



**HAL**  
open science

## Distortions of vocalic space: which measurements?

Nicolas Audibert, Cécile Fougeron

► **To cite this version:**

Nicolas Audibert, Cécile Fougeron. Distortions of vocalic space: which measurements? . Journées d'études sur la Parole (JEP-TALN\_RECITAL 2012), 2012, Grenoble, France. pp.217-224, Actes des 29èmes Journées d'Etudes sur la Parole/JEP-TALN-RECITAL 2012. halshs-01401429

**HAL Id: halshs-01401429**

**<https://shs.hal.science/halshs-01401429v1>**

Submitted on 23 Nov 2016

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

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

# Distorsions de l'espace vocalique : quelles mesures? Application à la dysarthrie

Nicolas Audibert <sup>1,2</sup> & Cécile Fougeron <sup>1</sup>

(1) LPP, UMR 7018, 19 rue des Bernardins, 75005 Paris

(2) LIMSI, UPR 3251, 91403 Orsay Cedex

nicolas.audibert@gmail.com, cecile.fougeron@univ-paris3.fr

## RÉSUMÉ

---

Cet article présente différentes métriques dérivées de mesures F1/F2 pour la description et la quantification de variations observées sur un espace vocalique. 8 métriques issues de la littérature ou adaptées à nos données sont évaluées sur des productions des voyelles /a, e, i, u, o/ extraites d'un texte lu par 78 patients dysarthriques (parkinsoniens, cérébelleux et atteints de SLA) et par 26 locuteurs témoins sains. La capacité des métriques à décrire les altérations de l'espace vocalique associées aux différentes dysarthries par rapport au groupe témoin est comparée. L'interrelation entre les métriques et leur rapport avec l'intelligibilité perçue des patients est également discutée. Les résultats montrent la nécessité de prendre en compte plusieurs métriques complémentaires afin de rendre compte de la multidimensionnalité des altérations possibles dans un espace vocalique.

## ABSTRACT

---

### **Distortions of vocalic space: which measurements? An application to dysarthria.**

This paper presents several metrics derived from F1/F2 measurements for the description and quantification of the possible variations to be observed in a vocalic space. 8 metrics from the literature or adapted to our data are evaluated on productions of the vowels /a, e, i, u, o/, extracted from a text read by 78 dysarthric patients suffering from Parkinson disease, cerebellar syndrome or ASL, and by 26 healthy control speakers. The ability of the metrics to describe vocalic space alterations associated with the different dysarthria as compared with the control group is studied. The relations between the metrics and with perceived intelligibility of the patients are also discussed. Results outline the necessity to consider several metrics to account for the multidimensionality of the alteration possible in a vocalic space.

---

**MOTS-CLÉS :** dysarthrie, espace vocalique acoustique, réduction, centralisation, Parkinson, Syndrome cérébelleux, Sclérose Latérale Amyotrophique

**KEYWORDS :** dysarthria, acoustic vowel space, reduction, centralization, Parkinson, Cerebellar Syndrom, Lateral Amyotrophic Sclerosis.

---

## 1 Introduction

Qu'il soit question de décrire la variation dans la production de voyelles pour une comparaison entre locuteurs, entre langues, entre styles de parole ou en pathologie, le chercheur est confronté au problème de trouver des métriques appropriées non seulement pour la description de la nature des variations observées, mais aussi pour la quantification de différences entre conditions testées. Les variations dans le timbre de voyelles spécifiques sont relativement bien capturées par une observation de la variabilité des formants F1, F2 (et F3).

Lorsqu'il s'agit d'étudier des variations dans la réalisation d'un système vocalique, le problème se complexifie. Il est nécessaire de quantifier des réalisations sur un espace vocalique (projeté en général sur un plan F1/F2) où la variation peut toucher diverses dimensions : (a) réductions de l'espace vocalique dues à un aplatissement sur l'axe F1, un rétrécissement sur l'axe F2, et/ou une centralisation des cibles vocaliques vers un conduit vocal neutre ; (b) dispersions des réalisations au sein d'une même catégorie de voyelles ; et (c) chevauchement dans les réalisations de voyelles de catégories différentes.

Dans cette étude, nous nous intéressons aux altérations dans la production des voyelles chez des patients souffrant de différents types de dysarthries. Ces troubles moteurs de la parole se traduisent par une altération du contrôle des mouvements articulatoires pouvant affecter leur magnitude, vitesse, stabilité ou force. Plusieurs études ont montré l'intérêt d'une analyse acoustique pour l'exploration de ces altérations articulatoires (Kent et al., 1999). Pour autant, les études concernant l'articulation vocalique se sont souvent limitées à une mesure de l'étendue de l'espace vocalique (aire du triangle ou quadrilatère) et/ou de centralisation pour capturer l'« imprécision articulatoire » telle qu'elle est jugée dans des évaluations perceptives (ex. Turner et al., 2000). La question qui est posée est le plus souvent de savoir si la métrique, ou quelle métrique, utilisée distingue les patients des témoins ou si elle est corrélée avec une dimension perceptive comme l'intelligibilité (ex. Weismer et al., 2001).

Il nous semble que ces évaluations acoustiques ne donnent qu'une image partielle des altérations présentes dans la production des voyelles et n'exploitent que très minimalement la richesse des informations articulatoires qui peuvent être inférées à partir de simples mesures des formants F1/F2. En effet, si l'on peut relier une diminution de l'espace acoustique à une réduction de la mobilité des articulateurs, il semble intéressant de savoir si cette mobilité est restreinte dans l'axe antéro-postérieur de la langue et/ou dans l'axe d'ouverture-fermeture du complexe langue/mâchoire. De plus, une dispersion importante entre les réalisations d'une même catégorie vocalique peut être un indice d'instabilité articulatoire. Enfin, une forte centralisation des cibles vocaliques et/ou un chevauchement important entre les ellipses de dispersions des catégories vocaliques peut traduire une perte de contrastes vocaliques. Notre objectif dans ce papier est donc de montrer l'intérêt d'une description prenant en compte les multiples dimensions pouvant être sujettes à variations dans la production des voyelles chez des patients présentant 3 types de dysarthries différentes. Dans l'optique d'une automatisation des traitements, l'extension possible de cette description aux mesures moins robustes de F3 ne sera pas considérée. La pertinence et la complémentarité des métriques étudiées seront évaluées selon leur potentiel à distinguer différentes populations, leur inter-corrélation et leurs liens avec l'intelligibilité perçue.

## **2 Méthode**

### **2.1 Populations**

104 locuteurs ont été sélectionnés à partir d'enregistrement faits à Paris, Aix et Marseille (voir Fougeron et al., 2010). Ils se répartissent en 1 groupe de témoins sains et 3 groupes de dysarthries illustrant des atteintes sur les 3 grands systèmes neurologiques (extrapyramidal, cérébelleux, pyramidal). Pour chacun de ces groupes, la nature différente des troubles peut produire des altérations variables dans l'articulation des voyelles. Le groupe 'GrPark' inclut 30 patients (22 hommes, 8 femmes) souffrant de la maladie de Parkinson et présentant une

dysarthrie hypokinétique où rigidité, hypokinésie et hypertonie affectent l'amplitude des mouvements. Le groupe 'GrCereb' inclut 22 patients (14 hommes, 8 femmes) atteints d'un syndrome cérébelleux pur et présentant une dysarthrie ataxique caractérisée par une altération de la coordination temporo/spatiale lors de l'exécution des mouvements. Le groupe 'GrSLA' inclut 26 patients (11 hommes, 15 femmes) atteint de Sclérose Latérale Amyotrophique et présentant une dysarthrie mixte de type paralytique qui se traduit par des mouvements réduits, lents et instables. Enfin le groupe 'GrTem' comprend 26 locuteurs témoins (11 hommes, 15 femmes) couvrant la distribution d'âge des patients. Les productions de ces locuteurs ont été évaluées perceptivement par 10 juges sur différents aspects dont l'intelligibilité (sur une échelle à 4 points avec 3 = altération sévère).

## 2.2 Voyelles et métriques acoustiques

1) Aire de l'espace vocalique (pVSA) : Aire du pentagone délimité par les valeurs moyennes de F1 et F2 des 5 catégories de voyelles (en supposant les points ordonnés pour éviter les auto-intersections) : $pVSA = \frac{1}{2} \sum_{i=v} (F1_i F2_{i+1} - F1_{i+1} F2_i)$
2) Ratio de centralisation de formants (cFCR) : Rapport entre les valeurs formantiques supposées s'accroître avec la centralisation et celles supposées décroître avec la centralisation (FCR adapté pour le français et nos 5 voyelles) : $cFCR = (F2_u + F1_i + F1_u + F2_o) / (F2_i + F1_a + F2_e)$
3) Carré moyen de la distance au centroïde du pentagone (CMinter) : Somme des carrés des écarts entre le centroïde de chaque catégorie vocalique et le centre de l'espace vocalique, pondérée par le nombre de voyelles dans les différentes catégories, et normalisée par le nombre de catégories - 1 (Huet et Harmegnies, 2000)
4) Ratio d'étendue de F2 (F2RR) : $F2RR = F2_i / F2_u$ (cf. Sapir et al., 2010)
5) Ratio d'étendue de F1 (F1RR) : $F1RR = 2 F1_a / (F1_i + F1_u)$
6) Carré moyen de la dispersion intra catégories (CM intra) : Somme des carrés des écarts entre les exemplaires de voyelles et le centroïde de la catégorie vocalique correspondante, normalisée par le nombre de voyelles considérées - le nombre de catégories (Huet et Harmegnies, 2000)
7) Aire totale de recouvrement des ellipses (tOverlap) : Somme de l'aire de recouvrement estimée par échantillonnage des paires d'ellipses correspondant à la dispersion (évaluée par l'écart-type) des différentes voyelles : $tOverlap = \sum_{v_1 \neq v_2} A(intersection(ellipse(V1), ellipse(V2)))$
8) Indice Phi d'organisation du système (Huet et Harmegnies, 2000) : $Phi = CMinter / CMintra$

TABLEAU 1 – Description des métriques étudiées

Les voyelles étudiées ont été extraites d'enregistrements de parole lue (un texte d'environ 200 mots). 10 à 12 occurrences des voyelles /i, E, a, O, u/ (avec E=/e, ε/ et O=/o, ɔ/) ont été sélectionnées de façon à contrôler au mieux le contexte consonantique environnant. Un total de 5746 voyelles ont été segmentées manuellement pour extraire leur durée et une valeur moyenne de leur F1 et F2 prise en trois points (1/3, 1/2 et 2/3) qui a été transformée

en bark. Les valeurs de F1 et F2 jugées irréalistes ont été vérifiées et remplacées si nécessaires par une valeur relevée manuellement pour l'ensemble de la voyelle.

Le tableau 1 présente les différentes métriques étudiées. Les métriques 1 à 5 caractérisent la distribution des voyelles dans l'espace défini par F1 et F2. L'aire de l'espace vocalique est calculé sur les 5 voyelles et non sur /i, a, u/ (voir Fougeron et Audibert, 2011 pour une comparaison entre ces deux aires). Deux métriques de centralisation sont testées : la mesure cFCR est une adaptation d'une métrique qui a été utilisée dans des études clinique sur les voyelles /i, a, u/ de l'anglais (Sapir et al., 2010). Elle repose sur des prédictions spécifiques sur le mouvement de F1 et F2 des différentes voyelles en cas de centralisation ; la mesure CMinter est plus standard (Huet et Harmegnies, 2000). Les ratios F1RR et F2RR cherchent à capturer des variations dans la mobilité du complexe langue/mâchoire sur un axe d'aperture et de la langue sur un axe antéro-postérieur<sup>1</sup>, respectivement. La métrique 6 (CMintra) rend compte de la dispersion des réalisations au sein d'une même catégorie de voyelles et traduit donc la variabilité dans la production des cibles acoustiques. La métrique 7 est une mesure de chevauchement moyen calculé à partir du chevauchement entre les ellipses des voyelles i/e, e/a, a/o, i/u et e/o sur les plan F1 et F2. Cette mesure cherche à refléter une possible perte de contraste entre catégories vocaliques. La métrique Phi introduite par Huet et Harmegnies (2000) mesure le degré d'organisation du système inspirée de l'analyse de variance, prenant en compte le rapport entre la dispersion de toutes les catégories de voyelles par rapport au centre de l'espace vocalique et la dispersion au sein d'une catégorie de voyelle (une valeur basse de phi traduirait la désorganisation du système vocalique).

## 3 Résultats

### 3.1 Description des populations

Pour chaque métrique considérée comme variable dépendante, l'effet de la population a tout d'abord été évalué par une ANOVA avec la population comme facteur fixé à 4 niveaux, indiquant un effet significatif de la population sur toutes les métriques à l'exception de F1RR. Des comparaisons par paires ont ensuite été effectuées par des tests t avec correction de Bonferroni, afin de quantifier via la taille de l'effet la capacité de chaque métrique à discriminer le groupe témoin des différentes populations dysarthriques. Comme illustré sur le tableau 2 et la figure 1, les GrPark et GrSLA se distinguent du groupe témoins par une réduction de l'aire de l'espace vocalique (pVSA). Celle-ci est associée à une centralisation du système qui est capturée par la métrique CMinter pour le GrPark et par la métrique cFCR pour le GrSLA. Le GrSLA se distingue également du GrTem par une diminution de la plage de F2 traduisant une mobilité réduite de la langue sur le plan antéro-postérieur. Contrairement aux deux autres dysarthries, l'espace vocalique des cerebelleux apparaît comme préservé, sans réduction d'aire, de F1 ou F2, ni de centralisation. Pour autant, cette 'normalité' n'est qu'apparente. Si l'on considère les mesures de dispersion au sein d'une même catégorie vocalique (CMintra) et de chevauchement entre catégorie (tOverlap), une altération de l'articulation des voyelles dans ce groupe par rapport aux témoins apparait. En effet, le GrCereb tout comme le GrPark présentent une forte variabilité entre les exemplaires d'une même voyelle (dispersion mesurée par CMintra) qui pourrait refléter l'instabilité articuloire

---

<sup>1</sup> Les variations de F2 peuvent aussi être liées à des variations d'articulation labiale qui seront négligées ici.

propre à ces dysarthries. Ceci contraste avec la dysarthrie dans la SLA qui par son aspect paralytique se traduit par une limitation stable et constante des mouvements. Enfin, comparé au groupe témoin, les 3 groupes dysarthriques présentent un chevauchement accru entre les ellipses de dispersion des différentes catégories vocaliques (tOverlap), qui suggère une perte possible de contrastes vocaliques.

D'autre part, seul le GrPark présente une désorganisation du système telle que définie par la métrique Phi, avec une dispersion plus importante des voyelles de chaque catégorie (CMintra plus grand que témoins), et une attirance vers le centre de l'espace vocalique des nuages correspondant aux différentes catégories (CMinter plus faible que témoins).

	pVSA	cFCR	CMinter	F1RR	F2RR	Phi	tOverlap	CMintra
GrCereb	ns	ns	ns	ns	ns	ns	> ** $\eta^2 = .17$	> * $\eta^2 = .14$
GrPark	< ** $\eta^2 = .16$	ns	< * $\eta^2 = .07$	ns	ns	< ** $\eta^2 = .2$	> * $\eta^2 = .19$	> * $\eta^2 = .08$
GrSLA	< * $\eta^2 = .11$	> ** $\eta^2 = .20$	ns	ns	< ** $\eta^2 = .16$	ns	> * $\eta^2 = .14$	ns

TABLEAU 2 – Distinction entre groupes dysarthriques et groupe témoin sur les 8 métriques par des tests t avec correction de Bonferroni (>, < = tendance par rapport aux témoins ; \* =  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$  ; et  $\eta^2$  = taille d'effet estimée)

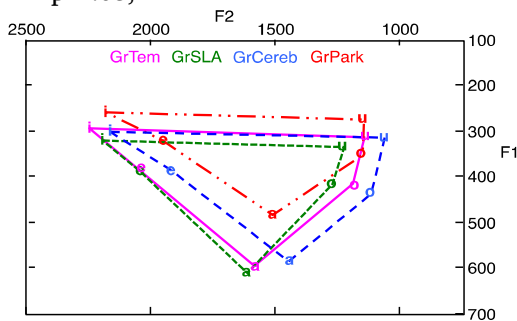


FIGURE 1 – Valeurs moyennes des voyelles /i, e, a, o, u/ sur le plan F1/F2 par population

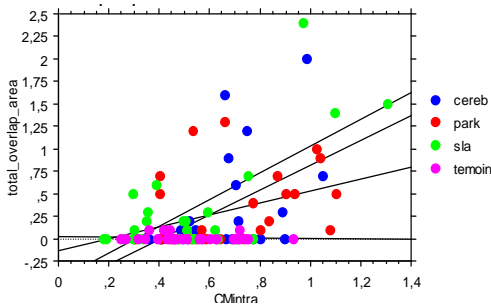


FIGURE 2 – Distribution des valeurs de tOverlap en fonction de CMintra par population

Aucune distinction entre les dysarthriques et les témoins ne s'observe sur le plan F1. Pourtant on peut observer sur la figure 1 une différence qui n'est pas capturée par nos métriques acoustiques. En effet, le GrPark se distingue des témoins et des autres groupes dysarthriques par un déplacement de l'espace vocalique vers le haut, avec des voyelles /i, e, a, o, u/ plus fermées (F1 réduit). La réduction de F1 pour /a/ apparaît plus importante que pour les autres voyelles sans toutefois que la mesure de F1RR soit significativement réduite ( $p = .08$ ). Une autre différence non capturée par nos métriques est le déplacement de l'espace vocalique des cérébelleux sur le plan F2, avec des valeurs de F2 réduites pour les 5 voyelles /i, e, a, o, u/ réalisées plus postérieures et/ou arrondies.

Enfin, il est à noter que les variations spectrales observées dans le GrPark ne sont pas

associées à des variations dans la durée des voyelles (durée moyenne ou écart-type) par rapport aux témoins. À contrario, pour les GrSLA et GrCereb, les variations spectrales observées s'accompagnent d'un allongement significatif de la durée des voyelles (particulièrement pour les SLA) et d'une variabilité accrue des durées.

### 3.2 Relations inter-métriques

Les corrélations entre métriques étudiées ne seront pas toutes présentées ni discutées ici par manque de place. Deux types de rapports inter-métriques nous intéresseront.

Premièrement, les métriques qui sont peu corrélées avec les autres sont a priori informatives pour la description des productions vocaliques puisqu'elles ne peuvent pas être prédites par une autre mesure. Dans cette catégorie, on trouve les métriques tOverlap, CMintra. Il est intéressant de comparer ces deux mesures qui pourraient être fortement dépendante l'une de l'autre puisqu'un espace vocalique avec de grandes ellipses de dispersion pour chaque catégorie vocalique (CMintra) pourrait présenter un plus fort chevauchement entre ces ellipses (tOverlap). Or il apparaît dans nos données, illustrées figure 2, que cette relation n'est présente que pour GrSLA ( $r=.7$ ) pour lequel une augmentation de CMintra s'accompagne d'une augmentation du chevauchement. Pour les autres dysarthries, GrCereb et GrPark, qui se distinguent des témoins par une plus grande dispersion intra-catégorie et un plus fort chevauchement, cette relation est moins nette. Le groupe GrCereb ( $r=.4$ ) présente un fort chevauchement même pour des valeurs de dispersion intra-catégories moyennes, alors que le groupe GrPark ( $r=.4$ ) présente un chevauchement moyen avec des ellipses de dispersion très larges. Les relations entretenues entre la mesure tOverlap et les mesures de centralisation sont également intéressantes, en ce sens que chevauchement et centralisation peuvent être interprétés comme un indice de neutralisation des contrastes vocaliques. Pourtant, la mesure tOverlap et les mesures cFCR ou CMinter sont peu corrélées quelque soit la population ( $r=0$  à  $.4$ ).

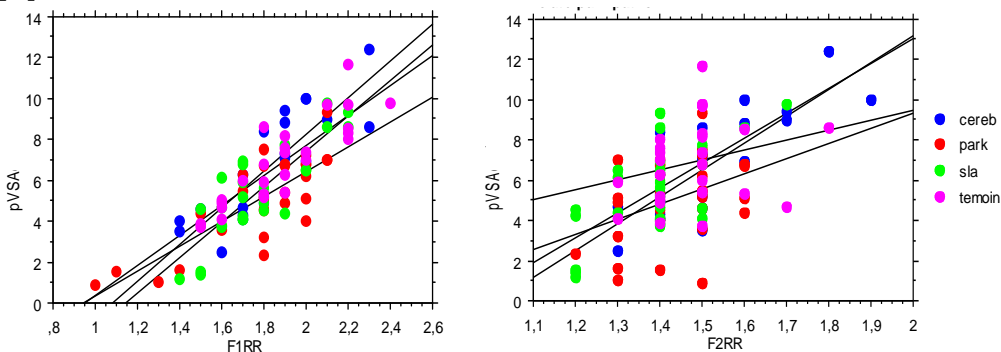


FIGURE 3a,b – Distribution des valeurs de pVSA en fonction de F1RR et F2RR par population

Le second type de rapport qui nous intéressera ici est celui entre des métriques présentant de fortes corrélations pour certaines populations mais pas pour d'autres. En effet, s'il n'est pas surprenant d'observer une forte corrélation entre une diminution de l'aire de l'espace acoustique et le degré de centralisation (cFCR ou CMinter) pour tous les groupes ( $r=.7$  à  $.9$ ), les relations entre la diminution de l'aire et les réductions sur les plans F1 et/ou F2 diffèrent entre populations. Comme illustré sur la figure 3(a), la diminution de l'aire du pentagone est relativement bien prédite par les variations de la plage de F1 (F1RR) pour tous les groupes

( $r = .8$  à  $.9$ ). En revanche, la contribution de la plage de F2 à l'aire du pentagone (figure 3 b) dépend des populations : faible pour les groupes GrTem ( $.2$ ) et GrPark ( $r = .4$ ), cette relation est forte pour les groupes GrSLA ( $r = .7$ ) et GrCereb ( $r = .8$ ). Ces deux groupes présentent respectivement la plus petite et la plus large plage de variation de F2. Il apparaît donc qu'une quantification des modifications de l'espace acoustique vocalique basée uniquement sur l'aire ne rend pas compte des réductions conjointes ou indépendantes des dimensions F1 et F2 (et donc de la mobilité linguale dans les deux dimensions).

Concernant les deux mesures de centralisation (cFCR et CMinter) nous avons vu en 3.1 qu'elles permettaient de différencier soit le GrSLA, soit le GrPark du GrTem. Ces deux mesures sont relativement bien corrélées pour le GrSLA ( $r = .7$ ) mais moins pour les 3 autres groupes ( $r = .4$  à  $.5$ ). Encore une fois, l'examen du rapport avec les variations sur les axes F1 et F2 est informatif. Si cFCR et CMinter sont bien prédites par les variations sur l'axe F1 pour tous les groupes ( $r = .8$  à  $.9$ ), seule cFCR est sensible aux variations sur l'axe F2 pour tous les groupes ( $r = .7$  à  $.9$ ). La diminution de la distance au centroïde mesurée par CMinter est corrélée à la diminution de la plage de variation sur l'axe F2 pour le GrSLA ( $r = .6$ ) mais pas pour les autres groupes (GrTem :  $.1$ , GrPark :  $.2$ , GrCereb :  $.4$ ).

### 3.3 Rapport avec l'intelligibilité perçue

Les relations entre le score perceptif d'intelligibilité et les différentes métriques sont évaluées pour les différentes populations.

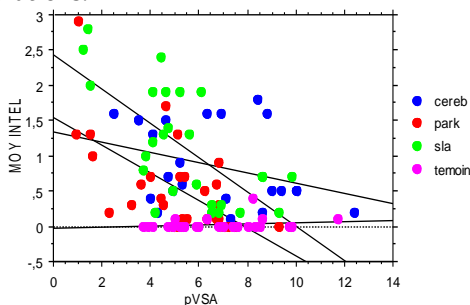


FIGURE 4 – Distribution des scores d'intelligibilité en fonction de pVSA par population

L'intelligibilité est significativement corrélée à l'aire de l'espace vocalique mesurée par pVSA pour GrPark ( $r = .6$ ) et GrSLA ( $r = .7$ ). La distribution des scores d'intelligibilité en fonction de pVSA est présentée sur la figure 4. L'intelligibilité perçue n'est significativement corrélée au recouvrement mesuré par tOverlap que pour GrPark ( $r = .7$ ), tandis que cette corrélation est inférieure à  $.2$  pour les autres groupes. La centralisation mesurée par cFCR est principalement liée à la sévérité perçue pour GrSLA ( $r = .7$ , contre  $.3$  pour GrPark et  $.4$  pour GrCereb). L'autre mesure de centralisation que constitue CMinter est plus faiblement corrélée à ce score perceptif de sévérité :  $r = .5$  pour GrSLA,  $.4$  pour GrPark et  $.1$  pour GrCereb. Enfin, l'indice Phi d'organisation du système vocalique n'est faiblement corrélé avec l'intelligibilité que pour GrPark ( $r = .5$ ).

## 4 Conclusion

Les résultats obtenus confirment les données de la littérature sur l'altération de l'espace vocalique chez les patients parkinsoniens et atteints de SLA, mais pas dans la population des



patients cérébelleux pour lesquels les caractéristiques vocaliques sont réputées globalement préservées (ex. Kent et al., 1979).

Plusieurs des métriques évaluées permettent de discriminer les patients parkinsoniens des témoins sur nos données, en particulier la mesure adaptée aux données du français de l'aire de l'espace vocalique pVSA, l'aire totale de chevauchement des ellipses de dispersion tOverlap et l'indice Phi de niveau d'organisation du système vocalique. Les résultats équivoques décrits dans la littérature pour les parkinsoniens, pour lesquels une réduction vocalique est observée sans permettre une distinction significative du groupe témoin (ex. Weismer et al., 2001) pourraient s'expliquer par l'emploi de mesures trop globales pour capturer les altérations de l'espace vocalique pour cette population.

Comparativement aux métriques élémentaires fréquemment utilisées, les mesures de dispersion intra-catégorie comme CMintra et de chevauchement des ellipses de dispersion permettent une description plus fine des altérations associées aux différentes formes de dysarthrie étudiées. Ces métriques semblent notamment plus à même de refléter la perte de contraste entre catégories vocaliques. Toutefois la projection sur une unique dimension de l'ensemble d'un système vocalique dans toute sa complexité reste réductrice : les résultats obtenus soulignent ainsi l'intérêt de la combinaison de métriques complémentaires pour permettre une description plus riche des distorsions de l'espace vocalique.

## Remerciements

Les auteurs remercient A. Colazo-Simon pour son aide pour la segmentation et L. Lhoussaine pour la mise à disposition des résultats de l'évaluation perceptive experte. Cette étude est financée par le projet ANR DespPhoAPaDy (ANR-08-BLAN-0125).

## Références

FOUGERON, C., CREVIER-BUCHMAN, L., FREDOUILLE, C., GHIO, A., ET AL., (2010) Developing an acoustic-phonetic characterization of dysarthric speech in French, *In Actes de LREC'10*.

FOUGERON C., AUDIBERT N. (2011). Testing various metrics for the description of vowel distortion in dysarthria. *In Actes de ICPhS 2011*, 687-690.

HUET K. & HARMEGNIES B. (2000). Contribution à la quantification du degré d'organisation des systèmes vocaliques. *In Actes des JEP'2000*, 225-228.

KENT, R.D., NETSELL, R., & ABBS, J. (1979). Acoustic characteristics of dysarthria associated with cerebellar disease. *JSHR*, 22, 627-648.

KENT, R., WEISMER, G., KENT, J., VORPERIAN, H. DUFFY, J. (1999) Acoustic studies of dysarthric speech: Methods, progress, and potential. *J. Comm. Disorders*, 32:141-186.

SAPIR, S., RAMIG, L., SPIELMAN, J., & FOX, J. (2010) Formant Centralization Ratio (FCR): A proposal for a new acoustic measure of dysarthric speech. *JSLHR* 53(1): 114.

TURNER, G. & TJADEN, K. (2000) Acoustic differences between content and function words in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *JSLHR* 43 (3), 796-815.

WEISMER, G., JENG, J. Y., LAURES, J. S., KENT, R. D., & KENT, J. F. (2001). Acoustic and intelligibility characteristics of sentence production in neurogenic speech disorders. *FOLIA PHONIATRICA & LOG.*, 53(1), 1-18.