



**HAL**  
open science

# L'impact du style de parole sur l'opposition de longueur des voyelles en arabe jordanien

Mohammad Abuoudeh, Jalal Al-Tamimi, Olivier Crouzet

## ► To cite this version:

Mohammad Abuoudeh, Jalal Al-Tamimi, Olivier Crouzet. L'impact du style de parole sur l'opposition de longueur des voyelles en arabe jordanien. 35èmes Journées d'Études sur la Parole (JEP 2024) 31ème Conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN 2024) 26ème Rencontre des Étudiants Chercheurs en Informatique pour le Traitement Automatique des Langues (RECITAL 2024), Jul 2024, Toulouse, France. pp.421-430. hal-04623111

**HAL Id: hal-04623111**

**<https://inria.hal.science/hal-04623111>**

Submitted on 1 Jul 2024

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# L'impact du style de parole sur l'opposition de longueur des voyelles en arabe jordanien

Mohammad Abuoudeh<sup>1</sup> Jalal Al-Tamimi<sup>2</sup> Olivier Crouzet<sup>3</sup>

(1) Département de Langues et de Linguistique, Al-Hussein Bin Talal University, Ma'an, Jordanie

(2) Laboratoire de Linguistique Formelle, UMR 7110, Université Paris Cité, CNRS, 5 Rue Thomas Mann, 75013, Paris, France

(3) Laboratoire de Linguistique de Nantes (LLING), UMR6310 – Nantes Université / CNRS, France

mohammad.a.abuoudeh@ahu.edu.jo, jalal.al-tamimi@u-paris.fr,

olivier.crouzet@univ-nantes.fr

## RÉSUMÉ

---

Cette étude examine l'impact des changements pouvant se produire dans deux styles de parole – lire vs. raconter une histoire – sur les informations spectrales et temporelles des voyelles longues et brèves en arabe jordanien. La lecture d'un texte est souvent considérée comme de la parole formelle ou soutenue, alors que la narration est plus spontanée. Le passage d'un style à l'autre peut engendrer des changements temporels et spectraux. C'est pourquoi un intérêt particulier a été porté au comportement des voyelles longues et brèves face à ces deux types de situations. Dix locuteurs de l'arabe jordanien ont lu puis raconté une histoire. Contrairement à ce qui était attendu, les caractéristiques spectrales et temporelles des voyelles n'ont pas été influencées par le changement de style. Cela suppose que dans cette expérience, le passage d'un style à l'autre a eu peu de conséquences sur la qualité et la quantité vocaliques. Cependant, les conditions comparées pourraient ne pas être suffisamment contrastées pour faire ressortir de telles différences. Les autres composantes du corpus en cours de constitution pourraient fournir des conditions plus à même de distinguer différents styles de parole.

## ABSTRACT

---

### **Speaking style impact on vowel length opposition in Jordanian Arabic**

This study examines the impact of changes in two speaking styles –story reading vs. storytelling– on the spectral and temporal properties of long and short vowels in Jordanian Arabic. Reading a text is usually associated with formal or clear speech, whereas storytelling is more spontaneous. The transition from one register to another may generate temporal and spectral modifications. This is why a particular interest has been paid to the behavior of long and short vowels in the context of these two speaking conditions. Ten speakers of Jordanian Arabic read then narrated the same short story. Contrary to what was expected, spectral and temporal vowel properties were not influenced by changes in speaking style. These results indicate that in this experiment, the transition from one register to the other had little impact on vowel quality and quantity. However, the conditions under scrutiny in this study may be too close to one another in order to enable such differences to emerge. Additional components of the currently collected corpus may be more appropriate to let differences between controlled and more spontaneous speech styles be revealed.

---

**MOTS-CLÉS** : style de parole, variations temporelles et spectrales, contraste de longueur vocalique, arabe jordanien.

**KEYWORDS**: speaking style, temporal and spectral variation, vowel length contrast, Jordanian

# 1 Introduction

Dans la parole continue, le style de parole change généralement de façon systématique selon la situation dans laquelle on se trouve. Par exemple dans une salle de classe, nous pouvons lire un texte (style « lecture »), parler à son professeur (style « formel ») et discuter avec son camarade de classe (style « informel »). D'un point de vue phonétique, le changement de style de parole pourrait provoquer des variations temporelles et spectrales des segments (Lindblom & Lindgren, 1985). Ces variations se produisent à cause du changement des stratégies dans la production de la parole. Il existe des situations dans lesquelles la parole doit être réalisée avec un grand degré de contraste perceptuel ; d'autres en exigent moins et permettent plus de variabilité. Par conséquent, les propriétés acoustiques du même son montrent de grandes variations reflétées à travers un continuum variant de l'hypo- à l'hyper-articulation (Lindblom, 1990; Farnetani & Recasens, 2010). En effet, les travaux de Lindblom et ses collègues (Lindblom & Lindgren, 1985; Lindblom, 1990; Lindblom *et al.*, 1992) – mais aussi ceux de Krull (1987) et Duez (1992) – mettent en avant que le changement de style de parole (parole formelle, informelle, lue, langage enfantin, etc.) peut faire subir de fortes transformations physiques aux mouvements articulatoires. Ces recherches soulignent également que le changement de style de parole vers la parole spontanée (« hypo-speech ») conduit à un degré de coarticulation maximal. De ce fait, les caractéristiques acoustiques des consonnes et des voyelles sont significativement modifiées. L'objectif de cette recherche est ainsi d'évaluer l'effet du changement de style de parole sur les informations temporelles et spectrales des voyelles phonologiquement longues et brèves en arabe.

Plusieurs chercheurs ont examiné l'influence des variations du style de parole sur la qualité et la quantité vocalique dans différentes langues (Leung *et al.*, 2016; DiCano *et al.*, 2015; Blaauw, 1992; Bolotova, 2003; Meunier & Espesser, 2011). Les résultats de ces recherches ont révélé que dans la parole spontanée / informelle, la durée des segments ainsi que l'espace vocalique sont réduits en comparaison avec la parole lue / soutenue. Un effet d'*undershoot* est alors attendu lorsque l'on passe de la parole lue à la parole spontanée en arabe.

Néanmoins, peu d'études ont porté sur la relation entre les voyelles longues et brèves quand le style de parole varie. À titre d'exemple, DiCano & Whalen (2015) ont montré qu'une influence asymétrique du style de parole sur les voyelles longues et brèves existe en arapaho<sup>1</sup>. La durée vocalique des voyelles longues est plus influencée par le changement du style de parole que celle des voyelles brèves. Toutefois, l'espace vocalique des voyelles longues est moins impacté que les voyelles brèves par ce facteur. Des résultats similaires ont été observés dans l'opposition tendue–relâchée en anglais (Leung *et al.*, 2016). La durée des voyelles tendues est plus impactée par la variation du style de parole que celle des voyelles relâchées. De plus, cette variation a moins de conséquences sur l'espace vocalique des voyelles relâchées que sur celui des voyelles tendues.

Des influences asymétriques ont également été remarquées entre les voyelles longues et brèves dans les études de variation de débit de parole dans plusieurs langues (en thaï Svastikula, 1986, en islandais Pind, 1995 et en japonais Hirata, 2004; Hirata & Tsukada, 2009). Selon ces recherches, la durée des voyelles longues est plus allongée que celle de leurs contreparties brèves lorsque le débit de parole ralentit. La durée des voyelles longues est aussi plus raccourcie que celle des voyelles brèves quand le débit de parole s'accélère. Toutefois, l'impact de variation du débit sur l'espace vocalique semble

1. Une langue algonquienne en danger d'extinction parlée dans l'État du Wyoming aux États-Unis.

dépendre de la langue. En thaï, les informations spectrales des voyelles longues et brèves restent relativement stables (Svastikula, 1986), contrairement à ce qui se passe en japonais, où les fréquences des voyelles brèves sont plus influencées par le changement de débit que leurs correspondantes brèves (Hirata & Tsukada, 2009). En résumé, les voyelles respectivement longues et brèves réagissent de manière différente lorsque le débit ou le style de parole est modifié.

## 2 Questions de recherche

Le but principal de cette recherche est d'évaluer à quel point le passage de la lecture d'une histoire à un style narratif pourrait influencer les informations temporelles et spectrales des voyelles longues et brèves en arabe jordanien. Selon les études mentionnées plus haut, on s'attend à ce que la lecture d'une histoire puisse déboucher sur des durées vocaliques plus longues et des espaces spectraux plus larges par rapport à la narration, puisque la tâche de lecture correspondrait à de la parole hyper-articulée alors que celle de narration se rapprocherait d'un style de parole plus hypo-articulé. De plus, cette influence pourrait être asymétrique entre les voyelles brèves et longues. Le choix de l'arabe jordanien a été motivé par le fait que cette langue est structurée autour d'un contraste entre voyelles phonologiquement longues et brèves, ce qui permettrait d'évaluer le comportement des phénomènes de durée face aux variations du style de parole. De plus, à notre connaissance, l'impact du style de parole n'a pas encore été examiné dans cette langue. Il est à noter que l'arabe jordanien contient trois voyelles brèves et leurs contreparties longues /i, ii, a, a:/, u, u:/, ainsi que deux autres voyelles longues /e:, o:/ . L'importance de la durée vocalique dans cette langue dépend du timbre ; autrement dit, /a, a:/ sont principalement différenciées par la durée, /u, u:/ sont quant à elles distinguées par la durée et l'information spectrale, tandis que /i, ii:/ sont essentiellement opposées par l'information spectrale (Al-Tamimi, 2007; Abuoudeh, 2018). En outre, les voyelles longues occupent des positions spectrales plus périphériques que leurs contreparties brèves.

## 3 Méthodologie

### 3.1 Locuteurs

Pour répondre à la problématique de la présente étude, 10 locuteurs jordaniens (5 femmes et 5 hommes) ont participé bénévolement à une expérience de production. Les participants étaient tous étudiants en licence à l'Université Al-Hussein bin Talal, à Ma'an, dans le sud de la Jordanie, et étaient âgés entre 18 et 22 ans lors de l'enregistrement. Ils sont originaires d'Amman et de Zarqa, des villes situées dans la région Centre de la Jordanie. Les locuteurs ont déclaré qu'ils ne souffrent pas de troubles du langage.

### 3.2 Matériel

Le support linguistique de cette expérience est constitué de l'histoire du « Petit chaperon rouge », écrite en alphabet arabe dans une version de l'arabe jordanien rédigée par le premier auteur de l'article. Il est à remarquer que cette histoire étant populaire en Jordanie, l'ensemble des participants

enregistrés la connaissaient. Le choix d’une histoire connue et populaire a pour but de faciliter la tâche de narration<sup>2</sup>.

### 3.3 Procédure

Tout d’abord, il a été demandé aux locuteurs de lire l’histoire du « Petit chaperon rouge » à partir d’un texte qui s’affichait sur un écran d’ordinateur. Par la suite, il leur a été demandé de raconter la même histoire, sans la lire. Avant l’enregistrement de la tâche de narration, les locuteurs pouvaient – s’ils le jugeaient nécessaire – relire à voix basse l’histoire afin de préparer leur narration. Avant le début de l’expérience, il a été indiqué aux participants de lire et de raconter l’histoire dans leur propre dialecte et non en arabe classique.

L’expérience s’est déroulée dans une salle calme des locaux de la Faculté des Lettres de l’Université Al-Hussein bin Talal. Le matériel utilisé pour les enregistrements est un micro Sennheiser e835 relié à un Tascam DR-100. Les fichiers sons ont été échantillonnés à 44100 Hz sur 32 bits en monophonique. Les enregistrements des deux tâches (lecture et narration) ont d’abord été transcrits et translittérés avec le nouveau système de translittération de l’arabe (convention ATR) puis segmentés par alignement forcé en utilisant le service Arabic WebMAUS Basic (Kisler *et al.*, 2017; Al-Tamimi *et al.*, 2022). Les résultats de l’alignement forcé ont été corrigés à la main dans un second temps par le biais du logiciel Praat (Boersma & Weenink, 2022). La durée des segments, la fréquence des formants (F1, F2, F3) et la f0 ont été automatiquement prélevées par un script Praat. L’algorithme d’extraction Burg (analyse LPC par auto-corrélation) a été employé avec une fenêtre d’analyse de 0.025 s et un pas de 0.01 s. Les seuils d’extractions des formants étaient adaptés au sexe du locuteur, autrement dit : 5000 Hz maximum pour les hommes et 5500 Hz maximum pour les femmes. Les données extraites par ce script ont ensuite été sauvegardées dans un fichier .csv. Pour cette étude, la durée et les fréquences des formants F1 et F2 des voyelles ont été analysées. Les fréquences des F1 et des F2 de tous les locuteurs ont été normalisées en utilisant la méthode de Lobanov afin de limiter la variation interlocuteurs (Lobanov, 1971)<sup>3</sup>. Les analyses de données ont été effectuées avec le logiciel R (R Core Team, 2023).

### 3.4 Analyses statistiques

Les relations entre chacune des variables dépendantes étudiées (Durée vocalique, F1 et F2) et les effets fixes (Voyelle et Tâche) ont été évaluées par des modèles linéaires mixtes avec la fonction `lmer` de la librairie `lme4` (Bates *et al.*, 2015). L’intercept pour les locuteurs a aussi été intégré aux modèles comme effet aléatoire. En outre, les pentes aléatoires par locuteur ont été incluses pour chaque effet fixe, correspondant à la variabilité inter-locuteur de l’effet de chaque facteur fixe sur les variables dépendantes de manière à éviter un taux élevé d’erreur de type I. Les *p-values* ont été obtenues par des approximations de type Satterthwaite par le biais de la fonction `anova` de la librairie `lmerTest` (Kuznetsova *et al.*, 2017). Ces analyses ont été suivies par des tests *post hoc* de Tukey en utilisant la fonction `glht` de la librairie `multcomp` (Hothorn *et al.*, 2008).

---

2. Les données de cette étude font partie d’une base de données plus large qui est actuellement en cours d’élaboration sur l’arabe jordanien (projet « Speech Database of Jordanian Arabic Dialects », abrégé en SDJAD), qui sera constituée de 100 participants provenant de différentes régions de Jordanie.

3. La normalisation a été effectuée par le biais de la fonction `normLobanov` de la librairie `phonR` (McCloy, 2016).

## 4 Résultats

Au total, les locuteurs ont produit 4972 voyelles en tâche de lecture et 3992 voyelles en tâche de narration comme détaillé dans la Table 1. Il était attendu que la tâche de narration contienne moins de réalisations que la tâche de lecture car les locuteurs pouvaient omettre ou résumer quelques événements de l'histoire lors de leur narration. Par ailleurs, il est à remarquer que les voyelles brèves

	i	i:	a	a:	u	u:	e:	o:
Lecture	1120	393	1664	1185	81	188	278	63
Narration	942	360	1211	871	155	182	180	91

TABLE 1 – Nombre de réalisations pour chaque voyelle dans chaque style de parole.

– à l'exception de la voyelle /u/ – sont globalement plus fréquentes que les voyelles longues dans ces données, peu importe le style de parole, avec un total de 5173 voyelles brèves contre un total de 3791 voyelles longues.

### 4.1 La durée vocalique

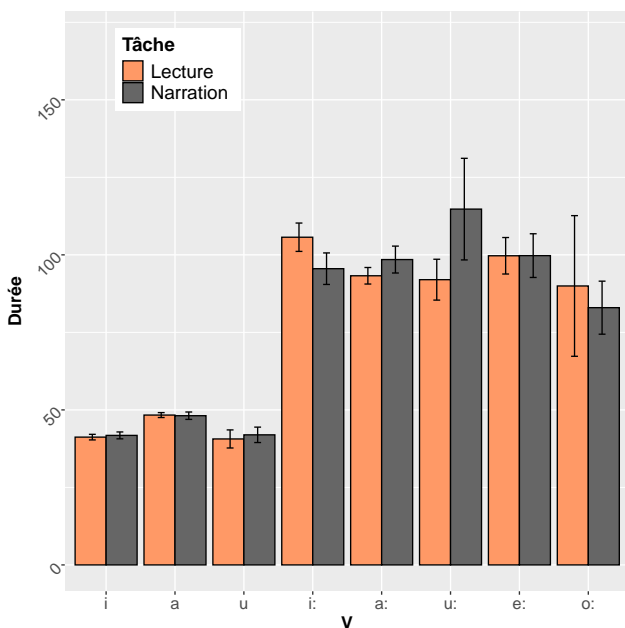


FIGURE 1 – Moyennes des durées vocaliques pour les deux conditions de style de parole (en ms, les barres d'erreur représentent l'Intervalle de Confiance à 95%) .

Les analyses descriptives indiquent que les deux styles de parole étudiés ont un impact faible sur les durées vocaliques (Figure 1). Les durées moyennes des voyelles brèves restent relativement stables dans les deux styles de parole. Quant aux voyelles longues, /i:, o:/ sont légèrement plus

longues en lecture qu'en narration. Les voyelles /a/, u/, au contraire, sont plus allongées en narration qu'en lecture, notamment la durée de la voyelle /u/. La durée de la voyelle /e/ reste relativement inchangée dans les deux styles. Les observations des analyses descriptives sont confirmées par des analyses linéaires mixtes qui ne montrent aucune différence significative entre la tâche de lecture et celle de narration pour la durée ( $F_{(1,7)} = 0.30, p = .587$ ). De plus, les analyses *post hoc* (Tukey) soulignent que la durée des voyelles n'est pas significativement différente en fonction du style de parole à l'exception des voyelles /i/, u/. Ces résultats révèlent aussi que la relation temporelle entre les voyelles longues et brèves en arabe jordanien n'est pas influencée par le changement de style de parole en passant de la lecture à la narration.

Une série d'analyses inférentielles Bayésiennes (Package `brms` dans R; Bürkner, 2017) a été réalisée sur les données de durée vocalique à partir de 4 modèles de complexité décroissante. Les mesures ont été modélisées par une distribution *lognormale* afin de s'approcher au mieux des propriétés distributionnelles de durées vocaliques<sup>4</sup>. Les paramètres par défaut de la modélisation ont été utilisés (distributions de probabilités *a priori* non informatives, 1000 cycles de *warmup* suivis de 2000 itérations, sur 3 chaînes). Le modèle le plus complexe évalue l'effet des 3 prédicteurs que sont la *Catégorie de Voyelle*, le *Sexe* des participants et la *Tâche* réalisée et leurs interactions. Les 2 modèles suivants restreignent l'effet aux deux variables *Catégorie vocalique* et *Sexe* et leur interaction, puis *Catégorie vocalique* seule. Ces 3 modèles intègrent un intercept aléatoire par locuteur et lorsque c'est pertinent des pentes aléatoires par locuteur pour chaque variable intra-sujet (*Catégorie Vocalique* et *Tâche*). Le dernier modèle évalue l'effet de la *Catégorie vocalique* seule en n'intégrant qu'un intercept aléatoire et aucune pente aléatoire. Les temps de traitement de ces 4 modèles sur un serveur de calcul haute-performance ont été respectivement d'environ 3h10, 2h, 1h50 et 11 minutes.

Une comparaison des 4 modèles par méthode *leave-one out* fait ressortir que le modèle complet intégrant les 3 prédicteurs et leurs interactions (*Catégorie vocalique*, *Sexe* et *Tâche*) serait supérieur aux autres en termes de caractérisation des effets de durée mais que, à l'exception du modèle le plus simple (qui n'inclut que la *Catégorie Vocalique* et pas de pente aléatoire, il y a peu de différences –valeur absolue de différence d'ELPD < 4–, entre les 3 modèles les plus pertinents, qu'ils incluent les 3 prédicteurs ou que l'on retire le prédicteur *Tâche* aussi bien que le prédicteur *Sexe*. Ceci suggère que la contribution de la *Tâche* (et du *Sexe*) est relativement négligeable dans ces données. En complément, une exploration préliminaire des distributions *a posteriori* semble indiquer que, en dehors des variations liées à la *Catégorie Vocalique*, les effets sont très spécifiques et correspondent plutôt à des comportements particuliers d'interactions entre 2 ou 3 des prédicteurs plutôt qu'à des tendances globales liées à la *Tâche* ou au *Sexe* des participants.

L'exploration Bayésienne des effets et des distributions *a posteriori* devra être approfondie pour déterminer l'apport spécifique de cette approche aux données présentées. Ces analyses devront ultérieurement être élargies à l'étude des caractéristiques spectrales des voyelles.

## 4.2 L'espace vocalique

L'examen de l'espace vocalique met également en évidence que les deux styles de parole ont très peu d'influence sur les informations spectrales (Figure 2). En effet, les voyelles longues et brèves occupent des positions étroitement proches dans les deux styles de parole sur le plan F1-F2. Ces observations ont été confirmées par des analyses linéaires mixtes qui ne montrent aucune différence significative

4. En outre, cette modélisation fait gagner un temps de traitement considérable, souvent dans un rapport de 1 à 10, par rapport à la modélisation par une distribution Gaussienne.

entre la tâche de lecture et celle de narration pour les fréquences de F1 ( $F_{(1,7)} = 0.48, p = .494$ ), et de F2 ( $F_{(1,7)} = 0.0001, p = .99$ ). Les analyses *post hoc* (Tukey), quant à elles, confirment aussi que les fréquences de F1 et F2 observées pour toutes les voyelles ne changent pas significativement entre les deux styles de parole. En outre, ces résultats révèlent que la relation spectrale entre les voyelles longues et brèves en arabe jordanien n'est pas influencée par le changement de style de parole en passant de la lecture à la narration.

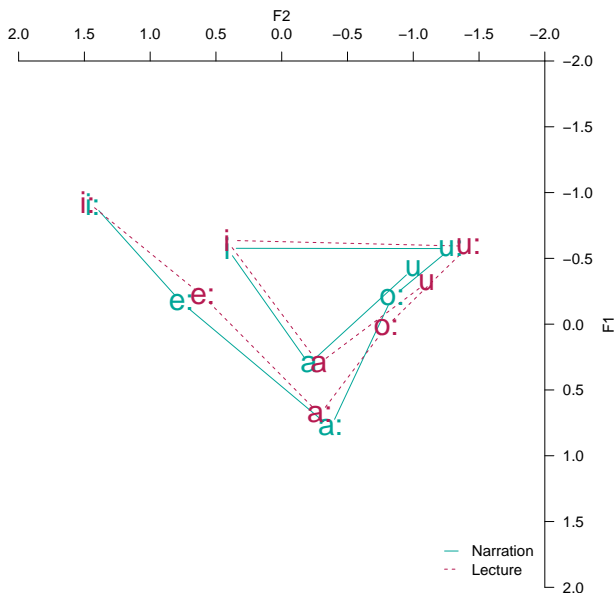


FIGURE 2 – Espace vocalique des voyelles longues et brèves normalisées avec la procédure de Lobanov en fonction du style de parole.

## 5 Discussion

Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'effet du changement de style de parole sur l'opposition phonologique des voyelles longues et brèves en arabe jordanien. D'après les résultats présentés, ce changement influence très peu les informations spectrales et temporelles des voyelles longues et brèves. Dans les faits, la qualité vocalique n'a montré aucune différence significative entre les deux styles de parole pour toutes les voyelles. Quant à la quantité, seulement deux voyelles sur les huit ont révélé une différence significative en fonction du style (/u:/ et /i:/), dont une dans une direction inattendue. En effet, la voyelle /u:/ – et dans une moindre mesure la voyelle /a:/ avec un effet non significatif – présentent un allongement de leur durée en narration plutôt qu'en lecture. Cela pourrait être dû à des hésitations plus importantes dans la tâche de narration que dans celle de lecture.

Ces observations ne sont pas en accord avec les études antérieures sur d'autres langues. Pour rappel, ces études ont décrit que le passage de la parole formelle à la parole spontanée conduit à des variations spectrales et temporelles qui peuvent être asymétriques entre les voyelles longues et brèves. Les



résultats de cette recherche pourraient être expliqués par le fait que ces deux styles de parole ont potentiellement des effets limités au regard des différences temporelles dans une langue qui contient une opposition phonémique de longueur. Autrement dit, la distinction lecture *vs.* narration n’aboutit peut-être pas, dans le cas de cette étude, à produire une différence de style de parole à cause de la proximité des deux styles par comparaison aux styles étudiés dans les recherches mentionnées en introduction. Par exemple, DiCanio *et al.* (2015) – mais aussi DiCanio & Whalen (2015) – décrivent que leur condition d’éllicitation est une prononciation répétée de mots isolés et que la parole « spontanée » est tirée de narration d’histoires personnelles. Ceci peut être nettement plus discriminant en termes de style de parole que la lecture *vs.* la narration du même conte telle que celle qu’on compare dans la présente étude.

De plus, l’importance de la séparation de durée entre les voyelles longues et brèves en arabe jordanien pourrait diminuer l’impact temporel et par conséquent, les variations associées à l’espace spectral dans ces deux de style de parole. Il est intéressant de signaler que les différences qualitatives entre les voyelles longues et brèves restent préservées. Par ailleurs, un autre facteur qui peut être avancé pour cette quasi-absence d’effet de style est que les locuteurs de l’arabe jordanien n’ont pas l’habitude de lire des histoires en arabe dialectal, puisque dans la majorité des cas, ils lisent des histoires en arabe classique. Ceci pourrait expliquer pourquoi les phénomènes phonétiques étudiés ici pourraient ne pas être clairement différenciés entre les tâches de lecture et de narration. Lors des enregistrements, une hésitation, voire un temps de réflexion, ont pu être observés chez certains locuteurs dans les deux styles de parole. L’étude des autres tâches du projet SDJAD (tel que les mots produits en isolation, la parole conversationnelle et la description d’une image), qui sont en cours de collecte, pourraient être utiles pour évaluer ces différentes observations.

## Remerciements

Cette recherche fait partie du projet « Speech Database of Jordanian Arabic Dialects - SDJAD » financé par l’Université Al-Hussein Bin Talal avec la subvention numéro « 85/2022 ».

## Références

- ABUOUDEH M. (2018). *De l’impact des variations temporelles sur les transitions formantiques*. PhD thesis, Université de Nantes.
- AL-TAMIMI J., SCHIEL F., KHATTAB G., SOKHEY N., AMAZOUZ D., DALLAK A. & MOUSSA H. (2022). A Romanization System and WebMAUS Aligner for Arabic Varieties. In *Proceedings of the 13th Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2022)*, © European Language Resources Association (ELRA), Licensed under CC-BY-NC-4.0, p. 7269–7276.
- AL-TAMIMI J.-E. (2007). *Indices dynamiques et perception des voyelles : Étude translinguistique en arabe dialectal et en français*. Thèse de doctorat, Université Louis Lumière - Lyon 2.
- BATES D., MÄCHLER M., BOLKER B. & WALKER S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, **67**(1), 1–48. DOI : <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.
- BLAAUW E. (1992). Phonetic differences between read and spontaneous speech. In *II International Conference on Spoken Language Processing ICSLP*.
- BOERSMA P. & WEENINK D. (2022). Praat : doing phonetics by computer [computer program].

- BOLOTOVA O. (2003). On some acoustic features of spontaneous speech and reading in russian (quantitative and qualitative comparison methods). In *15th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS-15)*.
- BÜRKNER P.-C. (2017). brms : An R package for Bayesian multilevel models using Stan. *Journal of Statistical Software*, **80**(1), 1–28. DOI : [10.18637/jss.v080.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v080.i01).
- DICANIO C., NAM H., AMITH J. D., GARCÍA R. C. & WHALEN D. H. (2015). Vowel variability elicited versus spontaneous speech : Evidence from mixtec. *Journal of Phonetics*, **48**, 45–59.
- DICANIO C. & WHALEN D. (2015). The interaction of vowel length and speech style in an arapaho speech corpus. In *The 18th International Congress of the Phonetic Sciences*.
- DUEZ D. (1992). Second formant locus-nucleus patterns : An investigation of spontaneous French speech. *Speech Communication*, **11**(4-5), 471–427.
- FARNETANI E. & RECASENS D. (2010). Coarticulation and connected speech processes. In W. J. HARDCASTLE, J. LAVER & F. E. GIBBON, Éd., *The Handbook of Phonetic Sciences*, p. 316–352. Wiley-Blackwell, second édition.
- HIRATA Y. (2004). Effects of speaking rate on the vowel length distinction in japanese. *Journal of Phonetics*, **32**, 565–589.
- HIRATA Y. & TSUKADA K. (2009). Effects of speaking rate and vowel length on formant frequency displacement in japanese. *Phonetica*, **66**, 129–149.
- HOTHORN T., BRETZ F. & WESTFALL P. (2008). Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*, **50**(3), 346–363.
- KISLER T., REICHEL U. & SCHIEL F. (2017). Multilingual processing of speech via web services. *Comput. Speech Lang.*, **45**(C), 326–347. DOI : [10.1016/j.csl.2017.01.005](https://doi.org/10.1016/j.csl.2017.01.005).
- KRULL D. (1987). Second formant locus patterns as a measure of consonant-vowel coarticulation. *Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics University of Stockholm-PERILUS*, **5**, 57–75.
- KUZNETSOVA A., BROCKHOFF P. B. & CHRISTENSEN R. H. B. (2017). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, **82**(13), 1–26. DOI : <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>.
- LEUNG K. K. W., JONGMAN A., WANG Y. & SERENO J. A. (2016). Acoustic characteristics of clearly spoken English tense and lax vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **140**(1), 45–58. DOI : [10.1121/1.4954737](https://doi.org/10.1121/1.4954737).
- LINDBLOM B. (1990). Explaining phonetic variation : A sketch of H&H theory. In W. HARDCASTLE & A. MARCHAL, Éd., *Speech production and speech modelling*, p. 403–439. Kluwer Academic Publishers.
- LINDBLOM B., BROWNLEE S., DAVIS B. & MOON S.-J. (1992). Speech transforms. *Speech Communication*, **11**(4), 357–368.
- LINDBLOM B. & LINDGREN R. (1985). Speaker-listener interaction and phonetic variation. *Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics University of Stockholm-PERILUS*, **4**, 77–85.
- LOBANOV B. M. (1971). Classification of Russian Vowels Spoken by Different Speakers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **49**(2B), 606–608. DOI : [10.1121/1.1912396](https://doi.org/10.1121/1.1912396).
- MCCLOY D. R. (2016). Normalizing and plotting vowels with phonR 1.0.7. <http://drammock.github.io/phonR/>.

MEUNIER C. & ESPESSE R. (2011). Vowel reduction in conversational speech in french : The role of lexical factors. *Journal of Phonetics*, **39**(3), 271–278. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.wocn.2010.11.008>.

PIND J. (1995). Speaking rate, voice-onset time, and quantity : The search for higher-order invariants for two icelandic speech cues. *Perception & Psychophysics*, **57**(3), 291–304.

R CORE TEAM (2023). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria : R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0.

SVASTIKULA M. L. K. (1986). *A perceptual and acoustic study of the effects of speech rate on distinctive vowel length in Thai*. PhD thesis, The University of Connecticut.