

La dysprosodie parkinsonienne

• * Bernard Teston
Ingénieur de recherche au CNRS
Laboratoire Parole et Langage
UMR 6057 Université de Provence
29 avenue R. Schuman
13621 Aix en Provence

Tel 04 42 95 36 25

Fax 04 42 59 50 96

e-mail teston@lpl.univ-aix.fr

** François Viallet
Praticien hospitalier PhD
Chef du service de Neurologie
Centre hospitalier du pays d'Aix
Avenue des Tamaris
13330 Aix en Provence

Tel 04 42 33 50 71

Fax 04 42 33 51 58

e-mail fviallet@ch-aix.fr

1-Introduction

La prise en charge des affections neurologiques nécessite une évaluation diagnostique précise conduisant à catégoriser les patients dans des classifications nosologiques, dont les frontières, souvent mal définies, évoluent avec la progression des connaissances en neurobiologie. A l'analyse clinique traditionnelle sont ainsi venus s'ajouter divers critères de classification de nature instrumentale, basés sur les données de l'imagerie cérébrale fonctionnelle et anatomique, de la pharmacologie ou encore de la biologie moléculaire et de la génétique.

En pratique clinique, l'ensemble des échelles d'évaluation des dysfonctionnements dans la parole, accorde une place croissante à l'analyse des dysprosodies car elles en sont la manifestation la plus précoce. Mais leurs descriptions pragmatiques en restent globales et qualitatives, en l'absence de variables instrumentales plus élémentaires et validées, se prêtant mieux à une analyse quantitative.

Parmi les nombreuses méthodes d'évaluation objectives des dysarthries, celles utilisant la prosodie semblent présenter un bon compromis entre leur facilité d'utilisation et leur bonne correspondance à l'état pathologique des patients.

La prosodie, joue dans la communication langagière un rôle multiple. D'abord, elle permet d'exprimer des attitudes, des sentiments, des émotions, des états d'âme. Ensuite, elle permet de distinguer, toutes choses égales par ailleurs, une question d'une réponse. Enfin, elle reflète la structure hiérarchique des constituants de la phrase, sémantiques et syntaxiques, dont elle assure la cohésion. Au delà d'une succession de constituants sémantiques et syntaxiques, la prosodie est la pulsation de la vie du discours.

Pour définir d'une manière schématique et plus intuitive la prosodie, nous pouvons comparer le discours à une chanson ; les paroles de la chanson représentent la couche verbale du discours (mots) et la musique en représente la prosodie (mélodie et rythme).

2-Le modèle phonologique

Toutes les langues du monde peuvent être décrites au moyen d'un même modèle qui permet de caractériser chacune d'entre elles par un système phonologique.

Le système phonologique d'une langue est constitué par deux « sous systèmes ». Tout d'abord, un nombre variable d'éléments sonores, de segments; les phonèmes, qui définissent le

système phonémique. Ensuite, un ensemble de règles de génération des phonèmes dans l'espace et le temps qui définit le système prosodique.

Les phonèmes se divisent en consonnes et voyelles. Ils sont caractérisés par des indices acoustiques contenus dans leurs timbres ou dans leurs durées. Ces indices définissent une fois perçus, des traits phonologiques distinctifs, qui nous permettent à l'écoute de différencier les phonèmes. Ces phonèmes au nombre d'une trentaine pour le français s'associent en syllabes, les syllabes en mots, et les mots en phrases. Ainsi, avec un nombre réduit d'éléments sonores, nous sommes capables de produire un discours infini.

Les phonèmes, qui constituent les mots, donnent l'information sémantique de la couche verbale. C'est l'information segmentale, par ce que donnée par les segments phonologiques. Le reste de l'information contenue dans le discours est donc suprasegmentale et elle est donnée par la prosodie.

La prosodie est universelle, elle est commune aux espèces animales et fait partie du langage primitif. Il n'existe pas de langues sans intonation, accent ou rythme.

3-La prosodie entité multiparamétrique

La prosodie de la parole est définie physiquement comme l'ensemble de trois paramètres objectifs. D'abord, la variation de la fréquence de vibration des cordes vocales (ou fréquence fondamentale du signal vocal (F_0 , ou hauteur) ensuite, l'intensité de son émission sonore et enfin, la durée sous laquelle on regroupe non seulement l'intervalle de temps des divers segments phonologiques, mais également l'organisation temporelle du discours, (débit de parole et rythme).

Le niveau suprasegmental peut être décrit par des éléments ou des unités prosodiques (prosodèmes) caractérisés par des traits prosodiques qui s'organisent en un système prosodématique qui appartient de plein droit au système phonologique caractéristique d'une langue. Est donc suprasegmental, tout élément qui vient se surimposer à la succession des phonèmes, voyelles et consonnes, au delà de leurs traits phonologiques distinctifs sous la forme de traits prosodiques de hauteur, d'intensité et de durée.

Comme tout discours est produit pour être entendu et perçu, les traits prosodiques doivent être fondés sur la perception des paramètres prosodiques que l'auditeur a, ou est supposé avoir, à travers les filtres psycho acoustiques de l'audition. Des pondérations perceptivement fondées sont donc appliquées à la hauteur, l'intensité et la durée qui deviennent respectivement, la mélodie, la sonie l'allongement et les pauses.

Parmi les paramètres prosodiques, la mélodie est reconnue universellement comme le paramètre le plus significatif au plan perceptif et donc le plus étudié. L'intensité est souvent considérée à tort comme un paramètre secondaire car trop covariant avec la mélodie, et donc moins bien étudié, bien qu'étant très importante en situations de dialogue. Les études sur la durée sont les plus difficiles car elle n'a pas de dynamique verticale (ses variations ne se représentent pas au moyen d'une courbe continue) et elles nécessitent de définir au préalable des frontières d'unités discrètes (phonèmes, syllabes) et des procédures de normalisation complexes. (Pour entrer dans plus de détails sur la prosodie, voir l'ouvrage de A. Lacheret-Dujour) [1].

3-1 Fréquence fondamentale, mélodie et intonation

La fréquence fondamentale de la parole ou F_0 est la fréquence de vibration des cordes vocales. Elle est présente sur les voyelles et également les consonnes voisées c'est-à-dire la presque totalité du signal de parole. Ses variations en fonction du temps, mesurées à partir du signal acoustique, peuvent être visualisées au moyen d'une courbe généralement qualifiée de fréquence fondamentale ou de F_0 . Il s'agit d'une mesure physique objective qui a toujours été problématique mais est en grande partie résolue grâce à des algorithmes de traitement du signal sur ordinateur. La fréquence fondamentale s'exprime sur une échelle linéaire en Hertz (Hz) ou cycles de vibration des

cordes vocales par secondes. Sa valeur moyenne est de 190 Hz pour les femmes et 120Hz pour les hommes à 30 ans. Elle est de 230 Hz pour les filles et garçons de 8 ans.

La figure 1 montre la courbe mélodique d'un vers de Guillaume Apollinaire déclamé par un sujet masculin. On constate une grande dynamique de variation de la Fo avec une montée initiale d'une octave (130 à 260 Hz). La courbe mélodique n'existe que sur les parties voisées du signal acoustique ; voyelles et consonnes voisées. On peut observer qu'à la suite des consonnes constrictives (s) et occlusives (p,t,k) l'établissement du voisement est caractérisé par un pic important. De même, sur le (d) on observe un creusement fugace de la courbe mélodique. Ces phénomènes sont provoqués par les constriction du conduit vocal supra-glottique et non par un contrôle du larynx. Ce sont des phénomènes micromélodiques.

La mélodie est la perception, la sensation auditive, que l'on a de la fréquence fondamentale. Cette sensation, n'est pas une fonction linéaire de la fréquence. On obtient une courbe mélodique à partir de la courbe de fréquence fondamentale corrigée par des pondérations perceptives et parfois présentée sur une échelle musicale en demi tons.

Il est à noter que, dans les études prosodiques, on emploie presque toujours le terme de courbe mélodique à propos des variations de la fréquence fondamentale. De même, les appareils de mesure de la Fo ont toujours été appelés des détecteurs de mélodie, et nous venons même de mentionner les phénomènes micromélodiques.

L'intonation est la structure prosodique de l'énoncé qui permet au locuteur d'organiser et hiérarchiser l'information sémantique et syntaxique de son discours. Certaines théories réduisent l'intonation à de seuls faits mélodiques. Actuellement, elle est plutôt considérée comme une structure multiparamétrique qui outre la mélodie intègre l'accentuation et le rythme. Cela implique des les termes prosodie et intonation sont synonymes, et regroupent les faits d'accents et d'organisation tonale.

3-2 Intensité, sonie et accent

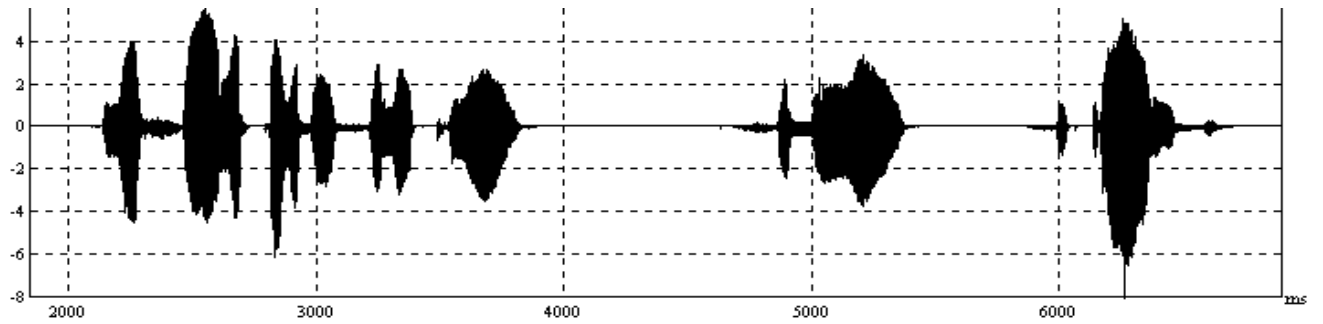
L'intensité est l'énergie du signal de parole, elle mesure ce qui est appelé dans la vie quotidienne le volume sonore, la force du son. Elle s'exprime en dB (décibel) sur une échelle logarithmique proche de celle de la perception auditive. Ses variations en fonction du temps sont calculées au moyen de la valeur efficace du signal acoustique de la parole sur une durée de 10 millisecondes (généralement) et présentées sous la forme d'une courbe d'intensité. La valeur moyenne de l'intensité est de 70 dB à 30 cms de la bouche dans une conversation normale, 85 dB en voix portée et 105 dB en voix criée avec très peu de différences inter sexes. La figure 1 montre également la courbe d'intensité du signal acoustique de la parole. Les bouffées d'énergie représentent les noyaux syllabiques de l'énoncé

La sonie est la perception, la sensation auditive, que l'on a de l'intensité. La sonie étant une fonction complexe des constituants harmoniques des sons et de leur durée, les voyelles et les consonnes de même intensité ne sont pas perçues de même niveau. Ainsi, on ne peut calculer la sonie que par l'application de modèles psycho acoustiques de la perception auditive.

L'accentuation est la manifestation d'une prééminence de l'intensité permettant de mettre en relief des segments linguistiques dans la phrase. La prééminence peut être également mélodique ou un allongement de la durée. Il existe plusieurs types d'accents dont l'accent d'insistance ou de focalisation.

3-3 Durée, allongement, rythme, pause

La durée est un terme générique qui regroupe tous les phénomènes liés à l'organisation temporelle du discours. C'est d'abord objectivement un intervalle de temps qui définit la longueur des éléments phonémiques exprimé en millisecondes. Rien n'est plus simple de mesurer à priori la durée d'un segment. Cependant cette mesure se heurte à la difficulté de définir avec précision les limites de ces segments.

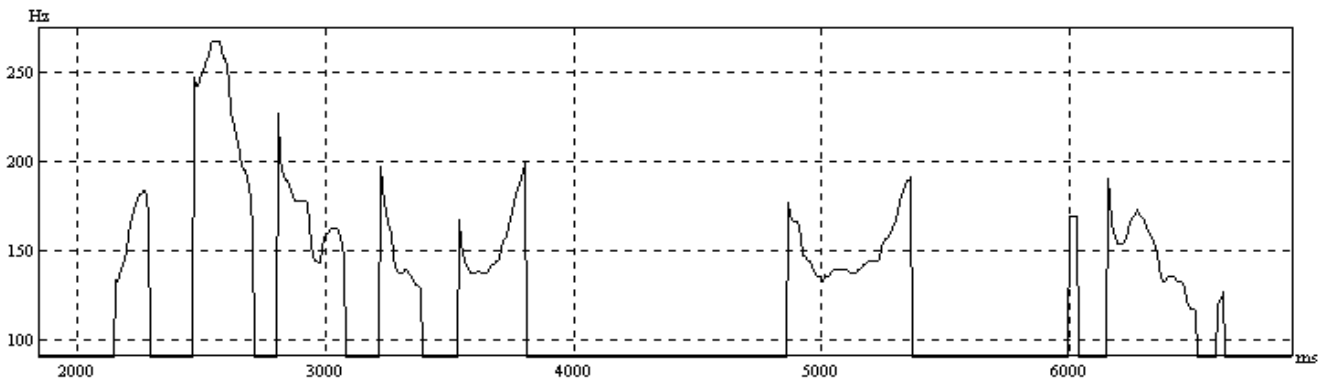


le s i e l é p a r d e s u l e t o u a

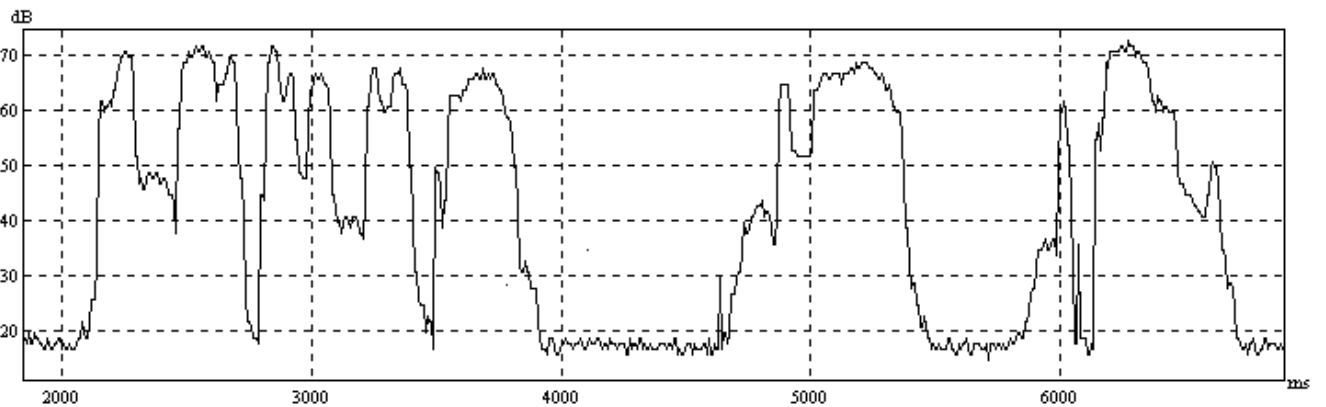
s i b l e

s i k a l m e

Signal acoustique de la phrase . L'axe des abscisses représente le temps en millisecondes.



Courbe des variations de la Fo de la voix qui définissent la ligne mélodique de la phrase. L'axe des ordonnées est en Hertz (Hz).



Courbe de variation de l'énergie acoustique de la voix qui définit la ligne d'intensité de la phrase. L'axe des ordonnées est en décibels (dB). La valeur de l'intensité est calculée toutes les 10 ms.

Figure 1: Exemple de variations prosodiques de la phrase « *le ciel est par-dessus le toit si bleu si calme* » déclamée par un sujet normal pour les trois paramètres: mélodie, durée, intensité.

L'allongement est une notion perceptive et relative de la durée d'un élément syllabe ou voyelle, car elle nécessite la comparaison avec une référence. Cette référence est une syllabe ou voyelle « neutre », non accentuée. L'allongement est un trait prosodique important dans la description du système prosodématique d'une langue.

Le rythme est un mouvement cadencé, périodique et ordonné dans le temps c'est-à-dire régulier. Le rythme est l'organisation temporelle du mouvement, c'est un phénomène dynamique essentiellement accentuel. La périodicité et la structure rythmique sont caractéristiques de la langue.

Il existe deux grands types de pauses. Les pauses silencieuses et les pauses sonores.

Les pauses silencieuses sont des interruptions du signal de parole (des silences) au cours de la phrase. Elles sont souvent imposées par des prises de souffle mais peuvent également avoir une fonction linguistique ou expressive. Les pauses sonores sont la marque d'hésitations avec émission de « euh.. » ou un important allongement d'une syllabe. Les faux départs peuvent être considérés comme des pauses sonores.

4-Place de la parole dans l'évaluation de la maladie de Parkinson

La recherche clinique concernant les troubles de la production de parole au cours de la maladie de Parkinson s'est développée, progressivement depuis les années 1960 sur la base de travaux ponctuels à vocation descriptive qui ont permis d'en préciser les différents aspects. L'essentiel des données publiées repose sur des analyses perceptives, les méthodes objectives d'analyse acoustique, et accessoirement kinésiographique, ne concernant que des productions limitées à des mots ou à des phrases courtes en dehors du contexte de la communication au quotidien : en effet, la complexité inhérente au signal de parole se prête mal à l'analyse de productions plus longues.

Les troubles de la production de parole au cours de la maladie de Parkinson ont été qualifiés de dysarthrie hypokinétique privilégiant ainsi la réduction caractéristique de la motricité induite par le syndrome akinéto-rigide. Cependant à ce trouble primaire et limité à des aspects purement moteurs s'ajoutent d'autres perturbations liées à la dimension psychomotrice de l'akinésie parkinsonienne et à d'éventuelles stratégies de compensation mises en œuvre de façon plus ou moins consciente par les patients et d'efficacité variable. Enfin l'impact des traitements médicamenteux (notamment L-DOPA) et chirurgicaux (stimulation du noyau sous-thalamique), qui ne peut être raisonnablement considéré comme un retour pur et simple à une production vocale normale, représente un élément de complexité supplémentaire.

5-Description des troubles de la production vocale

La description des troubles de la production vocale (dysprosodie et dysarthrie) au cours de la maladie de Parkinson nécessite donc l'utilisation de plusieurs approches complémentaires, l'approche perceptive globale pouvant être précisée et quantifiée notamment par des analyses acoustiques. Inversement, les données quantitatives de l'analyse acoustique du signal de parole peuvent être rendues significatives au plan clinique par le rapprochement avec l'analyse perceptive.

La description de l'état clinique des patients parkinsoniens faite au moyen de l'échelle UPDRS (Unified Parkinson's disease rating scale) [2] universellement utilisée, ne comporte qu'une courte rubrique pour l'évaluation de la production de la parole dans l'item 18, et sa pondération spécifique n'intervient que dans 4 des 108 points dans le calcul global de l'UPDRS. Cette évaluation perceptive repose sur les observations cliniques globales des auditeurs, qui peuvent apprécier de façon qualitative non seulement la hauteur et l'intensité moyenne de la voix, mais aussi et surtout la "qualité" de la parole produite, faisant implicitement référence aux éléments de

l'intelligibilité globale du matériel verbal (variations de la prosodie et du timbre, articulation et débit).

L'item 18 (parole), propose une évaluation des troubles de la parole sur une échelle sur 5 niveaux de sévérité croissante :

- 0 = parole normale
- 1 = baisse légère de l'intonation et du volume
- 2 = parole monotone, brouillée mais compréhensible, nettement perturbée
- 3 = perturbation marquée de la parole, difficile à comprendre
- 4 = parole inintelligible.

On constate que la dysprosodie apparaît dès le niveau 1 dont elle constitue l'unique signe, et surtout au niveau 2 dot elle représente le signe majeur et où commence à apparaître la dégradation articulatoire du segmental.

La description des troubles de la production vocale (dysprosodie et dysarthrie) au cours de la maladie de Parkinson nécessite donc l'utilisation de plusieurs approches complémentaires, l'approche perceptive globale pouvant être précisée et quantifiée notamment par des analyses acoustiques. Inversement, les données quantitatives de l'analyse acoustique du signal de parole peuvent être rendues significatives au plan clinique par le rapprochement avec l'analyse perceptive.

5-1-L'analyse perceptive

Il existe au moins deux approches perceptives validées permettant l'évaluation de l'intelligibilité : le texte lillois de dysarthrie (TLD) [3], et l'évaluation clinique de la dysarthrie (ECD) [4]. Cette dernière est l'adaptation francophone du "Frenchay Dysarthria Assessment" développé par Enderby en 1983 . Après une évaluation analytique des organes de la parole (réflexes, respiration, lèvres, mâchoire, voile du palais, larynx, langue), cette échelle réserve 3 items pour l'évaluation de l'intelligibilité de la production vocale dans des situations standardisées ; lecture de mots, de phrases courtes, conversation spontanée au cours d'une interview sur des thèmes d'intérêt personnel du patient et lecture d'un texte à voix haute.

La dysarthrie hypokinétique ne se distingue des dysarthries spastique et mixte que par un score significativement plus élevé pour la fonction du voile du palais, suggérant une perturbation moindre de la résonance. Une analyse discriminante pas à pas montre qu'il est possible de classer correctement (dans le groupe "dysarthrie hypokinétique") 76% des patients présentant cliniquement un syndrome parkinsonien dans la population constitutive du modèle, cette proportion chutant à 50% dans une autre population test [5]. Sur l'ensemble des items évalués, 5 épreuves se révèlent globalement discriminantes pour distinguer les dysarthries: élévation du voile du palais au cours du [a] tenu, mobilité du voile au cours de la parole, existence d'une hypersalivation, position des lèvres au repos et protrusion de la langue.

La diminution de variabilité de la prosodie a fait souvent décrire la parole des parkinsoniens comme monotone, suggérant l'atténuation des événements prosodiques tels que les variations de hauteur (mélodie) et d'intensité-durée (accentuation), les modifications du timbre (traduisant le phénomène de résonance pour les voyelles) et de la fermeture du conduit vocal (permettant l'articulation des consonnes). Sur une population de 200 patients parkinsoniens, les erreurs d'articulation, classées selon le niveau anatomique de fermeture du conduit vocal, ont été décrites dans l'ordre de fréquence décroissante: les occlusives vélaires, les fricatives alvéolaires et prépalatales, puis les occlusives bilabiales et alvéodentales.

Le débit verbal (comportant la distribution des parties voisées et des pauses, ainsi que le rythme) a été diversement qualifié, en raison de son irrégularité fondamentale résultant d'accélération évocatrices du phénomène de festination (tachyphémie paroxystique) qui alternent avec des épisodes de blocage rappelant le phénomène de freezing (palilalie), voire le bégaiement.

5-2-Les analyses acoustiques objectives

L'évaluation de la qualité de la parole et la perception des causes de sa dégradation à travers différents indices acoustiques a toujours été la préoccupation clinique principale des Phoniâtres. Comme dans les autres disciplines médicales, ils ont été attentifs à toutes les techniques qui seraient susceptibles de leur donner des informations complémentaires, pour aider au diagnostic et évaluer les effets des traitements chirurgicaux ou médicamenteux ou les progrès d'une rééducation. Cependant, la voix et la parole étant par essence faites pour être entendues, l'évaluation subjective "à l'écoute" reste la référence face à des méthodes d'évaluation objective très variées, parfois mal fondées et à l'efficacité contestable.

Les processus neurologiques dans la maladie de Parkinson ou l'ensemble élargi des syndromes parkinsoniens, qui comportent dans leur expression clinique commune une dysprosodie, sont de bons candidats à une analyse instrumentale du symptôme en question, en vue d'une classification plus discriminante que celles obtenues sur la base du seul critère clinique, en l'absence d'informations pertinentes disponibles à partir des autres critères instrumentaux (imagerie, biologie moléculaire, données neuro-pathologiques).

Les approches thérapeutiques à visée symptomatique nécessitent aussi, pour être évaluées objectivement, une représentation quantifiée du symptôme-cible: il en est ainsi, dans le contexte des troubles de la production vocale, par exemple, pour la prise en charge en rééducation des dysprosodies parkinsoniennes ou pour le traitement par injection de toxine botulinique des dystonies laryngées et oro-mandibulaires. Ces données confirment donc l'intérêt de compléter l'évaluation perceptive par des analyses instrumentales malgré leur relative nouveauté et leur manque de standard.

6-La dysprosodie parkinsonienne

Un grand nombre d'études descriptives ont été consacrées à l'analyse des dysprosodies au cours de diverses affections du système nerveux central depuis les travaux de Canter en 1963 [6]. Elles ont surtout porté sur les dysprosodies hypokynétiques, en particulier dans la maladie de Parkinson. Chez les malades parkinsoniens, les différents paramètres prosodiques ont été étudiés dans diverses conditions de production de parole (répétition de syllabes, répétition de phrases, lecture de texte à voix haute).

6-1-La mélodie

Les études sur la mélodie ont montré des résultats souvent contradictoires. Chez de nombreux auteurs, la Fo moyenne augmente avec la sévérité du trouble [7et 8]. A contrario, chez d'autres elle diminue [6et9]. D'une manière générale, on observe une plage de variation de la Fo nettement plus réduite responsable d'une parole monotone. C'est surtout la variabilité, plus que la valeur moyenne de la Fo, qui se révèle comme un indice pertinent de la dysarthrie hypokinétique. Cette variabilité, représentée par l'étendue statistique de la gamme tonale, a été souvent retrouvée significativement réduite dans la maladie de Parkinson par comparaison à ce qui est observé chez des sujets normaux.

L'étude de la valeur moyenne de F0 se heurte au problème de la variabilité des performances inter-individuelles et intra-individuelles, fonction aussi de la diversité des conditions de la production vocale. L'étude comparée des performances des patients en état « on » et « off » de L-DOPA est une bonne méthode qui permet au patients d'être leurs propre contrôles à condition que leur état clinique ne soit pas trop affecté.

La figure 2 montre la comparaison des distributions de la Fo pour un patient parkinsonien en condition « On » et « Off » de L-DOPA et un sujet normal témoin. En « Off », on constate une perte de la partie haute de la gamme tonale qui entraîne un abaissement de la valeur moyenne de la F0. En « On », on constate une amélioration de la variabilité de la F0 caractérisée par la récupération de la partie haute de la gamme tonale.

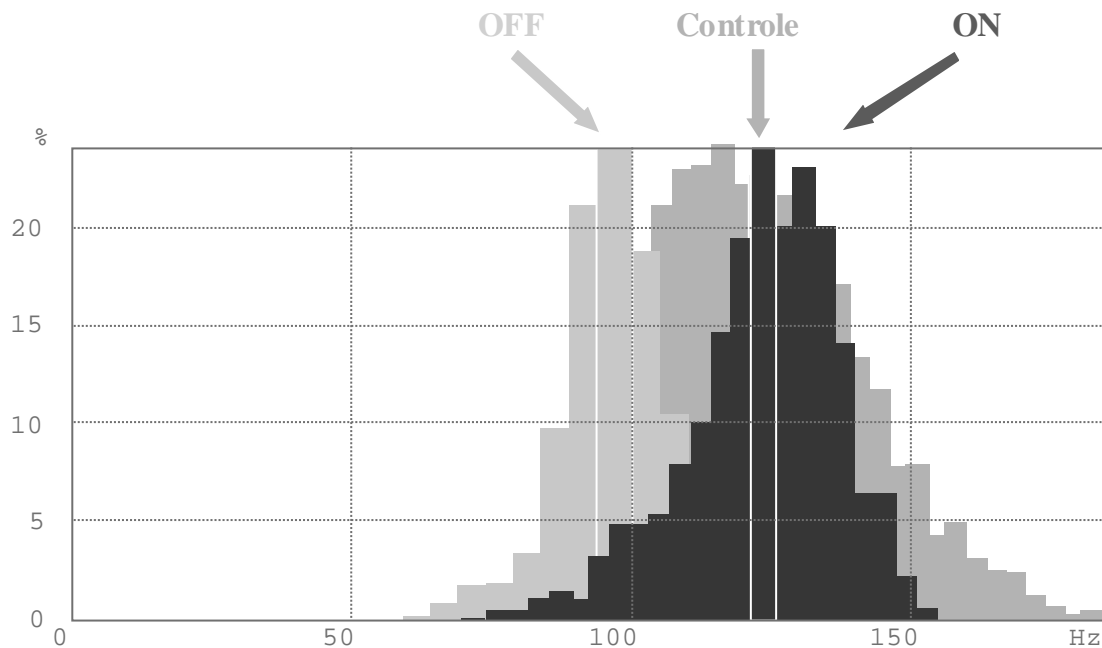


Figure 3 : Comparaison des distributions de Fo sur un même corpus de lecture entre un sujet normal (contrôle) et un patient parkinsonien en situation ON et OFF de Dopa

Il est donc souhaitable à la fois de standardiser le matériel verbal produit tout en échantillonnant une quantité suffisante pour constituer une représentation exhaustive de la performance réelle: la lecture à voix haute d'un texte de durée suffisante (une minute environ) paraît un compromis acceptable entre le besoin d'exhaustivité et les contraintes d'une analyse instrumentale semi-automatique. Un autre problème concerne l'impact des traitements sur la performance des malades parkinsoniens: la comparaison des performances réalisées en l'absence de traitement par la L-DOPA (arrêt du traitement depuis plus de 12 heures chez des patients fluctuants: condition dite "off") avec celles réalisées sous l'effet de la L-DOPA (1 à 2 heures après la prise médicamenteuse à la posologie habituelle: condition dite "on") permet d'objectiver plus précisément l'effet de la stimulation dopaminergique sur les paramètres prosodiques.

Avec cette méthodologie, la réduction significative de la variabilité de F0 a pu être confirmée, cette réduction étant principalement la conséquence d'une perte de la partie haute de la gamme tonale entraînant de ce fait un abaissement significatif de la valeur moyenne de F0 [10]: la comparaison des mêmes patients parkinsoniens en conditions "off" et "on" a permis de montrer que le traitement par L-DOPA s'accompagnait d'une restauration significative de la variabilité de F0 [11] caractérisée par la récupération de la partie haute de la gamme tonale [12]. Toutefois, une autre étude récente note des résultats très différents avec élévation de la valeur moyenne de Fo en OFF, et réduction de cette valeur en ON, ce qui maintient une certaine controverse sur la méthodologie et l'interprétation finale des résultats [13].

6-2-L'intensité

Les données d'analyses acoustiques concernant la variabilité d'intensité restent encore difficiles à interpréter. Contrairement à ce qui était attendu à partir des analyses perceptives, à savoir une réduction de la variabilité d'intensité sonore chez les malades parkinsoniens, certaines études n'ont pas retrouvé de différence significative avec les sujets normaux [6 et 8]. Les difficultés méthodologiques évoquées précédemment sont vraisemblablement l'explication de ces résultats contradictoires entre analyses perceptives et acoustiques et justifient certainement d'attendre des

études plus exhaustives maîtrisant au mieux les facteurs susceptibles d'influencer la performance des patients parkinsoniens avant de conclure sur ce point. Une étude récente suggère toutefois qu'il existe une réduction significative de l'intensité moyenne chez les malades parkinsoniens, par rapport à des sujets contrôles, en situation de langage conversationnel. Toutefois, les patients conservent la capacité d'augmenter leur intensité sonore si la distance avec l'interlocuteur augmente. L'utilisation d'une représentation du type phonétogramme, qui évalue la capacité laryngée par combinaison des variabilités en intensité et en hauteur vocale, pourrait constituer une piste intéressante pour l'évaluation des performances laryngées dans diverses situations de production vocale en référence à la capacité laryngée maximale.

6-3-La durée et le rythme

Enfin, les données concernant le débit verbal sont relativement divergentes. Certains auteurs là aussi, constatent une accélération du débit. D'autres ont même trouvé une lenteur de parole chez tous les patients parkinsoniens. Globalement apparaît cependant chez le parkinsonien, une accélération plus ou moins marquée du débit avec des anomalies de la segmentation rythmique. Ceci résulte de la grande variabilité interindividuelle chez les malades parkinsoniens [14]. De plus, les anomalies du débit se révèlent très dépendantes du contexte de la production vocale et sont certainement plus marquées en production spontanée: en outre, la coexistence fréquente de périodes d'accélération et d'épisodes de blocage, constatée avec les analyses perceptives, complique singulièrement l'interprétation de mesures temporelles globales

L'analyse de la répartition des pauses silencieuses ou non (voir la contribution de D. Duez au présent ouvrage) et des interactions avec le rythme respiratoire (groupes de souffle) représentera certainement une approche plus discriminante.

Des résultats de la masse importante de travaux sur la dysprosodie nous ne pouvons constater qu'une grande variabilité. Toutes ces études, au demeurant estimables, sont parfois entachées par de nombreux biais. Elles sont souvent très parcellaires, établies sur des populations généralement restreintes, ou dans le cas contraire, aux symptômes cliniques mal documentés au plan des caractéristiques de la maladie. Elles manquent aussi d'homogénéité dans le choix des paramètres pertinents et le choix des corpus ainsi que dans les méthodes d'évaluation qui sont parfois même, mal maîtrisées par les expérimentateurs, avec des protocoles très divers.

7-Le protocole aixois d'évaluation de la dysprosodie

Dans le souci de pouvoir mener les évaluations sur la dysprosodie de la parole, de la manière la plus aisée et la plus conviviale possible, par un personnel médical ou para médical non spécialiste, nous avons développé des applications logicielles dédiées à la dysprosodie pour le système d'évaluation vocale EVA de la société SQ-Lab. Ce matériel d'investigation clinique dans le domaine de la laryngologie est maintenant bien stabilisé après plusieurs années de mise au point et de tests d'utilisation [15]. Il est devenu un standard dans l'évaluation des dysphonies. DIANA en est un dérivé plus simple basé exclusivement sur l'analyse du signal acoustique de la parole. EVA fonctionne sous la forme d'une station de travail sur PC dans l'environnement WINDOWS. Ces différentes fonctions se présentent sous la forme d'applications dédiées à un problème clinique particulier.

La prosodie étant fortement liée à la mélodie et la mélodie étant une manifestation vocale, nous considérons la dysprosodie des patients parkinsoniens comme la conséquence de trois dysfonctionnements laryngiens. D'abord la difficulté à ne pas reproduire l'intonation programmée au niveau linguistique par la déficience des actions neuromotrices de la musculature laryngienne et de leur contrôle. Ensuite, par l'instabilité du vibrateur laryngien. Enfin par une mauvaise réalisation des coordinations pneumo phoniques, mettant au premier plan de la dysprosodie, le contrôle du souffle phonatoire. Ces trois dysfonctionnements peuvent être fortement interdépendants. Nous utilisons donc pour l'évaluation générale de la dysprosodie trois types différents d'évaluations

correspondants aux trois dysfonctionnements précédents; l'évaluation de la prosodie proprement dite, l'évaluation de la stabilité du vibrateur laryngien et l'évaluation du rendement glottique. Notre principale préoccupation, dans la mise en œuvre de ces méthodes a été, après leur pertinence et leur efficacité, la rapidité des enregistrements pour le confort des malades et l'automatisme des traitements pour celui des manipulateurs.

7-1-Etude de la prosodie

L'application à l'étude de la prosodie est basée sur la mesure et l'interprétation des trois paramètres prosodiques ; mélodie, intensité et durée, sur des phrases types lues par les patients. Il est possible d'utiliser de la parole spontanée mais les résultats étant très dépendants du support d'élocution il est conseillé d'en conserver le même type pour des études comparatives. La durée moyenne des phrases lues est de l'ordre d'une minute pour une évaluation pertinente. Sur ces supports d'élocution sont calculées des représentations graphiques et statistiques aisément interprétables ainsi que des indices chiffrés : moyenne, mode, écart type, coefficient de variation, dynamique Min-Max etc..

Le traitement de la mélodie est le plus original par le fait qu'il utilise non pas une simple représentation de la courbe physique de Fo plus ou moins bien détectée, mais l'application d'un modèle théorique de l'intonation particulièrement fondé [16]. La Fo est calculée au moyen d'une méthode AMDF sur une durée de 30 ms et un pas de 10 ms, après détection du voisement par filtrage passe bas et détection des passages par zéro. Cette méthode a été choisie pour sa bonne robustesse au timbre souvent dégradé des voix pathologiques et sa précision. La courbe de Fo obtenue est modélisée au moyen de la méthode MOMEL.

La modélisation mélodique par points cibles

La courbe de la fréquence fondamentale brute de la figure 1 représente le niveau physique le plus concret de l'intonation d'un énoncé. Cette courbe se présente comme un continuum qui comporte des interruptions dues aux consonnes non voisées, et des microvariations de la Fo provoquées par les consonnes voisées. Ces interruptions et microvariations sont la conséquence des contraintes physiologiques de la production des segments phonématiques dans le conduit vocal. Elles ne doivent pas être prises en considération dans une interprétation linguistique de la courbe de Fo. Ainsi la courbe brute de Fo est constituée par la superposition de deux composantes. Tout d'abord, la composante représentant la structure intonative de l'énoncé, porteuse de l'information mélodique. Ensuite, la composante micro mélodique, constituée comme son nom l'indique par les petites variations de fréquence fondamentale, provoquées par les contraintes articulatoires (figure 1). Si elles contribuent à mieux distinguer perceptivement certains phonèmes, ces microvariations ne sont pas intégrées dans la perception de la ligne mélodique de l'énoncé qui constitue la substance auditive de l'intonation. Nous utilisons pour prendre en compte ces faits la méthode de modélisation de la mélodie MOMEL proposée par Hirst et Espesser [17]

Un prétraitement de la courbe de fréquence fondamentale est effectué pour éliminer les variations de Fo rapides au rétablissement du voisement après des consonnes occlusives ou constrictives. Une régression quadratique est appliquée de manière itérative le long de la courbe de Fo sur une durée de 300 millisecondes. Elle permet de filtrer les variations « articulatoires » et d'estimer les changements d'inflexion de la Fo qui correspondent à des points caractéristiques. Ces points « cibles » peuvent être éliminés s'ils dépassent des seuils de variation verticale prédéfinis à partir d'un corpus d'optimisation. La courbe de Fo ainsi modélisée a l'apparence d'une courbe lisse et continue qui est une représentation phonétique de l'intonation. Les points cibles ainsi détectés représentent les points clés, les pivots de la programmation linguistique de l'intonation. Ce modèle se fonde sur le postulat théorique que ce ne sont pas des contours mais des segments définis par des points cibles ou des tons localisés sur ces points qui décrivent l'intonation.

Les analyses statistiques sont réalisées sur les données modélisées, excepté les parties présentes dans les pauses silencieuses.

La courbe d'intensité est représentée par la valeur efficace de la pression acoustique en dB avec un pas de 10 ms. Les traitements statistiques étant identiques à ceux de la mélodie.

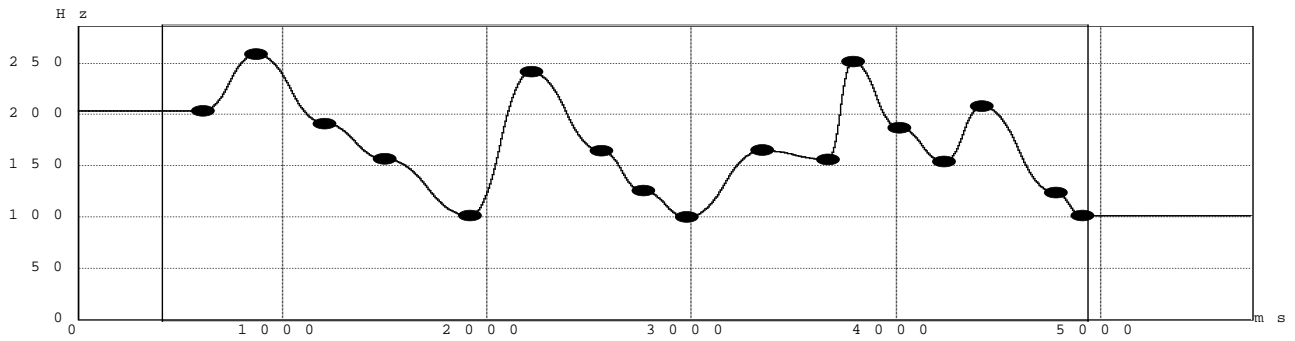
Le paramètre de la durée est basé sur le traitement des pauses à partir de l'énergie de la pression acoustique des zones silencieuses ou bruitées du signal. Seules les pauses silencieuses sont identifiées. La distribution des pauses de la phrase est présentée avec les mêmes caractéristiques que précédemment. Les données numériques fournissent le temps cumulé des pauses, du signal, leur répartition, leur nombre et moyenne.

La figure 3 représente les courbes intonatives de la phrase « *c'est une affaire intéressante il faut la faire sans aucun regret* » prononcée de haut en bas par un sujet normal, un patient parkinsonien et un patient ataxique suivies d'un tableau récapitulatif des mesures intonatives. On peut constater spontanément, sans attentions particulières que les 3 courbes sont très différentes. Le patient parkinsonien semble avoir une programmation intonative identique au sujet témoin mais avec une dynamique bien plus faible comme si la courbe intonative était amortie. Par contre, le patient ataxique a une programmation déstructurée, associée à une dynamique plus importante par rapport au sujet témoin. Ceci est à mettre en relation avec le nombre de points cibles et les valeurs du coefficient de variation et de la dynamique de la Fo qui confirment la première impression de l'étude visuelle des courbes

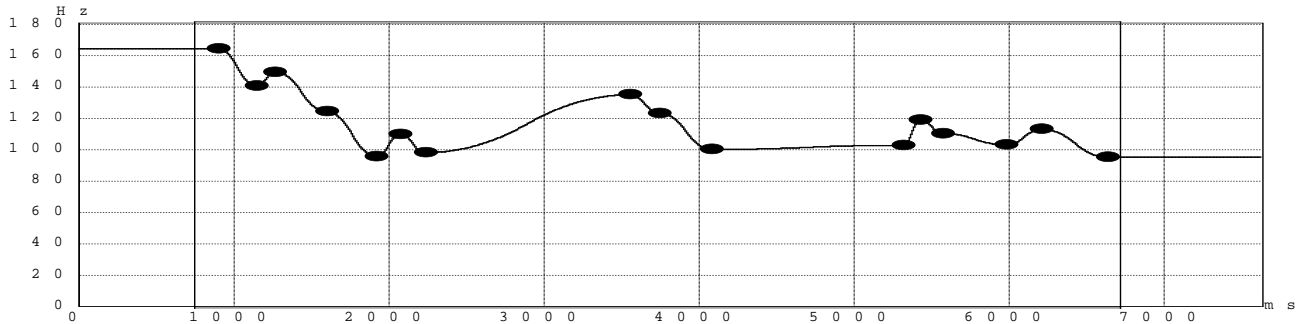
La figure 4 représente une phrase prononcée par un sujet normal de 60 ans : “ *Monsieur Seguin n'avait jamais eu de bonheur avec ses chèvres, il les perdait toutes de la même façon. Un beau matin elles cassaient leurs cordes, s'en allaient dans la montagne et la haut, le loup les mangeait. Ni les caresses de leur maître, ni la peur du loup, rien ne les retenait* ”. De haut en bas sont présentés ; le signal acoustique de l'énoncé, la courbe mélodique, et la marque des pauses silencieuses. La courbe mélodique est modélisée sous la forme de points cibles correspondant à la programmation de l'intonation du discours. C'est sur cette courbe modélisée que sont effectués les traitements des données mélodiques, uniquement sur les parties voisées. On peut observer que la modélisation évite certains accidents de la courbe brute de Fo et corrige un décrochage à 230 Hz qui est une erreur de détection.. Les pauses silencieuses sont détectées à partir de l'intensité du signal acoustique. Les deux tableaux regroupent les résultats statistiques sur la mélodie et les pauses enfin les deux histogrammes représentent la distribution de la variation de la Fo et des pauses. On constate pour la mélodie une Fo moyenne de 138 Hz, un coefficient de variation de 18 %, une dynamique de 110 Hz. Nous trouvons 9 pauses d'une durée moyenne de 0,45 seconde pour un temps cumulé de 4,15 secondes et un temps total de parole de 17 secondes.

La figure 5 représente la même phrase prononcée par un patient parkinsonien avec la même présentation des paramètres. On remarque sur la courbe mélodique un point cible erroné mais il est dans une pause et n'est donc pas pris en compte. On constate pour la mélodie une Fo moyenne de 100 Hz, un coefficient de variation de 5,9 %, une dynamique de 35 Hz. Nous trouvons 12 pauses d'une durée moyenne de 0,700 secondes pour un temps de pause total de 8,450 secondes et un temps total de parole de 21,8 secondes. En comparaison avec le témoin précédent on en déduit que la moyenne de sa Fo est bien plus basse avec une variation de dynamique divisée par 3. Ses pauses sont plus nombreuses, plus longues avec un temps de cumulé doublé. Le temps cumulé du signal est en revanche presque identique. L'augmentation de la durée totale de la phrase n'est due qu'à l'augmentation du temps de pause.

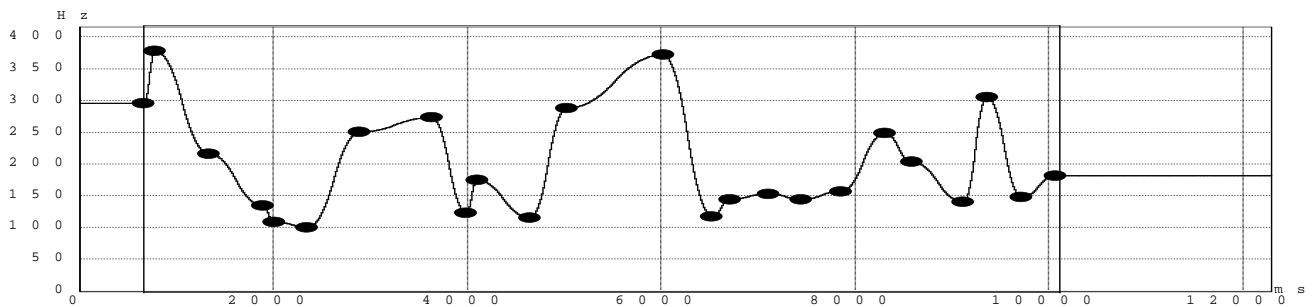
La figure 6 représente toujours la même phrase prononcée par un patient parkinsonien en situation « Off » de L-DOPA. De haut en bas sont présentés ; le signal acoustique de l'énoncé, la courbe mélodique et la courbe d'intensité. On remarque une production mélodique particulièrement « plate » signe d'une élocution *recto tono*. La courbe d'intensité témoigne également d'un niveau très peu modulé. On constate pour la mélodie une Fo moyenne de 118 Hz, un coefficient de variation de 5 %, une dynamique de 38 Hz Nous trouvons 12 pauses d'une durée moyenne de 1,6 seconde pour un temps cumulé de 20 secondes et un temps total de parole de 26,7 secondes. Si les



sujet normal



patient parkinsonien

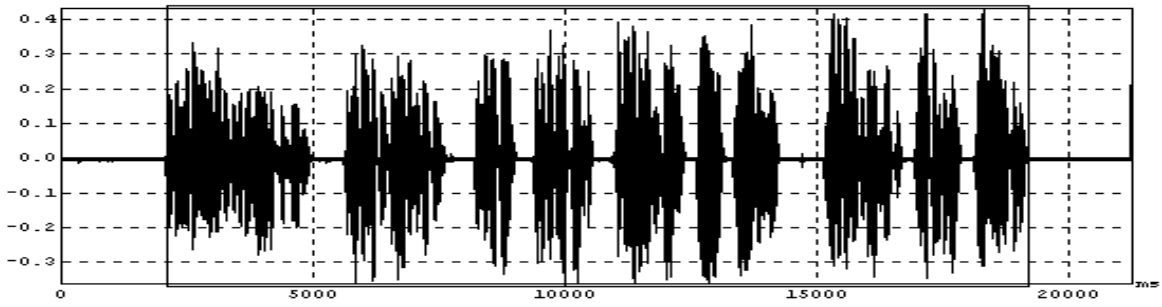


patient ataxique

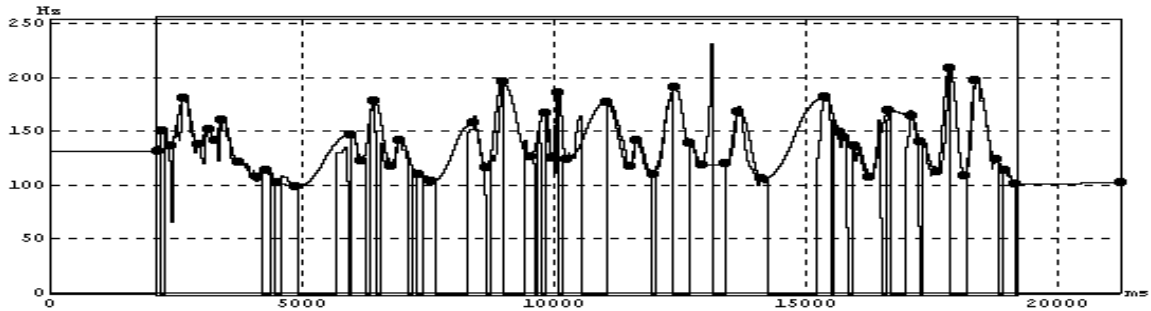
Sujets	Normal	Parkinsonien	Ataxique
Moyenne (Hz)	158	122	194
Mode (Hz)	125-130	125-130	145-150
Écart-Type	41	19	67
Coef-var (%)	25	16	34
Min (Hz)	93	79	101
Max (Hz)	247	160	377
Dynamique	153	81	275
Points cibles	17	16	24

Tableau statistique comparatif des trois réalisations

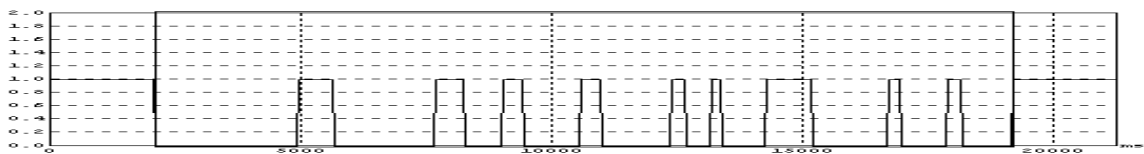
Figure 3 : Modélisation de l'intonation de la phrase « C'est une affaire intéressante qu'en pensez vous ? Il faut la faire sans aucun regret » par un sujet normal, parkinsonien et ataxique.



Signal acoustique de la phrase (l'axe des abscisses est en millisecondes)



Courbe mélodique (Fo) de la phrase modélisée par les points cibles (l'axe des ordonnées est en Hertz)

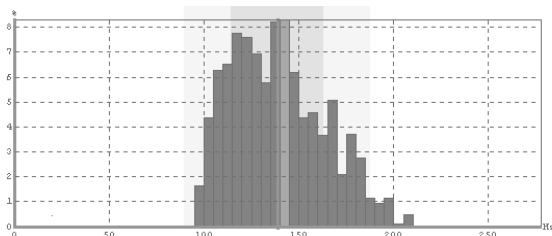


Pauses silencieuses dans le déroulement de la phrase

	Fréquence	½ tons
Moyenne	138.9 Hz	Do#2
Mode	[140.0 145.0] Hz	Do#2
Ecart-type	24.5 Hz	2.8
Coeff. de variation	17.7 ‰	.
Min	98.7 Hz	So11
Max	208.6 Hz	So1#2
Dynamique	110.0 Hz	13.0

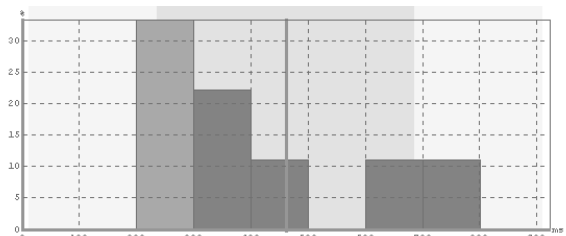
	Pause	Signal	Total
Temps cumulé (sec.)	4.150	12.880	17.030
Répartition	24.4 ‰	75.6 ‰	100 ‰
Nb.	9	10	19
Durée moyenne (sec.)	0.461	1.288	0.896

Statistiques de la Fo



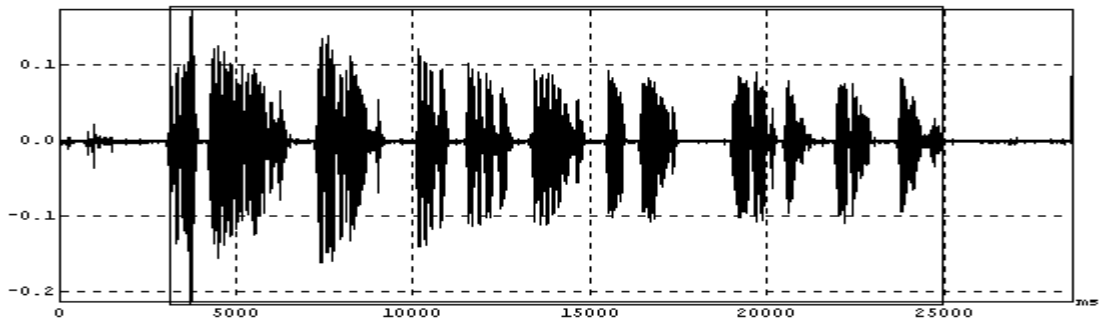
Distribution de la Fo

Statistiques des pauses

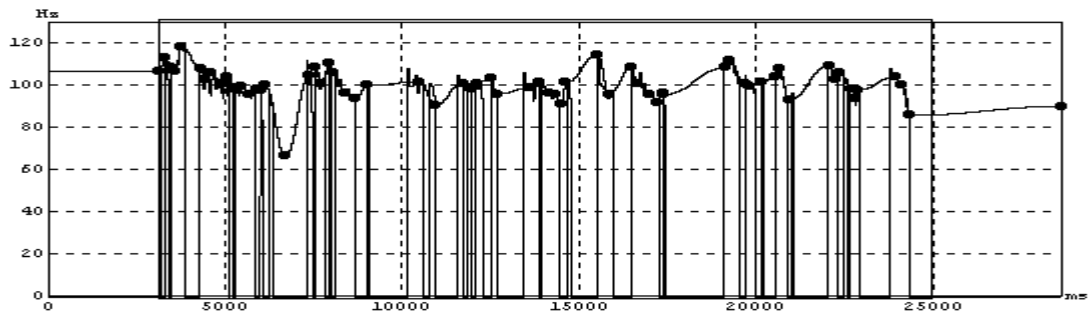


Distribution des pauses

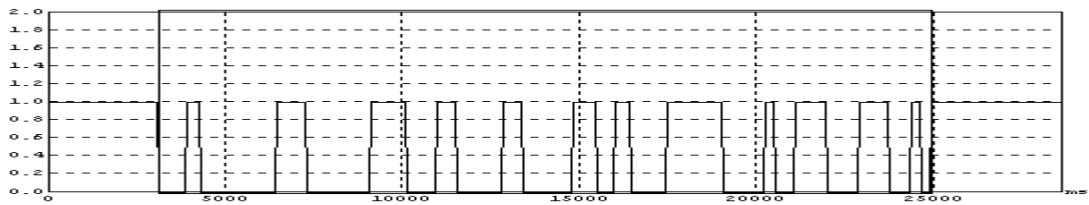
Figure 4 : Evaluation prosodique (mélodie et durée) de la lecture du texte de « la chèvre » par un sujet normal âgé de 60 ans.



Signal acoustique de la phrase (l'axe des abscisses est en millisecondes)



Courbe mélodique (F0) de la phrase modélisée par les points cibles (l'axe des ordonnées est en Hertz)



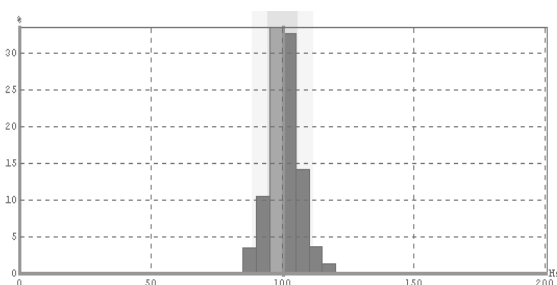
Pauses silencieuses dans le déroulement de la phrase

	Fréquence	% tons
Moyenne	100.3 Hz	30.11
Mode	[95.0 100.0] Hz	30.11
Ecart-type	5.9 Hz	1.0
Coeff. de variation	5.9 %	-
Min	82.5 Hz	31.1
Max	118.0 Hz	31.1
Dynamique	35.4 Hz	6.2

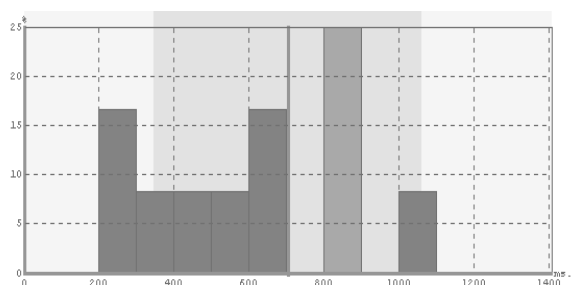
	Pause	Signal	Total
Temps cumulé (sec.)	8.450	13.350	21.800
Répartition	38.8 %	61.2 %	100 %
Nb.	12	13	25
Durée moyenne (sec.)	0.704	1.027	0.872

Statistiques de la mélodie (F0)

Statistiques des pauses

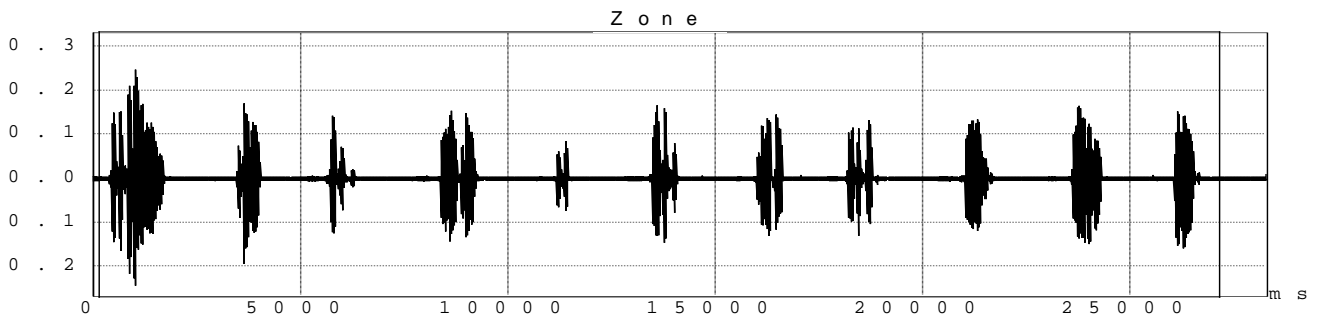


Distribution de la F0

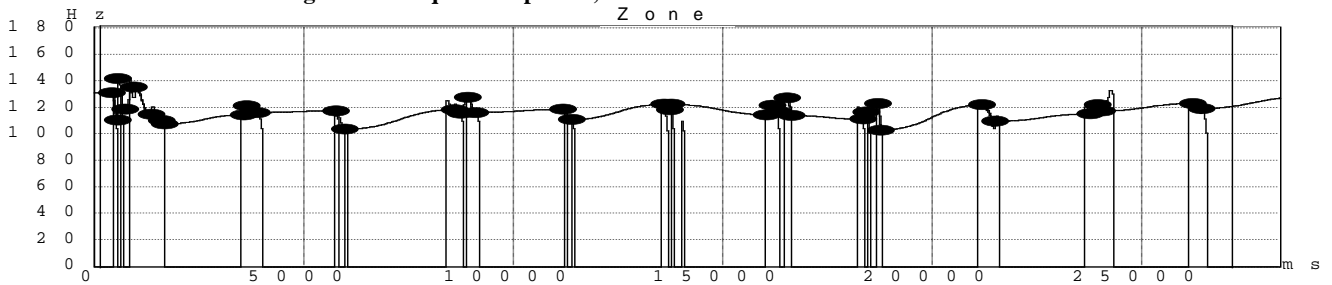


Distribution des pauses

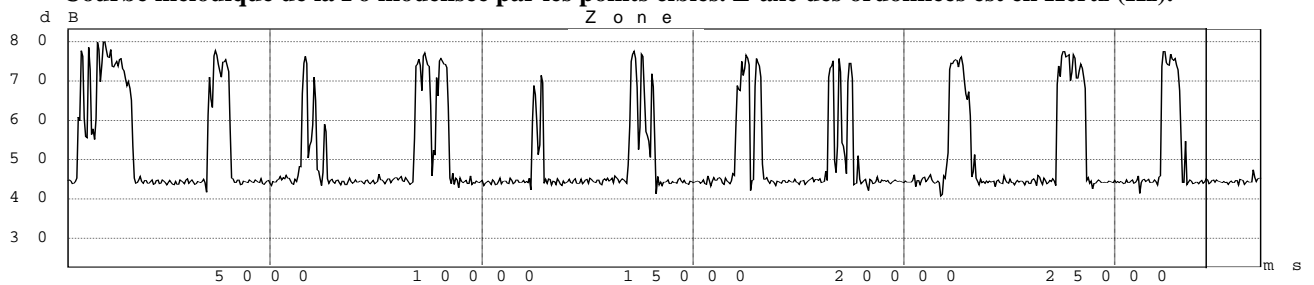
Figure 5 : Evaluation prosodique (mélodie et durée) de la lecture du texte de « la chèvre » par un patient parkinsonien.



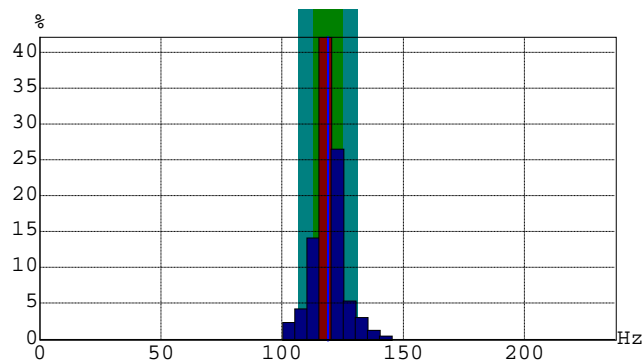
Signal acoustique de la phrase, L'axe des abscisses est en millisecondes



Courbe mélodique de la Fo modélisée par les points cibles. L'axe des ordonnées est en Hertz (Hz).



Courbe d'intensité du signal acoustique. L'axe des ordonnées est en décibels (dB).



Distribution des valeurs de Fo sur la durée de la phrase.

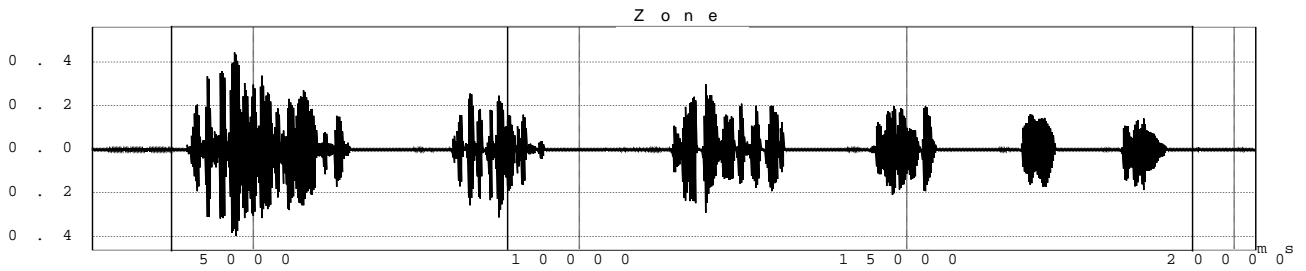
Zone d'analyse [0.1 ; 26.9 s]	Fréquence	½ tons
Moyenne	118.7 Hz	Sib1
Mode	[115.0 120.0] Hz	Sib1
Ecart-type	6.1 Hz	0.9
Coeff. de variation	5.1 %	.
Min	103.0 Hz	So1#1
Max	141.7 Hz	Do#2
Dynamique	38.7 Hz	5.5

Tableau statistique de la Fo

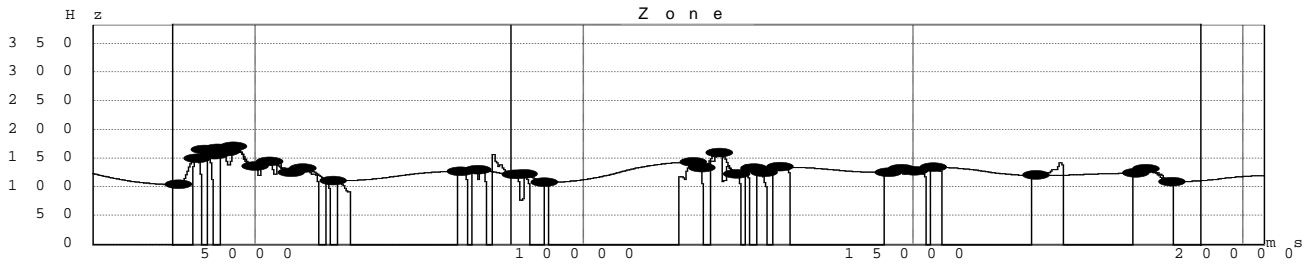
Zone d'analyse [0.1 ; 26.9 s]	Pause	Signal	Total
Temps cumulé (sec.)	20.052	6.680	26.732
Répartition	75.0 %	25.0 %	100 %
Nb.	12	11	23
Durée moyenne (sec.)	1.671	0.607	1.162

Tableau statistique des pauses

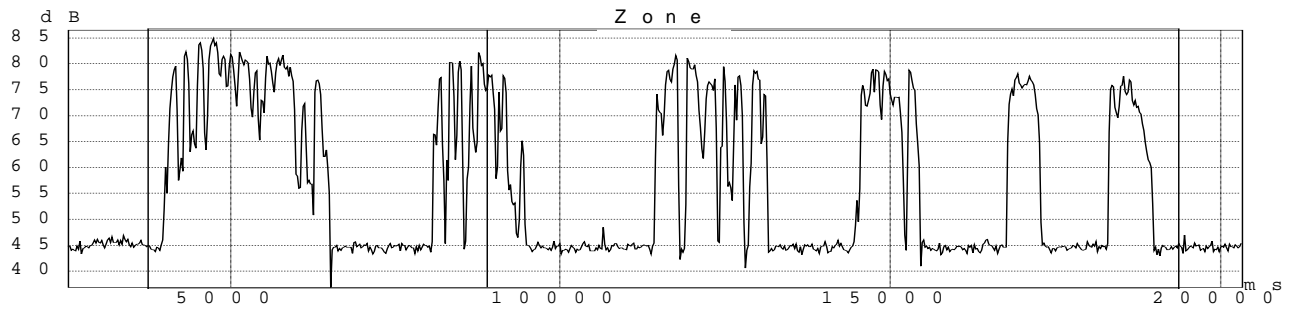
Figure 6 : Evaluation prosodique (mélodie, intensité et durée) de la lecture du texte de « la chèvre » par un patient parkinsonien « Off » L-DOPA



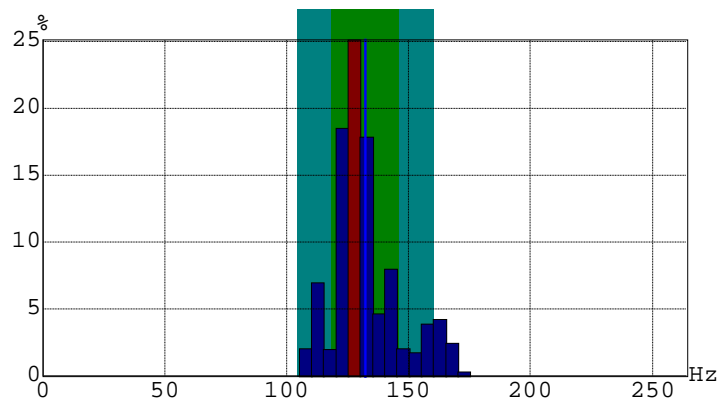
Signal acoustique de la phrase, L'axe des abscisses est en millisecondes



Courbe mélodique de la Fo modélisée par les points cibles. L'axe des ordonnées est en Hertz (Hz).



Courbe d'intensité du signal acoustique. L'axe des ordonnées est en décibels (dB).



Distribution des valeurs de Fo sur la durée de la phrase.

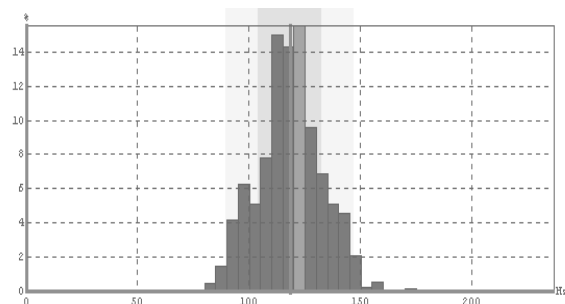
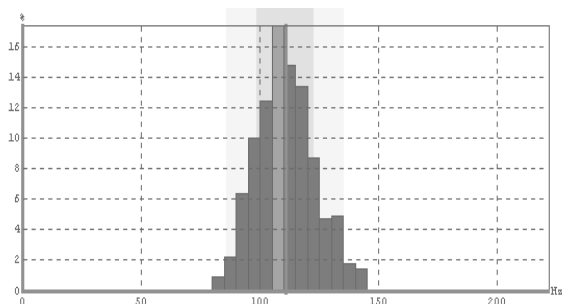
Zone d'analyse [4.0 ; 19.1 s]	Fréquence	½ tons
Moyenne	132.0 Hz	Do2
Mode	[125.0 130.0] Hz	Si1
Ecart-type	14.0 Hz	1.7
Coeff. de variation	10.6 %	.
Min	108.0 Hz	La1
Max	170.1 Hz	Fa2
Dynamique	62.1 Hz	7.9

Tableau statistique de la Fo

Zone d'analyse [4.0 ; 19.1 s]	Pause	Signal	Total
Temps cumulé (sec.)	7.756	7.340	15.096
Répartition	51.4 %	48.6 %	100 %
Nb.	8	7	15
Durée moyenne (sec.)	0.970	1.049	1.006

Tableau statistique des pauses

Figure 7 : Evaluation prosodique (mélodie, intensité et durée) de la lecture du texte de « la chèvre » par un patient parkinsonien « ON » L-DOPA

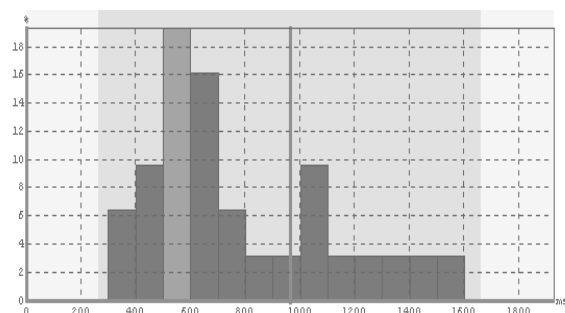
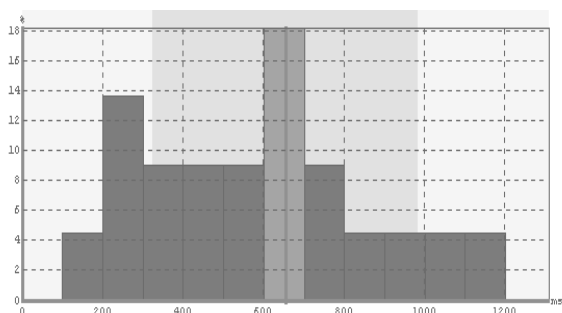


Distribution de la Fo

	Fréquence	½ tons
Moyenne	110.9 Hz	L _{a1}
Mode	[105.0 110.0] Hz	L _{a1}
Ecart-type	12.4 Hz	1.8
Coeff. de variation	11.2 %	-
Min	78.5 Hz	Ré#1
Max	145.1 Hz	Ré2
Dynamique	66.6 Hz	10.6

	Fréquence	½ tons
Moyenne	118.4 Hz	Sib1
Mode	[120.0 125.0] Hz	Sib1
Ecart-type	14.5 Hz	2.0
Coeff. de variation	12.2 %	-
Min	83.9 Hz	Mil
Max	172.6 Hz	Fa2
Dynamique	88.8 Hz	12.5

Statistiques de la mélodie (Fo)



Distribution des pauses

	Pause	Signal	Total
Temps cumulé (sec.)	14.403	47.130	61.533
Répartition	23.4 %	76.6 %	100 %
Nb.	22	21	43
Durée moyenne (sec.)	0.655	2.244	1.431

	Pause	Signal	Total
Temps cumulé (sec.)	29.880	57.150	87.030
Répartition	34.3 %	65.7 %	100 %
Nb.	31	32	63
Durée moyenne (sec.)	0.964	1.786	1.381

Statistiques des pauses

OFF

ON

Figure 8: Evaluation prosodique (mélodie et durée) en situation ON et OFF d'un patient parkinsonien appareillé avec un stimulateur sous thalamique.

rythme d'élocution difficile.

La figure 7 représente toujours la même phrase prononcée par le même patient parkinsonien en situation « On » de L-DOPA avec la même présentation des paramètres. On constate pour la mélodie une F_0 moyenne de 132 Hz, un coefficient de variation de 10,6 %, une dynamique de 62 Hz. Nous trouvons 8 pauses d'une durée moyenne de 0,970 secondes pour un temps de pause total de 7,756 secondes et un temps total de parole de 15,09 secondes. En comparaison avec la situation précédente en « Off » on en déduit que la moyenne de sa F_0 est plus élevée avec une variation de dynamique multipliée par 2.

Le nombre de ses pauses est diminué de 25 %, elles sont plus courtes avec un temps cumulé divisé par 3. Le temps cumulé du signal est là encore presque identique. La diminution de la durée totale de la phrase n'est due qu'à la diminution très importante du temps de pause.

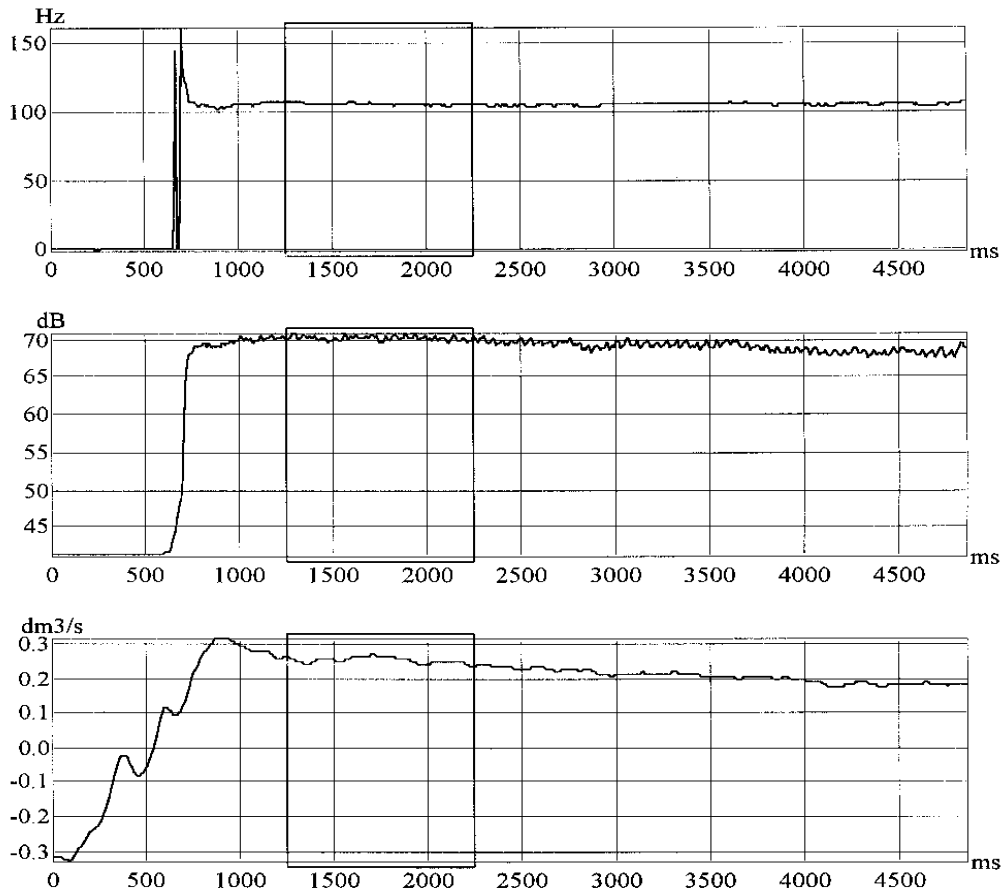
La figure 8 représente la comparaison de la prosodie (F_0 et durée) de textes lus par un patient parkinsonien stimulé (sous thalamique). Cette évaluation porte sur la totalité du texte de la "chèvre de Monsieur Seguin" soit une durée moyenne d'une minute pour des sujets normaux. (contrairement aux exemples précédents qui ne portent que sur un quart de ce texte environ). Ce type de stimulation améliore instantanément dès sa mise en marche (au moyen d'un programmeur externe) l'état neuromoteur du patient en diminuant dans la grande majorité des cas, la "chape de plomb" qui l'ankylose et les tremblements au repos. Cependant dans certains cas, l'élocution du patient est aggravée par la stimulation qui semble diminuer les performances pneumo-phoniques. La dynamique vocale est peu atteinte, par contre, les groupes de souffle deviennent plus courts avec des pauses plus nombreuses et une faiblesse d'émission surtout en fin de phrase. Nous présentons l'exemple d'un patient en situation ON (stimulé) et OFF (non stimulé), cette commutation étant quasi instantanée avec l'action sur le stimulateur. En situation OFF ce patient a une élocution de bonne qualité avec une dynamique vocale assez restreinte mais une durée d'élocution quasi normale en terme de durée de la phrase et du nombre de pauses. En situation ON, la dynamique vocale s'améliore légèrement, par contre, la durée d'élocution et le nombre de pauses augmentent 50%.

7-2-Le vibreur laryngien

Des méthodes d'évaluation objectives des dysphonies, il apparaît que le phonétogramme, le temps maximal de phonation (TMP), la mesure de la fuite glottique, et la stabilité à court et moyen terme du vibreur sont les plus pertinentes pour évaluer l'état d'un larynx "neurologique". La dysphonie peut être provoquée schématiquement par de multiples facteurs tels que l'hypotonie ou, au contraire, l'hypertonie de la musculature laryngée et respiratoire ou encore des tremblements, qui ont une répercussion sur la hauteur, l'intensité et le timbre de la voix. L'hypotonie a pour conséquence une faible intensité de la voix et un abaissement de la F_0 . L'hypertonie du larynx se traduit par une augmentation de la F_0 . On trouve ces deux configurations dans la maladie de Parkinson.

La consigne au patient est de produire la voyelle « a » *recto tono* pendant quelques seconds (3 à 5). Le système EVA2 enregistre le signal acoustique et le débit d'air buccal par l'intermédiaire d'un masque en silicone appliqué sur le bas du visage. Diverses statistiques sont calculées automatiquement sur une fenêtre d'analyse de 1 seconde : la F_0 moyenne et son coefficient de variation, le jitter absolu qui constitue un indice de variabilité à court terme du vibreur laryngé, l'intensité moyenne et son coefficient de variation, le débit d'air buccal moyen et son coefficient de variation, la fuite glottique (indiquant la quantité d'air nécessaire pour produire un décibel) et le rapport Harmonique/Bruit qui évalue le degré de signal vocal périodique par rapport au bruit.

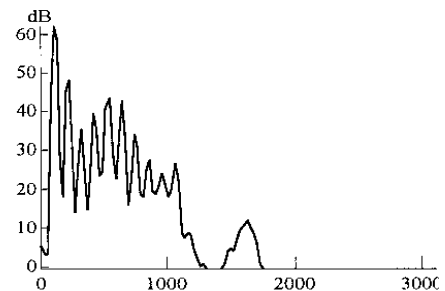
Les paramètres les plus discriminants entre les populations "On" et « Off » de l'évaluation vocale sur le « a » tenu sont la valeur moyenne de la F_0 et l'intensité. Bien que moins marquée que pour la mélodie en lecture, 59% des patients ont une augmentation significative de la F_0 moyenne en situation « On » L-DOPA. La proportion est similaire pour l'intensité. Les paramètres de stabilité se partagent autour de 50%.



Statistiques	Moyenne	Ecart type	Coefficient
F0	106.1 Hz	0.9 Hz	0.8 %
INT	70 dB	0.32 dB	0.46 %
DAB	0.253 dm ³ /s	0.00779 dm	3.1 %

Variations	Standard	Pourcentage	Logarithme
Jitter	0.34 Hz	0.32 %	-1.1
Shimmer d	0.23 dB	0.33 %	
Shimmer D	1.25 cm ³ /s	0.493 %	0.22

Rendement laryngien : 3.61 cm³/dB



De haut en bas : -Les variations de la mélodie ou F₀ en Hertz (Hz), celles de l'intensité de la voix en décibel (dB), et celles du débit d'air oral en centimètre cube par seconde (cm³/s). L'axe des abscisses est en millisecondes (ms).

Le premier tableau contient des statistiques élémentaires sur ces trois paramètres, le second contient leurs variabilités.

Ces mesures sont effectuées sur une durée de 1 seconde dans la fenêtre comprise entre 1250 et 2250 millisecondes.

Le spectre en bas à droite est le spectre moyen en bande étroite sur la même fenêtre d'observation.

Figure 9 : Evaluation vocale d'un sujet normal âgé de 58 ans sur la production d'un « a » tenu.

La figure 9 montre l'évaluation vocale d'un sujet normal de 58 ans dont la voix est jugée normale, avec de haut en bas ; les variations des paramètres Fo, intensité et débit d'air oral lors de l'émission d'un « a » tenu sur une durée de 4 secondes.

L'étude du décours de ces trois paramètres montre une bonne stabilité générale et l'absence de problèmes de contrôle pneumo-phonique. On constate une instabilité transitoire au démarrage de la Fo très vite contrôlée. La courbe du débit d'air oral montre une légère déclivité régulière de l'ordre de 50 cc³/s signe d'un faible volume courant respiratoire dans ce cas. Les mesures statistiques sont effectuées sur une durée de 1 seconde dans la fenêtre comprise entre 1250 et 2250 millisecondes.

La moyenne de la Fo de 106 Hz est normale pour une voix d'homme, son écart type de 0.9 Hz, son Jitter (factor) de 0.32 % et son coefficient de variation de 0.8 % confirment la bonne stabilité de la Fo entrevue à la lecture des courbes.

La moyenne de l'intensité de 70 dB montre une voix faible produite « à l'économie », son shimmer de 0.3 % se situe bien en dessous de la frontière de normalité.

En revanche, la moyenne du débit d'air est de 0.253 dm³/s, valeur trop forte même pour une voix d'homme et au dessus de la frontière pathologique. La fuite glottique de 3,61 cm³/dB se situe aux limites de la normalité, elle démontre un faible rendement laryngien pour un sujet « normal ». On constate sur le spectre une faible émergence harmonique avec une forte composante de bruit. Ce dernier est un bruit de souffle, à cause du fort débit d'air oral moyen. Un tel spectre dénote une voix de grade 0 sur l'échelle GRBAS d'évaluation des dysphonies, mais légèrement soufflée à l'écoute. En fait, ce locuteur « normal » a une voix légèrement voilée sans être dysphonique, cotée 0 sur l'échelle GRBAS. C'est la voix fatiguée d'un enseignant après une journée de cours.

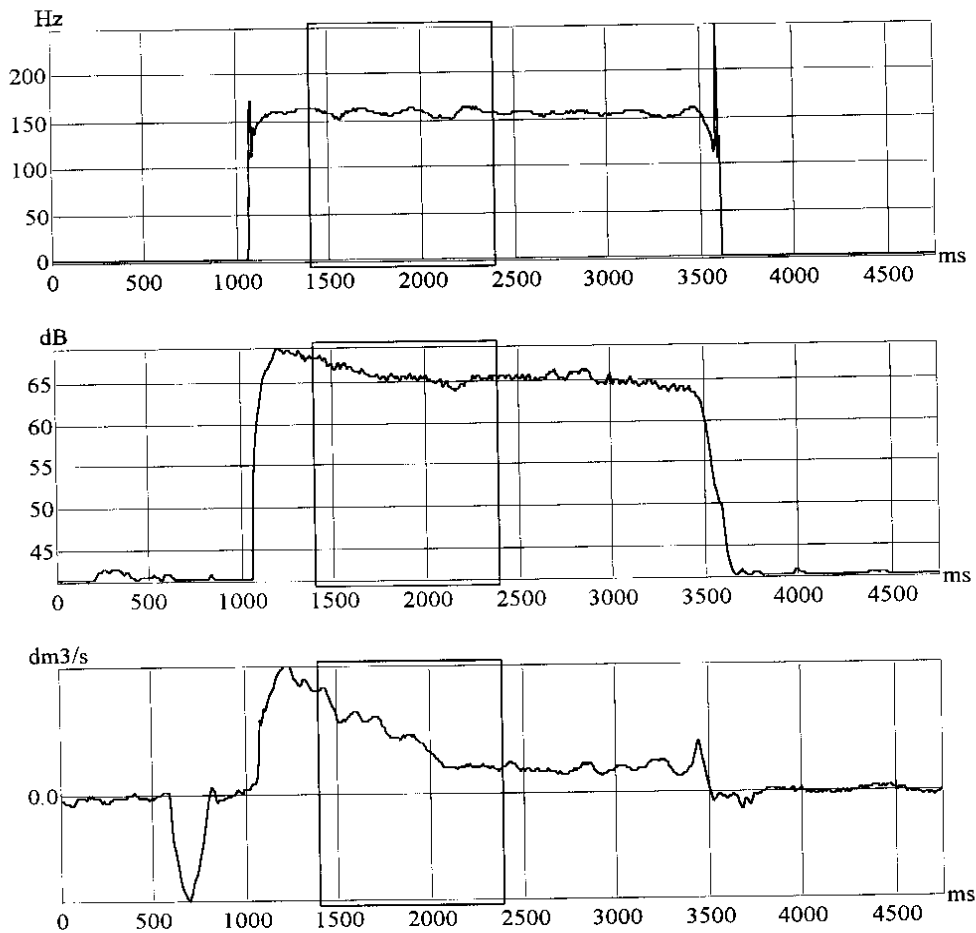
Cet exemple démontre que même considérée comme normale à l'examen perceptif, une voix peut avoir des caractéristiques objectives pathologiques et qu'une population de sujets « contrôle » en rapport d'âge avec celle des patients est toujours problématique et nécessite un grand nombre d'individus (ce qui est très difficile).

La figure 10 montre l'évaluation vocale d'un patient parkinsonien sur une durée de 2,5 secondes. Son niveau de dysphonie selon l'échelle GRBAS est estimé au grade 1.

L'étude du décours de ces trois paramètres montre tout d'abord, une très faible durée d'émission vocale. On constate une instabilité de la fréquence fondamentale à moyen terme sous la forme d'un lent tremblement de l'ordre de 3 Hz. L'intensité et surtout le débit ont une déclivité très importante de l'ordre de 4/5 pour ce dernier, en moins d'une seconde après le début du voisement. Ceci démontre une mauvaise coordination pneumophonique. Les mesures statistiques sur ces trois paramètres, sont effectuées sur une durée de 1 seconde dans la fenêtre comprise entre 1400 et 2400 millisecondes.

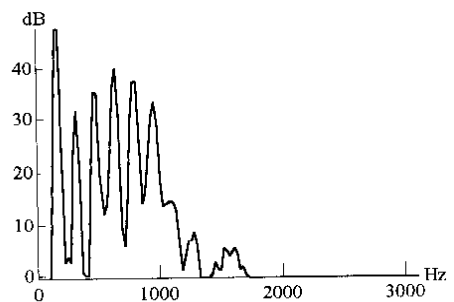
La moyenne de la Fo de 158 Hz est normale pour une voix d'homme. Son Jitter (factor) à 0.59 % est également normal, par contre, son écart type de 3.6 Hz et son coefficient de variation de 2.2 sont élevés et confirment les instabilités à moyen terme, décrites précédemment. La moyenne de l'intensité de 66 dB montre une voix faible, son shimmer de 0.23 % étant normal.

La moyenne du débit d'air de 0.036 dm³/s est très faible pour une voix d'homme. On doit noter la valeur faible de la fuite glottique de 0.555 cm³/dB, qui démontre un très bon rendement, bien meilleur que dans le cas précédent. Cet exemple montre que certaines voix peu dynamiques et utilisant un très faible débit d'air, peuvent avoir un rendement laryngien élevé malgré une médiocre audibilité. On constate sur le spectre une faible émergence harmonique et une composante de bruit équivalente au cas précédent. Cependant ici, il ne peut être provoqué ni par une fuite glottique, ni par un fort jitter. Il est dû à la modulation à moyen terme de la Fo (coefficient de variation) et à l'état hypertonique du larynx qui dégrade la qualité du signal glottique. La voix est sourde et voilée.



Statistiques	Moyenne	Ecart type	Coefficient
F0	158.5 Hz	3.6 Hz	2.2 %
INT	66 dB	0.97 dB	1.5 %
DAB	0.0366 dm3/0.0164 dm3/45 %		

Variations	Standard	Pourcentage	Logarithme
Jitter	0.94 Hz	0.59 %	-0.065
Shimmer d	0.15 dB	0.23 %	
Shimmer D	0.731 cm3/s	1.99 %	-0.314



Rendement laryngien : 0.555 cm3/dB

De haut en bas : -Les variations de la mélodie ou Fo en Hertz (Hz), celles de l'intensité de la voix en décibel (dB),et celles du débit d'air oral en centimètre cube par seconde (cm3/s). L'axe des abscisses est en millisecondes (ms).

Le premier tableau contient des statistiques élémentaires sur ces trois paramètres, le second contient leurs variabilités.

Ces mesures sont effectuées sur une durée de 1 seconde dans la fenêtre comprise entre 1400 et 2400 millisecondes.

Le spectre en bas à droite est le spectre moyen en bande étroite sur la même fenêtre d'observation.

Figure 10 : Evaluation vocale d' un patient parkinsonien sur la production d' un « a » tenu.

7-3-Evaluation de l'efficacité laryngée

Le patient produit à débit constant une série de 5 « pa » répétée plusieurs fois ou la phrase « Papa ne m'a pas parlé de beau-papa » en ménageant une prise de souffle entre chaque répétition. Le dispositif d'enregistrement comprend un canal acoustique et deux canaux aérodynamiques : le débit d'air buccal (DAB) et la pression intra-orale (PIO), mesurée au moyen d'une sonde maintenue entre les incisives par le patient pendant la production. Pour chaque enregistrement, une mesure de pression intra-orale, d'intensité moyenne et de débit d'air buccal est faite sur le second « P » de chaque série ou phrase. Pendant la tenue d'une occlusive sourde, la glotte est ouverte et les pressions intra-orale et sous-glottique s'équilibrent. La mesure de pression intra-orale effectuée sur la tenue de l'occlusive sourde permet donc une évaluation de la pression sous-glottique. Enfin, à partir de ces mesures sont calculés : l'efficacité glottique (qui est le quotient du niveau de pression acoustique en Pascal sur la pression intra-orale en HectoPascal (PaSpl/hPa)), et la résistance glottique (qui est le quotient de la pression intra-orale sur le débit d'air oral (hPa/(dm³/s)). Ces indices donnent une bonne évaluation de l'hypertonie (ainsi que du forçage vocal), ou de l'hypotonie laryngée.

Tous ces calculs sont réalisés automatiquement à partir du positionnement d'un marqueur sur la valeur crête de la pression intra-orale qui précède le « pa » choisi par le manipulateur.

Nous n'avons pour l'instant de résultats complets que sur la pression sous-glottique dans cette application sur l'évaluation de l'efficacité laryngée et sur une population de 60 patients. Nous constatons son élévation de manière significative chez 75% des patients en situation « On » L-DOPA. Ces résultats nous semblent dignes d'un grand intérêt pour l'avenir.

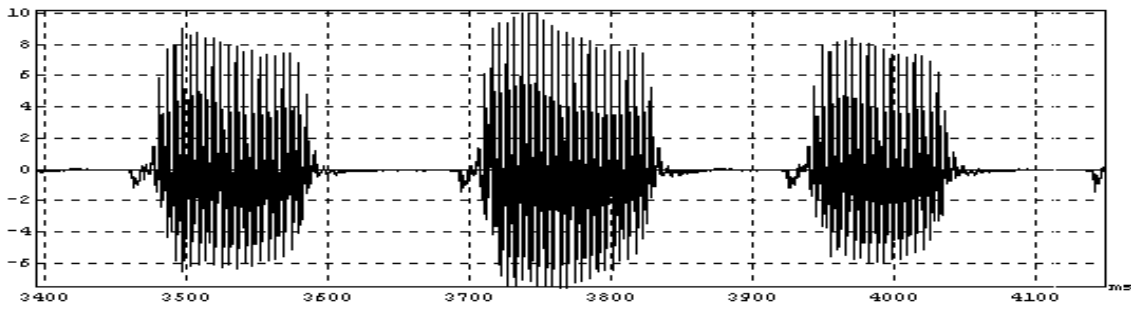
La figure 11 représente l'évaluation de l'efficacité laryngée du locuteur normal de la figure 9 sur la production de « Pa » émis avec force (voix projetée et non criée). On constate chez ce locuteur, une bonne articulation labiale caractérisée par des montées de débit d'air oral sur les explosions de « p » rapides et amples. La pression intra-orale (sous glottique estimée) de 12.2 hPa est un peu élevée, mais bien corrélée avec l'intensité de l'émission vocale de 99 dB qui indique une voix forte, une voix projetée. Le débit d'air est de 0.320 dm³/s. Il est un peu élevé, mais ce sujet a précédemment montré la même particularité. Son efficacité glottique est de 14,6.

La figure 12 représente l'évaluation de l'efficacité laryngée du patient parkinsonien de la figure 9 sur un corpus identique enregistré dans les mêmes conditions. On constate, contrairement au cas précédent une articulation labiale plus faible avec des explosions de « p » très peu marquées réduites à un bruit de souffle. Ceci s'explique outre le faible contact labial par une faible valeur de la pression intra-orale de 3.5 hPa. L'intensité moyenne est de 76 dB. Cependant, lorsque le patient réalise bien l'occlusion labiale comme dans le « p » à l'extrême droite de la figure, c'est à dire à l'initiale de la séquence parlée, la valeur de la PIO ne monte pas au dessus de 5.5 hPa. Cette faible PIO, associée à un très faible débit oral, de 0.04 dm³/s, donne une efficacité glottique de 3.2 à comparer avec celle du locuteur contrôle précédent de 14,6. La résistance glottique est de 87,5 soit le double de celle du contrôle. Ces indices sont la manifestation d'une hypertonie laryngée.

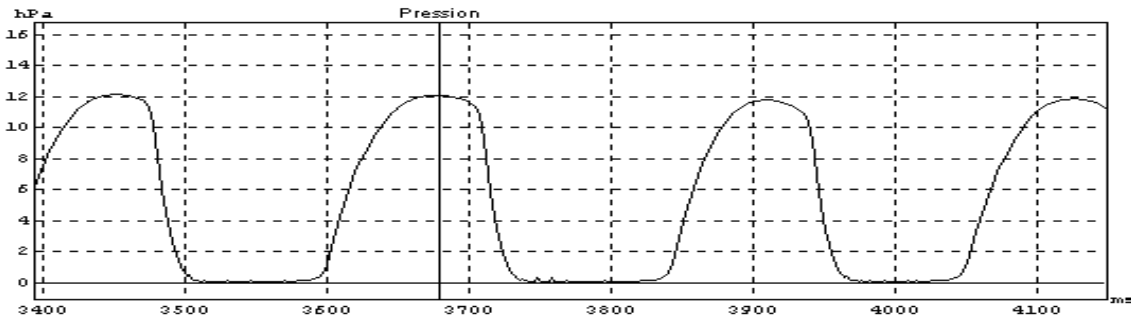
8-Conclusion et perspectives

Nul ne peut douter, à l'issue de cet exposé, que l'étude de la dysprosodie et l'utilisation de ses méthodes pour des évaluations cliniques sont difficiles et compliquées. En effet, à la grande variabilité des productions verbales des patients on peut ajouter la grande variété des méthodes instrumentales pour explorer la prosodie. Nous espérons, avoir montré cependant, l'intérêt des études prosodiques pour évaluer le niveau de dysarthrie des patients et au delà leur état pathologique.

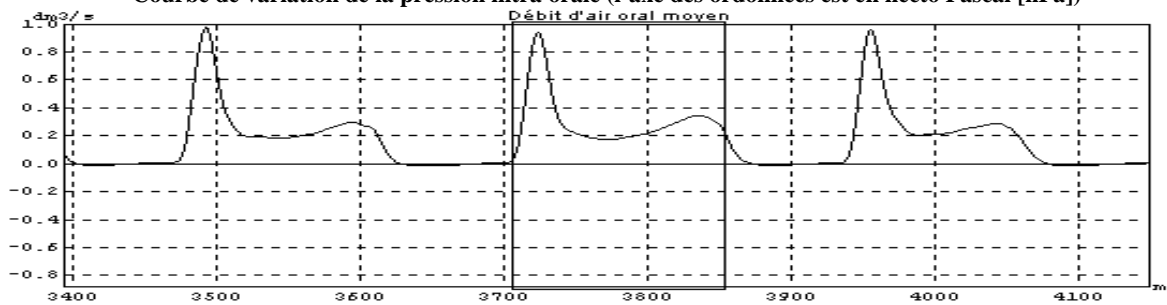
Malgré leurs imperfections, personne ne peut contester les progrès dont ont bénéficié les évaluations objectives des dysarthries et des dysphonies ces dix dernières années. Les méthodes acoustiques ont gagné en efficacité et en simplicité d'utilisation et d'interprétation. Les méthodes aérodynamiques ont également fait de nombreux progrès, en particulier au plan de la mise en œuvre



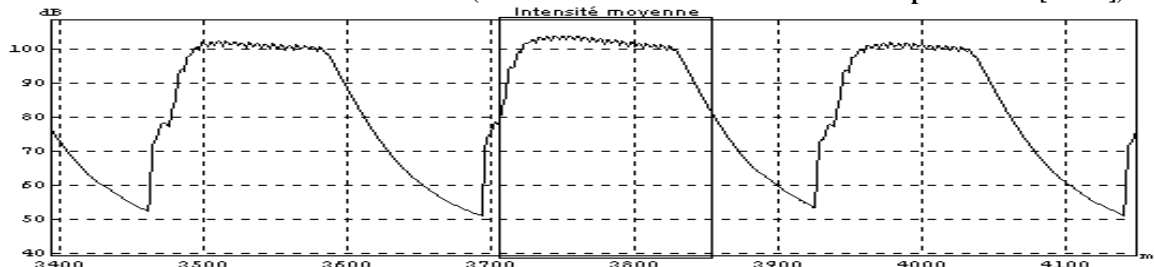
Signal acoustique d'une répétition de « pa, pa, pa, pa,... » (l'axe des abscisses est en millisecondes)



Courbe de variation de la pression intra orale (l'axe des ordonnées est en hecto Pascal [hPa])



Courbe de variation du débit d'air oral (l'axe des ordonnées est en décimètre cube par seconde [dm³/s])

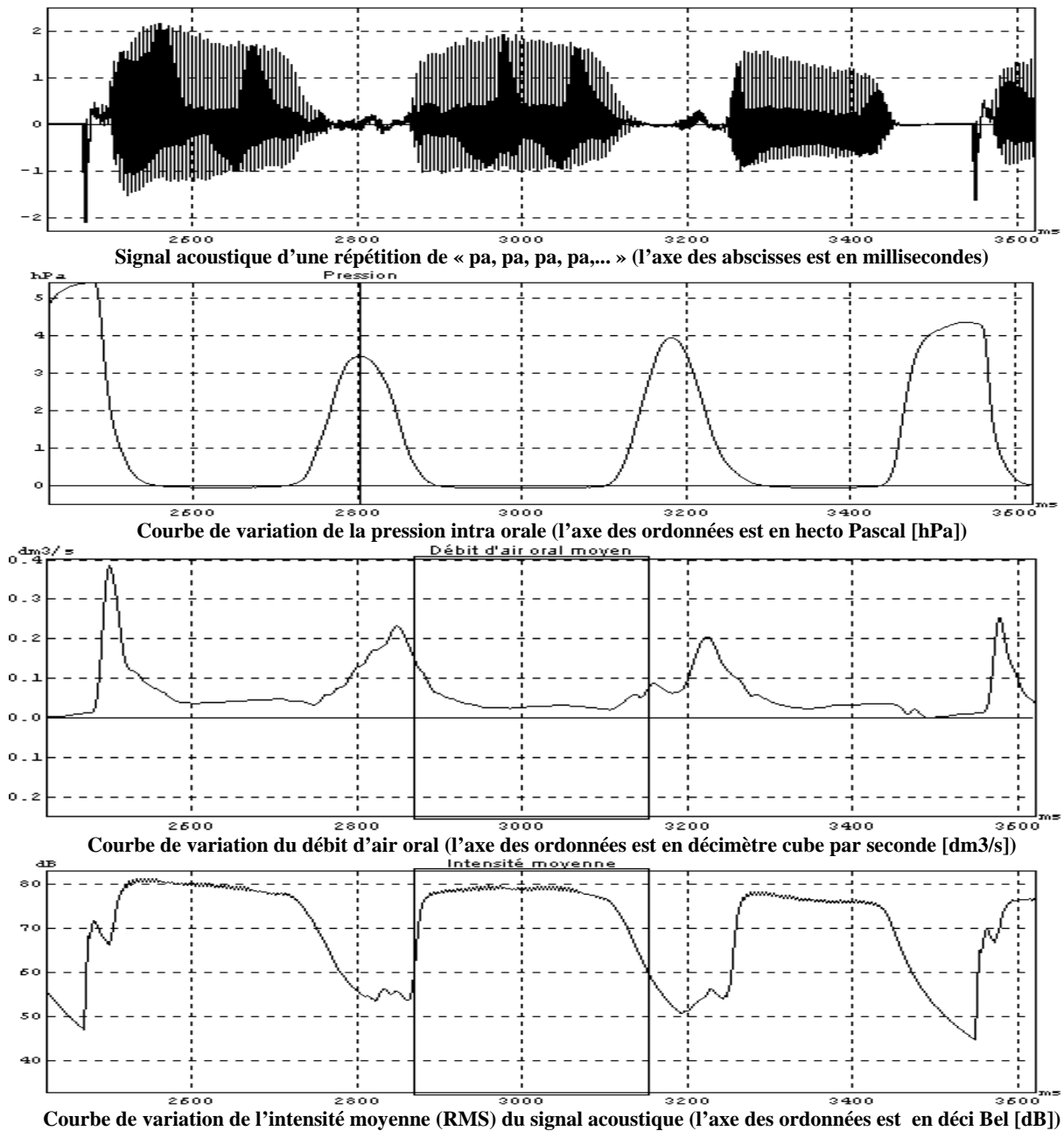


Courbe de variation de l'intensité moyenne (RMS) du signal acoustique (l'axe des ordonnées est en déci Bel [dB])

Paramètres	Pression intra orale	Intensité moyenne	Pression acoustique	Débit d'air oral moyen	Efficacité glottique	Résistance glottique
Unité	hecto Pascal	déciBel	Pascal	dm ³ /s	(Pa/hPa)x100	hPa/dm ³ /s
Contrôle	12,2	99,1	1,78	0,32	14,6	38,1

Tableau des paramètres physiologiques du larynx d'un sujet contrôle de 58 ans

Figure 11 : Exemple de la méthode d'évaluation de l'efficacité glottique sur la production d'un sujet normal



Paramètres	Pression intra orale	Intensité moyenne	Pression acoustique	Débit d'air oral moyen	Efficacité glottique	Résistance glottique
Unité	hecto Pascal	déciBel	Pascal	dm ³ /s	(Pa/hPa)x100	hPa/dm ³ /s
Parkinsonien	3.5	75.8	0,112	0.04	3.2	87,5

Tableau des paramètres physiologiques du larynx d'un patient parkinsonien

Figure 12: Exemple de la méthode d'évaluation de l'efficacité glottique sur la production d'un patient parkinsonien

et de la fiabilité. Ces progrès sont dus bien évidemment à ceux de la micro-informatique mais également, à trois autres raisons.

D'abord, les cliniciens sont de plus en plus sensibles aux informations objectives. Ils se familiarisent avec leurs interprétations et surtout les font évoluer dans le sens d'une meilleure analyse physiopathologique. Ensuite, ils commencent à avoir confiance dans les mesures objectives, en leur réservant une place raisonnable dans leurs protocoles d'évaluation clinique.

Enfin, les acousticiens et linguistes, à qui l'on doit la grande majorité des méthodes de mesures utilisées dans les évaluations objectives sur la parole, ont de leur côté fait des efforts particuliers pour adapter leurs outils de recherche à des utilisations cliniques en collaborant de manières plus approfondies avec les praticiens. Certes, il nous faut persévérer dans toutes ces directions mais nous ne doutons pas de l'importance que prendra ce type d'évaluation dans le futur.

Bibliographie

- [1]- Lacheret-Dujour A, Beaugendre F. La prosodie du Français, CNRS Editions, Paris, 1999, 354 p.
- [2]- Fahn S, Elston R and Members of the UPDRS development Committee. Unified Parkinson's Disease Rating Scale. In : Fahn S, Marsden CD, Goldstein M, Calne DB eds. Recent developments in Parkinson's disease (Vol II), New Jersey : Macmillan, 1987 : 153-163.
- [3]-Rousseaux M, Dubuffet V, Tisne S, Hengelle C, Lefeuvre M. Evaluation de l'intelligibilité : présentation du texte lillois de dysarthrie (TLD), In : « les dysarthries ». Ed. : P. Auzou, C. Ozsancak, V. Brun. Problèmes en médecine de Rééducation, Masson, Paris, pp 61-71.
- [4]-Auzou P, Ozsancak C., Jan M. Evaluation clinique de la dysarthrie : présentation et validation d'une méthode. *Rev. Neurol.* 1998 ; 154 : 523-530.
- [5]-Auzou P., Ozsancak C, Jan M., Menard J.F, Eustache F, Hannequin P. Intérêt de l'évaluation motrice des organes de la parole dans le diagnostic des dysarthries. *Rev. Neurol.* 2000 ; 156 : 47-52.
- [6]-Canter G, J. Speech characteristics of patients with Parkinson's disease; I. Intensity, pitch and duration, *Journal Speech and Hearing Disorders*, 1963; 28: 221-229.
- [7]-Hertrich I, Ackerman H. Acoustic analysis of speech prosody in Huntington's and Parkinson's disease: a preliminary report, *Clinical Ling. Phonet.*, 7, 1993, 285-297.
- [8]-Metter EJ, Hanson WR. Clinical and acoustical variability in hypokinetic dysarthria. *J. Comm. Disorders*, 19, 1986, 347-366.
- [9]- Jimenez-Jimenez F, Gamboa J, Nieto A. et al. Acoustic voice analysis in untreated patients with Parkinsonian disease. *Parkinsonism and related Disorders*, 3, 1997, 111-116.
- [10]-Viallet F, Meynadier Y, Lagrue B, Mignard P, Gantcheva R. The reductions of tonal range and of average pitch during speech production in « off » parkinsonians are restored by L.DOPA. *Movement Disorder* , 15 (suppl 3) ,2000, 131.
- [11]-Sanabia J, Garcia-Ruiz P, Gittierriez R. et al. The effect of Levodopa on vocal function in Parkinson's disease. *Clin. Neuropharmacol.* 2002; 24: 99-102.

- [12]-Gentil M, Chauvin P, Pinto S, Pollak P, Benabib A L. Effect of bilateral stimulation of the STN on Parkinsonian Voice. *Brain Language*, 78, 2000, 233-240.
- [13]-Goberman A, Coelho C, Robb M. Phonatory characteristics of Parkinsonian Speech before and after morning medication: the ON and OFF States. *J. Com. Des.* 35, 2002, 217-239.
- [14]-Gentil M, Pollak P, Perret J. La dysarthrie parkinsonienne. *Rev. Neurol.* 151, 1995, 105-112.
- [15]-Teston B, Galindo B. A diagnostic and rehabilitation aid workstation for speech and voice pathologies, *Eurospeech 4*, European. Speech Communication Association, Madrid, sept. 1995, 1883-1886.
- [16] Di Cristo A., Hirst D., et al. Ecrire l'intonation : le système INTSINT, fondements théoriques et illustrations, *Revue Parole*, N° 22-23-24, Transcription de la parole normale et pathologique, Mons, 2002, 175-212.
- [17]-Hirst D, Espesser R. Automatic modelling of fundamental frequency using a quadratic spline function, *Travaux de l'Institut de Phonétique d'Aix*, vol 15, 1993, 71-85.