en lecture labiale
Au	Voyelle	Grande fréquence d'occurrence

Table 3 : Liste des processus mis en œuvre dans la phrase « Bonjour Monsieur TraLiPau »

La figure 3 donne un aperçu de la couverture de la phrase dans l'espace des formants F1 et F2 du triangle vocalique, complété avec les consonnes sourdes et sonores. On constate que la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau » permet d'explorer un très large espace des phonèmes de la langue Française (en vert pour les voyelles et bleu pour les consonnes), tout en n'incluant que la moitié des phonèmes (représentés en gris).

Le tableau 3 donne les différents processus mis en œuvre dans l'exécution complète de la phrase. On note aussi la couverture de la confusion « Tr/Cr » parmi les « musts » de la rééducation orthophonique, la confusion « /l-ieu/ » également fréquente mais acquis assez tardivement, ainsi que l'évaluation de la nasalité avec « au/on ».

Parmi les tests cités au tableau 1, un certain nombre (Notamment EXALANG et EVALO) contiennent des épreuves de logatomes. L'épreuve peut être longue à administrer pour la liste fournie dans Evalo mais surtout longue à analyser si elle se base sur une cotation précise des altérations, avec réécoute des enregistrements, tel que proposé dans le protocole MonPaGe [Fougeron 2018]. La recherche d'un nombre limité de logatomes peut conduire à des pseudo-mots « peau de banane » tels que /sinzanchujon/, ou encore laisser planer une incertitude concernant le décodage (Faviker /f/a/v/i/k/é ou /k/è/r). On peut aussi noter un risque de lexicalisation important comme /sozisson/ => /saucisson/ ou encore /panbi/ => /bambi/. Nous n'avons pour notre part intégré qu'un seul logatome dans la phrase du bilan de la parole, « Tralipau ».

Protocole d'enregistrement de la phrase

Le protocole d'enregistrement de la phrase est décrit dans l'écran de la figure 4. La consigne est explicitée, de même que la démarche d'enregistrement et de sauvegarde. Le format retenu est WAV, 22050 Hz, 16 Bits. On peut noter en haut à droite les modèles sonores des trois phrases (Femme, Homme, Enfant), correspondant à une intonation conforme, un débit conforme, la production de tous les phonèmes et clusters, et un enchaînement des mots sans pause inappropriée.

Tâche

Bonjour Monsieur TraLiPau

Instructions

1. Consigne "Je vais vous faire écouter la phrase modèle"
2. Consigne "Vous allez répéter du mieux que vous pouvez"
3. Consigne "Je vous fais signe quand vous pouvez commencer"
4. Cliquez le microphone pour démarrer l'enregistrement puis faites signe
5. Après la fin de la phrase, cliquez de nouveau pour arrêter l'enregistrement
6. Cliquez l'icône clé USB pour sauvegarder l'enregistrement
7. Cliquez l'icône quitter

Paramètres

Fréquence d'échantillonnage 22050 , résolution 16 bit, mono
Temps maximum d'enregistrement: 20 secondes

0 5 10 15 20 s

Ajouter au nom du fichier "P000F06"

Niveau

Fort

Faible

Figure 4 : protocole d'enregistrement de la phrase

Segmentation de la phrase

La segmentation consiste à décrire les frontières approximatives des différents phonèmes, non pas ceux attendus, mais ceux réellement produits par le patient. Il est possible d'entendre les portions de sons afin de confirmer la bonne adéquation entre la notation et la production du patient. Parmi les informations utiles à la segmentation, on peut noter l'aide au repérage de la constriction (bruit essentiellement haute fréquence) sous forme de tâches blanches en haut du spectre, et le voisement, sous forme d'un trait noir en bas du spectrogramme (Figure 5). On note aussi l'absence de contenu harmonique avant les explosions du /tr/ ou du /p/, ce qui signifie un silence.

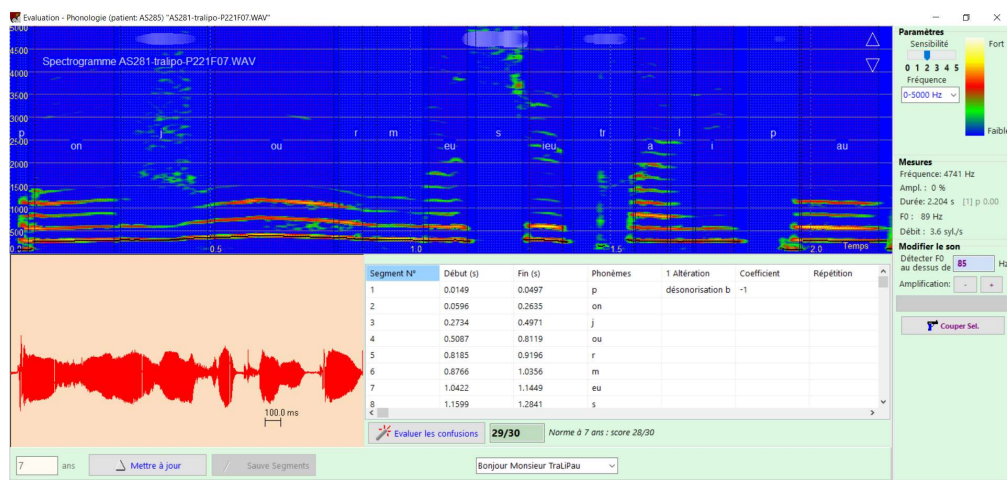
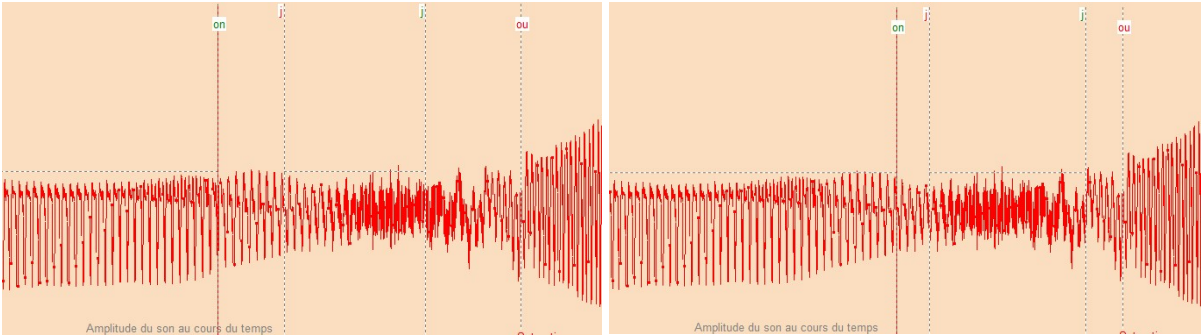


Figure 5 : le score d’articulation est obtenu après segmentation de 15 phonèmes de la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau ».

La segmentation est un des points clé de l’évaluation de la production du patient. Bien qu’assistée, la segmentation demande une certaine habitude et se révèle une étape importante dans les formations proposées aux orthophonistes [AMS], de même que l’interprétation du spectrogramme. Assez facile pour les parole dites intelligibles, elle devient difficile lorsque la coarticulation est élevée, ce qui donne un indicateur de coarticulation pertinent.

Les frontières peuvent être ajustées de manière précise grâce au zoom dans le spectrogramme puis le déplacement des bornes de l’intervalles au lieu le plus approprié, dans la fenêtre temporelle (Figure 5). Il est important de noter que cet ajustement n’a pas d’impact direct sur le score d’articulation, dans la mesure où l’information importante est le phonème entendu, et non ses informations temporelles. Toutefois, on évitera la segmentation dans les zones de silence, afin de permettre la détection de pauses inappropriées.



6-a : Avant ajustement

6-b : Après ajustement

Figure 6 : ajustement des frontières temporelles des phonèmes

Score d’articulation

Sur la base d’une segmentation par l’orthophoniste des phonèmes effectifs sur la phrase, le score d’articulation est calculé par comparaison avec les phonèmes attendus de la phrase de référence « Bonjour Monsieur Tralipau ». Dans cette phrase, nous considérons 7 syllabes, 13 phonèmes, une diphtongue (/ieu/) et un cluster (/tr/).

Niveau	Détail
Phrase	Bonjour Monsieur TraLiPau
Syllabes	bon jour mon sieur tra li pau
Phonèmes & cluster	b on j ou r m eu s ieu tr a l i p au

Nous comptons :

- -1 point en cas d'altération mineure (un seul trait distinctif manquant)
- -2 points en cas d'altération majeure ou d'omission (plus d'un trait distinctif manquant)

La phrase de référence comprenant 15 phonèmes ou assimilés, cela donner un score maximum de 30/30.

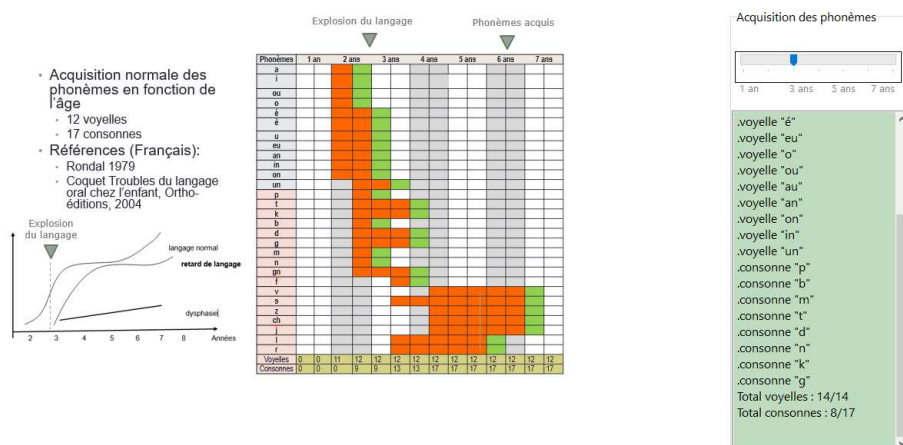


Figure 7 : Phonèmes en cours d'acquisition et acquis en fonction de l'âge

L'acquisition des phonèmes en fonction de l'âge a notamment été étudié par [Rondal 1979] et [Coquet 2004]. Nous avons aussi utilisé les données dans l'ouvrage de [Shipley 2015], ainsi que dans [Yamaguchi 2012], notamment concernant les clusters tels que /tr/. Il ressort de ces études qu'à 3 ans, par exemple, l'ensemble des voyelles est acquis, mais que plusieurs consonnes restent en voie d'acquisition. Il devient alors possible d'extraire le score normal, altéré et pathologique en fonction de l'âge, comme indiqué en Figure 8. Ce score dépend des phonèmes de la phrase et de la longueur de la phrase. Nous confirmons ainsi que des altérations phonologiques sont normales avant 5 ans et demi et que l'enfant peut mettre jusqu'à 6 années pour mettre en place la coordination phono-articulatoire nécessaire à la mise en place de tous ses processus de parole. Ces valeurs référentielles permettraient de donner des arguments objectifs aux cliniciens pour différer un suivi lorsqu'il n'y a pas de facteurs aggravants ou d'autres problématiques que quelques processus de parole en voie de maturation.

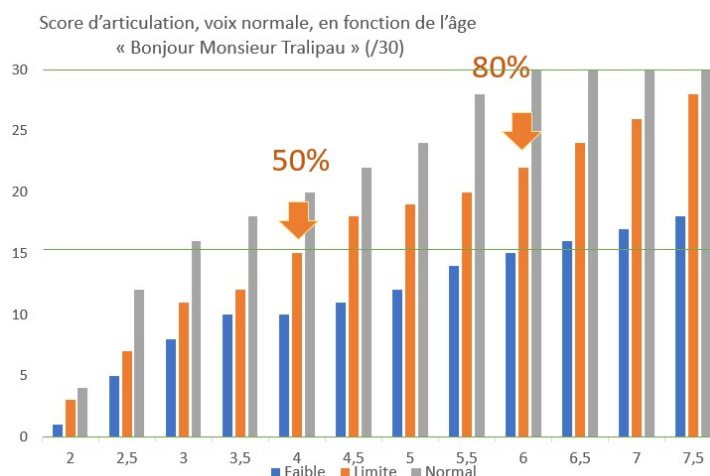
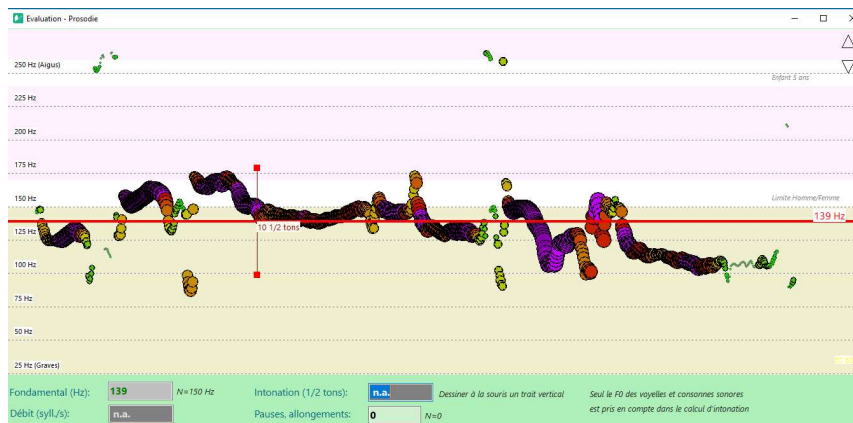
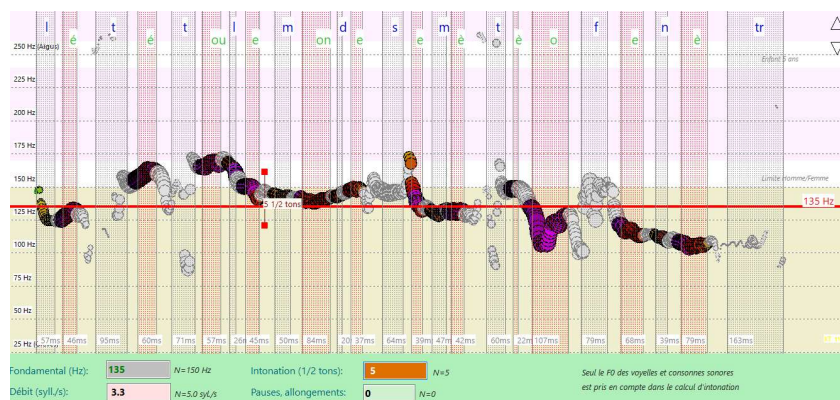


Figure 8 : Score attendu d'articulation en fonction de l'âge (Normal, Altéré, Pathologique)



9-a : sans segmentation : $F_0=139$ Hz, intonation estimée à 10 ½ tons



9-b : avec segmentation : $F_0=135$ Hz, intonation 5 ½ tons

Figure 9 : La segmentation permet d'affiner l'extraction du FUM et ne comptabiliser dans l'intonation que les portions de voyelles et consonnes sonores

Prosodie

Nous avons conduit une réflexion approfondie sur les composantes de la prosodie et les mesures que l'on peut extraire de la phrase « Bonjour Monsieur Tralipau ». La première donnée disponible est la fréquence fondamentale, et par cumulation l'intonation. Il est intéressant de constater que la segmentation permet d'isoler les portions où l'extraction du F0 a un sens (les voyelles et consonnes voisées) et d'éviter de détecter F0 dans les plosives ou consonnes sourdes, ce qui pourrait fausser le calcul de l'intonation. En reprenant un exemple typique du corpus analysé avec VOCALAB dans [Ayoub2018], on constate une légère variation du F0 moyen et une surestimation possible de l'intonation (Fig. 9).

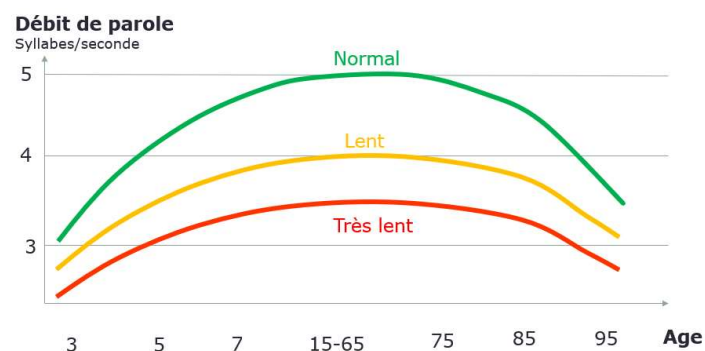


Figure 10 : Repères de débit de parole normale, altérée et pathologique en fonction de l'âge



Figure 11 : Exemple de prosodie conforme (SM017)

Nous avons élaboré des valeurs référentielles de débit de parole en fonction de l'âge, grâce à une méta-analyse de nombreuses données existantes, notamment une vingtaine de publications internationales sur le sujet, majoritairement en langue Anglaise cependant. Nous avons pu clarifier les repères dans deux zones sensibles : le débit de la parole d'enfant, et le débit de la parole de personnes âgées. Un point d'attention a aussi concerné les prolongations et pauses inappropriées, afin de permettre une détection automatique de ces phénomènes et impacter les scores de fluence.

Un exemple de prosodie normale (Cas SM017 – Garçon 4 ans) de la base de données est donnée figure 11. Le débit est autour de 3.1 syllabes/seconde, l'intonation est de 12 ½ tons, on note accent approprié sur le /ou/.



Figure 12 : Exemple de prosodie altérée (AS296)

Un exemple de prosodie altérée est donné figure 12 (AS296 – Garçon 4 ans). Bien que le débit soit conforme à l'âge (2.4 syl./s), on note une faible variation de la hauteur de la voix (intonation 3 ½ tons), ce qui peut altérer l'intelligibilité.

III. Diadococinésie

Les déclinaisons

Au niveau Français, la tâche de diadococinésie se décline dans de très nombreuses variantes, notamment dans le protocole MonPaGe [Fougeron2018], tandis qu'au niveau international, la version plus étudiée et le mieux référencée est sans nul doute la répétition de /PaTaKa/ [Baken 2000].

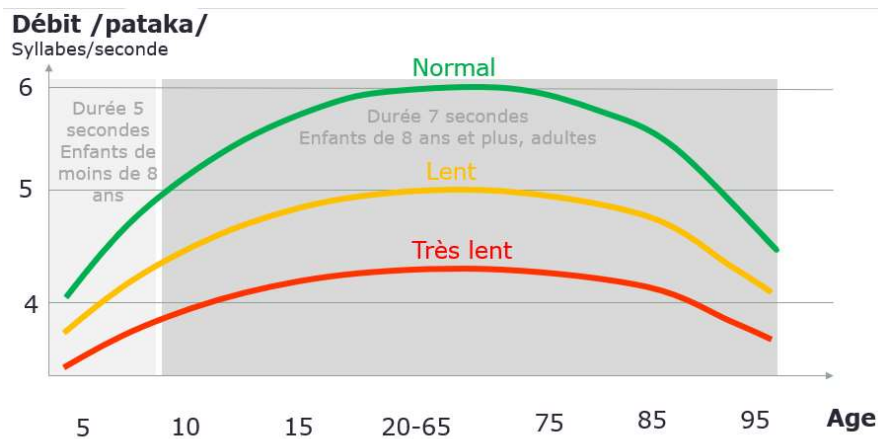


Figure 13 : repères de débit de diadococinésie sur /PaTaKa/

Nous avons analysé plus de 15 publications internationales en lien avec la diadococinésie sur /PaTaKa/ incluant la parole de l'enfant et la personne âgée, mais aussi la parole dysarthrique, de laquelle nous avons extrait les tendances de la figure 13, qui nous sert de référence. On peut d'ailleurs noter que cette épreuve (DDK en Anglais) est considérée comme très pertinente pour l'analyse informatisée de la parole pathologique, notamment dans le cadre de diagnostic différentiel précoce de la dysarthrie [Rusz2015].

Protocole d'enregistrement de la diadococinésie

Le protocole d'enregistrement de la diadococinésie est décrit dans l'écran de la figure 14. La consigne est explicitée, de même que la démarche d'enregistrement et de sauvegarde. De manière identique à la phrase, on peut noter en haut à droite les modèles sonores Femme, Homme, Enfant, correspondant à un débit conforme, la production de tous les phonèmes, un enchaînement des syllabes à rythme et intensité stable, sans pause inappropriée, le tout en une seule inspiration.

Enregistrer "PaTaKaPaTaKaPaTaKa..."

Tâche
PaTaKaPaTaKaPaTaKa...

Instructions

- Consigne "Je vais vous faire écouter la série modèle"
- Consigne "Vous allez répéter du mieux que vous pouvez" "en prenant une bonne inspiration"
- Consigne "Je vous fais signe quand vous pouvez démarrer"
- Cliquer le microphone pour démarrer l'enregistrement puis faites signe
- Après 5 s (enfant < 8 ans) ou 7 s (>= 8 ans, adulte), cliquer de nouveau pour arrêter l'enregistrement
- Cliquer l'icône clé USB pour sauvegarder l'enregistrement
- Cliquer l'icône quitter

Paramètres
Fréquence d'échantillonnage 22050, résolution 16 bit, mono
Temps maximum d'enregistrement: 20 secondes

Niveau
Fort
Faible

Ajouter au nom du fichier "P-1E06"

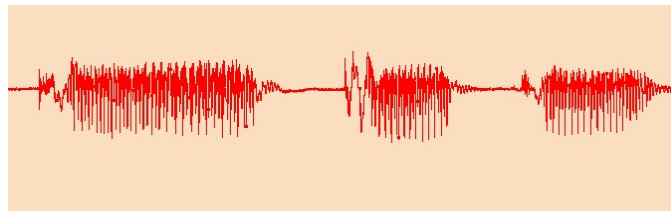
Figure 14 : Protocole d'enregistrement du /PaTaka/

Les indicateurs d'altération de la diadococinésie

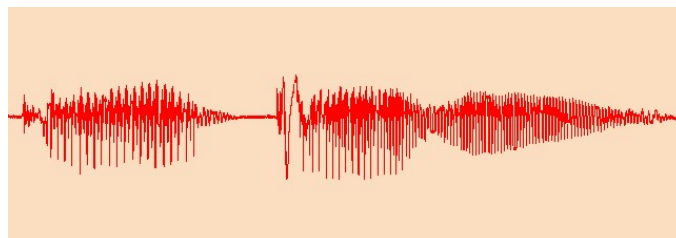
Autant les indicateurs d'altération de la voix ont fait l'objet de recherches et développements considérables (Voir la revue bibliographique sur ce sujet dans [Sicard 2013]), autant l'altération de la diadococinésie a fait l'objet de moins d'attention, les approches de segmentation manuelle étant encore couramment employées, suivies de l'exécution de scripts notamment avec PRAAT [Boersma 2019]. Un des apports de la méta-analyse a été de concentrer nos évaluations sur quatre données distinctes :

- Atonie des consonnes plosives /p/, /t/, /k/ : voisement, faible explosion
- Débit des syllabes trop lent
- Irrégularité du débit des syllabes
- Instabilité en puissance au cours de la réalisation

Ces indicateurs sont automatiquement calculés sur 5 à 7 secondes de /PaTaKa/, avec un ajustement selon l'âge du patient. Un exemple d'atonie est illustré Fig. 15 en bas, par comparaison avec une séquence /PaTaKa/ correcte Fig. 15 en haut. Dans la figure 16, nous illustrons le cas d'un débit régulier et stable en puissance (Fig. 16-a) et d'un débit irrégulier et instable en puissance (Fig. 16-b).

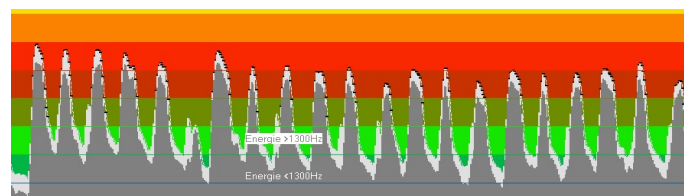


15-a : /p/t/k/ correct

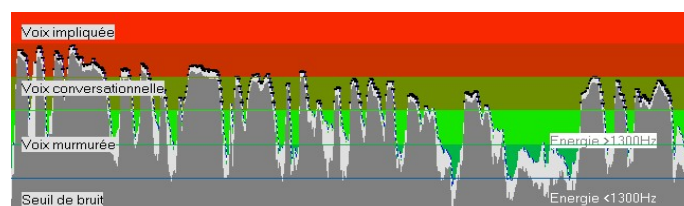


15-b : la 3^{ème} syllabe est voisée, l'enchaînement de la 2^{ème} et 3^{ème} syllabe se fait sans occlusion

Figure 15 : Comparaison de diadococinésie conforme (a) et atone (b)



16-a : Régularité et puissance stables



16-b Tendance à la décroissance rapide de puissance, rythme irrégulier

Figure 16 : Diadococinésie conforme (a) et instable en puissance et en débit (b)

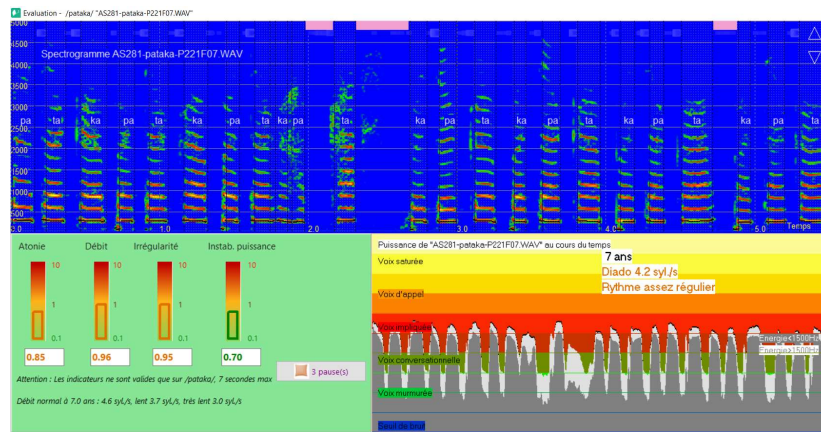


Figure 17 : Les indicateurs d'altération sont évalués sur la base d'une série de quelques secondes de /PaTaKa/ (AS281)

Les quatre indicateurs d'altération de la diadococinésie sont normalisés, c'est-à-dire que 1.0 représente la limite au-delà de laquelle l'articulation n'est plus considérée comme normale. Le seuil est ajusté selon l'âge, notamment pour le débit. Dans l'exemple de la figure 17, on note un débit un peu lent, un peu irrégulier, et 3 pauses, dont une pour une 2^{ème} inspiration. Les indicateurs d'altération de la diadococinésie vont influencer sur la fluence globale du patient.

IV. Evaluation de l'intelligibilité et de la fluence

Liste des altérations

Le triangle vocalique, associé à une représentation des consonnes par point de contact et présence ou non de voisement (sourde/sonore), est une représentation pratique pour lister les altérations phonémiques. Dans le cas de la figure 18, les points rouges soulignent les phonèmes altérés, le /b/ qui a été désonorisé ainsi que le /j/. Cependant, le score d'articulation est au-dessus de la norme pour son âge, l'articulation est normale. On note sur la figure 19 une liste plus importante de problèmes, principalement situés sur les consonnes /p,b,j,s/. La parole est ici altérée et le score est significativement plus bas que la norme pour son âge.



Figure 18 : triangle vocalique complété avec les consonnes, utilisé pour visualiser les altérations phonémiques (AS283, parole normale).

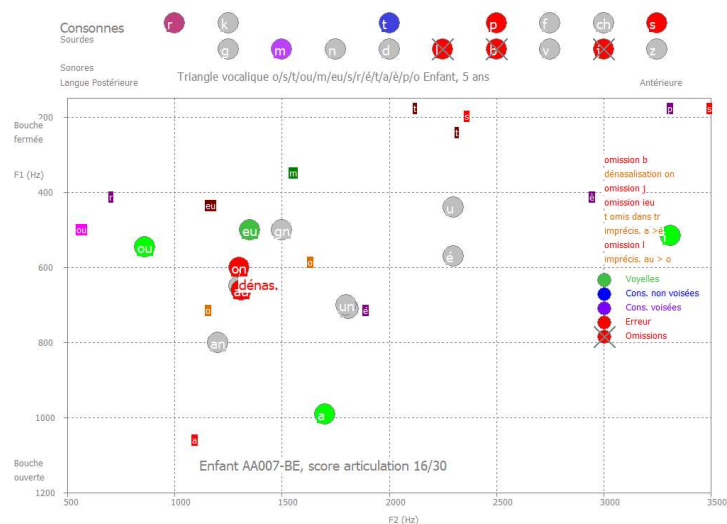


Figure 19 : triangle vocalique complété avec les consonnes (AA007, parole altérée).

Synthèse des résultats

Toutes les étapes décrites précédemment ont pour but de fournir des données exploitables pour évaluer le degré d'altération de l'intelligibilité et de la fluence. Le détail des calculs de l'intelligibilité et de la fluence est donné au tableau ci-dessous.

Paramètre global	Détail	Calcul sur	Action orthophoniste
Intelligibilité	Score d'articulation plus bas que la norme	Phrase segmentée	Segmentation
	Non-respect de la phrase		Respect des mots
	Coarticulation élevée		Difficulté à segmenter
	Intonation en dessous de la norme ou non conforme	Phrase segmentée	Conformité accent
Fluence	Répétitions	Phrase segmentée	
	Débit trop lent	Phrase segmentée /PaTaKa/	
	Indicateurs de diado élevés	/PaTaKa/	
	Pauses inappropriées	Phrase segmentée /PaTaKa/	

Table 4 : Evaluation de l'intelligibilité et de la fluence

Au final, l'intelligibilité peut être considérée comme

- Normale
- Altérée
- Pathologique

La fluence peut être considérée comme

- Normale
- Altérée
- Pathologique

Evolution avant/après prise en charge orthophonique

Une des points forts d'une représentation synthétique des altérations phonémiques telle que celle utilisant le triangle vocalique élargi est de permettre une évaluation des progrès avant/après prise en charge orthophonique, qui est au cœur des pratiques probantes. La figure 20 donne un exemple de cas évalué grâce au bilan rapide (Phrase et diadococinésie) dans les mêmes conditions de passation, démontrant de nets progrès, matérialisés par un gain de 14 points dans le score d'articulation. On note par ailleurs une amélioration des performances d'articulation, mais aussi une diadococinésie moins atone, moins irrégulière et moins instable.



Figure 20 : Le triangle vocalique facilite l'évaluation des progrès avant/après prise en charge orthophonique (AVAP)

V. Validation

Intérêt des extrêmes consonantiques

Les concepts de profils type et de distance /m/s/ ont notamment été mis en valeur dans [Sicard 2017], comme illustré à la figure 21. Le mot « Monsieur », particulièrement écologique, inclut les extrêmes /m/ et /s/ en termes de voisement, de constriction et de contenu spectral.

- Le /m/ est très peu bruyé, principalement constitué d'un voisement basse fréquence
- Le /s/ est très bruyé à haute fréquence, très peu énergétique à basse fréquence

La distance /m-s/ évaluée en termes de fréquence d'après les spectres moyens (figure 21), s'est révélée significativement corrélée (0.5 à 0.65 selon les groupes considérés) à l'intelligibilité obtenue par un jury d'écoute combiné à différents indicateurs. Une des conséquences de ces analyses a été de promouvoir l'inclusion de « Monsieur » dans la phrase à enregistrer dans le cadre du protocole de bilan court de la parole.

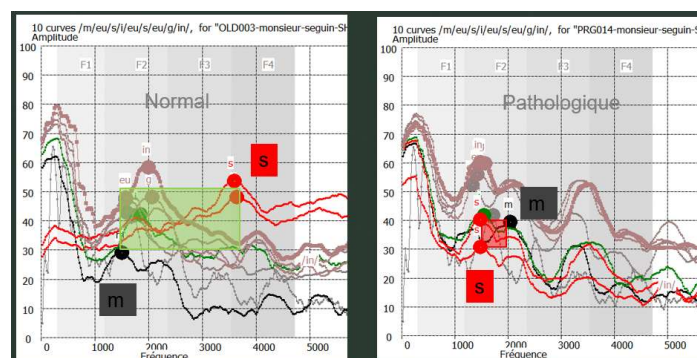


Figure 21 : Comparaison des distances /m,s/ entre parole normale (à gauche) et pathologique (à droite) [Sicard 2017]

Indicateurs de diadococinésie

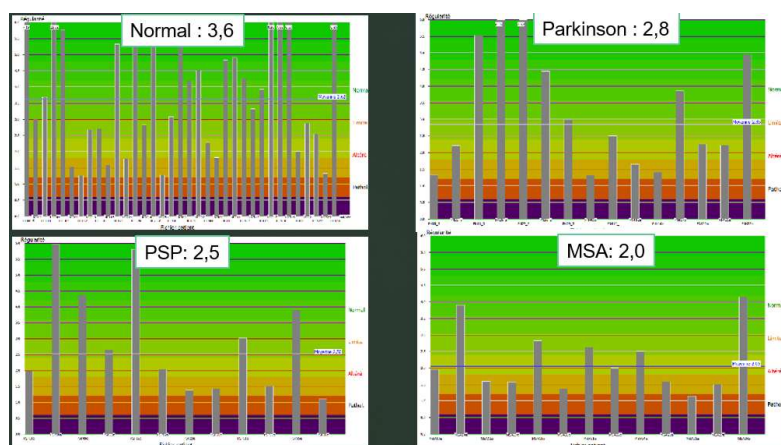


Figure 22 : L'épreuve de diadococinésie se révèle pertinente pour la classification différentielle de syndromes parkinsoniens (Parkinson, PSP, MSA) [Rusz 2015]

Les indicateurs de diadococinésie ont été testés sur le corpus de J. Rusz dans le cadre de la Maladie de Parkinson et des syndromes Parkinsoniens de type MSA et PSP [Rusz 2015]. L'épreuve de diadococinésie sur /PaTaKa/ se révèle particulièrement discriminante en termes de débit, régularité et stabilité en puissance entre groupe contrôle et 3 types de syndromes Parkinsoniens (Figure 22). Cette épreuve est aussi très largement documentée dans la littérature scientifique, la voyelle /a/ et les plosives étant quasi-universelles, ce qui facilite l'extraction de tendances d'après les méta-analyses. Les valeurs extraites automatiquement amènent à des résultats très similaires à ceux extraits manuellement dans le cadre de la publication scientifique [Rusz 2015].

Construction de la base de données

Dans le même état d'esprit que la base de données de voix réalisée dans le cadre du projet VOCALAB, la construction d'une base de données de parole a démarré en 2017 à partir d'enregistrements réalisés par différents orthophonistes intéressés par la démarche et les outils. Le but de la base de données était d'évaluer sur un grand nombre de cas la précision articulatoire, la fluence, le débit, l'intonation et le contrôle phono-articulatoire. Ces évaluations concernent des sujets allant de 3 à 99 ans.

La base de données parole a été l'un des axes fédérateurs de la démarche de recherches de l'ERU 46 « Parole pathologique » du LURCO de l'UNADREO [Lurco]. Une quinzaine de cliniciens ont accepté d'enregistrer des enfants de leur patientèle qui consultent pour des troubles de l'intelligibilité ou de la fluence, ainsi que des enfants tout-venants normo-phoniques. Ces enregistrements devaient être réalisés avec un protocole strict, une distance bouche-micro calibrée ainsi qu'un microphone unidirectionnel. Des modèles pré-enregistrés étaient utilisés afin de diminuer les biais de compréhension de consigne. Les orthophonistes étaient toutes sensibilisées à l'importance de la qualité d'enregistrement.

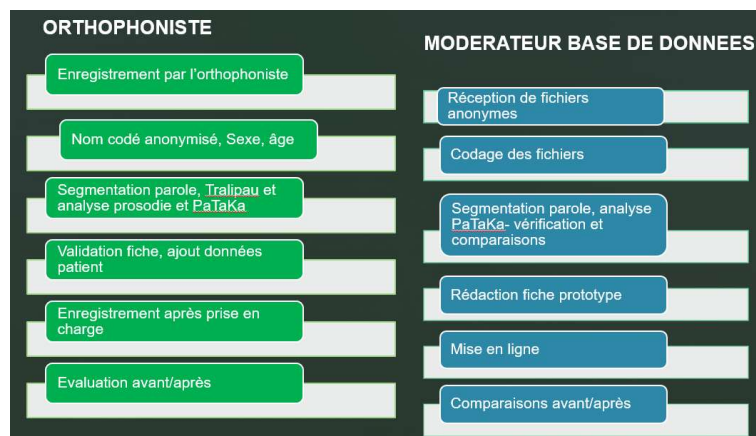


Figure 23 : Construction de la base de données : échange entre l'orthophoniste et le modérateur

L'avantage de cette base de données parole réside dans le fait que les patients ou témoins prononcent tous la même phrase, ce qui permet des comparaisons aisées entre sujet et d'extraire des valeurs référentielles en fonction du sexe et de l'âge. A partir d'une segmentation minutieuse de la phrase, combiné à la diadococinésie, une dizaine de paramètres sont calculés, permettant d'évaluer l'intelligibilité et la fluence. Le principe de construction de la base de données et une clarification du rôle du modérateur sont schématisés figure 23. A noter qu'aucun échantillon sonore n'est disponible via le web, contrairement à la base de données de voix [Vocalab].

Corrélation entre clinicien et score d'intelligibilité et de fluence

Environ 150 cas de parole normale, altérée et pathologique ont été étudiés. Les scores objectifs d'intelligibilité et de fluence ont été obtenus « à l'aveugle », sans connaissance du patient et sans précisions du praticien hormis le genre et l'âge. D'autre part, chaque cas a fait l'objet d'une évaluation selon les deux mêmes critères (intelligibilité et fluence), selon les mêmes niveaux (normal, altéré, pathologique). En synthèse, le score moyen de corrélation entre l'avis du clinicien et le bilan proposé est de 86 % sur 139 patients.

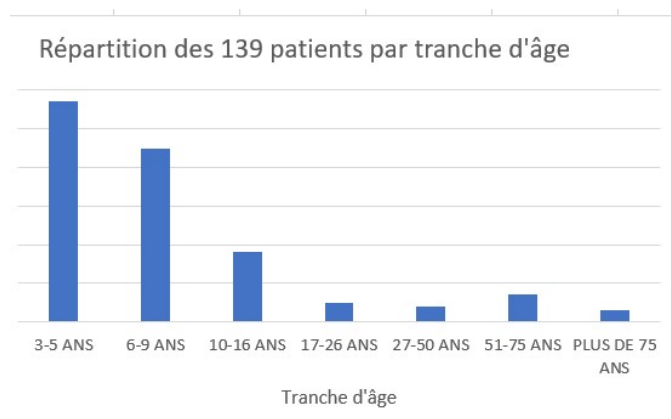


Figure 24 : Patients et témoins inclus dans les étapes de validation du protocole

Limitations

Notre approche, pragmatique et efficace, se trouve intrinsèquement limitée par la concision du matériel analysé : une phrase courte et quelques secondes de /PaTaKa/. Si la grande majorité des processus d'articulation est couverte par ces items (environ 80%), la moitié des phonèmes n'est pas intégrée dans le protocole. D'autre part, la phrase choisie comporte un accent situé sur le 1^{er} mot, d'autres contours prosodiques tels que la question ne sont pas abordés. De ce fait, une phrase complémentaire telle que « Vas-tu chez Françoise Gorneuil ? » pourrait amener des informations

supplémentaires, au prix d'un protocole plus lourd et une surcharge de travail notamment en termes de segmentation.

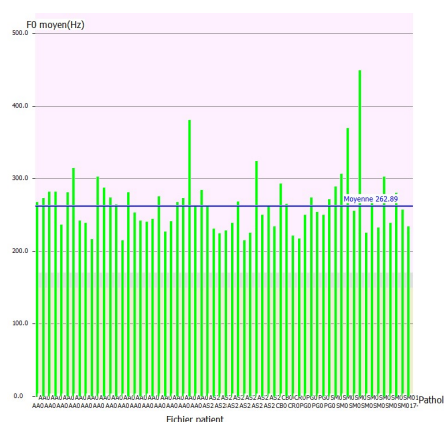
Une autre limitation est l'intervention de l'orthophoniste à différents stades de l'enregistrement, de la segmentation, du choix des phonèmes, de l'évaluation de la coarticulation et du respect des mots. On peut espérer avec les progrès de l'informatique une analyse encore plus aboutie, à la condition expresse toutefois que l'analyse logicielle soit significativement plus robuste que celle de l'orthophoniste, et ce quelque soit le cas de parole étudiée.

VI. Recherche

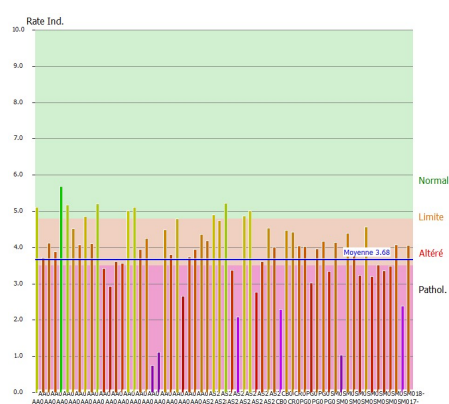
Statistiques en lien avec la parole

De manière similaire à VOCALAB [Sicard 2016], DIADOLAB [Menin Sicard 2019] dispose d'un outil de calculs statistiques pour étudier des groupes de cas de parole, par exemple la parole d'enfant, la dysarthrie, ou les groupes hommes/femmes, etc. Les données primaires calculées par l'outil statistique sont les suivantes :

- Sexe, d'après le codage du nom du fichier
- Age, d'après le codage du nom du fichier
- Pathologie, d'après le codage du nom du fichier
- Index de handicap, auto-évaluation, VHI, SHI, GRBAS, etc. , d'après le codage du nom du fichier
- Durée de phonation
- Amplitude moyenne
- F0 moyen (FUM)
- Intonation
- Indicateurs d'altération de la phonation (instabilité en hauteur, en intensité, pauvreté harmonique, bruit signal)
- Indicateurs de diadococinésie (répétitions de /PaTaKa/ pendant quelques secondes) : atonie, lenteur de débit, irrégularité de débit, irrégularité de puissance
- Débit sur une phrase type, score d'altération de l'articulation
- Pausas inappropriées
- Formants F1, F2 et F3
- Amplitude du voisement
- Constriction



Fondamental Usuel Moyen sur /pataka/



Débit en syllabes par secondes sur /pataka/

Figure 25 : Exemples de calculs statistiques concernant la parole d'enfants de 4 à 6 ans, en lien avec l'épreuve de diadococinésie

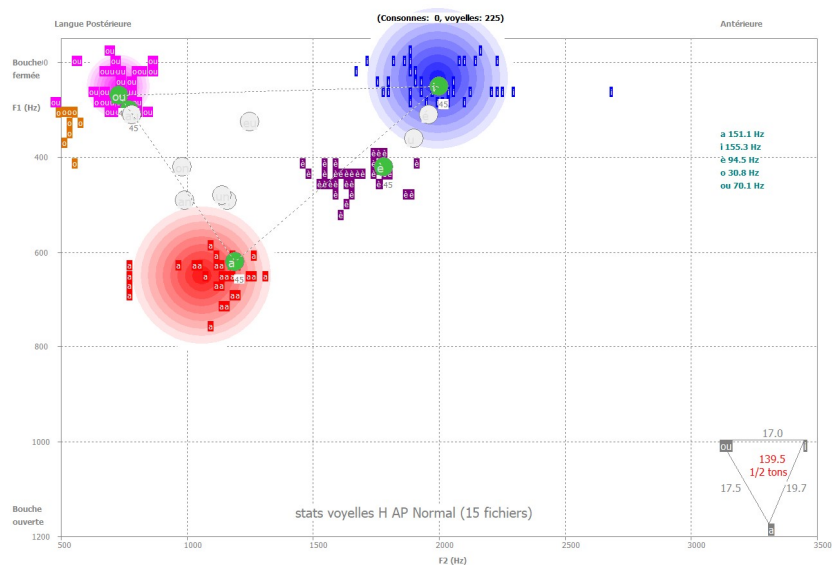
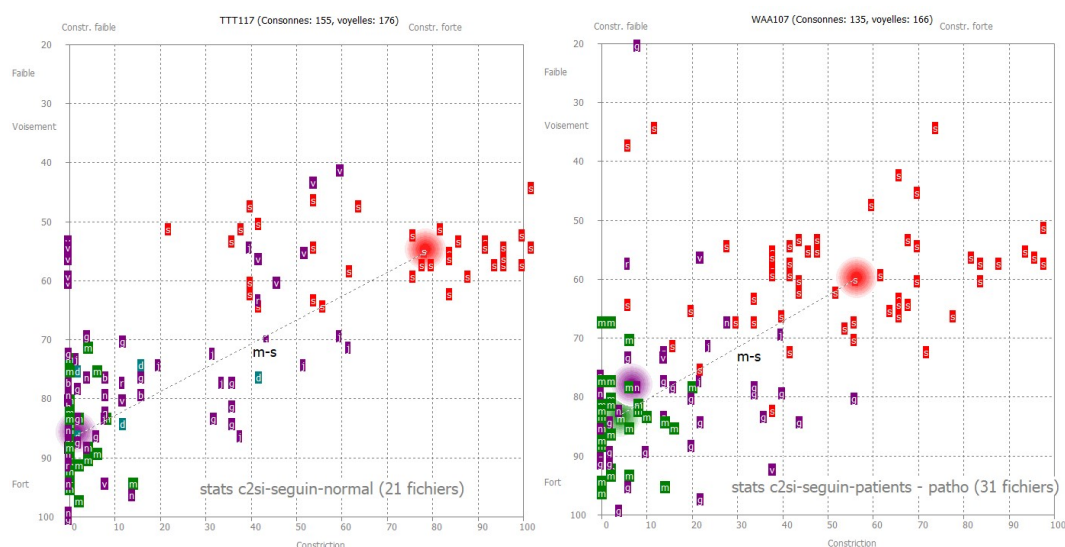


Figure 26 : Exemples de calculs statistiques après extraction des formants F1 et F2, et calcul de l'aire du triangle vocalique (Mémoire de A. Papazian, Tours, 2019)

La figure 25 donne un exemple de calculs statistiques en lien avec la parole de jeunes enfants (4 à 6 ans). La consigne consiste à demander à l'enfant de répéter des séries de /PaTaKa/ pendant au moins 5 secondes, en une seule respiration. On note un F0 moyen autour de 260 Hz et un débit de syllabes moyen de 3,7 syll./s, ce qui est conforme aux méta-analyses des voix d'enfants.

Une autre piste prometteuse est l'exploration des distances et de la surface du triangle vocalique, exprimée à la figure 26 en ½ tons, en incluant graphiquement la notion de dispersion fréquentielle des formants.

Une autre approche concernant cette fois les consonnes consiste à explorer la dimension constriction/voisement (Fig. 27) où l'on peut assez bien percevoir la variabilité du /s/ pour les patients par rapport aux témoins.



27-a : parole normale

27-b : parole altérée

Figure 27 : Exemples de calculs statistiques dans l'espace constriction/voisement (corpus C2SI)

Support aux mémoires d'orthophonie

Les outils statistiques ont été utilisés en support à différents mémoires d'orthophonie parmi lesquels:

- Caractérisation acoustique des productions vocales d'enfants francophones de 5 ans, avec notamment l'étude des indicateurs sur la voyelle /a, i, ou / tenue [MEYRIEUX et MOREAU, 2018], permettant de générer le triangle vocalique du groupe filles et du groupe garçon (Figure 28). On note une légère diminution de la distance /ou-a/ en ½ tons et une plus grande dispersion du /a/ chez les filles [Sicard2019].
- Construction de profils types de voyelles et de consonnes, en vue d'évaluer et rééduquer l'articulation en contexte orthophonique [LEFOL, 2018]. Dans son mémoire, 8 logatomes du protocole MonPaGe [Fougeron 2018] ont été segmentés, en vue d'extraire les profils types et distances inter-phonèmes.
- Mémoire d'Antoine PAPAIZIAN (2018-19), sur l'analyse acoustique de la production des consonnes et voyelles dans l'Ataxie de Friedreich, avec l'exploitation des données de parole pathologique du projet ORFA en lien avec l'ERU 35 (Pitié Salpêtrière, ICM, Sorbonne-Université Sorbonne Université),
- Mémoire de Caroline GRENIER (2018-20) : étude comparative de tests phonologiques existants et du protocole d'analyse objective de la parole avec Diadolab : intérêt et limites d'un test court et des mesures objectives d'intelligibilité et de fluence

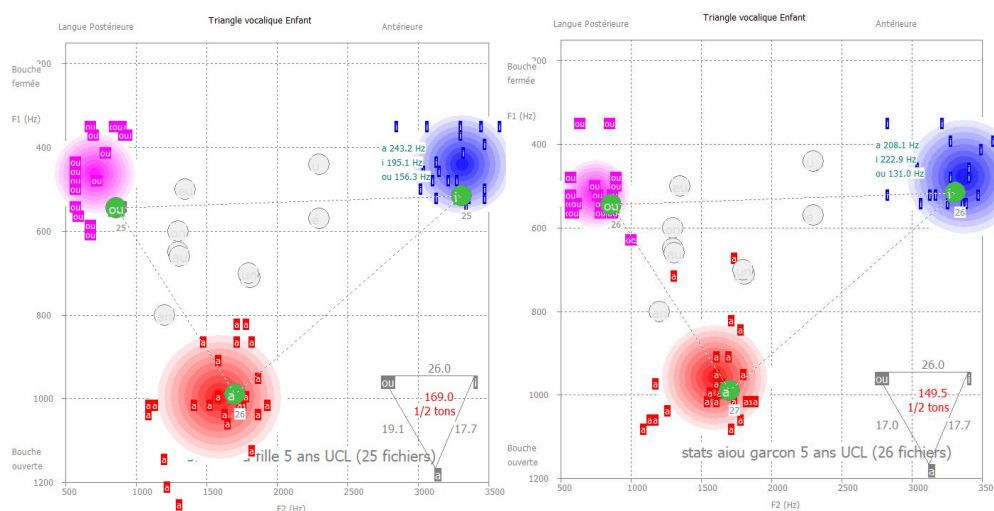


Figure 28 : Comparaison des triangles vocaliques de filles (à gauche) et garçons de 5 ans (à droite) [Sicard 2019]

VII. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé un bilan de la parole compact basé sur l'exploitation de deux épreuves très courtes, l'enregistrement d'une phrase et une épreuve de diadococinésie. Nous avons étayé le choix de la phrase, les données extraites, et détaillé les indicateurs d'altération de l'articulation évalués sur la répétition de syllabes. La synthèse des résultats sous forme d'une évaluation globale de l'intelligibilité et de la fluence a été décrite, avec des exemples d'évolution des scores avant/après prise en charge orthophonique. Ce bilan est décrit en détail dans le cadre de formations sur la parole à destination des orthophonistes [AMS]. Différents aspects de la validation ont été abordés : l'étude spécifique de la distance /m-s/, de l'irrégularité du débit, mais aussi la construction d'une base de données parole associée à l'avis du clinicien.

L'exploitation de la base de données parole, composée aujourd'hui de 150 témoins et patients devrait permettre d'approfondir l'étude des troubles de la fluence, du contrôle phono-articulatoire et de la prosodie, en ciblant prioritairement les dyspraxies verbales, le bredouillement et la dysarthrie. L'adossement au projet Voice4PD [Voice4PD] sur la parole dysarthrique devrait permettre d'affiner les indicateurs d'altération de l'articulation et explorer de nouveaux domaines, tels que l'espace constriction/voisement.

En lien avec l'équipe ERU 46, nous sollicitons aussi d'autres cliniciens afin d'enregistrer les patients et analyser la parole, en explorant de nouvelles pathologies et complétant au fil de l'eau la base de données parole sur des tranches d'âge faiblement pourvues, pour renforcer la pertinence statistique.

VIII. Références

[AMS] <https://amsformation.jimdo.com>

[Ayoub 2018] Ayoub, M. R., Larrouy-Maestri, P., & Morsomme, D. (2018). The Effect of Smoking on the Fundamental Frequency of the Speaking Voice. *Journal of Voice*.

[Boersma 2019] Boersma, Paul & Weenink, David (2019). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.0.52, retrieved 2 May 2019 from <http://www.praat.org/>

[C2SI] <https://www.irit.fr/recherches/SAMOVA/pagec2si.html>

[Coquet 2004] COQUET F.,(2004) Troubles du langage oral chez l'enfant et l'adolescent : Isbergues OrthoEdition

[Duffy 2013] Duffy JR. (2013). "Motor Speech Disorders: Substrates, Differential Diagnosis and Management", 3rd ed., Mosby, St. LouisElsevier, ISBN-13: 978-0323072007

[Fougeron 2018] Fougeron, C., Delvaux, V., Ménard, L., & Laganaro, M. (2018). The MonPaGe_HA database for the documentation of spoken French throughout adulthood. In *Proceedings of the Eleventh International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC-2018)*.

[Lurco] <http://lurco.unadreo.org> L'équipe de recherches ERU 15 s'est focalisée sur la voix, l'équipe de recherches ERU 46 de la parole.

[Mc Neil 2009] Mac Neil M. R. (2009) Clinical Management of Sensorimotor Speech disorders, second edition Ed. Thieme

[Menin Sicard 2019] Menin-Sicard, A, Sicard. E. (2019) DIADOLAB 3 - Logiciel d'évaluation et de rééducation de la parole - Manuel d'utilisation. Archives ouvertes du CNRS <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02073314>

[Meyrieux 2018] Meyrieux, L. Moreau, M. (2018). Caractérisation acoustique des productions vocales d'enfants francophones de 5 ans à l'aide du logiciel Vocalab. Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve

[Monetta 2016] Monetta, L., et al. (2016). Recension des outils franco-québécois pour l'évaluation des troubles du langage et de la parole. *Revue canadienne d'orthophonie et d'audiologie*, 40, 165-175.

[Monfrais 2014] Monfrais Pfauwadel M.C (2014). Bégaiement, bégaiements. Un manuel clinique et thérapeutique. Boeck Solal, ISBN: 9782353272549

[Rondal 1999] Rondal, J. A., & Serorn, X. (1999). Troubles du langage: bases théoriques, diagnostic et rééducation. Editions Mardaga.

[Rusz 2015] Rusz, J., et al. (2015). Speech disorders reflect differing pathophysiology in Parkinson's disease, progressive supranuclear palsy and multiple system atrophy. Journal of neurology, 262(4), 992-1001.

[Sicard 2013] Sicard, E., Menin-Sicard, A. , (2013) "Etude Bibliographique sur les Indicateurs de Pathologie de la Voix", <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00836900>

[Sicard 2016] SICARD E., MENIN-SICARD, A., (2016) "Evaluation et réhabilitation de la voix : approche clinique et objective », De Boeck Supérieur SA, 2016 Paris ISBN : 978-2-35327-318-8

[Sicard 2017] Sicard E., Mauclair, J., Woisard, V. (2017) Etude de paramètres acoustiques des voix de patients traités pour un cancer ORL dans le cadre du projet C2SI. 7èmes Journées de Phonétique Clinique, Jun 2017, Paris, France. 2017, <jpc7.ilpga.fr> <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01510418>

[Sicard 2019] Sicard E., Meyrieux L., Moreau M., Remacle A. (2019). L'analyse acoustique des voix d'enfants de 5 ans : Proposition de valeurs de référence pour les logiciels PRAAT et VOCALAB. Journées de Phonétique Clinique Mons, Belgique.

[Shipley 2015] Shipley, K. G., & McAfee, J. G. (2015). Assessment in speech-language pathology: A resource manual. Nelson Education.

[Vocalab] <http://www.vocalab.org> > Tout un tas de cas

[Voice4PD] <https://www.irit.fr/recherches/SAMOVA/pagevoice4pd-msa.html>

[Yamaguchi2012] Yamaguchi. N. (2012). Parcours d'acquisition des sons du langage chez deux enfants francophones. Linguistique. Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III, 2012. Français. <tel-01127106>

[Webb 2017] Webb W. G., (2017) : Neurology for the speech-Language Pathologist sixth edition ed. Elsevier