

Détection automatique d'anomalies sur deux styles de parole dysarthrique: parole lue vs spontanée

Imed Laaridh^{1,2} Corinne Fredouille¹ Christine Meunier²

(1) Université d'Avignon, CERI/LIA, Avignon, France

(2) Université d'Aix Marseille, CNRS, LPL UMR 7309, 13100, Aix-en-Provence, France

imed.laaridh@alumni.univ-avignon.fr, corinne.fredouille@univ-avignon.fr,
christine.meunier@lpl-aix.fr

RÉSUMÉ

L'évaluation perceptive de la parole pathologique reste le standard dans la pratique clinique pour le diagnostic et le suivi des patients. De telles méthodes incluent plusieurs tâches telles que la lecture, la parole spontanée, le chant, les mots isolés, la voyelle tenue, etc. Dans ce contexte, les outils de traitement automatique de la parole ont montré leur pertinence dans l'évaluation de la qualité de parole ainsi que dans le cadre de la communication améliorée et alternative (CAA) pour les patients atteints de troubles de parole. Cependant, peu de travaux ont étudié l'utilisation de ces outils sur la parole spontanée. Ce papier examine le comportement d'un système de détection automatique d'anomalies au niveau phonème face à la parole dysarthrique lue et spontanée. Le comportement du système révèle une variabilité inter-pathologique à travers les styles de parole.

ABSTRACT

Automatic anomaly detection for dysarthria across two speech styles : read vs spontaneous speech.

Perceptive evaluation of speech disorders is still the standard method in clinical practice for the diagnosing and the following of the condition progression of patients. Such methods include different tasks such as read speech, spontaneous speech, isolated words, sustained vowels, etc. In this context, automatic speech processing tools have proven pertinence in speech quality evaluation and assistive technology-based applications. Though, a very few studies have investigated the use of automatic tools on spontaneous speech. This paper investigates the behavior of an automatic phone-based anomaly detection system when applied on read and spontaneous French dysarthric speech. The behavior of the automatic tool reveals inter-pathology differences across speech styles.

MOTS-CLÉS : Dysarthrie, traitement automatique de la parole, détection d'anomalies, parole lue, parole spontanée.

KEYWORDS: Dysarthria, automatic speech processing, anomaly detection, read speech, spontaneous speech.

1 Introduction

La dysarthrie est un trouble de la réalisation motrice de la parole. Elle peut avoir comme origine des lésions du système nerveux central et/ou périphérique et affecter différents niveaux de la production de la parole (respiratoire, laryngé, articulatoire, prosodique, etc.). Ces troubles peuvent alors se manifester sous forme de faiblesse, incoordination et mouvements involontaires selon la localisation du ou des

lésions neurologiques. La parole dysarthrique a été étudiée selon différents axes : l'évaluation perceptive de la parole pour la classification de la dysarthrie (Darley *et al.*, 1969; Duffy, 2005; Darley *et al.*, 1975), l'étude des différentes tâches de production de parole (Van Lancker Sidtis *et al.*, 2012; Kempler & Van Lancker, 2002), l'évaluation perceptive de la sévérité de la dysarthrie dans l'étude notamment de l'intelligibilité du locuteur (Enderby, 1983; Yorkston *et al.*, 1996; Lowit & Kent, 2010) et les analyses acoustiques pour caractériser les effets de la dysarthrie sur le signal de parole (Kent *et al.*, 1999; Green *et al.*, 2013). Ces études ont pour objectif d'aider les cliniciens dans leur analyse des altérations de la parole et leur évaluation clinique, cruciale pour le suivi des patients dans le cadre de traitement thérapeutique et/ou de rééducation. Dans ce cadre, le traitement automatique de la parole a été considéré comme une solution potentielle pouvant apporter des outils d'évaluation objectifs des troubles de parole. (Carmichael, 2007; Middag *et al.*, 2009; Kim & Kim, 2012). Par ailleurs, des approches reposant sur ces traitements automatiques telles que la reconnaissance automatique de la parole sont expérimentées dans le cadre d'outils de communication améliorée et alternative (CAA) afin d'accompagner des patients souffrant de troubles de parole dans leur vie quotidienne (Christensen *et al.*, 2013; Parker *et al.*, 2006).

Dans la littérature, des paramètres acoustiques ou perceptifs tels que l'imprécision des consonnes, la distorsion des voyelles, le débit faible et l'hypernasalité sont étudiés pour caractériser les perturbations principales des différents types de dysarthrie au niveau de la production de parole. Cependant, des analyses acoustiques et phonétiques plus précises restent nécessaires afin de considérer la variabilité d'altérations de parole inter- et intra-groupe pathologique (Tomik & Guiloff, 2010) ou de différents styles de parole (lue, spontanée, chantée, mots isolés, etc.). Par ailleurs, pour que de telles analyses soient pertinentes, elles nécessitent un nombre important de patients, une variété de pathologies exhibant différentes dysarthries (spastique, flasque, ataxique, hyper ou hypokinétique, ou mixte) et différents degrés de sévérité afin d'observer leurs effets sur la production de la parole ainsi que les possibles stratégies de compensation établies. Dans ce cadre, les outils de traitement automatique de la parole peuvent apporter des solutions et une aide aux experts humains en focalisant leurs attentions sur des segments et des zones spécifiques de parole (parmi une grande quantité de productions) présentant des caractéristiques acoustiques inattendues par rapport à une production normale.

Dans (Chandola *et al.*, 2007) et dans un contexte plus général, la détection d'anomalies se rapporte au problème de trouver, dans un corpus, des jeux de données qui ne sont pas conformes au comportement typique attendu. Dans le cadre de la parole dysarthrique, les anomalies peuvent être des segments de parole présentant des caractéristiques acoustiques inattendues. Ces segments peuvent avoir différents niveaux de granularité tels que la syllabe ou le phonème. Dans des travaux précédents (Fredouille & Pouchoulin, 2011; Laaridh *et al.*, 2015a), les auteurs ont proposé une approche de détection automatique des anomalies au niveau phonème reposant sur deux phases : un alignement automatique contraint par le texte permettant une segmentation du signal au niveau phonème et une classification de ces segments en phonème normal et anormal (anomalie). De plus, dans (Laaridh *et al.*, 2015b), une étude sur l'alignement automatique de la parole dysarthrique a montré une dépendance entre sa qualité et les pathologies des patients, les catégories phonétiques et la sévérité de la dysarthrie.

Dans cet article ¹, les auteurs examinent l'impact du style de parole (lue et spontanée) sur la détection automatique d'anomalies et la phase de classification. En effet, des études comparatives des troubles moteurs de la parole ont trouvé des caractéristiques différentes d'articulation, de débit et de pauses de respiration selon les styles de parole (Brown & Docherty, 1995). En plus, il est possible que les locuteurs dysarthriques développent des stratégies afin d'éviter des contextes linguistiques "difficiles".

1. Ce travail est soutenu par le Labex BLRI (ANR-11-LABEX-0036), le projet A*MIDEX (ANR-11-IDEX-0001-02) financé par le programme "investissements d'avenir" du gouvernement Français géré par l'ANR et le projet TYPALOC (ANR-12-BSH2-0003-03).

De telles stratégies ne peuvent être appliquées que dans le cadre de parole spontanée. Dans ce contexte, il est intéressant d'étudier si notre système de classification est capable de détecter des anomalies sur de la parole spontanée et s'il présente le même comportement que face à la parole dysarthrique lue. Le reste de cet article est structuré comme suit. La section 2 décrit l'approche de détection automatique d'anomalies utilisée. Les corpus de données utilisés sont présentés dans la section 3. Dans la section 4, le comportement du système face aux styles de parole différents est analysé. La section 5 reprend quelques conclusions et perspectives de travail.

2 Détection automatique d'anomalies

L'approche de détection d'anomalies étudiée repose sur deux phases. La première est un alignement contraint par le texte. La deuxième est une classification supervisée des phonèmes en deux classes (normal et anormal). Dans chaque classe, les phonèmes sont caractérisés par un ensemble de paramètres jugés pertinents pour la tâche de classification.

2.1 Alignement automatique au niveau phonème

L'alignement des enregistrements de parole en phonèmes est réalisé grâce à un outil d'alignement automatique contraint par le texte. Cet outil utilise comme entrées la séquence de mots prononcée dans chaque enregistrement ainsi qu'un lexique phonétisé présentant une variété phonologique de chaque mot basée sur un ensemble de 37 phonèmes de la langue française. La séquence de mots est le résultat d'une transcription manuelle réalisée par un humain suivant un ensemble de règles d'annotation pour les ajouts, suppressions et substitutions. Lors de cette transcription, des unités inter-pausales (UIP) sont aussi annotées. Une UIP est définie comme une unité de parole ne contenant pas de pauses et séparée d'autres UIP par au moins 250ms de silence.

L'alignement automatique repose sur un décodage du signal de parole par l'algorithme Viterbi basé sur des modèles statistiques (des modèles de Markov cachés, HMM) associés à chaque phonème. Dans ce travail, chaque phonème est représenté par un HMM à trois états, indépendant du contexte construit par estimation du maximum de vraisemblance sur la base d'environ 200 heures d'enregistrements radiophoniques français (Galliano *et al.*, 2005). Une adaptation de type Maximum A Posteriori (MAP) à 3 itérations est appliquée afin de créer des modèles dépendants du locuteur. Ce processus d'alignement résulte en une segmentation temporelle des enregistrements en phonèmes avec, pour chaque phonème, ses frontières de début et de fin dans le signal.

La qualité de cet alignement automatique par rapport à un alignement de référence (manuel) a fait l'objet d'une étude dans (Laaridh *et al.*, 2015b) qui a montré une dépendance entre qualité de l'alignement et sévérité de la dysarthrie des patients. De plus, une large variabilité inter-pathologique et inter-phonémique de la précision de l'alignement a été relevée.

2.2 Classification de la parole

Cette étape permet la caractérisation de chaque phonème par un ensemble de paramètres essentiellement tirés de l'alignement automatique de la parole. Pour chaque phonème p et son segment associé y_p , les paramètres suivants sont extraits :

- la durée du segment y_p associé au phonème p , exprimée en terme de nombre de trames de 10ms ;
- le nombre de trames de y_p pour lesquelles la recherche du meilleur état au sein des modèles HMM conduit à un état du phonème p ;

- le score acoustique du phonème p' émanant de la recherche du meilleur modèle HMM sur la base du segment y_p ; si p est le meilleur phonème, le second dans l'ordre est considéré à sa place ;
- la catégorie phonétique de p' ;
- le score acoustique du second meilleur phonème p'' correspondant au segment y_p ; si p est l'un des deux meilleurs phonèmes, le troisième est considéré à sa place ;
- la catégorie phonétique de p'' ;
- le score acoustique de p et son rang par rapport aux scores de tous les modèles HMM.

Cette tâche de classification est basée sur les SVM (Support Vector Machines) qui ont été appliqués sur divers problématiques associées à la reconnaissance des formes (pattern recognition) (Vapnik, 1995; Scholkopf & Smola, 2001). Dans ce travail, la méthode de classification est appliquée sur deux classes : la discrimination entre les phonèmes normaux et anormaux (anomalies). Chaque phonème est caractérisé par l'ensemble de paramètres décrit auparavant. Tous les SVM utilisés ont des noyaux polynomiaux. Des modèles différents sont appris pour les hommes et les femmes ainsi que les différentes catégories phonétiques (consonnes sourdes, consonnes sonores, voyelles orales, voyelles nasales). Cette approche a été choisie afin d'affiner les spécificités de chaque catégorie phonétique. Les différents modèles sont appris en utilisant l'outil SVMlight (Joachims, 1999).

3 Corpus

Cette étude est basée sur deux corpus de parole. Le premier corpus (corpus Lysos.) contient 8 locuteurs dysarthriques et 6 contrôles. Les patients dysarthriques souffrent de maladies lysosomales résultant en une dysarthrie mixte et montrent plusieurs degrés de sévérité de dysarthrie (DSD). Tous les locuteurs ont lu le même texte, un conte pour enfant s'intitulant "Le cordonnier", le plus naturellement possible. Chacun a effectué entre 3 et 6 enregistrements sur des périodes séparées d'environ 6 mois. Tous les enregistrements des patients ont été annotés par un expert humain qui a identifié les anomalies au niveau du phonème. Grâce à cette annotation, ce corpus a été utilisé dans la phase d'apprentissage des modèles des phonèmes normaux et anormaux impliqués dans la phase de classification décrite dans la section 2.2. Le tableau 1 regroupe les informations liées à ce corpus.

TABLE 1 – Information liées au corpus Lysos. utilisé dans la phase d'apprentissage incluant le # de locuteurs, le # d'enregistrements et le degré de sévérité de dysarthrie (DSD) minimum et maximum par pathologie.

Pathologie	# de locuteurs	# d'enregistrements	(Min:Max) DSD
Lysos.	8	35	(1.5;3.0)
Contrôles	6	17	-

Le second corpus, TYPALOC, contient 28 locuteurs dysarthriques et 12 contrôles. Chaque locuteur a réalisé un enregistrement du même texte lu par le corpus Lysos. (le cordonnier) ainsi qu'un enregistrement additionnel de parole spontanée. Contrairement au premier corpus qui ne renferme que des patients atteints de maladies lysosomales, le corpus TYPALOC présente des patients atteints de plusieurs pathologies et types de dysarthrie : la Sclérose Latérale Amyotrophique (SLA, dysarthrie mixte), la maladie de Parkinson (Park., dysarthrie hypokinétique) et l'Ataxie Cérébelleuse (AC, dysarthrie ataxique) réparties sur différents DSD. Un jury de 11 experts a évalué perceptivement tous les enregistrements des patients sur plusieurs critères de qualité de parole. Dans ce travail, nous nous concentrons sur le DSD, évalué sur une échelle de 0 à 3 (0 -pas de dysarthrie, 1 -dysarthrie légère,

TABLE 2 – Information sur le corpus Typaloc incluant le # de locuteurs, la moyenne de degré de sévérité de dysarthrie (DSD) et la moyenne ainsi que le (Min ;Max) des durées d’enregistrements (sec.) et # de phonèmes issus de l’alignement automatique par pathologie et style de parole.

Pathologie	# de locuteurs	Parole lue			Parole spontanée		
		Moy. DSD	Moy. dur. (Min ;Max)	Moy. # de phonèmes (Min ;Max)	Moy. DSD	Moy. dur. (Min ;Max)	Moy. # de phonèmes (Min ;Max)
SLA	12	2.0	111 (65 ;214)	532 (382 ;578)	2.0	102 (45 ;317)	463 (184 ;1089)
Park.	8	0.8	74 (48 ;122)	567 (550 ;599)	1.0	65 (40 ;109)	365 (315 ;404)
AC	8	1.3	107 (73 ;142)	569 (544 ;595)	1.2	78 (40 ;124)	423 (223 ;838)
Contrôles	12	-	70 (56 ;82)	558 (552 ;568)	-	522 (296 ;1028)	4072 (2762 ;7104)

2 -moyenne, 3 -sévère). Le tableau 2 résume les informations sur les locuteurs du corpus Typaloc groupées par pathologie et style de parole. Ces informations incluent le nombre de locuteurs, les valeurs moyennes de DSD, la moyenne, minimum et maximum de durée d’enregistrement (sec.) et le nombre de phonèmes issus de l’alignement automatique de la parole par locuteur. Il est intéressant de noter que les enregistrements de parole spontanée sont plus courts (durée et # de phonèmes) que ceux de la lecture indépendamment de la pathologie. Les patients sont en général peu enclins à parler spontanément à cause de leur pathologie évidemment et de l’effet de fatigue mais également à cause des techniques d’éllicitation de parole qui ne sont pas toujours bien adaptées à ce type de locuteurs.

4 Résultats et discussions

Cette section décrit et discute le comportement de l’approche de détection automatique d’anomalies face aux paroles lue et spontanée issues du corpus Typaloc.

Comme rapporté dans (Laaridh *et al.*, 2015a) sur la parole lue, l’approche détecte plus d’anomalies chez les patients atteints de dysarthrie plus sévère. Ce comportement, bien que moins tranché, semble se conserver sur la parole spontanée. La figure 1 illustre les taux d’anomalies détectées par rapport aux DSD. En effet, la corrélation de Pearson entre ces taux et le DSD atteint 0.81 et 0.60 pour la parole lue et spontanée respectivement. Cette observation confirme que le système arrive à capturer l’évolution de la dysarthrie indépendamment de la tâche réalisée par le patient.

Le tableau 3 présente les taux d’anomalies automatiques sur les paroles lue et spontanée regroupés

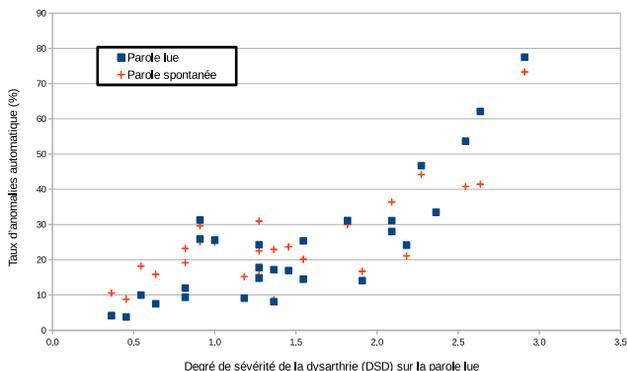


FIGURE 1 – Relation entre le taux d’anomalie automatique et le degré de sévérité de la dysarthrie (DSD) sur le corpus Typaloc

par population. On remarque que pour les contrôles, l'approche détecte plus d'anomalies sur la parole spontanée comparée à la parole lue. Cela peut être lié au fait que les modèles de phonèmes normaux et anormaux (section 2.2) ont été appris sur de la parole lue exclusivement. En effet, la parole spontanée peut présenter plus de variabilité acoustique qui est à la fois atypique (comparée à la parole lue) et non pathologique. Ces variations peuvent être liées au débit de parole plus rapide en spontanée, aux faux départs, hésitations ainsi qu'à des phénomènes de réduction plus fréquentes dans le cadre de parole spontanée. La figure 2 illustre la relation entre la différence des taux d'anomalies entre les deux styles de parole (taux d'anomalies sur la parole spontanée – taux d'anomalies sur la parole lue) et le DSD de la parole lue. Chaque point correspond à un locuteur (témoin ou patient). Observant le tableau 3 et la figure 2, nous remarquons que, comme pour les contrôles, l'approche détecte plus d'anomalies sur la parole spontanée pour les patients Park. et AC. Cette tendance est conforme aux résultats retrouvés dans (Van Lancker Sidtis *et al.*, 2012; Kempler & Van Lancker, 2002) sur des patients atteints de la maladie de Parkinson où la parole spontanée était moins intelligible et contenait plus de dysfluences que la parole lue. Par contre, les patients atteints de SLA présentent des taux d'anomalies similaires voire même inférieurs sur la parole spontanée par rapport à la lecture (32% et 36% respectivement). Dans notre corpus, ces patients souffrent des dysarthries les plus sévères (DSDs élevés). Une analyse plus approfondie de cette tendance est nécessaire pour vérifier si elle est liée aux caractéristiques intrinsèques de la SLA qui affecterait plus la tâche de lecture que celle de la parole spontanée. La deuxième hypothèse émise serait que ce phénomène est davantage lié au degré de sévérité élevé de la dysarthrie des patients SLA qu'à leur pathologie. En effet, la tâche de production de parole spontanée offre aux patients plus de "liberté" pour contrôler leur fatigue, leur débit de parole ainsi que les phonèmes et contextes à produire, ce qui pourrait donner moins d'anomalies au niveau phonème.

Finalement, le tableau 3 montre une augmentation plus importante des taux d'anomalies sur la parole spontanée chez les témoins que chez les patients dysarthriques (une augmentation relative de 154% pour les témoins contre 68%, 18% et -11% pour les Park., Cereb. et SLA respectivement) et la figure 2 suggère que la différence des taux d'anomalies entre les paroles spontanée et lue est inversement proportionnelle au DSD. Cela supposerait que les témoins changent davantage leurs productions selon le style de parole (ce qui résulte dans notre cas en plus d'anomalies détectées en spontanée vu la nature des modèles appris sur la lecture) alors que les patients (surtout les plus dysarthriques) perdent cette capacité à s'adapter aux différents styles et ont tendance à uniformiser leurs productions indépendamment de la tâche.

TABLE 3 – Taux d'anomalies moyen (%) par pathologie et style de parole calculés sur tous les phonèmes.

Pathologie	Parole lue	Parole spontanée
SLA	35.8	31.9
Park.	10.6	17.8
AC	20.6	24.4
Témoins	5.4	13.7

Le tableau 4 comporte les taux d'anomalies automatiques (%) par pathologie, catégorie phonétique et style de parole. Pour les contrôles, toutes les catégories phonétiques présentent des taux d'anomalies plus importants sur la parole spontanée comparée à la parole lue. Les fricatives enregistrent cependant une hausse nette des taux d'anomalies passant de 7% sur la parole lue à 23% sur la parole spontanée. Chez les Park., on trouve que les fricatives présentent les taux d'anomalies les plus importants pour les deux styles de parole. Il s'agirait donc davantage d'une amplification d'un comportement déjà observé (sur la parole lue) et lié à la dysarthrie parkinsonienne que de l'apparition d'un nouveau phénomène. Cependant, il est intéressant de constater que, contrairement aux autres catégories phonétiques où

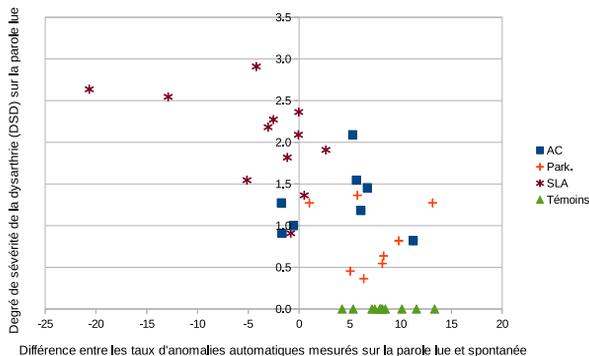


FIGURE 2 – Distribution des différences entre les taux d’anomalies sur les paroles spontanée et lue selon le DSD de la parole lue.

la hausse des taux d’anomalies sur la parole spontanée est légère, les fricatives présentent une augmentation absolue de 29% (112% relative). Considérant les patients atteints de SLA, bien que les taux d’anomalies soient plutôt stables entre les deux styles de parole, on remarque tout de même que les voyelles présentent moins d’anomalies en spontanée qu’en lecture (-4% et -18% pour les voyelles orales et nasales respectivement). La baisse du taux global d’anomalies observée chez les patients SLA entre la parole spontanée et la lecture est par conséquent le résultat de la baisse observée sur les voyelles, étant donné que les consonnes maintiennent des taux d’anomalies comparables entre les deux styles.

TABLE 4 – Taux d’anomalies moyen (%) calculé par pathologie, catégorie phonétique et style de parole (lue et spontanée).

Catégorie phonétique	Parole lue				Parole spontanée			
	Témoins	Park.	AC	SLA	Témoins	Park.	AC	SLA
Occlusives	7	12	22	37	11	16	24	35
Fricatives	7	26	48	37	23	55	53	38
Consonnes nasales	7	12	21	31	19	10	19	35
Consonne liquides	7	9	23	41	15	9	27	44
Voyelles Orales	2	6	10	33	11	10	13	29
Voyelles Nasales	4	8	20	44	8	13	13	26
Autres	10	16	26	46	19	13	26	37

Pour chaque population, une ANOVA à un facteur a été réalisée afin d’étudier l’effet du style de parole (2 niveaux : parole lue, parole spontanée). La figure 3 illustre les taux d’anomalies automatiques pour chaque population et style de parole. Chez les sujets contrôles ainsi que ceux atteints de Park., une différence significative est trouvée entre la parole lue et spontanée ($p < 0.001, F(1,22)=28$) et ($p < 0.05, F(1,14)=5.4$) respectivement). Ces différences sont encore plus visibles quand on se concentre seulement sur les fricatives ($p < 0.001, F(1,22)=19$) et ($p < 0.01, F(1,14)=14$) pour les locuteurs contrôles et Park. respectivement). La différence entre les deux styles de parole est moins flagrante pour les patients atteints de AC et SLA. Plus particulièrement pour les SLA, l’effet lié aux styles de parole peut être masqué par l’importante variabilité intra-pathologique observée sur cette population au niveau des taux d’anomalies automatique. De plus, cette variabilité est également observable au niveau des DSD des patients SLA présentant des dysarthrie légères, moyennes et sévères contrairement aux patients Park., atteints d’une dysarthrie légère.

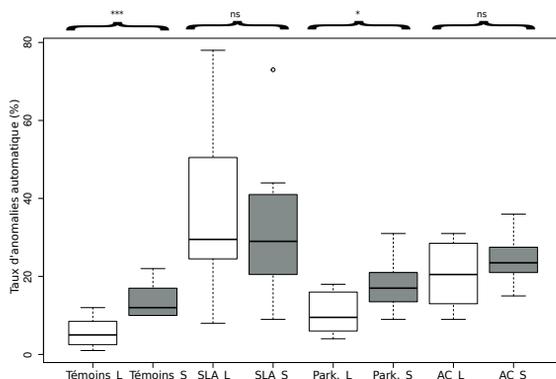


FIGURE 3 – Taux d’anomalies automatique par population et style de parole.

5 Conclusion

L’observation du comportement d’un système de détection automatique d’anomalies au niveau phonème sur la parole dysarthrique lue et spontanée a montré un effet de la tâche et du style de parole lié aux pathologies des patients. Les SLA, contrairement à toutes les autres populations (témoins, Park., AC), présentent plus d’anomalies sur la parole lue que la parole spontanée. Globalement, ce sont les témoins qui montrent le plus de changement selon le style de parole, et chez les patients, plus la dysarthrie est sévère moins il y a de différences entre les deux styles. Une hypothèse résultante pourrait alors être que les témoins adaptent leur production selon le style de parole alors que les patients dysarthriques perdent graduellement cette capacité à s’adapter aux différents styles de parole. Chez les contrôles et les Park., les fricatives montrent une importante hausse du taux d’anomalies dans le cadre de la parole spontanée.

De prochains travaux examineront l’effet de la localisation des phonèmes (première, deuxième...etc syllabe) sur le processus de détection d’anomalies.

Références

- BROWN A. & DOCHERTY G. J. (1995). Phonetic variation in dysarthric speech as a function of sampling task. *International Journal of Language & Communication Disorders*, **30**(1), 17–35.
- CARMICHAEL J. (2007). *Introducing objective acoustic metrics for the Frenchay Dysarthria Assessment procedure*. Ph.d. dissertation, university of sheffield.
- CHANDOLA V., BANERJEE A. & KUMAR V. (2007). *Anomaly detection : a survey*. University of Minnesota (USA).
- CHRISTENSEN H., CASANUEVA I., CUNNINGHAM S., GREEN P. & HAIN T. (2013). homeservice : Voice-enabled assistive technology in the home using cloud-based automatic speech recognition. In *4th Workshop on Speech and Language Processing for Assistive Technologies*, p. 29–34.
- DARLEY F. L., ARONSON A. E. & BROWN J. R. (1969). Differential diagnostic patterns of dysarthria. *Journal of Speech and Hearing Research*, **12**, 246–269.
- DARLEY F. L., ARONSON A. E. & BROWN J. R. (1975). *Motor speech disorders*. Philadelphia : W. B. Saunders and Co.
- DUFFY J. R. (2005). *Motor speech disorders : substrates, differential diagnosis and management*. Motsby- Yearbook, St Louis, 2nd edition.

- ENDERBY P. (1983). Frenchay dysarthric assessment. *Pro-Ed, Texas*.
- FREDOUILLE C. & POUCHOULIN G. (2011). Automatic detection of abnormal zones in pathological speech. In *Intl Congress of Phonetic Sciences (ICPHS'11)*, Hong Kong.
- GALLIANO S., GEOFFROIS E., MOSTEFA D., CHOUKRI K., BONASTRE J.-F. & GRAVIER G. (2005). ESTER phase II evaluation campaign for the rich transcription of French broadcast news. In *Proceedings of Interspeech'05*, p. 1149–1152.
- GREEN J. R., YUNUSOVA Y., KURUVILLA M. S., WANG J., PATTEE G. L., SYNHORSTI L., ZINMAN L. & BERRY J. D. (2013). Bulbar and speech motor assessment in ALS : Challenges and future directions. *Amyotrophic Lateral Sclerosis and Frontotemporal Degeneration*, **14**(7–8), 494–500.
- JOACHIMS T. (1999). Making large-scale SVM learning practical. In B. SCHÖLKOPF, C. BURGESS & A. SMOLA, Eds., *Advances in Kernel Methods - Support Vector Learning*, chapter 11, p. 169–184. Cambridge, MA : MIT Press.
- KEMPLER D. & VAN LANCKER D. (2002). Effect of speech task on intelligibility in dysarthria : a case study of Parkinson's disease. *Brain and language*, **80**(3), 449–464.
- KENT R. D., WEISMER G., KENT J. F., VORPERIAN H. K. & DUFFY J. R. (1999). Acoustic studies of dysarthric speech : Methods, progress, and potential. *The Journal of Communication Disorders*, **32** :3, 141–186.
- KIM M. & KIM H. (2012). Automatic assessment of dysarthric speech intelligibility based on selected phonetic quality features. In *Computers Helping People with Special Needs*, volume 7383 of *Lecture Notes in Computer Science*, p. 447–450.
- LAARIDH I., FREDOUILLE C. & MEUNIER C. (2015a). Automatic detection of phone-based anomalies in dysarthric speech. *ACM Transactions on accessible computing*, **6**(3), 9 :1–9 :24.
- LAARIDH I., FREDOUILLE C. & MEUNIER C. (2015b). Automatic speech processing for dysarthria : A study of inter-pathology variability. In *Intl Congress of Phonetic Sciences (ICPHS'15)*, Glasgow.
- LOWIT A. & KENT R. D. (2010). *Assessment of motor speech disorders*, volume 1. Plural publishing.
- MIDDAG C., MARTENS J.-P., NUFFELEN G. V. & BODT M. D. (2009). Automated intelligibility assessment of pathological speech using phonological features. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, **2009**(1).
- PARKER M., CUNNINGHAM S., ENDERBY P., HAWLEY M. & GREEN P. (2006). Automatic speech recognition and training for severely dysarthric users of assistive technology : the stardust project. *Clinical Linguistics and Phonetics*, **20**(2–3), 149–156.
- SCHOLKOPF B. & SMOLA A. J. (2001). *Learning with Kernels : Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond*. Cambridge, MA, USA : MIT Press.
- TOMIK B. & GUILOFF J. (2010). Dysarthria in amyotrophic lateral sclerosis : a review. *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, **11** (1–2), 4–15.
- VAN LANCKER SIDTIS D., CAMERON K. & SIDTIS J. J. (2012). Dramatic effects of speech task on motor and linguistic planning in severely dysfluent parkinsonian speech. *Clinical linguistics & phonetics*, **26**(8), 695–711.
- VAPNIK V. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York, NY, USA : Springer-Verlag New York, Inc.
- YORKSTON K. M., STRAND E. & KENNEDY M. (1996). Comprehensibility of dysarthric speech : implications for assessment and treatment planning. *American Journal of Speech Language Pathology*, **55**, 55–66.