



Le bilan de la dysarthrie assisté par VOCALAB et DIADOLAB

Anne Menin-Sicard, Etienne Sicard

► To cite this version:

Anne Menin-Sicard, Etienne Sicard. Le bilan de la dysarthrie assisté par VOCALAB et DIADOLAB. 2022. [hal-03546249](#)

HAL Id: hal-03546249

<https://hal.science/hal-03546249v1>

Submitted on 27 Jan 2022

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.



HAL Authorization

Le bilan de la dysarthrie assisté par VOCALAB et DIADOLAB

Anne MENIN-SICARD, Orthophoniste, Formatrice voix et parole, anne.sicard2@orange.fr

Etienne SICARD, Professeur à l'INSA Toulouse, Directeur de Recherches au LURCO/UNADREO, etienne.sicard@insa-toulouse.fr

Introduction

Dans le cadre des pathologies neurologiques, qu'elles soient neuro-dégénératives ou acquises, des altérations de la phonation sont souvent observées [Sabadell 2018]. Elles apparaissent d'autant plus précocement que la pathologie évolue vite ou que les lésions vasculaires sont étendues. Il peut s'agir d'un trouble de la voix, de la prosodie, de l'intelligibilité [Kent 1989] [Ghio 2016] [Tykalova 2017] ou encore de la fluence, ces paramètres étant étroitement intriqués. L'un ou l'autre de ces aspects sera plus ou moins touché en fonction de l'étiologie de la pathologie, et les troubles associés seront très importants à prendre en compte [Rusz 2015]. Les troubles de la phonation sont souvent négligés au profit des troubles moteurs ou cognitifs. L'entourage s'habitue à comprendre, à interpréter jusqu'à ce que la parole devienne inintelligible.

Le caractère insidieux et progressif de la dégradation de la parole dans les dysarthries neuro-dégénératives retarde non seulement le suivi mais aussi le diagnostic. L'orthophoniste a donc toute sa place pour aider le médecin neurologue, grâce aux éléments factuels et objectifs de son bilan. Une évaluation précise de l'intelligibilité, la fluence, la prosodie et la phonation dans son ensemble est donc devenue indispensable. Les composantes aérodynamiques de tout le système phonatoire peuvent être mises à mal par un dysfonctionnement subit ou latent de l'une ou l'autre des paramètres, et avoir un impact à la fois social, personnel et professionnel considérable [Pinto 2010]. Pour accompagner et faire progresser son patient de façon efficace, l'orthophoniste aura besoin d'identifier dès le bilan initial à quel niveau se situe le problème, quelles sont les conséquences sur la parole pour pouvoir établir un plan de soin structuré avec une progression qui obéit à une méthodologie logique et adaptée [Menin-Sicard 2019]. Pour cela, l'orthophoniste doit être en possession des résultats des mesures, savoir les analyser et les interpréter afin de cibler et prioriser les axes thérapeutiques.

L'évaluation de la phonation dans son ensemble est encore aujourd'hui centrée sur des modalités perceptives car c'est la modalité la plus simple et la plus spontanée. Elle ne nécessite aucun appareillage. La démocratisation des outils d'évaluation objectifs tels que le logiciel Praat [Boersma & Weenink 2019], Vocalab [Sicard 2013] et Diadolab [Sicard 2016] encouragent les cliniciens à se former à des pratiques objectives sans pour autant laisser de côté l'aspect social, cognitif et émotionnel du patient [Auzou & Rolland-Monnoury 2019].

Dans la mouvance des pratiques probantes [Ratner 2006] [O'Conors 2009] [Maillart & Durieux 2014], l'orthophoniste doit être en mesure de justifier ses choix thérapeutiques et ses actes professionnels. Avoir accès à des synthèses de méta-analyses et/ou des recommandations de bonne pratique afin d'être aidée et confortée dans ses choix [Maillart 2006] devient une nécessité. De nombreux cliniciens utilisent couramment les outils d'analyses et de mesures leur permettant de s'affranchir plus aisément d'une subjectivité trompeuse et de réaliser des analyses précises de tous les paramètres de la voix et de la parole afin d'ajuster au mieux leur intervention. On peut citer notamment le protocole informatisé MonPage [Fougeron 2016]. Les travaux remarquables de [Rusz 2015] et [Tykalova 2017] ont conforté nos choix méthodologiques ainsi que nos valeurs référentielles.

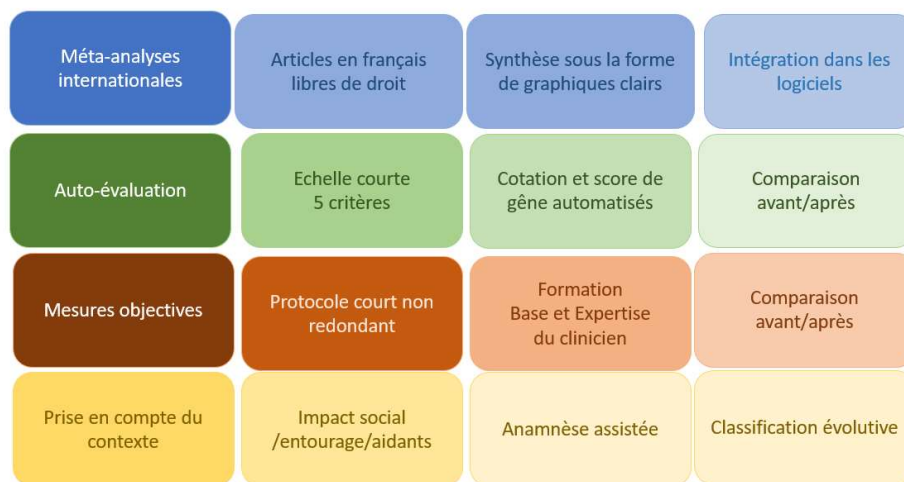


Figure 1 : Cadre méthodologique de l'approche AMCO

Le logiciel VOCALAB est utilisé depuis de nombreuses années par les cliniciens tout autant sur les aspects bilan que sur le suivi de la dysarthrie neurologique [Jan 2007]. Une étape importante a été franchie en 2019 pour proposer un bilan selon une cadre méthodologique rigoureux accordant de l'importance à 4 aspects (Figure 1) : les méta-analyses, l'auto-évaluation, les mesures objectives et la prise en compte du contexte [Menin-Sicard 2019]. Cette approche est désignée sous l'acronyme AMCO : Approche Métacognitive et Objective.

Les altérations de la voix, de la prosodie, de la fluence et de l'intelligibilité sont observées dans le cadre des pathologies neurologiques telles que, par ordre de fréquence : la Maladie de Parkinson idiopathique et les syndromes parkinsoniens (atrophie multi-systématisée), la PSP (paralysie supra nucléaire progressive), la maladie de Huntington ainsi que la maladie de Wilson. La prévalence des troubles dysarthriques suite à un accident vasculaire cérébral se révèle élevée. Dans la maladie de Parkinson idiopathique (prévalence 1.9% des sujets de plus de 65 ans), les sujets présentent une akinésie (diminution de l'amplitude des mouvements) touchant les articulateurs et les muscles de la face avec pour conséquence une diminution de la mimogestualité. Il s'agit d'une dysarthrie hypokinétique. Les difficultés motrices dans la coordination de séquences motrices alternatives sont rapportées dans [Sabadell 2018].

Ces altérations sont différentes en fonction des syndromes, du stade de la maladie et des particularités propres au patient lui-même. Le tableau 1 décrit les caractéristiques communes de la Maladie de Parkinson et quatre syndromes, en termes de déficit moteur et d'anomalies en lien avec la voix et la parole. Ce tableau se base sur notamment sur [McCaffrey 2013], [Duffy 2019] et [Auzou 2009]. Il emprunte à la littérature scientifique les traits les plus saillants de la Maladie de Huntington [Carlozzi 2021], [Perez 2018], [Diehl 2019] et de la Maladie de Wilson [Lorincz 2010].

Maladie	Symbole	Symptômes moteur	Symptômes en lien avec la voix	Symptômes en lien avec la parole
Maladie de Parkinson <i>Parkinson's Disease</i>	MP, PD	Ralentissement des mouvements volontaires, tremblements, rigidité et instabilité posturale	Dysprosodie émergente, perte des contrastes de volume et d'intensité, rétrécissement de l'étendue vocale, accolement asymétrique des cordes vocales	Fluidité réduite, portions de parole plus rapide, pauses anormalement longues, difficulté à initier la phonation ou arrêts de la phonation. Parole hypophonique et monotone, incapacité à maintenir le volume, imprécisions d'articulation
Atrophie Multi Systématisée <i>Multiple system atrophy</i>	AMS, MSA	Tremblements, rigidité, perte de coordination musculaire	Hauteur tonale réduite, durée de phonation diminuée, intensité sonore plus faible, hypernasalité, voix soufflée, bruit élevé déstructuration harmonique, instabilité en hauteur	Rythme ralenti, articulation laborieuse et irrégulière, dégradation des plosives, réduction du voisement, espace vocalique réduit
Paralysie supranucléaire progressive <i>Progressive supranuclear palsy</i>	PSP	Perte d'équilibre, raideur de la nuque, chutes, difficulté à bouger les yeux, à avaler et à réfléchir, contractions musculaires	Apraxie bucco-faciale, aphasie progressive, difficulté à contrôler la hauteur, déstructuration harmonique, instabilité en hauteur	Pauses inappropriées, difficultés d'élocution, nasalisation, répétition involontaire de syllabes ou de mots, imprécision des consonnes.
Maladie de Huntington <i>Huntington's disease</i>	MH, HD	Contractions involontaires, respirations audibles	Temps de phonation court, tensions avec ruptures de hauteur, fluctuations irrégulières de la hauteur, arrêts vocaux	Débit de parole réduit, rythme de parole anormal, silences inappropriés, consonnes imprécises, phonèmes prolongés, diminution du nombre de mots prononcés, réduction de la complexité syntaxique,
Maladie de Wilson <i>Wilson's Disease</i>	MW, WD	Dystonie faciale, des cordes vocales et de l'articulation, tremblements, rigidité, déficit attentionnel, troubles de la motricité	Fondamental aggravé, rétrécissement de l'étendue vocale, instabilité en fréquence et intensité, bruit élevé	Ralentissement du débit de parole, silences inappropriés, allongement des sons et des pauses

Table 1 : Symptômes en lien avec la voix et la parole en fonction des affections neurologiques

Les résultats sur des grands groupes de cas montrent que les altérations sont plus marquées pour les pathologies telles que la PSP et AMS que pour la maladie de Parkinson dite idiopathique. Les altérations fréquemment retrouvées après segmentation de corpus de parole sur des sujets atteints de dysarthrie d'origine neuro-dégénérative ou d'origine vasculaires sont :

- Troubles de l'intelligibilité : imprécisions phonémiques, atonicité, phonèmes ébauchés, substitutions, omissions, réduction de l'aire du triangle vocalique ou de l'espace consonantique, (perte des extrêmes) contaminations inter-phonémiques.
- Altération du timbre de la voix : pauvreté harmonique, éraillures, instabilité en hauteur et/ou en intensité, bruit de souffle ou déstructuration harmonique.
- Altération de l'intensité : hypophonie, perte de rendement, défaut de contrôle de la puissance sur la durée.
- Altération de la prosodie : réduction prosodique, prosodie inadaptée, altération du débit, allongements ou pauses inappropriés, accentuation non adaptée.
- Altération de la programmation/coordination de la parole : diadococinésie perturbée, débit, atonicité, irrégularité, instabilité.

Les altérations de la voix et de la parole sont étroitement liées et peuvent aussi être corrélées avec les symptômes moteurs (parésies, mouvements involontaires, manque de tonus, rigidité, hyperkinésie, spasticité, bradykinésie) associés aux troubles de la cognition sociale (troubles de l'humeur, agnosie des visages, difficultés d'empathie et de reconnaissance des intentions et états émotionnels d'autrui) [Sabadell 2018].

Evaluation de la phonation

L'évaluation de la voix, de l'intelligibilité et de la fluence telles que nous la proposons répond à un cahier des charges strict. Le protocole a les caractéristiques suivantes :

- **Passation courte** pour ne pas introduire de biais de lassitude ou de fatigue. Les patients atteints de pathologies neuro-dégénératives ou acquise sont généralement fatigables avec souvent des troubles cognitifs associés (attention et mémoire à court terme). Les consignes sont simples à comprendre. Le clinicien peut reformuler s'il le juge nécessaire.
- **Non redondant** : les mesures concernent un paramètre et un seul et ne sont pas réalisées plusieurs fois afin de limiter le temps de passation et d'analyse au strict minimum et de préserver le patient.
- **Rigoureux** : les recommandations d'enregistrement et les consignes sont fournies et doivent être respectées scrupuleusement, ce qui limite les biais de variabilité de protocole (avec modèle ou sans modèle en fonction des mesures) ou les faux positifs liés à des enregistrements non exploitables (niveau trop faible, trop de bruit, saturation, écrêtage, troncature).

Protocoles voix et parole

Le protocole et les consignes sont fournies avec les modèles pré-enregistrés dans les logiciels lorsque cela est nécessaire ce qui permet de guider le clinicien de façon précise et d'éviter des consignes fantaisistes.

Nous utilisons VOCALAB pour la partie voix (timbre, intonation, rendement) et DIADOLAB pour la partie parole (intelligibilité, prosodie et fluence). Pour évaluer la phonation dans le cadre des pathologies neurologiques, nous proposons un protocole avec 5 épreuves incontournables [Menin-Sicard 2019] et 3 épreuves complémentaires permettant de préciser les données ou de confirmer les premières observations faites (Table 2), s'il y a des doutes face aux premiers résultats ou des résultats jugés limites sur la première épreuve. La seule phrase « *Bonjour Monsieur Tralipau* » peut en effet ne pas suffire. Auquel cas il est recommandé de proposer la deuxième voire la 3^{ème}. Les 3 phrases suivantes comportent à elles trois, la très grande majorité des phonèmes de la langue française [Bardelang 2019] :

- *Bonjour Monsieur Tralipau (phrase déclarative)*
- *Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? (phrase interrogative)*
- *Il vole des framboises ! (phrase exclamative)*

Le tableau 2 synthétise les épreuves incontournables du bilan proposé. Le tableau 3 détaille les épreuves dites complémentaires.

Epreuves incontournables	Objectifs	Durée	Outils
Auto-évaluation en 5 critères IEFFIS	- Evaluer le degré de gêne selon 5 critères. Echelle IEFFIS (Intelligibilité, Expressivité, Fatigabilité, Fluence et Impact social) - Score de gêne évalué sur 25 – niveaux de gêne allant de sévère à aucune gêne.	7mn	DIADOLAB
Parole – Intelligibilité Phonologie	-Segmentation assistée: 13 phonèmes +1 cluster + une diphtongue Score de phonologie sur 30	5mn enregistrement + 7 mn de segmentation	DIADOLAB
Répétition d'une phrase simple : « Bonjour Monsieur Tralipau » avec consigne et modèle fourni	- Analyse objective des phonèmes avec réécoute sélective Caractérisation des altérations automatisées Evaluation de la contamination	1mn	
Prosodie	- Analyse automatique de la prosodie (FUM, intonation, pauses inappropriées, débit, durée des phonèmes)		
Phonation/voix A tenu impliqué avec consigne	Evaluer les paramètres du timbre : indicateurs évalués automatiquement à partir de l'enregistrement du A tenu 5 indicateurs normalisés à 1 - Nasonnement (indicateur de pauvreté harmonique) - Stabilité en hauteur et en intensité - Rapport signal/bruit - Déstructuration (%) - Durée de phonation spontanée	6mn	VOCALAB Ou DIADOLAB
Evaluation de la programmation/coordination motrice Diadococinésie Epreuve du pataka : <i>Protocole et consignes fournies</i>	Evaluation de la programmation/coordination motrice des mouvements sur les 7 premières secondes du pataka 4 indicateurs normalisés à 1 Calcul automatique des indicateurs de Atonicité Débit Régularité Instabilité en puissance	5mn enregistrement	DIADOLAB
Présentation « Bonjour, je m'appelle etc.... »	Evaluer l'intonation FUM fondamental usuel moyen (Hertz) Intonation (1/2 tons) – Base de l'histogramme	6 mn	VOCALAB

Table 2 : Liste des 5 épreuves incontournables avec leurs objectifs et leur temps de passation estimé.

Epreuves complémentaires facultatives.

Les épreuves listées dans le tableau 3 sont destinées à préciser les résultats et à aller un peu plus loin dans l'analyse. La corrélation des mesures objectives avec les résultats de l'auto-évaluation permet de faire le lien entre le fonctionnement physiologique et le ressenti du patient.

Epreuves supplémentaires facultatives	Objectifs	Durée	Outils
Effort vocal TPM	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement constrictivo-phonatoire et S/Z (équilibre des pressions sus et sous-glottique) - Rendement glotto-vélo-phonatoire A/Z (appui constrictif ou glottique, tonicité et endurance vélaire) 	10mn	VOCALAB
Répétition de la phrase « Est-ce que tu connais Glochin l'écureuil ? »	<ul style="list-style-type: none"> - Confirmer les altérations repérées dans la première phrase (processus de parole de base et combinés) - Caractériser les disfluences (pauses inappropriées, allongements) 	2mn + 7 mn de segmentation	DIADOLAB
Praxies de la parole	<ul style="list-style-type: none"> - 5 praxies dissociées - Repérer une dyspraxie ou une dissociation automatico-volontaire - Repérer des mouvements involontaires (fasciculations ou tremblements) - Score sur 15 	5mn	DIADOLAB

Tableau 3 : Liste des 3 épreuves complémentaires avec leurs objectifs et leur temps de passation estimé.

Auto-évaluation de l'intelligibilité et de la fluence

La plainte vocale est fréquente des patients atteints de pathologies neuro-dégénératives est fréquente et concerne souvent la perte d'intelligibilité, la perte d'intensité et la perte d'expressivité. Dans la maladie de Parkinson notamment, la perte de tonus, les difficultés d'initiation motrice et de contrôle moteur vont affecter la voix et la parole. Une auto-évaluation est nécessaire pour évaluer non seulement la gêne globale mais aussi permettre de cerner quel paramètre est le plus atteint. Le patient sera invité à s'auto-évaluer suivant 5 critères (Figure 2) :

- Intelligibilité : est-il compris ?
- Expressivité : peut-il exprimer ses émotions ou intentions ?
- Fatigabilité : est-il fatigable lorsqu'il parle longtemps ?
- Fluence : s'exprime-t-il avec aisance et fluidité ?
- Impact social : a-t-il le sentiment que sa parole altère ses relations ?

Le clinicien peut alors choisir les épreuves prioritaires du bilan en fonction du degré de gêne énoncé pour chaque critère. Par exemple, si la plainte porte sur l'intelligibilité, le clinicien va proposer d'emblée la répétition d'une ou deux phrases. Si sa gêne est particulièrement importante sur le critère expressivité, l'évaluation ciblera la prosodie, l'intonation spontanée sur une modalité dite conversationnelle (FUM + intonation) ou sur l'évaluation de la prosodie à partir d'une phrase segmentée. Cette échelle comporte seulement 5 questions, elle est courte et tient compte de la fatigabilité du patient. Le score est calculé automatiquement.

Anamnèse Auto-évaluation Pathologie Générer la fiche bilan Orthophoniste

Intelligibilité 2/5

1 5

Avez-vous le sentiment que votre parole est intelligible ?
On vous comprend d'emblée, on ne

1) Je me sens en permanence peu intelligible.
2) Je me sens souvent peu intelligible.
3) Je me sens parfois peu intelligible.
4) Je me sens plutôt intelligible.

Expressivité 3/5

1 5

Avez-vous le sentiment que votre parole est expressive ?
Vous parvenez bien à traduire vos

1) Je me sens en permanence inexpressif.
2) Je me sens souvent peu expressif.
3) Je me sens parfois inexpressif.
4) Je me sens plutôt expressif.
5) Je me sens toujours expressif.

Fatigabilité 1/5

1 5

Avez-vous le sentiment que vous êtes fatigable quand vous parlez ?
Manque de souffle, manque de

1) Je me sens en permanence fatigable quand je parle.
2) Je me sens souvent fatigable quand je parle.
3) Je me sens parfois fatigable quand je parle.

Fluence 2/5

1 5

Avez-vous le sentiment que votre parole est fluente ?
Vous vous exprimez avec fluidité et

1) Je me sens très souvent non fluent.
2) Je me sens plutôt non fluent.
3) Je me sens parfois fluent quand je parle.

Impact social 1/5

1 5

Avez-vous le sentiment que votre parole altère vos relations personnelles et/ou professionnelles ?

1) Je me sens toujours impacté socialement.
2) Je me sens souvent impacté socialement.
3) Je me sens parfois impacté

Score 9/25

Gêne marquée

1 2 3

Sauver dans la fiche patient

Figure 2 : Echelle IEFIS de Diadolab avec score de gêne : ici 9/25 – gêne marquée avec fatigabilité marquée et impact social très important

Le patient répond en donnant un chiffre de 1 à 5 et le clinicien valide la réponse en lisant la phrase qui correspond au chiffre annoncé. Le patient peut rectifier si la phrase lue par le clinicien ne correspond pas tout à fait au ressenti. L'analyse qualitative des résultats permet de savoir à quel niveau se situe la gêne et de corrélérer ces résultats avec ceux de l'évaluation objective. Par exemple le score d'expressivité sera corrélé aux résultats de l'évaluation objective de la prosodie ; le score d'intelligibilité sera quant à lui corrélé au score de phonologie, le score de fluence aux différentes mesures de débit. Le score de gêne est calculé automatiquement. La coloration allant du rouge au vert permet de se faire une idée immédiate du degré de gêne du patient (Table 4)

Degré de gêne	Scores
Aucune gêne	De 23 à 25
Gêne discrète	De 18 à 22
Gêne modérée	De 13 à 17
Gêne marquée	De 8 à 12
Gêne sévère	De 0 à 7

Table 4 : Niveaux de gêne et scores avec code de couleur associé

Recommandations d'enregistrement

L'enregistrement échantillons considérés comme exploitables, il est recommandé d'utiliser un microphone unidirectionnel (super cardioïde) afin d'isoler au maximum la voix du patient et limiter ainsi la captation de bruits environnants. L'échantillon doit impérativement respecter l'attaque et l'extinction du son et ne comporter aucun commentaire, consigne ou bruit parasite (faux-contacts par exemple, reste de consigne ou bruit extérieur).

Une fréquence d'échantillonnage à 22KHz et une résolution de 16 bit mono est largement suffisante pour ces analyses. Ce choix fait par défaut réduit le temps de paramétrage et le risque de comparer des enregistrements faits avec des paramétrages différents. Une réglette solidarisée au microphone permet de fixer la distance bouche-micro (idéalement entre 6 et 10 cm) et éviter les problèmes d'hygiène. Les micro-casques obturant l'audition sont à éviter car le patient aura tendance à parler plus fort s'il entend moins bien et la distance bouche micro sera plus difficile à fixer. Ces évaluations à quelques mois d'intervalles permettent de suivre la progression du patient, d'objectiver et donc signaler à l'équipe médicale une dégradation inquiétante d'un ou plusieurs paramètres. Une progression s'avère rassurante mais ne doit pas masquer une pathologie pourtant bien présente malgré les progrès liés à la rééducation. Cette évaluation simple, automatisée et courte encourage les cliniciens à la proposer régulièrement. Elle étaye la décision thérapeutique (arrêt ou renouvellement de suivi) et rassure le clinicien qui peut s'appuyer sur des éléments tangibles et expliquer au patient avec des éléments objectifs les raisons de sa décision.

Détail des épreuves

Epreuve de répétition d'une phrase simple avec modèle prosodique « *Bonjour Monsieur Tralipau* »

La répétition d'une phrase permet de disposer d'un échantillon de parole en situation contrainte. La répétition est considérée comme la meilleure épreuve pour évaluer la phonologie [Maillart 2012]. Les outils d'analyse VOCALAB et DIADOLAB permettent de faire des mesures précises de tous les paramètres de la voix et de la parole et de réduire la subjectivité liée à l'évaluation perceptive [Miller 2017]. La variabilité inter-juges est persistante, impossible à maîtriser du fait de la subjectivité inhérente à l'analyse perceptive [Jarzé 2017]. Kent en parlait en ces termes : *L'analyse subjective telle qu'elle est fournie par les méthodes habituelles de l'évaluation perceptive est potentiellement trompeuse* » [Kent 2013]. Les altérations de la voix grossières sont généralement détectées par la perception auditive mais l'oreille même entraînée ne peut les discriminer fiablement lorsqu'elles sont peu marquées. La fiabilité entre évaluateur à l'aide du GRBAS [Hirano 1981] par des auditeurs expérimentés ou non expérimentés a été jugée « modérée » et « faible » sur le paramètre « asthenic » et « strained ». Ces échelles induisent une importante variabilité de notation du fait de leur faible reproductibilité [Revis 2013].

L'évaluation de la phonologie à l'oreille est encore majoritairement utilisée, le plus souvent même sans enregistrement. Pourtant l'oreille à elle seule ne peut repérer que des altérations grossières et attendues de type omissions et inversions et qui concernent essentiellement les phonèmes consonantiques. Il est difficile voire impossible de déceler dans le flux rapide de la parole les altérations vocaliques (imprécisions, dénasalisations, instabilité), des simplifications de clusters, les dénasalisations, ébauches ou encore des altérations subtiles comme des voisement partiels ou des effets de masquage. La familiarité au patient et au protocole, l'empathie, notre propre perception auditive influencent favorablement ou défavorablement notre évaluation qui sera d'autant plus imprécise et peu représentative qu'elle portera sur un grand nombre d'items (listes de logatomes ou listes de mots à répéter). Il est difficile de faire abstraction de l'attraction de familiarité, même avec écoutes sélectives, à partir du moment où la cible attendue est connue de l'évaluateur.

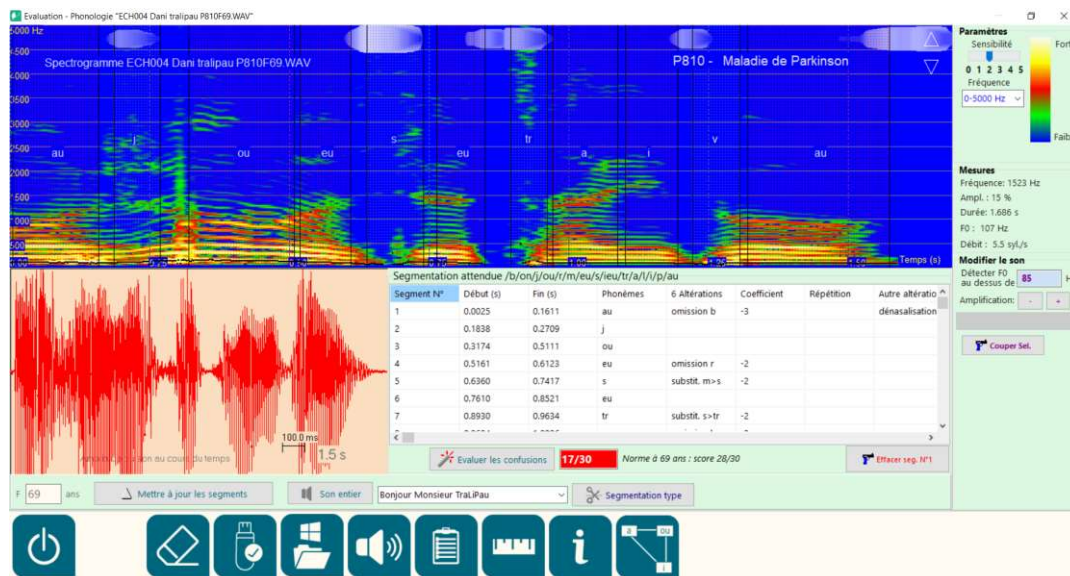


Figure 3 : DIADOLAB – Module phonologie avec outil de segmentation assistée. Le score évalué par l'outil à partir de ce qu'a entendu le clinicien est de 17/30 chez ce patient atteint de la maladie de Parkinson P810

L'analyse objective permet de repérer plus facilement et de manière fiable les altérations grâce aux outils de segmentation et de caractérisation phonème par phonème sur le spectrogramme. L'allure temporelle aide au positionnement des frontières phonémiques et permet de repérer aussi les contaminations excessives. La segmentation spectrale assistée permet d'aider le clinicien à repérer et de quantifier des paramètres importants pour l'intelligibilité (constriction, voisement, occlusion, nasalité, etc.).

L'analyse permettra de repérer immédiatement quels sont les processus de parole altérés afin de proposer un suivi adapté. Nous donnons figure 3 un exemple d'analyse d'une phrase */Bonjour Monsieur Tralipau/* enregistrée par un patient atteint de la maladie de Parkinson avec la segmentation attendue et celle effectivement réalisée par le clinicien.

La cotation des altérations se fait par un codage simple. La terminologie utilisée a été rendue explicite et se base avant tout sur la réalité clinique observée dans les échantillons de parole altérés de la base de données de parole qui comprend plus de 400 échantillons. La cotation est liée au degré de gravité de l'altération. Plus le phonème est éloigné de la cible, plus il sera sanctionné (-2). S'il est proche ou typique il ne le sera qu'à hauteur de -1. Diadolab identifie les altérations en fonction de la graphie renseignée par le clinicien dans le tableau prévu et calcule automatiquement un score à partir de ces données (Figure 4).



Figure 4 : DIADOLAB – Transfert de la segmentation du patient avec comparaison de la phrase cible et analyse qualitative complémentaire.

La comparaison entre la segmentation cible et la segmentation telle que perçue par l'orthophoniste permet d'évaluer le score de phonologie qui est à 17/30 seulement (Moyenne à 28/30 pour l'âge. Diadolab repère et cote les altérations (Figures 3 & 4).

Si on analyse ici les altérations, on constate une constriction encore préservée, les extrêmes vocaliques /a/, /i/, /ou/ sont présents par contre le phonème extrême /r/ est omis par défaut de recul de la langue. Il est cependant préservé dans le cluster /tr/. Le processus d'occlusion est altéré et substitué en une constriction antérieure /v/, altération assez fréquemment retrouvée chez les patients atteints de la dysarthrie de Parkinson (spirantisation). La mise en pression du conduit est rendue difficile par défaut de fermeture ou de réactivité vélaire. Le /l/ est omis. Le score est très en deçà de ce qui est attendu et il a été observé des contaminations élevées visibles dans la portion normalement stable du phonème sur le spectrogramme (Figure 3). La segmentation devient alors plus difficile, les frontières phonémiques moins claires.

La caractérisation des altérations de la parole par segmentation spectrale apportera des précisions et d'autres points de vigilance, comme par exemple :

- Une dégradation du processus voisement /occlusion en lien avec la faiblesse du voile (pas de mise en pression)
- Une dégradation du processus de constriction
- Des voyelles peu différenciées : une absence des extrêmes vocaliques /a/, /i/ et /ou/ remplacés par des voyelles plus centrales (eu/é/o)
- Des difficultés dans la production des diphtongues ou triptongues (simplification ou substitutions avec des voyelles moins extrêmes)
- Des difficultés dans la production et l'enchaînement de clusters comme /tr/ /gl/ /fr/

Cette phrase « *Bonjour Monsieur Tralipau* » simple et courte répond à un cahier des charges strict et s'est révélée être d'une grande efficacité et robustesse. Elle est facile à retenir, élimine le biais de mémoire auditive et se montre peu sensible au milieu social, à la régionalisation ainsi qu'à la coarticulation normalement retrouvée dans les autres phrases. Pour s'assurer de la pertinence de cette phrase nous avons élaboré un outil d'évaluation de la qualité des phrases tenant compte de 8 paramètres distincts. Chaque nouvelle phrase proposée pourra être alors évaluée suivant des critères équivalents.

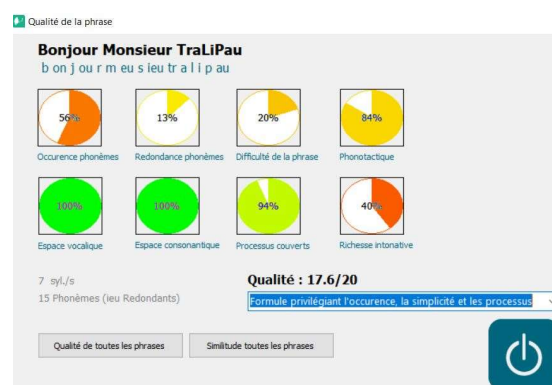


Figure 5 : Outil d'évaluation de la qualité des phrases choisies en tenant compte de 8 paramètres

Cette phrase a été évaluée selon une formule pondérée mêlant l'occurrence des phonèmes en français, la redondance, la difficulté de la phrase, la phonotactique, la couverture de l'espace vocalique et consonantique, les processus de parole et la richesse intonative (Figure 5). Elle peut être considérée comme une phrase particulièrement optimisée et efficace pour le bilan de la parole [Sicard 2019c].

Evaluation de la prosodie

La prosodie est constituée par les éléments suprasegmentaux de la parole : elle constitue un critère d'intelligibilité et d'expressivité du discours. Pouvoir exprimer des nuances, des émotions et des intentions dans l'échange permet au sujet de se faire comprendre, de transmettre des messages en accord avec son ajustement à l'interlocuteur et au contexte. Lorsque celle-ci est perturbée, des distorsions de message provoquent des réactions inattendues et aura pour conséquence d'augmenter l'isolement du patient parfois même au sein de son foyer. Le patient peut ne plus se sentir « reconnu », perdre son accent, ou sa « voix d'avant » et ressentir une grande détresse à ne pas être compris ni estimé. Une question peut être interprétée comme une injonction car le patient ne parvient plus à réaliser des courbes intonatives ascendantes. Un accent trop marqué peut être interprété comme une insistance, un reproche alors qu'il n'était pas intentionnel. Un débit trop lent, conséquence de prises de parole laborieuses expose le sujet à être souvent interrompu voire exclu des interactions.

La prosodie inclut :

- L'intonation (variations de F0)
- Le débit (nombre de syllabes par seconde)
- Les accents de hauteur et d'intensité
- Les pauses (nombre et durées)

L'évaluation de la prosodie se fera à partir d'une ou des phrases préalablement segmentées, ce qui permet à Diadolab de ne tenir compte que des segments voisés pour une évaluation plus précise. L'exemple de la figure 6 concerne l'évaluation d'un patient dysarthrique de 59 ans à la suite d'un « AVC hémorragique cérébelleux droit » avec une suspicion d'une angiopathie amyloïde cérébrale.

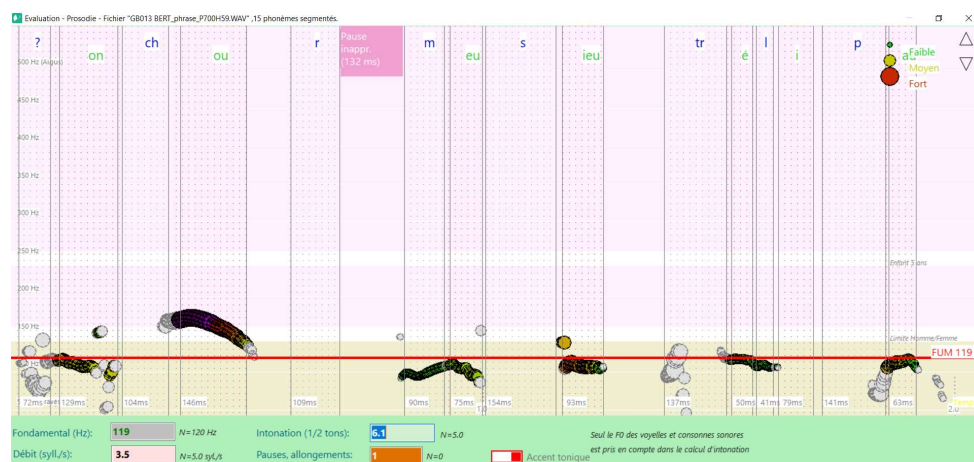
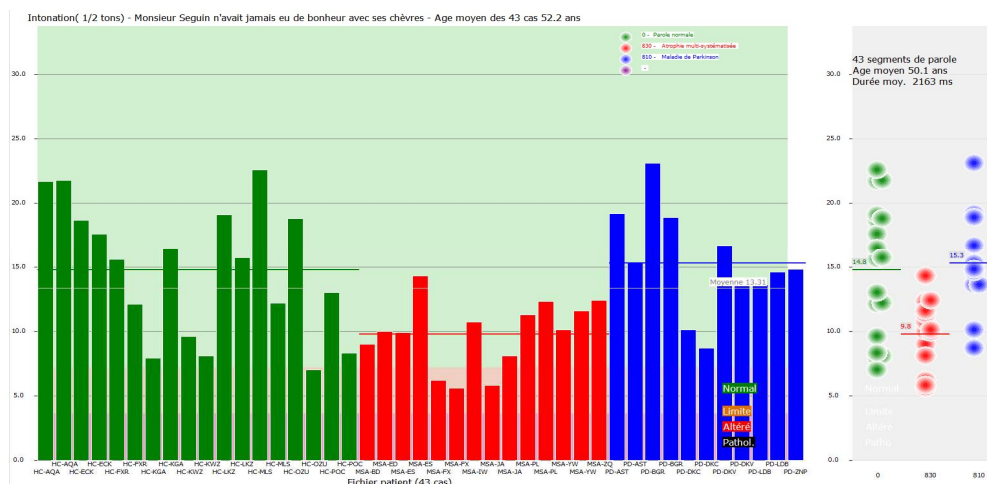
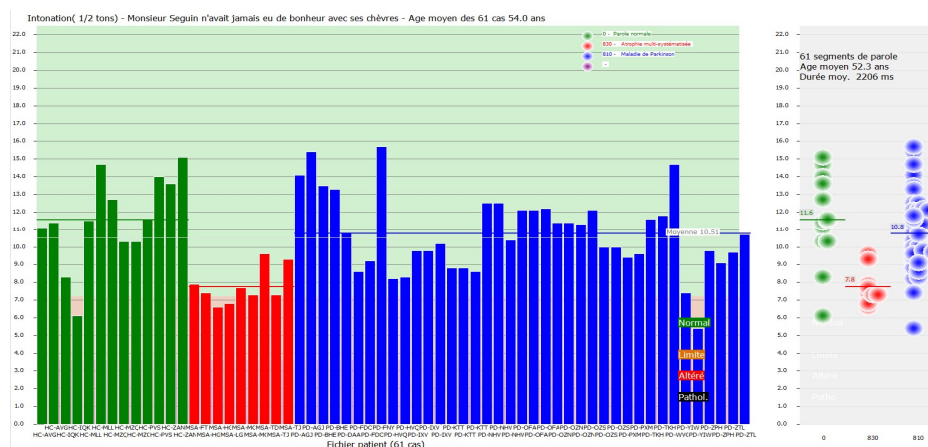


Figure 6 : Evaluation de la prosodie chez un patient dysarthrique après AVC.

Nous voyons ici que le débit syllabique est en-dessous de ce qui est attendu en moyenne dans cette phrase avec modèle fourni (3.5 syllabes par seconde). L'intonation est limitée (6.1 demi-tons) par contre une pause inappropriée a été détectée.



Groupe femmes, témoins en vert, MSA en rouge, PD en bleu



Groupe hommes, témoins en vert, MSA en rouge, PD en bleu

Figure 7 : Extraction de l'intonation sur le texte lu : réduction significative pour le groupe MSA [Sicard 2021]

Dans son analyse différentielle des syndromes Parkinsoniens, [Hlavnicka 2017] pointe des composantes prosodiques spécifiques telles que :

- La moyenne de la durée des segments voisés (*duration of voiced intervals - DVI*) qui augmente avec la sévérité de la dysarthrie,
- La durée des consonnes plosives (*duration of stop consonants -DUS*)
- La dégradation des fricatives non voisées (*degree of unvoiced fricatives - DUF*).

Dans cette étude, les performances de patients atteints de la maladie de Parkinson idiomatique (PD), sont comparées à celle de patients souffrant d'Atrophie Multi-systématisée (MSA) ou la paralysie supra nucléaire progressive (PSP).

Dans le cadre du projet ANR Voice4PD [Das 2021], nous avons étudié l'intonation sur une phrase de la fable de Mr Seguin, à l'aide des outils de segmentation et de statistiques de DIADOLAB. Le contraste entre MSA et les autres groupes est assez net, comme l'illustre la figure 7. Il y a bien une caractéristique de discours très monotone avec MSA [Sicard 2021], alors que PD a des caractéristiques très proches du groupe témoin.

Epreuve du A tenu impliqué

Les paramètres **du timbre** sur la voyelle /a:/ tenue impliquée (indicateurs d'altération du timbre) est une épreuve devenue consensuelle et incontournable présente dans la grande majorité des protocoles. Elle permet d'évaluer des paramètres du timbre pouvant être discriminants comme la pauvreté harmonique (en lien avec l'hypotonie vélaire) le pourcentage de déstructuration (en lien avec le fonctionnement du plan glottique) ainsi que l'instabilité en hauteur et en intensité (aspect neuro-musculaire et fonctionnel). Les 5 indicateurs implémentés dans VOCALAB sont les suivants.

- Attaque
- Instabilité en hauteur
- Instabilité en intensité
- Rapport signal/bruit
- Pauvreté harmonique

Les indicateurs sont normalisés : la limite normal/altéré est à 1.0, l'analyse d'un /a:/ normal est majoritairement situé en dessous de 0.8, un /a:/ pathologique significativement au-dessus de 1.4. Une base de données de plus de 1500 cas de /a:/ a été utilisée pour mettre au point ces indicateurs, avec différentes collectes de données et travaux de recherches spécifiques, notamment pour la voix de l'enfant [Sicard 2019b], la voix âgée [Barbera & Frenay 2016], ainsi que la parole dysarthrique [Sicard 2021]. Nous montrons à la figure 8 l'exemple d'un spectrogramme affiché à partir de l'enregistrement d'un /a:/ tenu bien sonore chez un sujet dysarthrique, âgé de 70 ans, atteint de dysarthrie/apraxie verbale. Nous donnons aussi le profil de puissance ainsi que les indicateurs calculés par VOCALAB.

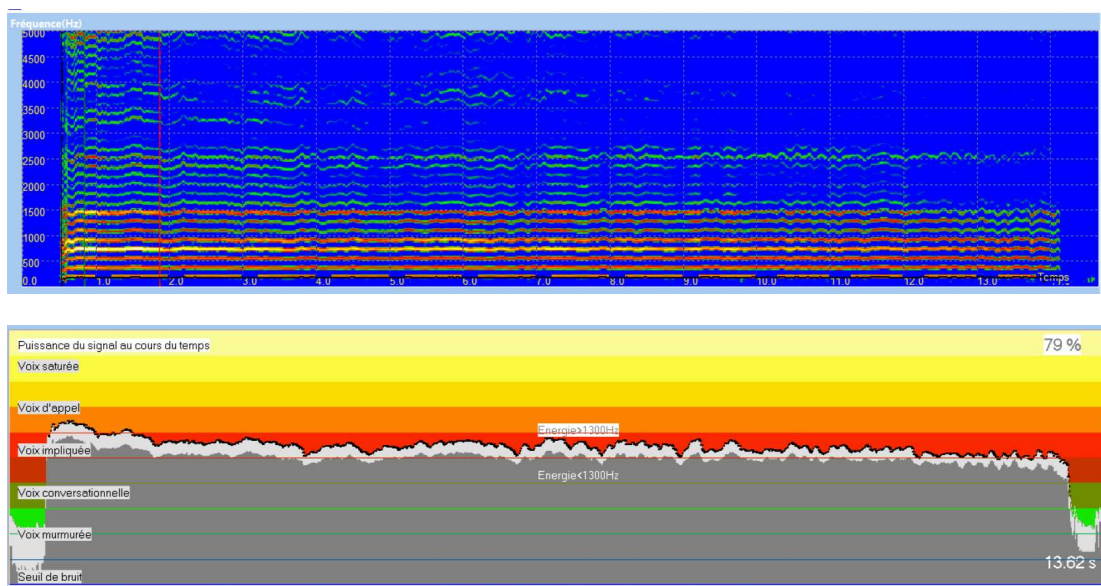


Figure 8 : Spectrogramme du /a:/ tenu d'un patient dysarthrique et profil de puissance associé (homme de 70 ans)

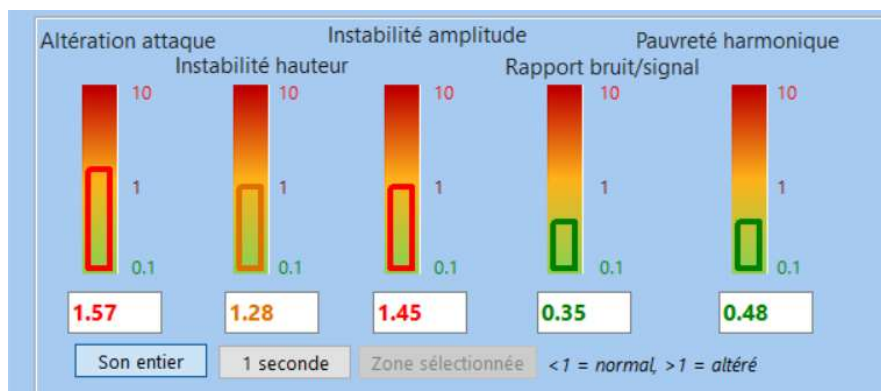


Figure 9 : Résultats de l'analyse du /a/ tenu d'un sujet de 70 ans atteint de dysarthrie/apraxie verbale : spectre du A tenu, avec indicateurs et profils de puissance.

Nous voyons sur le profil de puissance (Figure 8 en bas) que l'attaque est instable, qu'il existe une instabilité en hauteur visible surtout sur le profil de puissance et observée sur toute la durée de la production, une instabilité en intensité marquée mais un rapport signal sur bruit et une pauvreté harmonique en dessous de la norme (< 1). Le patient a un bon rendement glotto-vélaire mais un contrôle neuro-musculaire altéré. Les indicateurs d'instabilité en hauteur et en amplitude élevés sont assez révélateurs d'un défaut de contrôle neurologique.

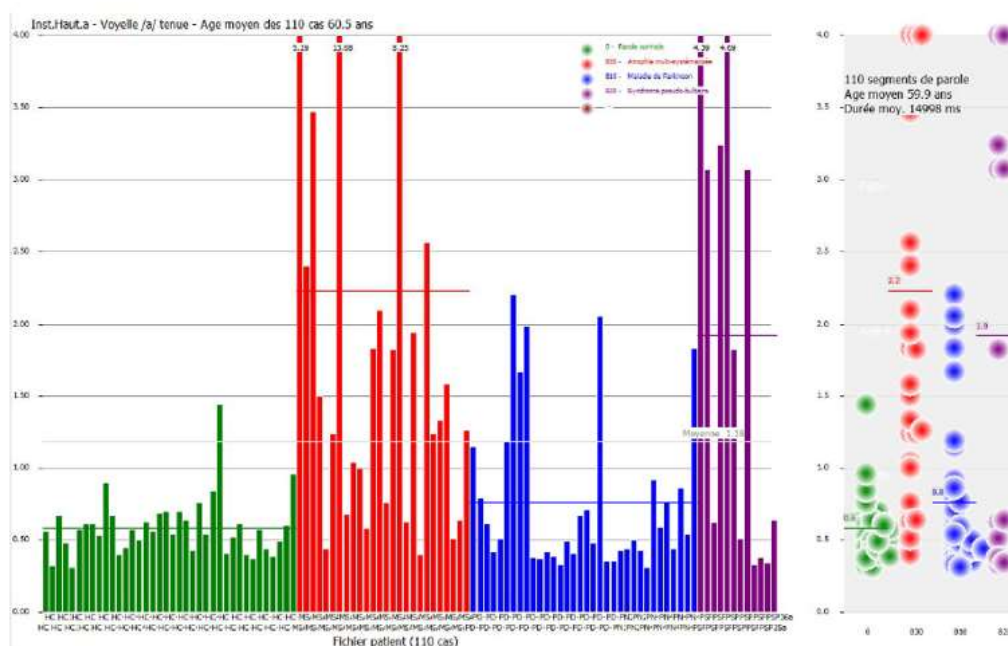


Figure 10 : Etude statistique sur 110 sujets portant sur l'indicateur d'instabilité en hauteur (Jitter) pour 4 groupes (Groupe contrôle en vert, Parkinson en bleu, syndrome pseudo-bulbaire en violet et atrophie multi-systématisée en rouge).

Chez les sujets atteints de la maladie de Parkinson (en bleu dans l'étude statistique de la figure 10), les valeurs moyennes de l'indicateur d'instabilité en hauteur sont en général légèrement au-dessus du groupe contrôle (en vert) par contre les valeurs moyennes sont très significativement élevées chez les sujets atteints d'atrophie multi-systématisée (rouge) et de dysarthrie pseudo-bulbaire (violet). Ces résultats sont proches de ceux obtenus par [Rusz 2015] ou [Das 2021].

	Epreuve	Mesure	HC	MSA	PD	PSP	Altération
Voyelle tenue	/a:/	Durée de phonation (s)	15.0	10.1	10.9	13.7	↓
		Instabilité en hauteur (N)	0.6	2.2	0.8	1.9	↑
		Instabilité en amplitude (N)	0.9	1.4	1.1	1.2	↑
		Rapport Bruit/Signal (N)	1.3	2.9	1.5	1.8	↑
		Déstructuration harmonique (%)	0.5	19.0	3.9	25.3	↑
Diado-cocinésie	/Pataka/	Débit (N)	0.7	1.4	0.7	1.6	↓
Parole	Monologue	Irrégularité (N)	0.7	1.9	0.8	2.7	↑
		Intonation (1/2 ton)	14.8	9.8	15.3	(N.D)	↓
		Espace vocalique (1/2 t**2)	160	140	160	(N.D)	↓

Table 5 : Altération des différents indicateurs en fonction des 4 groupes de sujet (HC, MSA, PD, PSP).

Dès lors que l'orthophoniste reçoit une plainte qui concerne la voix, même si le compte-rendu médical n'objective pas de dysfonctionnement ni de lésion sur le plan glottique à proprement parler, il est fortement recommandé de procéder à une analyse objective du /a:/ tenu. Cette épreuve fait partie des incontournables (ligne de base). Les résultats seront commentés et communiqués au médecin généraliste et au neurologue, ce qui peut être ajouté au dossier et pris en compte pour le diagnostic différentiel des pathologies neuro-dégénératives.

En l'absence de pathologie vocale à proprement parler (lésion d'ordre traumatique, immobilité laryngée), une dégradation de certains paramètres de la voix telle que l'instabilité en hauteur, l'instabilité en intensité, la perte d'efficacité constrictive et occlusive, une hypo-réactivité vélaire responsable d'un nasonnement ou dénasalisation, des comportements réactionnels de forçage (indicateur bruit /signal) doit faire suspecter une pathologie neuro-dégénérative. Ces éléments ne suffisent pas, c'est la raison pour laquelle, une évaluation de la parole est indispensable en plus des investigations médicales prescrites par le généraliste ou le neurologue. Le tableau 5 décrit le profil pathologique des différents types de dysarthries en fonction des mesures faites à partir du A tenu, le /pataka/ et le monologue.

Nous voyons ici que dans la maladie de Parkinson (PD) les valeurs des indicateurs sont assez proches des valeurs retrouvées dans le groupe tout venant sauf sur deux aspects : la déstructuration harmonique et la durée de phonation. Par contre les indicateurs sont très au-dessus des valeurs moyennes pour les deux autres pathologies et ce sur la plupart des indicateurs.

La déstructuration harmonique, assez fréquente dans les dysarthries sévères, se présente sous forme de deux phénomènes, l'un lié à l'interruption brusque de la vibration laryngée, souvent noté DUV (*Degree of Unvoiced*) dans PRAAT, l'autre lié à la dégradation brusque du contenu harmonique, avec sonorisation [Sicard 2021]. Dans l'exemple de la figure 11, la structuration harmonique est altérée en début de phonation, ainsi qu'entre 0.8 à 1.0 sec. Il n'y a pas de perte de voisement, mais des zones où le bruit (taches aléatoires vertes et rouges) apparaît à la place des harmoniques (traits rouges et jaunes horizontaux).

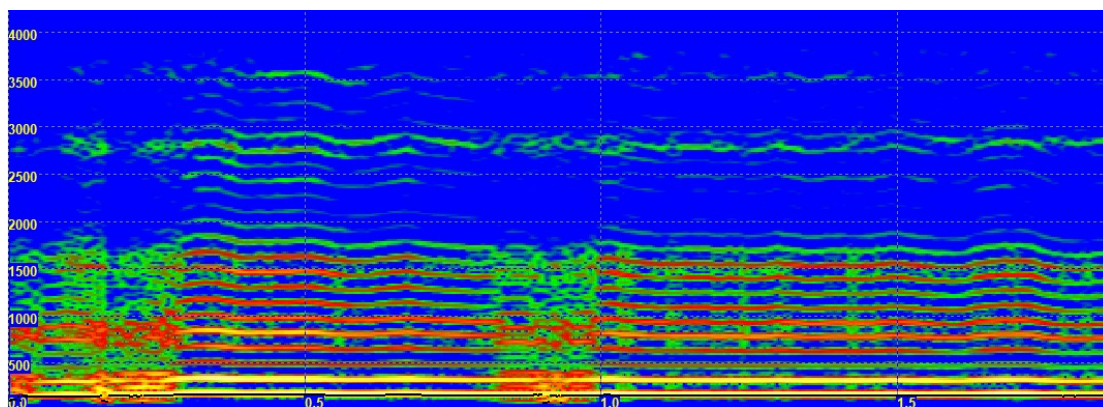


Figure 11 : Exemple de déstructuration harmonique sur un /a:/ tenu, femme de 66 ans atteinte de MSA

L'étude de la déstructuration harmonique porte en général sur une voyelle /a:/ tenue. Nous avons implémenté cet indicateur dans DIADOLAB car il nous a paru pertinent dans le cas spécifique du bilan de la dysarthrie. Une très légère déstructuration peut être observée dans la voix normale, soit lors de l'attaque quand elle est bruitée (coup de glotte), soit en fin de production lors d'un serrage par exemple, soit s'il existe une désynchronisation des cordes vocales liée à une différence de masse. Si l'on ignore ces deux zones transitoires particulières, la déstructuration harmonique sur un /a:/ tenu en phonation normale est très rare.

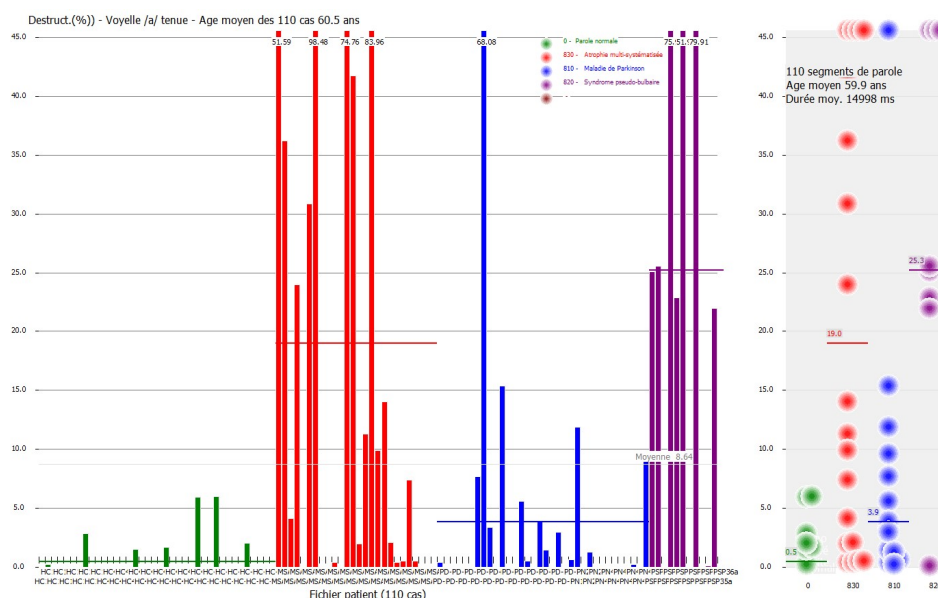


Figure 12 : Pourcentage de déstructuration harmonique sur un /a:/ tenu pour les groupes HC (vert), MSA (rouge), PD (bleu) et PSP (violet).

La figure 12 indique une quasi-absence de déstructuration harmonique pour le groupe contrôle, 20% pour MSA, 5% seulement pour PD et 25% pour PSP. Ces valeurs sont beaucoup plus élevées que celles publiées sur l'indicateur *NoPhonCoef* de [Kowalska 2020], le rapport entre les segments sans et avec phonation, mais se rapprochent de *Degree of Unvoiced DUV* de [Rusz 2015] : MSA 11 %, PD 0.2 % et PSP 3.5 %. La déstructuration harmonique est ainsi plus présente que le dévoisement, notamment pour PSP. Un indicateur de déstructuration harmonique au-delà de 3 % pourrait alerter le clinicien sur la gravité de la dysarthrie, notamment si les performances du patient stagnent ou se dégradent malgré la prise en charge orthophonique.

Epreuve de diadococinésie

La diadococinésie, et notamment la répétition de la série /PaTaKa/ est une des épreuves les plus communes des bilans de dysarthrie, avec une littérature scientifique très abondante [Rusz 2015]. Parmi les paramètres les plus pertinents se trouvent l'indicateur de débit (trop lent ou trop rapide par rapport à une norme), l'irrégularité du débit, l'atonie des plosives /p,t,k/ par rapport à la voyelle /a/, le temps d'établissement de la voyelle par rapport à la consonne (Voice onset Time – VOT), ou encore l'instabilité en puissance au cours de la production.

Cette épreuve est proposée dans la batterie d'évaluation clinique de la dysarthrie [Auzou & Monnoury 2019]. Connue sous le nom de « alternative motion rate » [Ackermann 1995] [Pierce 2013], l'épreuve de diadococinésie se révèle pertinente pour évaluer le contrôle et la coordination glotto articulaire.

Les protocoles sont assez variés selon les pays. Les plosives /t,k/ nécessitent un déplacement important de la langue et le /p/ un mouvement des lèvres tonique ainsi qu'une obturation de la cavité nasale par le voile du palais assurant ainsi la mise en pression du conduit vocal. La série pa/ta/ka est pertinente car elle comporte trois lieux d'articulation différents ce qui nécessite une planification, une coordination des principaux articulateurs (langue/lèvres/voile) et ce à un rythme correspondant à la parole spontanée (6 syllabes par secondes).

Nous proposons un modèle pré-enregistré permettant d'éliminer les biais de consignes. Environ 7 secondes chez l'adulte sont prélevées sur l'enregistrement sonore, et le calcul des indicateurs sera fait automatiquement, comme décrit dans [Sicard 2020]. Les valeurs de ces indicateurs sont normalisées de sorte qu'une valeur en dessous de 1.0 correspond à la parole normale, et au-dessus de 1.0 à la parole altérée. Quatre indicateurs sont proposés (Figure 13) :

- L'atonie
- Le débit syllabique
- L'irrégularité
- L'instabilité en puissance

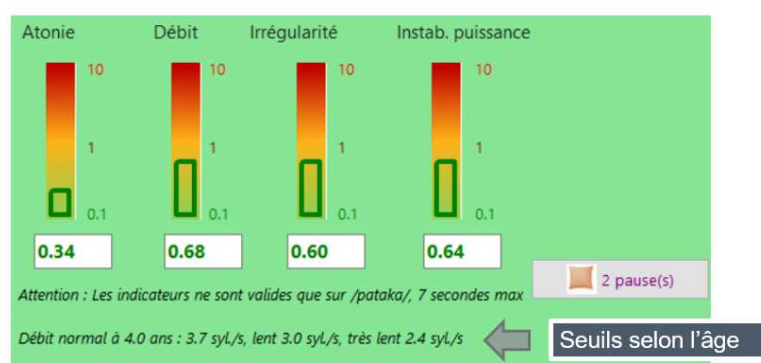


Figure 13 : DIADOLAB – Module Diadococinésie : les 4 indicateurs avec identifications d'éventuelles pauses et adaptations à l'âge du sujet

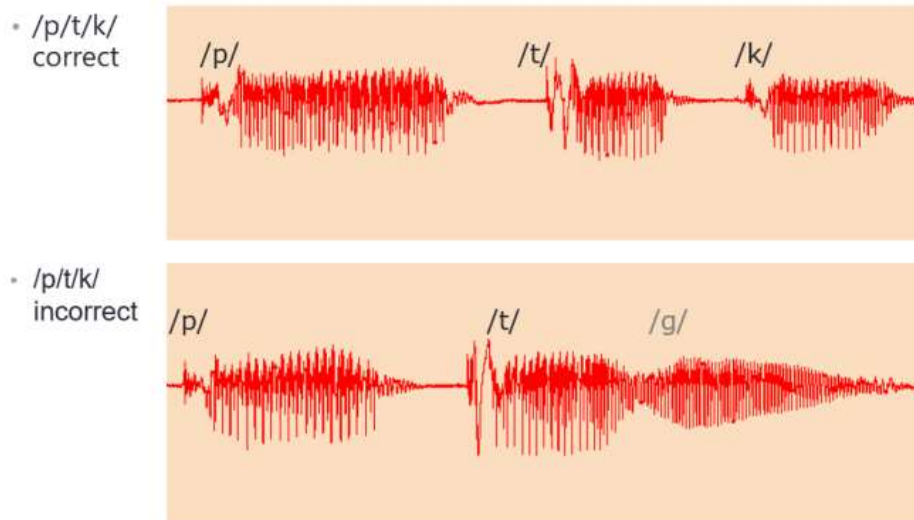


Figure 14 : Analyse des syllabes grâce à l'allure temporelle. En dessous, le voisement s'est anormalement prolongé

L'analyse multiparamétrique de la diadococinésie avec ces indicateurs non corrélés entre eux permet de différencier s'il s'agit d'un problème de contrôle à proprement parler ou de coordination des différents processus de parole dans la vitesse. L'analyse sélective de quelques syllabes en modalité temporelle peut nous aider à repérer un VOT (*Voice Onset Time*) anormalement long, un transitoire inexistant ou atténué, des allongements ou interruptions anormales (Auzou 2000).

La figure 14 illustre un enchaînement /PaTaKa/ conforme, et un enchaînement non conforme où le /k/ est voisé et perçu comme un /g/. Cette épreuve évalue aussi la qualité de la mise en pression du conduit vocal nécessaire à la production d'occlusives puisque le voile du palais doit être tonique sur une durée de 7 secondes. Nous reportons en figure 15 l'exemple d'une femme de 56 ans atteinte d'atrophie multi-systématisée. Cette épreuve lui est difficile et 3 indicateurs sont très au-dessus de 1.0, ce qui correspond à la parole pathologique (Figure 15).

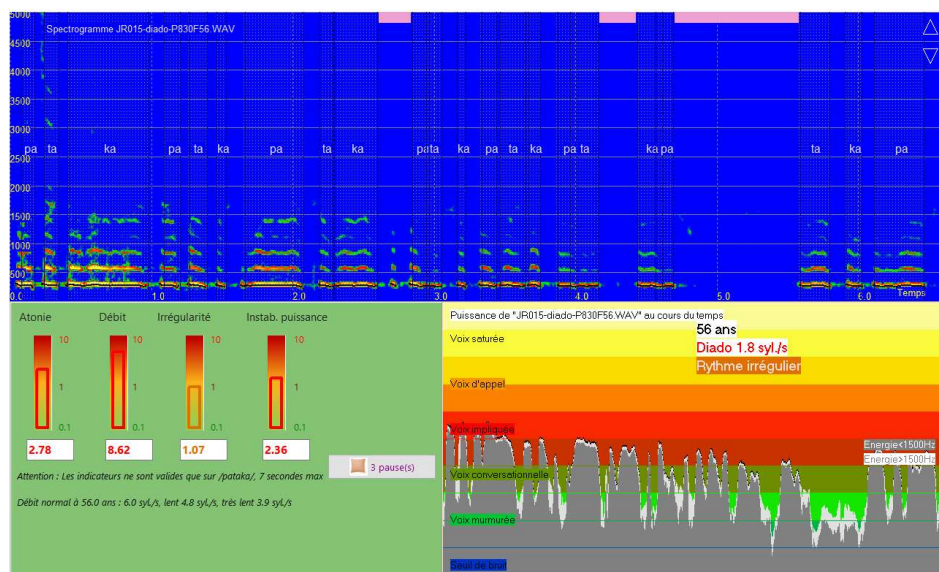
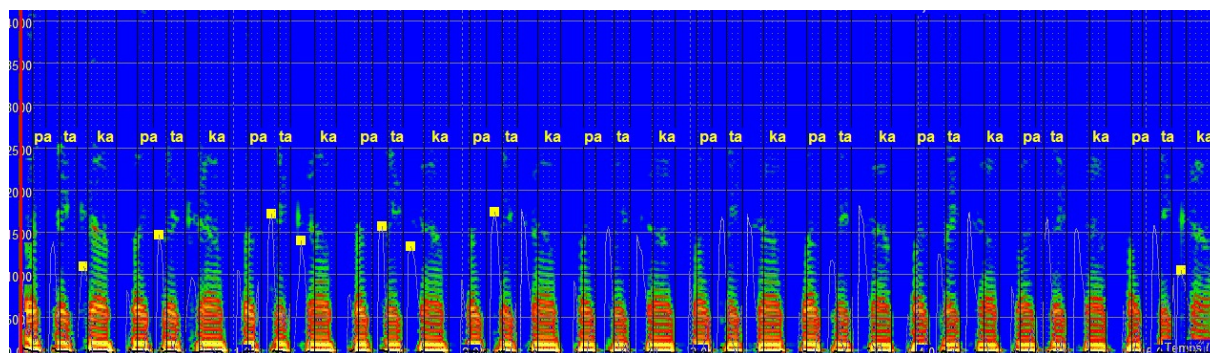
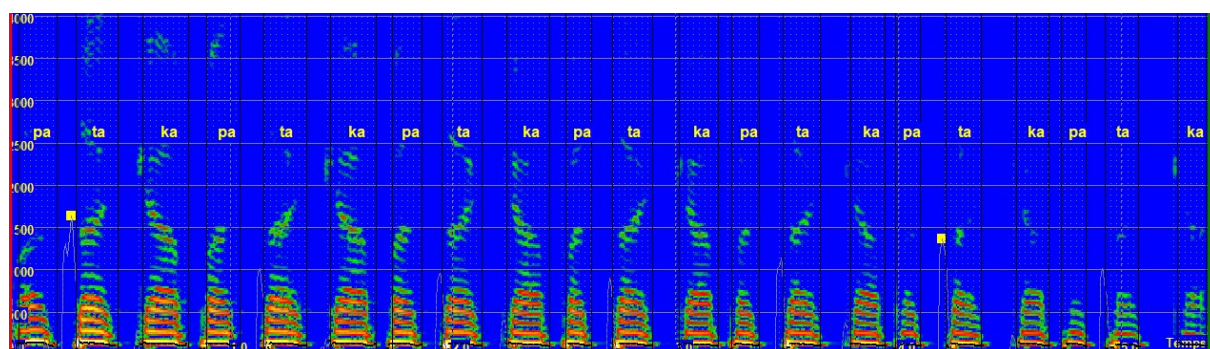


Figure 15 : Femme de 56 ans (AMS) : indicateur de débit très altéré, atonie importante, forte instabilité en puissance, 3 pauses inappropriées



Diadococinésie normale



Diadococinésie altérée

Figure 16 : Diadococinésie normale (témoin en haut) et altérée (MSA en bas) : débit lent, tendance à la décroissance des syllabes au cours du temps pour ce 2^{ème} cas.

Deux cas de diadococinésie extraits de [Sicard 2021] sont illustrés à la figure 16, à une échelle de temps et de fréquence comparable, l'un de parole normale avec un débit très proche de la norme autour de 6 syllabes/s (figure 16 en haut), l'autre avec un débit lent de 3.8 syllabes/s, avec une tendance à la décroissance de l'énergie au cours du temps qui se traduit par une décoloration du spectrogramme.

L'étude statistique sur la valeur du débit, reportée figure 17, portant sur 38 témoins, 35 cas de Maladie de Parkinson idiomatique (PD), 12 Syndrome Pseudo Bulbaire (PSP) et 28 cas d'Atrophie Multi-Systématisée (MSA) nous donne 6.2 syl./s pour HC (groupe contrôle), 5.0 pour MSA, 6.0 pour PD et 4.8 pour PSP. On retrouve des valeurs similaires à celles de [Rusz 2015] ou [Das 2021].

L'analyse de la moyenne et de la distribution statistique du débit met en évidence une forte ressemblance entre témoins et patients parkinsoniens au stade précoce, en revanche les patients PSP et MSA ont un débit de /Pataka/ significativement plus lent et une distribution décalée vers le bas par rapport aux groupes témoin et PD.

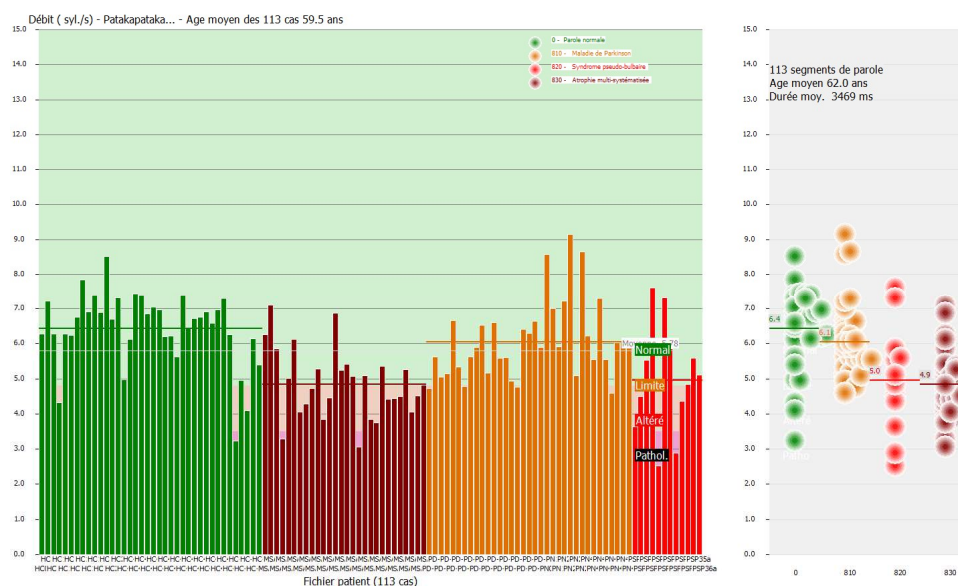


Figure 17 : Indicateur d'altération de débit sur /Pataka/, HC en vert, MSA en rouge, PD en bleu et PSP en violet

Epreuve de présentation spontanée

Dans le cadre des pathologies neurologiques, il y a souvent une altération de la prosodie qu'il convient de mettre en évidence de façon tangible. A partir d'un échantillon de parole spontanée, Vocalab traque le F0 et affiche un histogramme coloré qui représente les valeurs statistiquement représentatives des différents F0. Les barres colorées en blanc correspondent à des valeurs retrouvées souvent. Le logiciel calcule la fréquence usuelle moyenne (FUM exprimée en Hz) et l'intonation exprimée en ½ tons (Figure 18). La valeur du FUM calculée peut-être comparée aux valeurs référentielles en fonction du sexe et de l'âge. Plus la base de l'histogramme est large, plus l'expressivité de la parole est grande.

Dans les dysarthries neurologiques, il est observé une dysprosodie et des difficultés à contrôler la hauteur de sa voix. Une interrogation deviendra une injonction involontaire, l'expression de la colère ou de la joie sera émoussée donnant à la parole un caractère triste et déprimé. L'intonation spontanée est d'environ une octave (8 à 9 demi-tons en moyenne) et l'expression de toutes les émotions, peut atteindre deux octaves. L'utilisation de la voix impliquée dite aussi professionnelle se situe environ à une octave et demi. La flexibilité vocale est importante et doit pouvoir être évaluée rigoureusement.

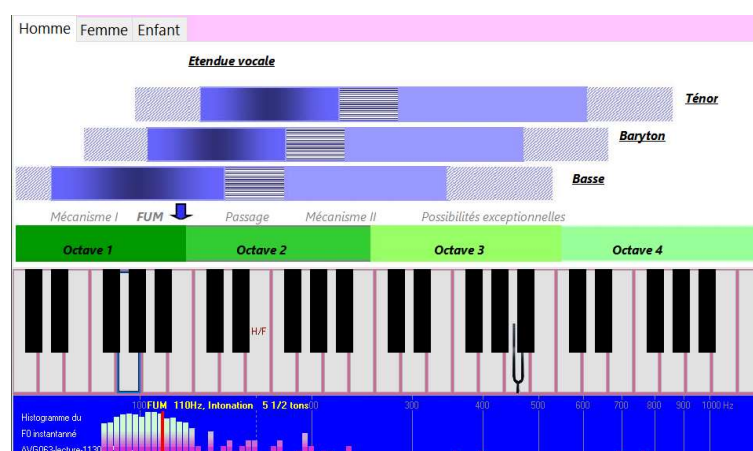


Figure 18: VOCALAB module F0 Etendue vocale, Histogramme de fréquence fondamentale sur un échantillon de parole spontanée (fréquence X en log), ici une intonation peu variée (5 demi-tons seulement)

Epreuve du temps de phonation maximum

Cette épreuve est très pertinente dans le cadre des pathologies neurologiques. Véritable épreuve d'endurance phonatoire, elle permet d'évaluer la fatigabilité et la qualité de la constriction avec ou sans voisement. Les tenues successives du /a :/ permettent d'évaluer la tonicité/endurance du mouvement vélaire ainsi que l'efficacité glottique, celles du /s :/ d'évaluer la qualité de la constriction sans voisement). La constriction et la mobilisation vélaire sont les deux paramètres ayant le plus d'impact sur l'intelligibilité en lien avec leur durée moyenne outre le fait qu'il s'agisse d'extrêmes consonantiques.

Dans la maladie de Parkinson, on observe fréquemment une constriction peu efficace, peu tonique et qui se délite au cours du temps. La pression sus-glottique devient insuffisante, le débit d'air augmente ce qui fait chuter la durée de phonation. La voyelle /s :/ est particulièrement intéressante pour plusieurs raisons : elle est considérée comme un extrême consonantique, elle est la constrictive ayant le plus faible débit d'air de par sa position antérieure et un canal médian étroit. Si le temps de phonation sur le /s:/ est faible voire très faible, il peut être considéré comme l'un des signes d'une possible dysarthrie. Attention toutefois de ne pas confondre avec un trouble d'ordre respiratoire ou purement articulatoire (sigmatisme antérieur).

Concernant le protocole, il est demandé au patient d'enchaîner 3 /a :/ tenus « *le plus longtemps possible en prenant une bonne inspiration* », suivis par 3 /s :/ puis 3 /z :/ sans pauses entre chaque phonème puisque c'est une épreuve d'endurance. La comparaison des différents essais permettra de repérer une amélioration/dégradation des performances en lien avec la qualité des reprises inspiratoires. La moyenne de chaque phonème est calculée automatiquement en faisant la moyenne des durées des 3 essais. Un indice d'efficacité glotto-vélaire, constrictif seul et glotto-constrictif permettra grâce à un raisonnement hypothético-déductif d'en déduire si le problème se situe sur le plan glottique ou sus-glottique (vélaire ou lingual). Les calculs de rendement (a/z) et (s/z) permettront de mesurer l'équilibre entre pression sous-glottique et sus-glottique car les valeurs doivent être homogènes et donc proche de 1 (Figure 19). S'il y a des différences de durée significatives, cela témoigne d'un déséquilibre souvent en défaveur de la pression sus-glottique en lien direct avec la qualité de la tonicité vélaire ou du processus constriction/voisement (Tableau 6).

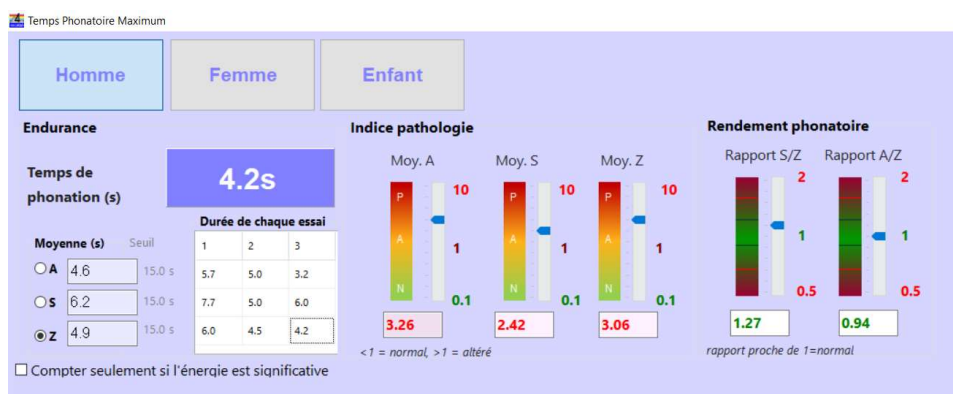


Figure 19: Epreuve d'endurance phonatoire sur le /a/, le /s/ et le /z/ avec indices d'efficacité et rendements.

Phonème	Description	Mouvements mis en jeu	Aspect acoustiques
/A/	Phonème universel Extrême du triangle vocalique Faible impédance ramenée sur le larynx	Ouverture du maxillaire Position basse de la langue Efficacité/ <u>endurance glotto-vélaire</u>	500 Hz -2500Hz selon le genre F1 et F2 rapprochés
/S/	Extrême de l'espace consonantique	Canal médian étroit faible = débit d'air élevé Langue très sollicitée Point de constriction <u>labio-palatal</u> Surface de contact langue /palais latérale Efficacité <u>constrictive</u>	Energie apériodique faible amplitude Haute fréquence 5.000-15.000Hz selon le genre Variation liée à la configuration et la position de l'apex de la langue
/Z/	Constriction voisée	Canal médian étroit faible = débit d'air Langue très sollicitée Point de constriction <u>labio-palatal</u> Surface de contact langue /palais latérale Efficacité du processus combiné constriction/voisement	Voisement (basse fréquence) Constriction souvent moins prononcée liée à la vibration 10.000-15.000Hz
A/Z		Rendement <u>glotto-vélo phonatoire</u>	Equilibre de la pression sus et sous-glottique sur moyenne des 3 essais de la voyelle ouverte sur constriction voisée
S/Z		Rendement <u>constrictivo-phonatoire</u>	Equilibre de la pression sus et sous-glottique sur moyenne des 3 essais de la constriction non voisée sur constriction voisée

Tableau 6 : Epreuve d'endurance phonatoire sur le /a/, le /s/ et le /z/ avec indices d'efficacité et rendements.

Si la durée moyenne du /a:/ est faible, l'intégrité de la source (cordes vocales) est incriminée et donc devra être vérifiée. Dans les pathologies neurologiques, le larynx peut n'avoir aucun dommage ou dysfonctionnement mais le voile du palais est souvent responsable d'une durée de phonation diminuée. Si celui-ci est hypotonique ou fatigable au cours du temps, la pression sus-glottique va chuter drastiquement, la durée du /a:/ sera alors plus faible. Le timbre sera nasonné ou au contraire serré (le patient compense par une constriction de la paroi pharyngée postérieure). Le couplage de la cavité pharyngée avec la cavité nasale entraîne une chute de rendement spectaculaire, ce qui explique en grande partie le caractère hypophonique de la parole dans son ensemble. Le patient n'est pas véritablement dysphonique mais présente un manque de participation vélaire qui l'obligera à augmenter plus que de raison la pression sous-glottique. Ce comportement de forçage est fréquent dans la maladie de Parkinson. Ces épreuves permettent de cibler les processus de parole altérés et de définir des axes thérapeutiques en fonction du résultat des analyses. La dysphonie étant très souvent liée à la dysarthrie. L'analyse du /z:/ est aussi pertinente. Elle permet de confirmer si le processus constriction/voisement est possible. Le patient parvient-il à garder la constriction en présence du voisement ? la pression sus-glottique autorisée par la constriction lingua-palatal assure-t-elle une pression sus-glottique suffisante ? La comparaison des essais renseigne sur la fatigabilité et donc le rendement phonatoire dans son ensemble.

Epreuve des praxies de parole dissociées

Cette épreuve est dite complémentaire. Elle est proposée dans les cas de figures suivants :

- Si le patient a des troubles de la déglutition
- Si le patient présente des difficultés dans les mouvements extrêmes (A/i/Ou/r/g/f/)
- Si les contaminations inter-phonémiques sont importantes avec une intelligibilité très diminuée

L'épreuve des praxies de parole dissociées est une occasion de vérifier l'intégrité/mobilité des articulateurs en position de repos et de repérer des instabilités ou fasciculations de la langue par exemple. Le clinicien pourra apprécier aussi la dissociation automatico-volontaire et vérifier que le patient peut réaliser des praxies élémentaires très importante pour la déglutition (recul de la base de langue, montée du voile du palais) ainsi que des praxies importantes pour la parole (dissociation langue/mâchoire lèvres/langues, dissociation voile/mâchoire). L'évaluation portera sur 3 critères :

- La tonicité
- La réactivité (vitesse)
- L'amplitude du mouvement

La visualisation à un rythme par défaut de la séquence à exécuter grâce à la tête animée (Figure 20) permettra au patient de bien comprendre ce que l'on attend de lui. L'orthophoniste cotera la réalisation à 3 niveaux, ce qui donne pour l'ensemble un score total de 0 à 15 :

- Praxie correctement réalisée 2
- Praxies partiellement réalisée 1
- Praxie mal réalisée 0

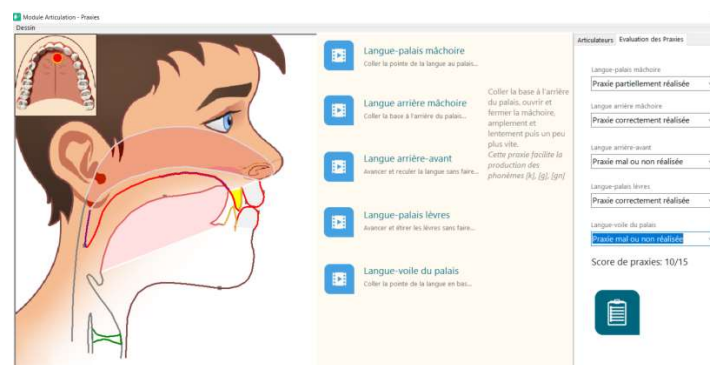


Figure 20 : animation de la tête parlante selon différentes praxies

Exemple de cas avant/après prise en charge

Nous considérons ici le cas CS002 (patient de Mme Carole SIMON, orthophoniste au Grand-Duché de Luxembourg) correspondant à un homme de 82 ans, qui a fait un AVC ischémique cérébelleux en 2017. Ce patient présente par ailleurs un très bon niveau de langage en étant trilingue. Il a été opéré d'un neurinome acoustique en 2000 avec hypoacousie droite et paralysie faciale non récupérée. Suite à l'AVC, ce patient présente une parole altérée avec un débit de parole très ralenti.

Avant prise en charge

Le score de phonologie est évalué sur la phrase "Bonjour Monsieur Tralipau " avec modèle sonore prononcé par un homme. La segmentation met en évidence une production altérée : /b/on/ ?/ou/r/eu/s/eu tr/a/é/p/au

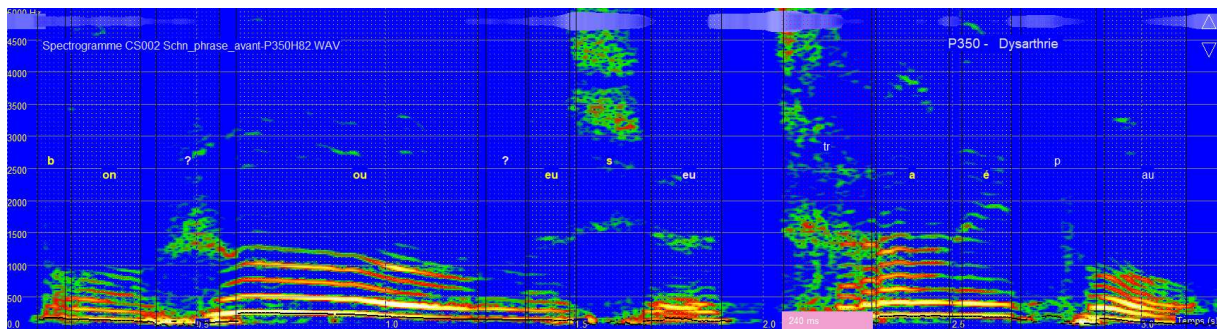


Figure 21 : /Bonjour Monsieur Tralipau/, cas CS002 avant, score de 19/30, N=28/30

Les processus de constriction sont très hypotoniques, les processus de voisement-occlusion sont altérés. Les extrêmes vocaliques ne sont plus présents, le triangle vocalique est donc restreint aux voyelles plus centrales. Parfois, il y a omission de phonèmes. Tous ces paramètres influencent considérablement l'intelligibilité de la parole et on peut parler de dysarthrie franche.

Les phonèmes segmentés par l'orthophoniste font apparaître une indétermination sur le /j/ (-1), une indétermination sur le /r/ et une omission du /m/ (-3), le /i/ omis dans /ieu/ (-1), une imprécision de la voyelle /i>é/ (-1), et une consonne indéterminée à la place du /l/ (-1). La contamination est considérée comme faible. Le spectrogramme de la parole est reporté figure 21. On note aussi une disfluente légère sur le /tr/, considéré comme anormalement long.

L'accent tonique sur le /ou/ est bien visible autant en durée qu'en contours prosodique dans l'évolution de la fréquence fondamentale de la figure 22. On ne considère dans le calcul de l'intonation que les voyelles et consonnes voisées. Le débit est considérablement plus bas que la norme (2.8 syllables/s au lieu de 4.3).

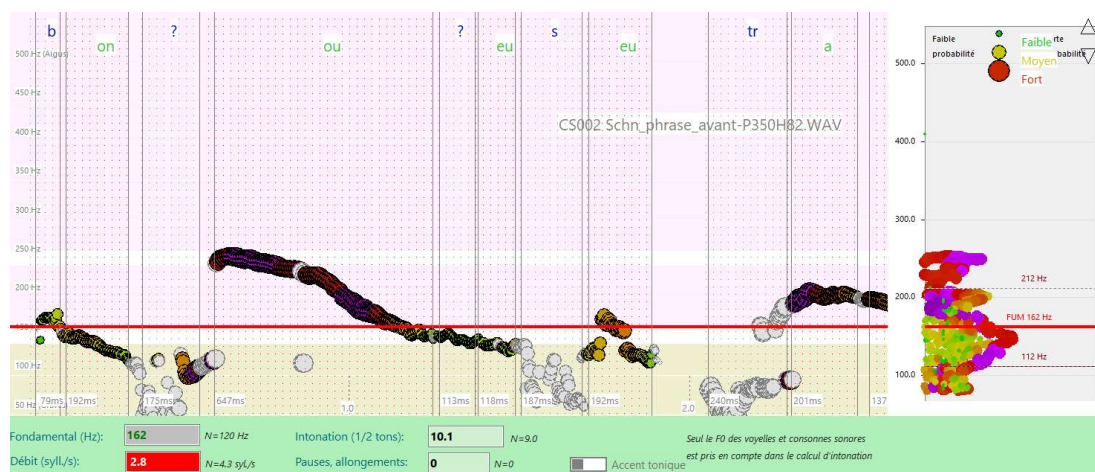


Figure 22 : /Bonjour Monsieur Tralipau/, contours prosodique du fondamental, cas CS002 avant

Les indicateurs de diadococinésie sont évalués sur des répétitions de /PaTaKa/ avec modèle sonore. Le calcul porte sur une portion de 7 secondes maximum. Les indicateurs ont été recoloriés selon l'âge (82 ans), comme précisé dans [Sicard 2020]. Concernant l'irrégularité, la valeur de 1.83 n'est pas considérée comme pathologique, mais seulement altérée, du fait de l'âge du patient.

On ne note aucune reprise inspiratoire, mais un débit un peu lent pour l'âge (4 syll./s au lieu de 5.3), et une atonie marquée, en lien avec des enchaînements de syllabes non conformes.

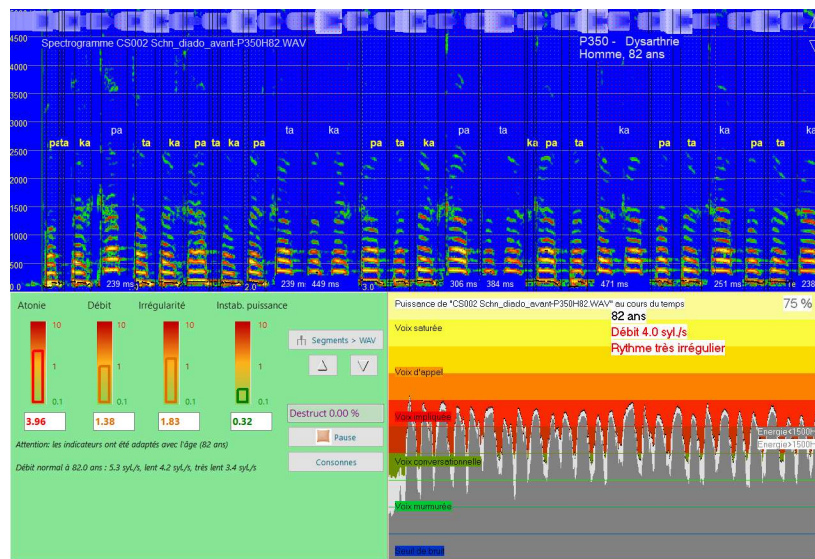


Figure 23 : Répétition de /pataka/, cas CS002 avant

Axes thérapeutiques

Le suivi a été bi-hebdomadaire pendant deux mois au début puis hebdomadaire les 3 mois suivants. Le patient était très investi et faisait les exercices quotidiennement. Le feedback visuel a énormément aidé ce patient hypoacousique et âgé ayant un mauvais contrôle proprioceptif en lien avec la paralysie faciale. Il s'est orienté vers :

- La différenciation des extrêmes vocaliques (a-i-u)
- La différenciation des constrictives, d'abord sourdes (f-s-ch), puis sonores (v-z-j)
- L'augmentation de la puissance des occlusives (p-t-k)
- L'augmentation du contour prosodique des phrases
- La diadococinésie, afin d'accélérer le rythme de parole jusqu'à 4-5 syllabes / seconde.

Après prise en charge

Les phonèmes segmentés par l'orthophoniste font apparaître une dénasalisation du /on>au/ (-1), une imprécision du /m/ considéré comme indéterminé (-1), ce qui correspond à un progrès significatif (+10 points) par rapport à l'évaluation avant prise en charge. Le spectrogramme de la parole est reporté figure 24. On note aussi une disfluece légère sur le /au/, considéré comme anormalement long.

Le contour prosodique reporté à la figure 25 est conforme, avec un accent sur le /ou/, l'intonation est très proche de la norme adulte, par contre le débit reste lent. Concernant la répétition de /PaTaKa/, les progrès sont très nets : les plosives sont bien marquées, avec un rythme plus régulier, et des résultats proches d'une parole normale. Seul le débit est un peu lent (4.3 syl./s) par rapport à la norme à 82 ans (5.3 syl./s).

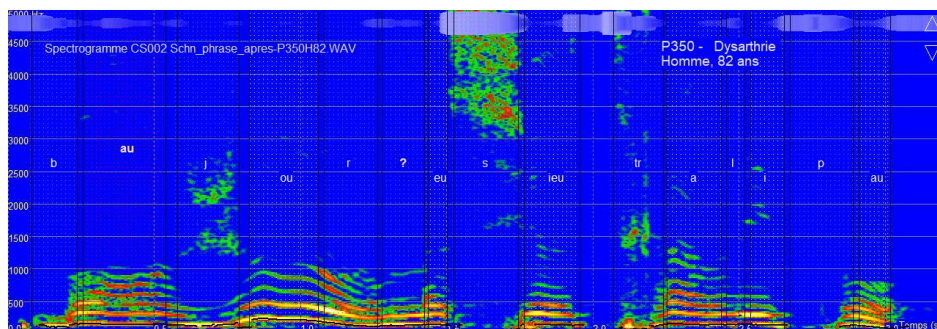


Figure 24 : /Bonjour Monsieur Tralipau/, cas CS002 après prise en charge, score de 28/30, N=28/30

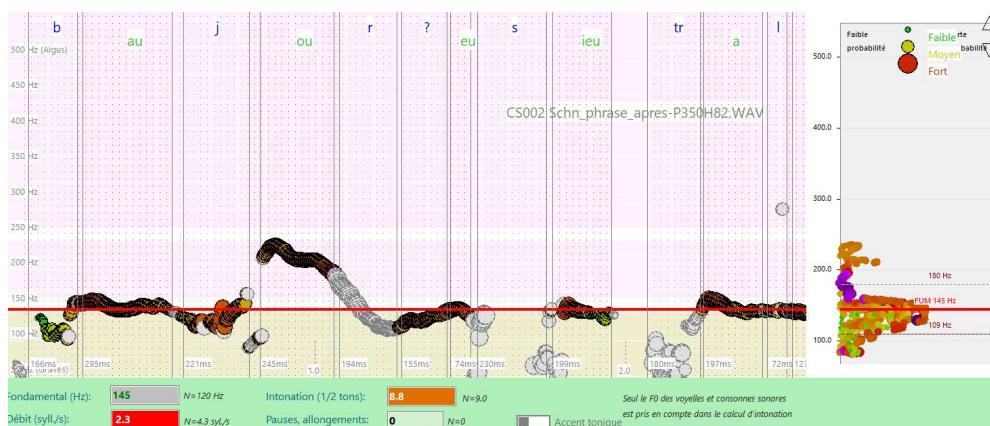


Figure 25 : /Bonjour Monsieur Tralipau/, contours prosodique après prise en charge

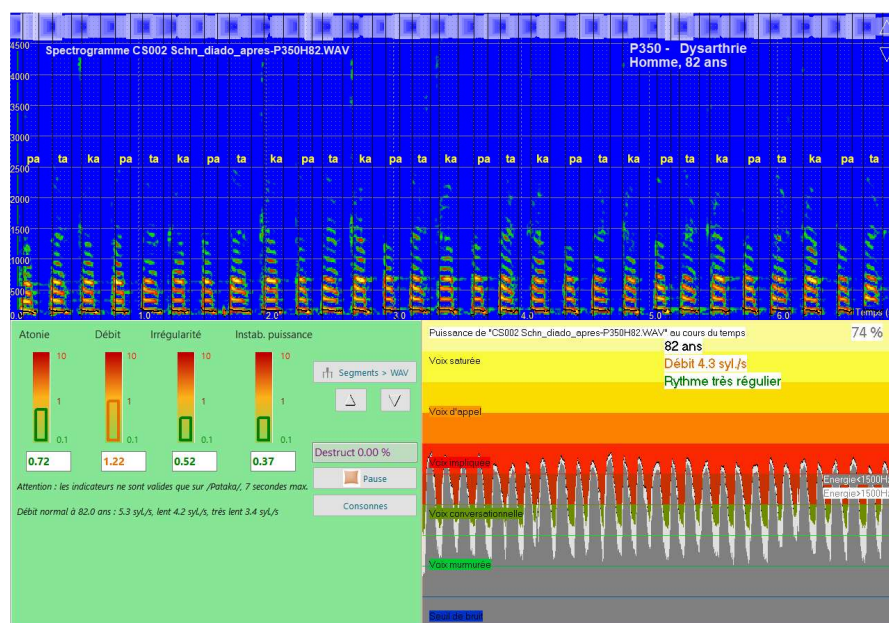


Figure 26 : Indicateurs sur une répétition de /PaTaKa/ après prise en charge

Bilan d'évolution

Le bilan d'évolution est synthétisé à la figure 27. On note une auto-évaluation du patient en progression favorable (de 11 à 18/25), une articulation sur /Pataka/ qui s'approche de la parole normale, avec toutefois un débit de parole qui reste lent.

L'auto-évaluation a gagné 7 points passant d'un score de 11/25 à 18/25.

AUTOEVALUATION DU PATIENT				
	AVANT		APRES	
SCORE	11/25	gêne marquée	18/25	gêne discrète
				+ 7.00

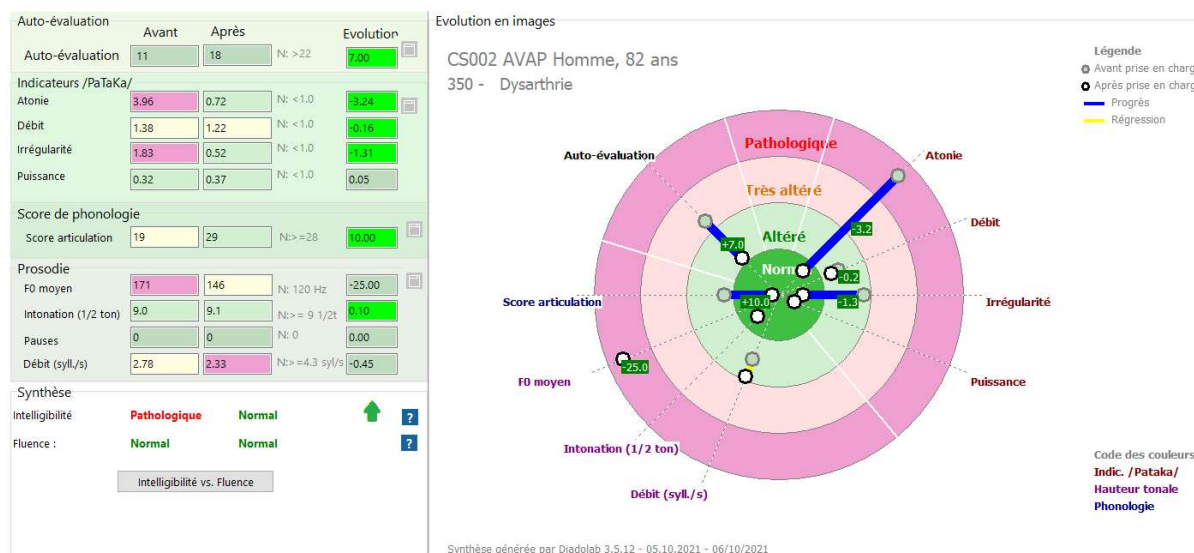


Figure 27 : Bilan d'évolution du cas CS002 avant/après prise en charge orthophonique

Conclusion

Dans cet article, nous avons abordé la méthodologie d'évaluation de la phonation, de l'intelligibilité et de la fluence dans le cadre des pathologies neurologiques. L'analyse de la parole, des particularités prosodiques et diadococinésiques ont notamment été étudiées. Nous avons détaillé la démarche et les déficits identifiés par la littérature et avons montré quels sont les outils utilisables pour mettre en œuvre un bilan métacognitif et objectif court tout en étant d'une grande précision grâce aux mesures objectives. Nous cherchons à réduire la durée de passation du bilan pour ne pas fatiguer le patient et le confronter plus que de raison à son handicap. L'analyse du bilan va aider le clinicien à déterminer les axes thérapeutiques les mieux adaptés au patient en vue d'optimiser les résultats de la prise en charge. Les valeurs référentielles fournies dans les logiciels VOCALAB et DIADOLAB sont issues de méta-analyses internationales synthétisés dans des articles justifiant nos choix méthodologiques et cliniques en téléchargement libre sur HAL.

Nous avons aussi décrit un protocole d'évaluation de la dysarthrie neurologique en donnant des exemples de résultats avec les analyses associées. L'approche hiérarchisée permet d'aller à l'essentiel, d'établir une ligne de base tout en disposant des éléments permettant d'établir un projet thérapeutique adapté à la problématique du patient. La comparaison des évaluations avant et après rééducation validera les approches utilisées en thérapie et guidera le clinicien dans la démarche thérapeutique, et donnera des éléments factuels pour décider de poursuivre ou d'interrompre le suivi en accord avec le patient.

Remerciements

Nous tenons à remercier les orthophonistes contributrices à l'ERU 46 « parole pathologique » du laboratoire LURCO de la société savante UNADREO, ainsi que les orthophonistes qui ont accepté d'enregistrer des témoins et des patients ou de co-encadrer des mémoires en lien avec la voix, la parole et leurs pathologies.

Nous remercions l'ensemble des orthophonistes, étudiants et chercheurs qui nous ont accordé leur confiance en utilisant nos méthodologies, approches et outils dans le cadre de leur pratique clinique ou de leurs travaux scientifiques.

Nous saluons aussi les efforts de mise en archive ouvertes d'un très grand nombre de résultats scientifiques, en particulier dans le domaine de la parole, ce qui permet une diffusion très large, simple et sans droit d'accès, autorisant de ce fait des analyses comparatives et méta-analyses qui accélèrent leur mise en application clinique.

A propos des auteurs



Etienne SICARD est professeur à l'INSA Toulouse en électronique, informatique et traitement du signal. Il est directeur de recherches de l'équipe ERU 46 sur la parole pathologique au Laboratoire LURCO de l'UNADREO. Il a été chercheur associé à l'IRIT dans le cadre des

projets ANR C2SI (Cancer ORL) et Voice4PD (Syndromes Parkinsoniens). Etienne SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB pour le bilan et la rééducation orthophonique de la voix et la parole, ainsi que MICROWIND et IC-EMC en lien avec les circuits intégrés. Il a co-écrit une vingtaine d'ouvrages et plus de 300 publications scientifiques dans le domaine de l'analyse de la voix et parole, des circuits intégrés, et de la compatibilité électromagnétique. Il a été nommé en 2006 *Distinguished Lecturer* de la société savante IEEE.

Site : www.etienne-sicard.fr

Email : etienne.sicard@insa-toulouse.fr



Anne MENIN-SICARD est orthophoniste et titulaire d'un master recherche en Sciences du langage de l'université de Grenoble. Elle a exercé en libéral à Toulouse de 1994 à 2015. Anne MENIN-SICARD est co-auteur des logiciels VOCALAB et DIADOLAB.

Dans le cadre de AMS Formation, elle organise et anime des formations aux orthophonistes sur le bilan et la prise en charge de la voix et parole pathologique. Elle a fondé en 2019 Opop, pour la formation en ligne personnalisée à destination des orthophonistes. Chercheuse associée à l'ERU 46 du LURCO, elle développe des outils de mesures objectives et de rééducation de la parole en lien avec le logiciel DIADOLAB. Elle est auteur d'un ouvrage sur l'évaluation objective de la voix ainsi que de nombreuses publications dans le domaine de la voix et de la parole pathologique.

Site : <https://www.formationsvoixparole.fr>

Email : anne.sicard2@orange.fr

Références

[Auzou 2009] Auzou, P. (2009). Définition et classifications des dysarthries. Rééducation orthophonique, 47(239), 31-42.

[Auzou 2000] Auzou, P., Ozsancak, C., Morris, R. J., Jan, M., Eustache, F., & Hannequin, D. (2000). Voice onset time in aphasia, apraxia of speech and dysarthria: a review. Clinical linguistics & phonetics, 14(2), 131-150.

[Auzou & Rolland-Monnoury 2019] Auzou, P., & Rolland-Monnoury, V. (2019). BECD: batterie d'évaluation clinique de la dysarthrie. Ortho édition.

<https://www.orthoedition.com/evaluations/becd-4256.html>

[Ackermann 1995] Ackermann, H., Hertrich, I., & Hehr, T. (1995). Oral diadochokinesis in neurological dysarthrias. *Folia phoniatrica et logopaedica*, 47(1), 15-23.

[Barbera & Frenay 2016] Barbéra, O. & Frenay, C. (2016). Étude de l'évolution de la voix au cours du vieillissement. Questionnement des limites entre normalité et pathologie. Mémoire d'orthophonie. Université de Lyon.

[Bardelang 2020] Bardelang, T. (2020) L'apport d'une phrase supplémentaire au protocole de DIADOLAB3, Mémoire d'orthophonie de l'Université de Lyon.

[Boersma & Weenink 2019] Boersma, Paul & Weenink, David (2019). Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.1.06, retrieved 8 November 2019 from

<http://www.praat.org/>

[Carlozzi 2021] Carlozzi, N. E., (2021). Understanding speech and swallowing difficulties in individuals with Huntington disease: Validation of the HDQLIFE Speech Difficulties and Swallowing Difficulties Item Banks. *Quality of Life Research*, 30(1), 251-265.

[Das 2021] Das, B. (2021). Marqueurs vocaux objectifs automatisés pour le diagnostic différentiel entre la maladie de parkinson et les troubles parkinsoniens atypiques, thèse de doctorat, Université de Bordeaux.

[Diehl 2019] Diehl, S. K., (2019). Motor speech patterns in Huntington disease. *Neurology*, 93(22), e2042-e2052.

[Duffy 2019] Duffy, J. R. (2019). Motor speech disorders e-book: Substrates, differential diagnosis, and management. Elsevier Health Sciences.

[Fougeron 2016] Fougeron, C., et al. Chapitre 14. MonPaGe : un protocole informatisé d'évaluation de la parole pathologique en langue française. Joyeux N. & Topouzkhianian S. Orthophonie et technologies innovantes, 2016, 978-2-36235-093-1. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02437340>

[Ghio 2016] Ghio, A. et al. (2016). Quels tests d'intelligibilité pour évaluer les troubles de production de la parole ? Journées d'Etude sur la Parole, 2016, Paris, France. pp.589-596. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01372037>

[Hirano 1981] Hirano, M. (1981). GRBAS : scale for evaluating the hoarse voice & frequency range of phonation. *Clinical examination of voice*, 5, 83-84.

[Hlavnicka 2017] Hlavnicka, J., et al. (2017). Automated analysis of connected speech reveals early biomarkers of Parkinson's disease in patients with rapid eye movement sleep behaviour disorder. *Scientific reports*, 7(1), 1-13.

[Jan 2007] Jan, M. (2007) « Evaluation instrumentale de la dysarthrie en France », in « Les dysarthries », pp 119-122, CD d'accompagnement pp 259-269, Auzou, P., Rolland Monnoury, V., Pinto, S., & Öszancak, C.

- [Jarzé 2017] Jarzé, S., Barrière, D. S., Révis, J., & Ghio, A. (2017). Analyse perceptive des voix dysphoniques. Influences et corrélations entre les dimensions G, R et B de l'échelle d'Hirano. In Journées de Phonétique Clinique.
- [Kent 1989] Kent, R. D., Weismer, G., Kent, J. F., & Rosenbek, J. C. (1989). Toward phonetic intelligibility testing in dysarthria. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 54(4), 482-499.
- [Kent 2013] Kent, R.D. (2013). Entretiens avec Raymond D. Kent. L'évaluation Vocale. Rééducation orthophonique, (254), 5-8.
- [Kowalska-Taczanowska 2020] Kowalska-Taczanowska, R., Friedman, A., & Koziorowski, D. (2020). Parkinson's disease or atypical parkinsonism? The importance of acoustic voice analysis in differential diagnosis of speech disorders. *Brain and Behavior*, 10(8), e01700.
- [Lorincz 2010] Lorincz, M. T. (2010). Neurologic Wilson's disease. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1184 (2010) 173–187
- [Maillart 2006] Maillart, C. (2006). Le bilan articulatoire et phonologique. L'évaluation du langage et de la voix., 26-51
- [Maillart 2012] Maillart, C., Leclercq, A. L., & Quemart, P. (2012). La répétition de phrases comme aide au diagnostic des enfants dysphasiques. *Entretiens d'Orthophonie 2012*, 22-30.
- [Maillart& Durieux 2014] Maillart, C., & Durieux, N. (2014). L'evidence-based practice à portée des orthophonistes: intérêt des recommandations pour la pratique clinique. *Rééducation orthophonique*, 257, 71-82.
- [McCaffrey 2013] McCaffrey, P. (2013). Dysarthria: Characteristics, prognosis, remediation. The Neuroscience on the web series: CMSD 642 neuropathologies of swallowing and speech.
- [Menin Sicard 2019] Menin-Sicard, A., Sicard, E. (2019). Méthodologie d'évaluation objective de la phonologie, de la fluence et de la prosodie : vers un bilan rapide à destination des orthophonistes. Journées de Phonétique Clinique, Mons, Belgique, Mai 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02127039>
- [Miller 2017] Miller N., (2017). Utility and accuracy of perceptual voice and speech distinctions in the diagnosis of Parkinson's disease, PSP and MSA-P. *Neurodegener Dis Manag.* 2017 Jun;7(3):191-203.
- [O'Connor & Pettigrew 2009] O'Connor, S., & Pettigrew, C. M. (2009). The barriers perceived to prevent the successful implementation of evidence-based practice by speech and language therapists. *International journal of language & communication disorders*, 44(6), 1018-1035.
- [Perez 2018] Perez, M., (2018). Classification of huntington disease using acoustic and lexical features. In *Interspeech (Vol. 2018, p. 1898)*. NIH Public Access.
- [Pierce 2013] Pierce, J.E. (2013) Alternating and sequential motion rates in older adults, *International Journal of Language & Communication Disorders*, May 2013

[Pinto 2010] Pinto, S., Ghio, A., Teston, B., & Viallet, F. (2010). La dysarthrie au cours de la maladie de Parkinson. Histoire naturelle de ses composantes: dysphonie, dysprosodie et dysarthrie. revue neurologique, 166(10), 800-810.

[Ratner 2006] Ratner, N. B. (2006). Evidence-based practice: An examination of its ramifications for the practice of speech-language pathology. Language, Speech, And Hearing Services In Schools, Vol. 37, pp. 257–267

[Revis 2013] Revis, J. (2013). L'évaluation perceptive des dysphonies. L'évaluation Vocale. Rééducation orthophonique, (254), 157-166.

[Rusz 2015] Rusz, Jan, Speech disorders reflect differing pathophysiology in Parkinson's disease, progressive supranuclear palsy and multiple system atrophy, Journal of Neurology. 2015; 262(4): 992

[Sabadell 2018] Sabadell, V., Tcherniack, V., Michalon, S., Kristensen, N., & Renard, A. (2018). Pathologies neurologiques: bilans et interventions orthophoniques. De Boeck Supérieur.

[Sicard 2013] Sicard, E., Perrière, S., Menin-Sicard A. (2013). "Développement de nouveaux outils de mesures de la qualité de la voix en vue d'une implémentation dans le logiciel VOCALAB" Glossa 113, pp. 63-80, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00977731>

[Sicard 2019] Anne Menin-Sicard, Etienne Sicard. DIADOLAB 3 - Logiciel d'évaluation et de rééducation de la parole - Manuel d'utilisation. 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02073314>

[Sicard 2019b] 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. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/235531>

[Sicard 2019c] Sicard, E., Menin-Sicard, A. (2019) Analyse de la qualité des phrases pour un bilan objectif de la parole, Rapport de recherches LURCO/Unadreo, INSA Toulouse, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02389764/>

[Sicard 2020] Sicard, E., Menin-Sicard, A. (2020). La diadococinésie et son application en orthophonie clinique. Rapport de recherches LURCO/Unadreo, INSA Toulouse, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02512856>

[Sicard 2021] Sicard, E. (2021). Analyse objective de la parole dysarthrique : évaluation d'une sélection d'indices acoustiques. Rapport de recherches INSA. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03139503/>

[Tykalova 2017] Tykalova, T., Rusz, J., Klempir, J., Cmejla, R., & Ruzicka, E. (2017). Distinct patterns of imprecise consonant articulation among Parkinson's disease, progressive supranuclear palsy and multiple system atrophy. Brain and language, 165, 1-9.