



**HAL**  
open science

# Le suffixe rhotique en mandarin : études phonétiques et représentation phonologique dans le cadre de la phonologie articulatoire

Anqi Liu

## ► To cite this version:

Anqi Liu. Le suffixe rhotique en mandarin : études phonétiques et représentation phonologique dans le cadre de la phonologie articulatoire. Linguistique. Université Paris Cité, 2019. Français. NNT : 2019UNIP7087 . tel-03033792

**HAL Id: tel-03033792**

**<https://theses.hal.science/tel-03033792>**

Submitted on 1 Dec 2020

**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.

# Université de Paris

École doctorale 622 – Sciences du langage  
CLILLAC-ARP

## **Le suffixe rhotique en mandarin :**

### ***Études phonétiques et représentation phonologique dans le cadre de la phonologie articulatoire***

Par Anqi LIU

Thèse de doctorat de Linguistique

Dirigée par Ioana CHITORAN

Présentée et soutenue publiquement le 18 octobre 2019

Devant un jury composé de :

VALLÉE, Nathalie/ Directrice de recherche/ GIPSA-lab – UMR 5216, CNRS/  
Rapporteuse

HALLÉ, Pierre/ Directeur de recherche émérite/ LPP – UMR 7018, CNRS/  
Rapporteur

CHANG, Yueh-chin/ Professeur/ National Tsing Hua University, Taïwan/  
Examinatrice

RIDOUANE, Rachid/ Directeur de recherche/ LPP – UMR 7018, CNRS/ Examineur

CHITORAN, Ioana/ Professeur/ Université Paris Diderot/ Directrice de thèse



**Titre :**

Le suffixe rhotique en mandarin : Études phonétiques et représentation phonologique dans le cadre de la phonologie articulatoire

**Résumé :**

Les études présentées dans cette thèse visent à mieux comprendre le statut phonologique et la réalisation phonétique du suffixe rhotique en mandarin moderne. Le résultat final est une analyse descriptive du comportement phonologique du suffixe rhotique, basée sur des études de production (acoustique et articulatoire). La partie descriptive et théorique de la thèse retrace les caractéristiques phonétiques des sons rhotiques et les recherches phonétiques et phonologiques existantes sur le suffixe rhotique en mandarin. La théorie de la phonologie articulatoire est ensuite présentée. La partie expérimentale de la thèse se concentre sur l'étude de production qui examine la réalisation du suffixe rhotique dans différents contextes, en fonction de la rime de la syllabe à laquelle il s'attache. Les résultats de ces études viennent compléter ceux des études déjà existantes et permettent de tester des analyses proposées dans la littérature sur la phonologie du mandarin. Sur la base des résultats de l'étude acoustique et de l'étude articulatoire présentées ici, une nouvelle analyse phonologique du suffixe rhotique est proposée dans le cadre de la phonologie articulatoire (Browman et Goldstein, 1992), modèle qui prend le geste articulatoire comme primitive. Cette analyse permet un traitement unifié de toutes les réalisations du suffixe rhotique, dans tous les contextes où il apparaît.

**Mots clefs :**

Rhotique, suffixe rhotique, mandarin, étude acoustique, étude échographique, phonologie articulatoire.

**Title :**

The Mandarin rhotic suffix: Phonetic studies and phonological representation in an articulatory phonology account

**Abstract :**

The studies presented in this dissertation aim to better understand the phonological status and phonetic realization of the rhotic suffix in modern Mandarin. The final result is a descriptive analysis of the phonological behaviour of the rhotic suffix, based on acoustic and articulatory production studies. The descriptive and theoretical part of the dissertation presents the rhotic sounds and reviews the previous phonetic and phonological studies of the Mandarin rhotic suffix. It then introduces the articulatory phonology framework (Browman et Goldstein, 1992), a model that takes the articulatory gesture as primitive. The experimental part of the dissertation focuses on the production studies, which examine the realization of the rhotic suffix in different contexts, according to the rhyme of the syllable to which it is attached. The results of these studies complement those of existing studies, and allow to test analyses proposed in the literature on Mandarin phonology. On the basis of the results of the acoustic and articulatory studies presented here, a new phonological analysis of the rhotic suffix is proposed, in the framework of articulatory phonology. This analysis allows a unified treatment of all the realizations of the rhotic suffix, in all the contexts where it appears.

**Keywords :**

Rhotic, rhotic suffix, Mandarin, acoustic study, ultrasound tongue imaging, articulatory phonology.

## Remerciements

J'adresse mes plus profonds et sincères remerciements à Madame Ioana Chitoran, ma directrice de thèse (et directrice de mémoire M2). Elle m'a formée, guidée, et donné de précieux conseils tout au long de ces dernières années. Sans son soutien, cette thèse n'aurait pas abouti.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Madame Nathalie Vallée, à Monsieur Pierre Hallé d'avoir accepté d'être pré-rapporteurs de ma thèse et d'avoir apporté des commentaires précieux, instructifs et encourageants. Je remercie grandement les membres du jury, Madame Yueh-chin Chang, Monsieur Rachid Ridouane d'avoir accepté d'évaluer mon travail de thèse.

Je tiens à remercier également notre équipe à l'université qui m'a aidée pendant la réalisation de ce travail : Hannah King, pour notre collaboration scientifique et pour m'avoir appris à utiliser l'échographe ; Giuseppina Turco et Harim Kwon, qui m'ont appris l'analyse statistique ; Monsieur Georges Boulakia et Madame Hiyon Yoo pour leurs précieux conseils ; Rachel Albar et Patricia Perez qui ont gentiment accepté de relire des parties de ma thèse ; Qianwen Guan, Anisia Popescu, Darya Sandryhaila et Ismail Benali pour leur collegialité et leur amitié.

Enfin, je voudrais remercier mes parents et mes amis, Yunlong, Gladie, Shomy, Sarah, Benoit, Shen, Xiaohan, Xuefei, Yi, Zeyu, Luxin, qui m'ont soutenue moralement et physiquement pendant ces dernières années.

## Table des matières

Table des matières.....	5
Table des illustrations .....	8
Introduction .....	14
Première partie : Partie théorique .....	21
Chapitre 1 : Les rhotiques .....	21
1.1 Les sons rhotiques .....	21
1.2 Distribution des rhotiques dans les langues du monde .....	24
1.3 Caractéristiques acoustiques des rhotiques .....	26
1.4 Caractéristiques articulatoires des rhotiques .....	30
1.4.1 La présence de la constriction pharyngale .....	31
1.4.2 La coordination des gestes pour les rhotiques .....	33
Chapitre 2 : Le suffixe rhotique en mandarin .....	36
2.1 Le système phonologique du mandarin.....	36
2.1.1 Le système vocalique .....	36
2.1.2 Le système consonantique .....	39
2.1.3 Le système tonal .....	40
2.1.4 La structure syllabique du mandarin .....	41
2.2 Évolution historique du suffixe rhotique .....	42
2.3 La distribution géographique du suffixe rhotique .....	43
2.4 Les analyses phonologiques du suffixe rhotique.....	45
2.5 Les études phonétiques précédentes .....	60
Chapitre 3 : L'objectif de recherche et le cadre théorique.....	67
3.1 L'objectif de recherche .....	67
3.2 Théorie de la phonologie articulatoire (Articulatory phonology) .....	68
Deuxième partie : Études expérimentales.....	79
Chapitre 4 : Étude échographique du suffixe rhotique .....	79
4.1 Résultats précédents et objectif de recherche.....	80
4.2 Méthodologie .....	80
4.2.1 Participants.....	80
4.2.2 Corpus .....	81
4.2.3 Enregistrements .....	82

4.2.4	Mesures.....	83
4.2.5	Normalisation des données .....	85
4.2.6	Analyses statistiques.....	86
4.3	Résultats.....	86
4.3.1	Résultats articulatoires .....	86
4.3.2	Résultats acoustiques .....	88
4.4	Discussion.....	91
Chapitre 5 : Étude acoustique du suffixe rhotique .....		93
5.1	Méthodologie .....	94
5.1.1	Participants.....	94
5.1.2	Corpus .....	95
5.1.3	Enregistrements .....	97
5.2	L'effet du suffixe rhotique sur la durée de la rime.....	98
5.2.1	Objectif et prédiction.....	98
5.2.2	Segmentation et mesures .....	99
5.2.3	Normalisation des données .....	100
5.2.4	Analyses statistiques.....	100
5.2.5	Résultats.....	101
5.3	L'effet du suffixe rhotique sur les valeurs formantiques des monophthongues.....	109
5.3.1	Objectif et prédiction.....	109
5.3.2	Segmentation et mesures .....	109
5.3.3	Normalisation des données .....	111
5.3.4	Analyses statistiques.....	111
5.3.5	Résultats.....	112
5.4	L'effet du suffixe rhotique sur la trajectoire formantique des rimes.....	119
5.4.1	Objectif et prédiction.....	119
5.4.2	Segmentation et mesures .....	119
5.4.3	Normalisation des données .....	120
5.4.4	Analyses statistiques.....	120
5.4.5	Résultats.....	122
5.5	Discussion.....	139
Chapitre 6 : Analyse du suffixe rhotique dans une approche de phonologie articulatoire .....		145

6.1	La représentation gestuelle du suffixe rhotique .....	147
6.2	Les représentations gestuelles des monophthongues avec et sans rhotique .....	149
6.3	Les représentations gestuelles des diphtongues avec et sans rhotique..	157
6.4	Les représentations gestuelles des séquences V+N avec et sans rhotique .....	161
	Conclusion et perspectives .....	167
	Références.....	175
	Annexe 1 : Les informations des participants (étude acoustique).....	186
	Annexe 2 : Corpus pour l'étude acoustique .....	187
	Annexe 3 : Corpus pour l'étude échographique.....	190
	Annexe 4 : Script pour retirer les trajectoires formantiques .....	191
	Annexe 5 : UTI post-hoc .....	196
	Annexe 6 : Les consentements à l'enregistrement (mandarin, anglais, français)...	197



## Table des illustrations

### FIGURES :

#### Chapitre 1

- Figure 1.1 Modèle des relations paramétriques des rhotiques (Lindau, 1985). 27
- Figure 1.2 Modèle des relations paramétriques des rhotiques (Magnuson 2007). 28
- Figure 1.3 Les configurations linguales des /r/ en anglais britannique (type 1 et 8) et en anglais américain (type 2 à 7) dans les croquis correspondant aux images cinéradiographiques de locuteurs natifs (Delattre et Freeman, 1968). 30
- Figure 1.4 Tracés cinéradiographiques de trills uvulaires intervocaliques en allemand et en français. Le second tracé de chaque ligne montre la rétraction de la langue et le troisième tracé de chaque ligne montre le mouvement vers l'arrière de la racine de la langue suivi de l'élévation du corps de la langue et de l'avancement de la luvette, d'après Delattre (1971) [présenté dans Ladefoged et Maddieson (1996)]. 32

#### Chapitre 2

- Figure 2.1 La carte des langues parlées en Chine (Leclerc, 2018). 44

#### Chapitre 3

- Figure 3.1 "Partition gestuelle" pour la syllabe [pan] en Mandarin d'après Gao (2008). 71
- Figure 3.2 a) Articulation de [b] dans les séquences [ba] et [bi]. Chevauchement entre les gestes d'occlusion labiale et de constriction du corps de la langue des voyelles ; b) Articulation de [d] dans [di] et [dy]. Chevauchement entre les gestes de constriction de la pointe de la langue, du corps de la langue et de protrusion labiale. (Fougeron, 2005, citant les données de Vilain, 2000). 74
- Figure 3.3 a) Une délétion apparente d'un segment dans « perfec(t) memory » ; b) Une assimilation apparente dans « seve(n) plus ». (Fougeron, 2005 adapté de Browman et Goldstein, 1990b) 75
- Figure 3.4 Lieu d'articulation de [g] (trait continu) en fonction du lieu d'articulation des contextes vocaliques ([i] et [u]) (trait pointillé). Les gestes consonantiques et vocaliques partageant un geste du corps de la langue s'influencent mutuellement (Fougeron, 2005 citant les données de Vilain, 2000). 76

#### Chapitre 4

- Figure 4.1 Dispositif expérimental avec un microphone oreillette et un casque de stabilisation relié à la sonde échographique. 82
- Figure 4.2 Le processus pour détecter d'une façon quasi-automatique le contour de la langue de chaque image ultrason : (en haut à gauche) image échographique d'origine ; (en haut à droite) ensemble de limites supérieure et inférieure (lignes vertes) pour la détection automatique des bords; (en bas à gauche) après l'ajustement automatique du contour de détection de bord

(ligne rouge), mais avant la correction; (en bas à droite) après correction manuelle du contour de la langue.	83
Figure 4.3 Les images représentent le point de constriction maximale du /r/ postvocalique dans l'étude de Lawson et al. (2013). Le dos de la langue est à gauche. La ligne épaisse dessinée en blanc représente la trace du palais dur.	85
Figure 4.4 Les trois types de [r] observés dans notre étude, les contours de gauche représentent la moyenne de la constriction maximale pour[r] dans les trois conditions vocaliques ; les images de droite représentent le point de constriction maximale du suffixe rhotique dans la syllabe [par] (de haut en bas sont respectivement : Tip Up, Front Up, et Front Bunched).	87
Figure 4.5 Les valeurs moyennes et les écarts types des trois voyelles en position non-rhotique et pré-rhotique (femmes)	89
Figure 4.6 Les valeurs moyennes et les écarts types des trois voyelles en position non-rhotique et pré-rhotique (hommes)	89
Figure 4.7 Les moyennes de F1 et F2 normalisées par locuteurs.	90
Figure 4.8 Les moyennes et les écarts types de F3 normalisés par locuteur. [AS : Pré-rhotique ; SS : non-rhotique]	91
<b>Chapitre 5</b>	
Figure 5.1 Géolocalisation de Shenyang sur la carte de la Chine. (source : wikipédia)	94
Figure 5.2 La durée de la rime (D) dans le mot [ta] 'dresser' dans [ta#ɕie].	99
Figure 5.3 La durée de la rime (D) avec suffixe dans le mot, [tar] 'dresser' [ta#ɕie].	100
Figure 5.4 La durée (en ms) de toutes les rimes dans les deux conditions, avec et sans suffixe.	103
Figure 5.5 La durée (en z-score) de toutes les rimes dans les deux conditions, avec et sans suffixe.	103
Figure 5.6 La durée (en ms) de chaque type de rime dans les deux conditions, avec et sans suffixe rhotique.	104
Figure 5.7 La durée (en z-score) de chaque type de rime dans les deux conditions, avec et sans suffixe rhotique.	104
Figure 5.8 L'effet d'interaction entre le type de rime et la présence/absence du suffixe rhotique sur la durée de la rime (en z-score).	105
Figure 5.9 La durée (en ms) de toutes les rimes avec trois tons différents.	107
Figure 5.10 La durée (en z-score) de toutes les rimes ensemble avec trois tons différents.	107
Figure 5.11 La segmentation de [a] dans le mot [ta] 'dresser' sans suffixe ([ta#ɕie]).	110
Figure 5.12 La segmentation de [a] dans le mot [tar] 'dresser' avec suffixe ([tar#ɕie]).	110
Figure 5.13 Les moyennes et les écarts-types de F1, F2 et F3 des monophthongues dans deux conditions pour les femmes.	113
Figure 5.14 Les moyennes et les écarts-types de F1, F2 et F3 des monophthongues dans deux conditions pour les hommes.	113
Figure 5.15 L'effet d'interaction entre la voyelle et la condition sur F1 (en z-score).	114
Figure 5.16 L'effet d'interaction entre la voyelle et la condition sur F2 (en z-score).	116

Figure 5.17 L'effet d'interaction entre la voyelle et la condition sur F3 (en z-score).	117
Figure 5.18 L'effet d'interaction. Les moyennes et les écarts-types de F1 et F2 des monophthongues dans les deux conditions, avec et sans suffixe.	118
Figure 5.19 Segmentation de [ai] avec suffixe pour l'extraction des trajectoires formantiques dans la phrase ([tai+r#cie]).	120
Figure 5.20 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants des monophthongues sans et avec suffixes des femmes.	123
Figure 5.21 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants des monophthongues sans et avec suffixes des femmes.	124
Figure 5.22 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F1 normalisé des monophthongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu).	126
Figure 5.23 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F2 normalisé des monophthongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu).	127
Figure 5.24 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F3 normalisé des monophthongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu).	129
Figure 5.25 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants des diphtongues sans et avec suffixes des femmes.	130
Figure 5.26 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants des diphtongues sans et avec suffixes des hommes.	131
Figure 5.27 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F1 normalisé des diphtongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu).	132
Figure 5.28 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F2 normalisé des diphtongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu).	134
Figure 5.29 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F3 normalisé des diphtongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu).	135
Figure 5.30 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants de /a+r, ai+r, an+r/ des femmes	136
Figure 5.31 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants de /a+r, ai+r, an+r/ des hommes.	136
Figure 5.32 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F1 normalisé de /a+r, ai+r, an+r/.	137
Figure 5.33 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F2 normalisé de /a+r, ai+r, an+r/.	138
Figure 5.34 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F3 normalisé de /a+r, ai+r, an+r/.	139
Figure 5.35 Les spectrogrammes de /tan+/r/(gauche) et /tan/ + /r/(droite).	143
<b>Chapitre 6</b>	
Figure 6.1 Partition gestuelle proposée pour le suffixe rhotique.	148

Figure 6.2	Partition gestuelle de la syllabe [ta].	149
Figure 6.3	Partition gestuelle de la syllabe [ta] +[r].	150
Figure 6.4	Partition gestuelle de la syllabe [tʰ].	151
Figure 6.5	Partition gestuelle de la syllabe [tʰ] +[r].	152
Figure 6.6	Partition gestuelle de la syllabe [tu].	152
Figure 6.7	Partition gestuelle de la syllabe [tu] +[r].	153
Figure 6.8	Partition gestuelle de la syllabe [ti].	154
Figure 6.9	Partition gestuelle de la syllabe [ti] +[r].	155
Figure 6.10	Partition gestuelle de la voyelle [y].	156
Figure 6.11	Partition gestuelle de la syllabe [y] +[r].	156
Figure 6.12	Partition gestuelle de la syllabe [tai].	158
Figure 6.13	Partition gestuelle de la syllabe [tai]+[r].	158
Figure 6.14	Partition gestuelle de la syllabe [tau].	160
Figure 6.15	Partition gestuelle de la syllabe [tau]+[r].	160
Figure 6.16	Partition gestuelle de la syllabe [tan].	163
Figure 6.17	Partition gestuelle de la syllabe [tan]+[r].	164
Figure 6.18	Partition gestuelle de la syllabe [taŋ].	165
Figure 6.19	Partition gestuelle de la syllabe [taŋ]+[r].	166

## TABLEAUX :

### Chapitre 1

Tableau 1.1	Symboles pour certaines consonnes rhotiques (d'après Ladefoged et Maddieson, 1996).	22
Tableau 1.2	La distribution des phonèmes rhotiques (selon Maddieson, 1984).	24
Tableau 1.3	Généralisations quantitatives des rhotiques (Maddieson, 1984).	25

### Chapitre 2

Tableau 2.1	Les voyelles phonémiques du mandarin standard.	37
Tableau 2.2	Les quatre diphtongues en mandarin standard.	37
Tableau 2.3	Les consonnes du mandarin standard (19 consonnes).	39
Tableau 2.4	Les transcriptions du système tonal du mandarin standard.	40
Tableau 2.5	Les transcriptions des rimes avec et sans suffixe.	46
Tableau 2.6	L'analyse de Lin (1989).	47
Tableau 2.7	L'analyse de Duanmu (1990).	48
Tableau 2.8	L'analyse de Wang (1993) (a).	49
Tableau 2.9	L'analyse de Wang (1993) (b).	50
Tableau 2.10	L'analyse de Wang (1993) (c).	50
Tableau 2.11	L'analyse de Duanmu (2007).	52

Tableau 2.12 L'analyse de Lin (2007) pour les rimes simples.	53
Tableau 2.13 L'analyse de Lin (2007) pour les rimes complexes.	54
Tableau 2.14 L'analyse de Zhang (2000).	57
Tableau 2.15 Les propositions principales sur le statut phonologique du suffixe rhotique en mandarin.	60
Tableau 2.16 La forme des rimes sans/avec suffixe dans l'étude de Lee (2005).	62
<b><u>Chapitre 3</u></b>	
Tableau 3.1 Les structures coordinatives, les articulateurs et les variables du conduit vocal, basé sur Fougeron (2005). (Les termes en anglais sont indiqués entre parenthèses, cf. Browman et Goldstein, 1989)	70
<b><u>Chapitre 4</u></b>	
Tableau 4.1 Participants à l'étude échographique.	81
Tableau 4.2 La valeur moyenne et l'écart type (entre parenthèses) des trois formants de [a, i, u] des femmes (Hz). [Cond(ition) : SS=Sans suffixe ; AS=Avec suffixe]	88
Tableau 4.3 La valeur moyenne et l'écart type (entre parenthèses) des trois formants de [a, i, u] des hommes (Hz). [Cond(ition) : SS=Sans suffixe ; AS=Avec suffixe]	88
<b><u>Chapitre 5</u></b>	
Tableau 5.1 Les informations des participants.	95
Tableau 5.2 La phrase porteuse enregistrée.	97
Tableau 5.3 Les moyennes et les écarts types de la durée des différentes rimes dans les deux conditions.	101
Tableau 5.4 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur 'ton' pour la durée en z-score.	106
Tableau 5.5 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur 'ton' pour la durée en z-score.	108
Tableau 5.6 Le nombre des données analysées pour les monophthongues.	111
Tableau 5.7 Les moyennes et les écart-types en Hz des monophthongues sans et avec suffixe (femmes).	112
Tableau 5.8 Les moyennes et les écart-types en Hz des monophthongues sans et avec suffixe (hommes).	112
Tableau 5.9 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur condition par voyelle sur F1 en z-score.	115
Tableau 5.10 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur condition par voyelle sur F2 en z-score.	116
Tableau 5.11 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur condition par voyelle sur F3 en z-score.	117
Tableau 5.12 Les comparaisons des modèles pour F1 normalisé des monophthongues. La colonne 'comparaison' représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	125

Tableau 5.13 Les comparaisons des modèles pour F2 normalisé des monophthongues. La colonne ‘comparaison’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	127
Tableau 5.14 Les comparaisons des modèles pour F3 normalisé des monophthongues. La colonne ‘comparaison’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	128
Tableau 5.15 Les comparaisons des modèles pour F1 normalisé des diphtongues. La colonne ‘comparaison’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	132
Tableau 5.16 Les comparaisons des modèles pour F2 normalisé des diphtongues. La colonne ‘comparaisons’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	133
Tableau 5.17 Les comparaisons des modèles pour F3 normalisé des diphtongues. La colonne ‘comparaisons’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	134
Tableau 5.18 Les comparaisons des modèles pour F1 normalisé des /a+r, ai+r, an+r/. La colonne ‘comparaisons’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	137
Tableau 5.19 Les comparaisons des modèles pour F2 normalisé des /a+r, ai+r, an+r/. La colonne ‘comparaisons’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	138
Tableau 5.20 Les comparaisons des modèles pour F3 normalisé des /a+r, ai+r, an+r/. La colonne ‘comparaisons’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.	138
Tableau 5.21 Généralisations des changements des rimes différentes avec le suffixe rhotique.	140
<b>Chapitre 6</b>	
Tableau 6.1 Groupement des rimes en fonction de l’influence du suffixe rhotique.	146

## Introduction

---

Le suffixe rhotique (appelé parfois ‘儿化’ ‘érhuà’ en pinyin) se note par le caractère ‘儿’. En tant que suffixe, sa forme écrite est attestée pour la première fois pendant la Dynastie des Han Orientaux (25-220) (Zhu 2005). À partir de l’analyse de documents historiques de la Dynastie des Ming (1368-1644), Li (1994) confirme la réalisation de ce suffixe comme une rhotique attachée à la rime précédente dans la langue parlée au nord de la Chine. Du point de vue diachronique, ce suffixe a connu une longue évolution historique (Zhu 2005).

D’après Li et Thompson (1989), le suffixe rhotique du mandarin moderne provient étymologiquement d’un suffixe diminutif pour les noms. Cette fonction sémantique est perdue aujourd’hui. Dans une perspective diachronique, nous pouvons donc traiter son évolution comme un phénomène de désémantisation (*semantic bleaching*), pareil aux processus attestés dans l’évolution des langues romanes pour le suffixe diminutif, par exemple, *-ino* en italien, *-chen* en allemand (Dressler and Barbaresi, 1994 ; Dressler et al., 2012). Malgré la désémantisation non-contestée, nous allons continuer à l’appeler « suffixe » rhotique dans cette thèse, en conformité avec l’usage en mandarin.

Aujourd’hui, le suffixe rhotique peut être ajouté à plusieurs types de mots, comme des adverbes de lieu et de temps, des verbes et des classificateurs, et non pas seulement des noms. Pour Duanmu (2007), le suffixe rhotique relève d’une particularité du style plutôt que de la grammaire. Il est souvent considéré comme une caractéristique du dialecte de Pékin (Chao, 1968 ; Duanmu, 2007 ; Li et Thompson, 1989), et parfois plus généralement comme une caractéristique de la langue parlée dans le nord de la Chine (Li, 1994 ; Li, 1996). En général, cet accent rhotique apparaît dans le mandarin parlé dans le nord de la Chine et moins dans le sud. La différence entre les deux variétés est illustrée dans l’Exemple. 1.

Exemple. 1 Variété de l'accent rhotique en mandarin.

	Accent du Nord (rhotique)	Accent du Sud (non-rhotique)	Traduction
Mot	花儿 'huār' [xwar1]	花 'huā' [xwa1]	'fleur'
Phrase	我有一朵花儿。 Wǒ yǒ yì duǒ huār. (pinyin) [wo2 jəu3 ji4 two3 xwar1]	我有一朵花。 Wǒ yǒ yì duǒ huā. (pinyin) [wo2 jəu3 ji4 two3 xwa1]	'J'ai une fleur'

Selon le Schéma de l'alphabet phonétique chinois (le système Pinyin) établi par le gouvernement chinois, le caractère '儿' peut apparaître soit tout seul comme la rime 'er' d'une syllabe sans attaque (qui est transcrit par <ér> en pinyin, par exemple, 儿戏 'ér xì' [ər2 ci4] "l'enfantillage"); soit comme le suffixe rhotique qui s'attache à la rime de la syllabe définie (qui est transcrit par <r> en pinyin, i.e. 把儿 'bàr' [par4] "la poignée"). Dans cette thèse, [r] est utilisé comme transcription phonétique pour la forme isolée du suffixe rhotique en mandarin. Les chiffres 1 à 4 sont utilisés pour présenter les 4 tons en mandarin.

L'ajout du suffixe rhotique à une syllabe produit des modifications segmentales et ce sont ces modifications qui intéressent surtout les linguistes. L'ajout du suffixe rhotique n'augmente pas le nombre de syllabes (cf. deux syllabes à gauche fusionnent en une seule syllabe, comme dans l'Exemple. 2). Les modifications segmentales sont donc liées au fait que ce suffixe interagit avec les segments de la rime de la syllabe à laquelle il s'attache. Pourtant, les locuteurs du sud de la Chine (par exemple à Shanghai, à Guangzhou) rajoutent la rime 'er [ər2]' sans autre modification syllabique. Par conséquent, pour le même mot écrit avec le suffixe rhotique, par exemple, '歌儿' ('chanson'), les locuteurs du nord de la Chine vont le prononcer [kvr1], alors que les locuteurs du sud de la Chine vont le prononcer [kvr1'ər2]. Le suffixe rhotique est prononcé soit comme une rime 'er' séparée, soit pas prononcé du tout [kvr1]. Quelques exemples sur la réalisation de l'accent rhotique sont présentés ci-dessous (voir Exemple. 2). Ici, comme dans l'ensemble de la thèse, les barres obliques '/'



indiquent la transcription phonologique et les crochets ‘[ ]’ indiquent la transcription phonétique.

Exemple. 2 Les syllabes avec suffixe rhotique en mandarin du nord

a.	歌 + 儿 → 歌儿 ‘chanson’ <i>gē + ér → gēr (pinyin)</i> [kɤ1] + [ər2] → [kɤr1]
b.	地 + 儿 → 地儿 ‘endroit’ <i>dì + ér → dīr (pinyin)</i> [ti4] + [ər2] → [tjər4]
c.	玩 + 儿 → 玩儿 ‘jouer’ <i>wán + ér → wánr (pinyin)</i> [wan2] + [ər2] → [war2]

Le fait que le nombre de syllabes reste inchangé donne lieu à plusieurs types de modifications segmentales, qui peuvent inclure chute de voyelle, chute de consonne nasale, ou l’ajout d’un schwa entre une voyelle haute et le suffixe. La structure syllabique du mandarin accepte uniquement les consonnes /n/, /ŋ/ et le suffixe rhotique en coda. Il est donc important de déterminer le statut de ce suffixe dans la phonologie du mandarin, en même temps que sa réalisation phonétique, pour mieux comprendre les contraintes sur la complexité syllabique de cette langue.

Du point de vue de sa représentation phonologique, le suffixe rhotique est traité de manière très variable par les linguistes selon leurs approches théoriques. Ces différentes approches seront présentées dans le chapitre 2. Il s’agit de propositions d’analyses à des niveaux différents du processus phonologique (segmental vs infrasegmental) : il est parfois traité comme un segment (voyelle rhotique ou voyelle rétroflexe), parfois comme un trait distinctif ([rétroflexe] ou [postérieur]). Les résultats de notre étude vont contribuer à éclaircir cette question.

Dans les études sur la phonologie du mandarin, la voyelle rétroflexe (ou rhotique) [ɤ] est souvent utilisée pour la transcription du suffixe rhotique (Duanmu, 2007 ; Lin, 2007 ; Chao, 1968, etc.). Elle est parfois remplacée par [r]. Selon Ladefoged et Maddieson (1996), le terme “voyelle rhotique” regroupe une classe de voyelles dont

la racine de la langue est souvent rétractée. Ce type de son apparaît dans moins de 1% des langues du monde (Maddieson 1984). Les voyelles rhotiques sont quand même bien connues puisqu'elles existent dans certaines variétés d'anglais et en chinois (Catford, 2001) qui sont les langues les plus parlées dans le monde entier. Les recherches précédentes montrent que le son rhotique postvocalique (le suffixe rhotique) en mandarin ressemble beaucoup à la rhotique de l'anglais américain (Gick et al., 2006 ; Honorof et al., 2003), qui pourra être réalisée soit comme une rhotique rétroflexe, soit « bunched ».

En mandarin, le suffixe rhotique a surtout attiré l'attention des linguistes pour son comportement phonologique (Chao, 1968 ; Cheng, 1973 ; Pulleyblank, 1984 ; Lin, 1989 ; Wang, 1993 ; Ma, 1997 ; Zhang, 2000 ; Ma, 2002 ; Tian, 2009 ; Duanmu, 1990, 2007). Des divergences existent entre ces auteurs concernant principalement la représentation phonologique de ce suffixe, qui est traité parfois comme un phonème, parfois comme un trait. La première description phonologique du suffixe rhotique est l'analyse structuraliste de Chao (1968). Les études ultérieures s'inscrivent dans le cadre de la phonologie générative et proposent des analyses basées sur des règles (Cheng, 1973 ; Lin, 1989 ; Duanmu, 1990 ; Wang, 1993 ; Duanmu, 2007), de même que des analyses basées sur des contraintes, dans le cadre de la théorie de l'optimalité (OT) (Ma, 1997 ; Zhang, 2000 ; Tian, 2009). Les règles ou contraintes font référence aux traits distinctifs dans les représentations proposées. Au-delà de ces divergences, certains aspects de la description des données restent inexpliqués par ces analyses. Un aspect important concerne les changements subis par les deux codas nasales en présence du suffixe rhotique. Tous les auteurs cités proposent une analyse qui implique la chute de la coda nasale alvéolaire /n/ : /an+/r/→[ar]. Ils sont, en revanche, partagés sur le maintien ou la chute de la coda nasale vélaire [ŋ], avec nasalisation de la voyelle précédente. Deux analyses sont proposées : /aŋ+/r/→[ãr] (Zhang 2000) et /aŋ+/r/→[aŋr] (Duanmu 2007). L'analyse de Zhang est justifiée par les résultats de ses études expérimentales. Parmi les autres analyses qui proposent la chute de /n/ et le maintien de /ŋ/, les règles et les contraintes impliquées ne sont pas claires sur la question : pourquoi /n/ disparaît-il devant le suffixe rhotique, mais pas /ŋ/ ?

Un autre aspect controversé concerne les voyelles fermées antérieures, /i/ et /y/. La plupart des linguistes proposent l'ajout d'un schwa entre ces voyelles et le suffixe rhotique. Par contre, les arguments sont moins clairs. Plus de questions seront discutées dans le chapitre 2. Ces questions qui restent non-abordées et non-résolues jusqu'à présent font l'objet de l'analyse phonologique réexaminée dans le chapitre 6 de cette thèse, où nous allons proposer une analyse alternative dans le cadre de la phonologie articulatoire (Browman et Goldstein, 1992).

Relativement moins d'études concernent la réalisation phonétique du suffixe rhotique (Wang et He, 1985 ; Zhang, 2000 ; Shi, 2003 ; Lee, 2005 ; Gick et al., 2006 ; Huang, 2010 ; Chen et al., 2017 ; Jiang et al., 2019). L'abaissement de F3 est affirmé comme la principale caractéristique acoustique du suffixe rhotique (Wang et He, 1985 ; Huang, 2010). Lee (2005) a analysé les voyelles du mandarin avec et sans suffixe à partir de données articulatoires EMA. D'après ces données provenant de trois locuteurs, le suffixe rhotique ne serait pas rétroflexe, comme proposé par Chao (1968). Mais comme ces conclusions sont basées sur les données de trois participants seulement, il est plus prudent de ne pas les considérer conclusives. Dans une étude acoustique des données de 8 locuteurs, Huang (2010) a montré que les voyelles du mandarin se centralisent sous l'influence du suffixe rhotique. Zhang (2000) affirme que les gestes oraux des deux codas nasales ne sont pas réalisés en présence du suffixe rhotique. En se basant sur des données aérodynamiques, Lee (2005) a précisé que la voyelle suivie par [ŋ] devient nasalisée en présence du suffixe rhotique, mais ce n'est pas le cas pour la voyelle devant [n].

L'objectif de cette thèse est de mieux décrire et mieux comprendre le statut du suffixe rhotique en mandarin, son comportement phonologique et sa réalisation phonétique. Le suffixe rhotique a attiré l'attention de nombreux linguistes sur sa représentation et son comportement phonologique. Plusieurs analyses ont été proposées pour rendre compte des modifications segmentales dans la syllabe à laquelle il s'attache. Cependant, il existe encore des désaccords et des questions à clarifier. Dû à la réalisation phonétique complexe du suffixe rhotique, les analyses phonologiques rencontrent des difficultés quant à l'interprétation de son comportement phonologique. Seul Zhang (2000) a proposé une analyse OT en se

basant sur l'interprétation directe de données phonétiques pour rendre compte des changements des deux codas nasales en présence du suffixe rhotique. Son analyse nous a montré que pour les cas des codas nasales, le degré de leur nasalité (un indice graduel) doit être pris en compte, plutôt que la présence ou l'absence catégorielle de la nasalisation. De plus, Chao (1968) a mentionné que les modifications segmentales en présence du suffixe rhotique sont dues à la compatibilité des gestes articulatoires entre le /r/ et les segments dans la rime. Afin d'éclaircir les questions restantes, nous avons recueilli des données articulatoires et acoustiques pour mieux comprendre la réalisation de ce suffixe rhotique. Inspirée par Chao (1968) et Zhang (2000), nous allons proposer une nouvelle représentation sur la base des aspects acoustiques et articulatoires identifiés lors de nos études de production. Nous nous inspirons aussi de la phonologie articulatoire de Browman et Goldstein (1992), qui proposent que les primitives phonologiques sont les gestes articulatoires. La parole est ainsi composée de gestes articulatoires combinables, qui sont à la fois des unités de contraste lexical et des unités physiques d'action articulatoire. Toutes les variations sont considérées comme des changements dus au chevauchement des gestes ou aux changements des paramètres temporels et spatiaux des gestes. Ainsi, nous proposons que la phonologie articulatoire permet une approche intéressante à l'analyse du suffixe rhotique.

La thèse est divisée en deux parties : La première partie est consacrée à la présentation des littératures et du cadre théorique ; la seconde partie est dédiée aux études expérimentales. Les chapitres 1, 2 et 3 constituent la première partie. Le premier chapitre présente une introduction générale des sons rhotiques concernant leurs caractéristiques acoustiques et articulatoires. Dans le chapitre 2, nous présentons le suffixe rhotique dans le contexte du système phonologique du mandarin, à travers des études précédentes, phonétiques et phonologiques, sur le suffixe rhotique. Dans le chapitre 3, nous introduisons le modèle de la phonologie articulatoire et la motivation du choix de ce cadre théorique pour notre étude. La deuxième partie de la thèse est composée de trois chapitres. Deux chapitres sont consacrés aux études de la production du suffixe rhotique. Le chapitre 4 présente une étude articulatoire en recueillant les images échographiques. Le chapitre 5 décrit une

étude acoustique sur les modifications segmentales provoquées par l'ajout du suffixe rhotique. Les résultats de ces études phonétiques servent à informer l'analyse phonologique du suffixe rhotique, que nous proposons dans le chapitre 6, dans le cadre de la phonologie articulatoire. Enfin, nous présentons la conclusion et des nouvelles perspectives pour de futures recherches.

## Première partie : Partie théorique

---

Dans la première partie, nous présenterons les rhotiques (chapitre1), le suffixe rhotique (chapitre 2) et nos objectifs de recherches (chapitre 3). Dans le chapitre 3, nous présenterons le modèle de la phonologie articulatoire comme cadre théorique pour l'analyse phonologique que nous allons proposer dans la seconde partie de la thèse.

### Chapitre 1 : Les rhotiques

Ce chapitre est une introduction générale aux segments rhotiques. Nous présentons tout d'abord les sons rhotiques et leur distribution dans les langues du monde. Ensuite, leurs caractéristiques acoustiques et articulatoires seront présentées dans les sous-sections 1.3 et 1.4, sur la base d'études précédentes des rhotiques dans différentes langues.

#### 1.1 Les sons rhotiques

Les rhotiques sont une classe de sons désignée par le terme 'rhotiques', ou bien 'r-sounds' en anglais. Selon Maddieson (1984), environ 76% des langues du monde (parmi 317 langues étudiées) possèdent au moins une forme du phonème /r/. Traditionnellement, la classification des sons au niveau phonétique se base sur leurs propriétés acoustiques ou articulatoires, mais les termes 'rhotique' et 'r-sound' correspondent plutôt aux conventions orthographiques qui les dénotent dans différentes langues (Ladefoged et Maddieson, 1996). Par conséquent, les rhotiques contiennent l'ensemble des segments qui s'écrivent avec la lettre Gréco-Romaine 'r', ou son équivalent grecque 'rho'.

Une liste de symboles phonétiques fournie par Ladefoged et Maddieson (1996) est présentée avec une définition de ces sons dans le Tableau 1.1, [r, ɾ, ɻ, ɽ, ʀ, ʁ, ɽ̥]. En dehors de cette série de sons présentée, il existe aussi d'autres segments qui sont considérés comme des rhotiques sur la base de leur variation synchronique ou du changement diachronique du son, par exemple, [ʒ, x, ʁ, χ, ʁ]. Cependant, les rhotiques ne correspondent pas seulement à des consonnes. Il peut également s'agir des voyelles qui sont typiquement des voyelles rhotiques (parfois appelées aussi 'voyelles rhotacisées', ou 'voyelles rétroflexes') (cf., [ə̤], [ɜ̤]). Le symbole diacritique de rhoticité [-̤] est ajouté à des voyelles pour représenter une voyelle rhotique. Selon Maddieson (1984), les voyelles rhotiques sont des sons rares qui existent dans moins d'un pour cent des langues du monde. Pourtant, elles sont bien connues car elles apparaissent dans certaines formes de l'anglais et du mandarin (Ladefoged et Maddieson, 1996 ; Catford, 2001). Selon Ladefoged et Maddieson (1996), une voyelle rhotique implique une rétraction de la racine de la langue. En général, les voyelles rhotiques ont un F3 bas. Ce type de son est parfois produit avec la pointe de la langue élevée, parfois avec la pointe de la langue abaissée, et le corps de la langue est souvent 'bunched'. De plus, un rétrécissement dans le conduit vocal est souvent impliqué au niveau de l'épiglotte. Deux types de voyelles rhotiques existent en anglais américain (Staun, 2010) dans le premier cas il s'agit d'une coloration partielle où la rhoticité n'affecte que la partie finale des voyelles (cf., hard ['hɑ̤əd]); dans l'autre cas il s'agit d'une coloration complète des voyelles centrales (cf., bird [bɜ̤d]).

Tableau 1.1 Symboles pour certaines consonnes rhotiques (d'après Ladefoged et Maddieson, 1996)

Définition	Symbole
Trill dental ou alvéolaire	r
Tap ou flap dental ou alvéolaire	ɾ
Approximante dentale ou alvéolaire	ɻ
Flap post-alvéolaire	ɽ
Approximante Post-alvéolaire(rétroflexe)	ɽ̥
Trill Uvulaire	ʀ
Fricative voisée Uvulaire	ʁ
Flap (latérale) Alvéolaire	ɽ̥

Du point de vue phonétique, les rhotiques constituent un groupe hétérogène par rapport à leurs modes et lieux d'articulation (Ladefoged et Maddieson, 1996). Elles peuvent être des trills, des taps ou des flaps, des fricatives, des approximantes, ou des voyelles rhotiques. Un trill est un son produit par des vibrations multiples entre les organes articulateurs. Les vibrations produites sont dues à des effets aérodynamique-myoélastiques (Ladefoged et Maddieson, 1996). Un tap est un son produit par un contact bref entre deux organes articulateurs. Comme pour les plosives, une fermeture du conduit vocal est produite par ce contact qui est plus court que celui d'une plosive. Un flap est un son similaire au tap, mais, contrairement à celui-ci, il implique un mouvement direct de la pointe de la langue vers le haut : la pointe de la langue s'élève et se déplace vers l'avant de manière tangentielle à la surface de contact, de sorte à ce qu'elle frappe les alvéoles au passage (Ladefoged et Maddieson, 1996 ; Laver, 1994). Les lieux d'articulation les plus communs sont dental et alvéolaire, ainsi que post-alvéolaire (rétroflexe). En plus de ces trois lieux d'articulation, la rhotique peut aussi avoir une articulation uvulaire dans certaines langues (par exemple : /R/ en français). En général, la qualité de la voyelle change lorsqu'elle est suivie par une rhotique. Par conséquent, il est difficile de trouver des caractéristiques phonétiques communes pour unifier toutes les rhotiques (Lindau, 1985 ; Ladefoged et Maddieson, 1996). Contrairement à d'autres classes de sons définies par des caractéristiques phonétiques (acoustiques et/ou articulatoires) précises, les rhotiques constituent une classe assez variable.

Cependant, Wiese (2001) a proposé que les rhotiques puissent être unifiées en tenant compte de leur comportement phonologique, en fonction de leur place dans la hiérarchie de sonorité, en les plaçant entre /l/ et les semi-voyelles ou les voyelles fermées. Selon cette approche phonotactique, Wiese (2001) a proposé une liste de propriétés communes aux rhotiques :

- 1) Du point de vue phonotactique, les rhotiques occupent une position adjacente aux voyelles dans la structure syllabique. Elles apparaissent entre une voyelle et une (ou plusieurs) consonne(s) dans une même syllabe. Le schéma est CrVrC ;
- 2) Les consonnes rhotiques ont souvent une variante syllabique. Si une langue autorise les consonnes syllabiques, les /r/s syllabiques peuvent être autorisées ;



- 3) Un type de consonne rhotique alterne souvent synchroniquement et/ou diachroniquement avec un autre type de rhotique. Bien que les alternances avec d'autres types de segments existent également, elles sont statistiquement moins nombreuses ;
- 4) Si une rhotique alterne avec une autre rhotique en termes de constriction, leur comportement phonotactique ne change pas ;
- 5) Les contraintes phonologiques et les autres généralisations, comme celles de (1) à (4), s'appliquent à /r/ quelle que soit sa réalisation.

Même si les propriétés phonotactiques des rhotiques peuvent unifier beaucoup de variations des rhotiques dans différentes langues, elles ne peuvent pas rendre compte de la variabilité de leur structure segmentale. L'unité phonotactique sur laquelle se base la classe des rhotiques reste abstraite par rapport à leurs différentes réalisations phonétiques.

## 1.2 Distribution des rhotiques dans les langues du monde

Selon l'étude de Maddieson (1984), basée sur 317 langues, un phonème rhotique apparaît dans la majorité des langues du monde (soit 76,7%). Le Tableau 1.2 montre la distribution des rhotiques dans ces 317 langues étudiées.

*Tableau 1.2 La distribution des phonèmes rhotiques (selon Maddieson, 1984)*

Nombre de rhotiques	0	1	2	3	4
Nombre de langues	74	183	51	8	1
%	23,3%	57,7 %	16,1%	2,5%	0.3%

Nous voyons ainsi que parmi les langues ayant des phonèmes rhotiques, la majorité a un seul type de son rhotique dans son inventaire. Ladefoged et Maddieson (1996) ont montré que les oppositions entre rhotiques dans une même langue impliquent plutôt le mode d'articulation que le lieu d'articulation. En espagnol, par exemple, les rhotiques s'opposent par leur mode d'articulation (une battue et une

vibrante alvéolaire) en position intervocalique. Dans les langues qui contiennent des consonnes simples et des consonnes géminées, l'opposition des rhotiques se manifeste de la même façon. Les rhotiques simples sont produites comme des taps, alors que les rhotiques géminées sont des trills. L'afar, le shilluk et certaines variétés d'arabe s'adaptent à ce type de contraste (Ladefoged et Maddieson, 1996). Cependant, les rhotiques simples et géminées du finnois sont toutes des trills, elles se distinguent seulement par le nombre de contacts (3 à 5 pour la rhotique simple ; 6 à 8 pour la géminée). Un scénario moins courant est celui du toda, où trois trills se distinguent par trois lieux d'articulation différents. Beaucoup de langues australiennes (cf. le yidiny ; le guugu yimidhirr) ont deux rhotiques qui s'opposent par leur lieu et par leur mode d'articulation. Il existe aussi quelques langues australiennes (cf. le diyari ; le arabana ; le malyangapa) qui ont trois rhotiques qui se différencient de la même façon.

Selon la base de données UCLA Phonological Segment Inventory Database (UPSID) (Maddieson, 1984 ; Maddieson et Precoda, 1989) qui propose un échantillon de 451 langues, le trill alvéolaire est le plus commun parmi les trills. Il existe dans 21.06% des langues examinées. Le flap alvéolaire est le plus commun parmi les taps/flaps. Il apparaît dans 20.18% des langues de la base de données. Ainsi, la zone alvéolaire apparaît comme un lieu d'articulation privilégié pour les rhotiques.

Maddieson (1984) a présenté des généralisations quantitatives des rhotiques en se basant sur des données de 317 langues. Ces généralisations nous montrent les lieux d'articulation et les modes d'articulation les plus communs parmi les phonèmes dans ce groupe hétérogène.

*Tableau 1. 3 Généralisations quantitatives des rhotiques (Maddieson, 1984)*

Généralisations		
Une consonne rhotique est généralement voisée	308/316	97,5%
Une consonne rhotique est généralement dentale ou alvéolaire	272/316	86,4%
Une consonne rhotique est généralement interrompue (non-continuant)	244/282	86,5%
Une rhotique rétroflexe est généralement continuante	20/38	52,6%
Une approximante rhotique est généralement rétroflexe	15/28	53,6%

Une fricative rhotique est généralement rétroflexe	5/10	50%
--	------	-----

### 1.3 Caractéristiques acoustiques des rhotiques

Puisque les rhotiques contiennent une série de sons qui varient à la fois selon leur lieu et leur mode d'articulation, il semble difficile de trouver une seule propriété articulatoire qui pourrait unifier cette classe de sons. Une caractéristique unifiée est en revanche possible, sur la base de leur structure acoustique. Ladefoged (1975) et Lindau (1978) ont proposé que le F3 bas constitue une caractéristique acoustique commune pour les rhotiques. Par contre, Lindau (1985) n'a pas confirmé ceci comme une tendance cross-linguistique. Sur la base d'une étude de 11 langues (dont 4 langues Indo-Européennes et 7 langues de l'ouest de l'Afrique), Lindau a conclu qu'il n'existerait pas de caractéristique acoustique simple qui unifierait toutes les consonnes rhotiques. Néanmoins, une partie des langues étudiées partagent quand même la caractéristique du F3 bas. Par exemple, le F3 bas est bien documenté dans l'anglais américain (correspondant à des articulations variables). Les 4 locuteurs de l'izon (langue nigéro-congolaise) dans l'étude de Lindau produisent également un F3 bas. La rhotique en italien montre aussi ce F3 bas (Ladefoged et Maddieson, 1996). Le F3 bas est également confirmé pour les trills du toda par les données de six locuteurs natifs (Ladefoged et Maddieson, 1996). Les voyelles rhotiques ont aussi un F3 bas en commun dans leur structure acoustique (Ladefoged et Maddieson, 1996). En revanche, il a été montré que les rhotiques dans certaines langues peuvent avoir un F3 élevé. Par exemple, l'approximante rétroflexe en hausa a le F3 d'une valeur formantique comparable à celui de la voyelle /a/ adjacente (Ladefoged et Maddieson, 1996). La fricative du tchèque montre une valeur moyenne de F3 autour de 3000Hz. Les rhotiques uvulaires du suédois, du français et de l'allemand ont aussi le F3 au dessus de 2500Hz. L'approximante rétroflexe de l'arrente montre aussi un F3 élevé.

Les études sur la perception des rhotiques ont montré que le F3 bas peut empêcher la perception de la distinction entre les rhotiques et les autres classes de sons (Engstrand et al., 2007 ; Heselwood, 2009). Heselwood (2009) a étudié la perception de la rhoticité de l'anglais avec des participants natifs. Il a utilisé un filtre passe-bas permettant de couper le F3 entièrement. Les résultats ont montré que les participants

préfèrent les échantillons sans le F3 dans l'identification des rhotiques. Aussi, ils les considèrent plus rhotiques que les rhotiques avec le F3 non-filtré. Heselwood a proposé l'hypothèse que le F3 bas ait un effet répressif et renforce aussi F2 dans la perception des rhotiques en anglais, puisqu'un F3 bas qui se rapproche et fusionne avec F2 peut intensifier la perception des rhotiques. Enfin, selon l'étude de Heselwood, c'est F2, et surtout la relation F1-F2, qui est probablement un facteur plus important dans la perception des rhotiques.

Étant donné qu'il est difficile de trouver une caractéristique commune pour le groupe des rhotiques, Lindau (1985) a proposé un modèle (voir Figure 1.1) dans lequel les rhotiques sont liées par une chaîne de propriétés acoustiques pour montrer l'existence d' « airs de famille » (en anglais « family resemblance »).

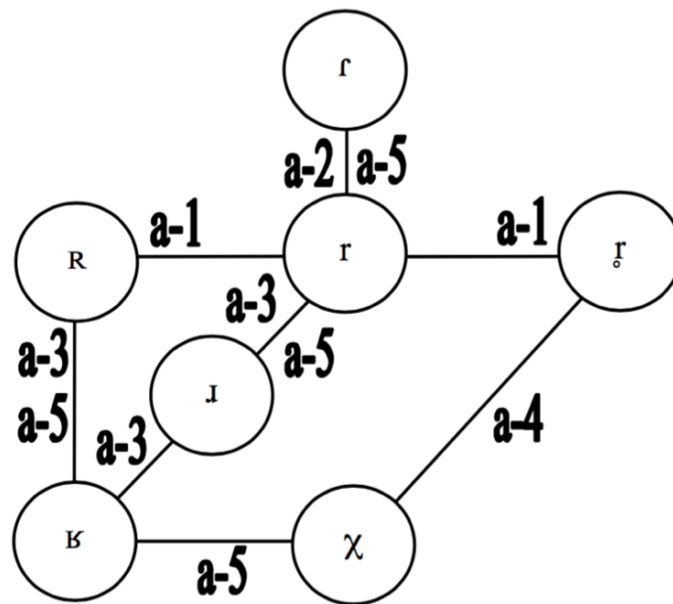


Figure 1.1 Modèle des relations paramétriques des rhotiques (Lindau, 1985)

Les propriétés acoustiques dans la Figure 1.1 sont représentées respectivement ci-dessous :

- a-1 = le mode d'articulation vibrant
- a-2 = la durée d'occlusion
- a-3 = la présence d'une structure formantique (sonorité)
- a-4 = la présence de bruit dans le signal acoustique

a-5 = la distribution d'énergie spectrale (même lieu d'articulation)

Les trills sont reliées par le même mode d'articulation, soit la vibration, tandis que les fricatives sont reliées par la présence d'énergie spectrale. Toutes les approximantes ont une structure formantique. La présence de la structure formantique relie également les trills et les approximantes. La durée d'occlusion associe les battues aux vibrantes. Bien que toutes les rhotiques peuvent être reliées suivant des caractéristiques phonétiques similaires, aucune caractéristique acoustique ne pourra unifier la classe de toutes les rhotiques. Ce modèle montre aussi un problème important. En effet, Ladefoged et Maddieson (1996) ont noté que certaines rhotiques partagent aussi des propriétés avec les sons qui ne font pas traditionnellement partie du groupe des rhotiques.

Un autre modèle plus complet proposé par Magnuson (2007) s'est appuyé sur le modèle des « airs de famille » de Lindau (1985) (voir la Figure 1.2 ).

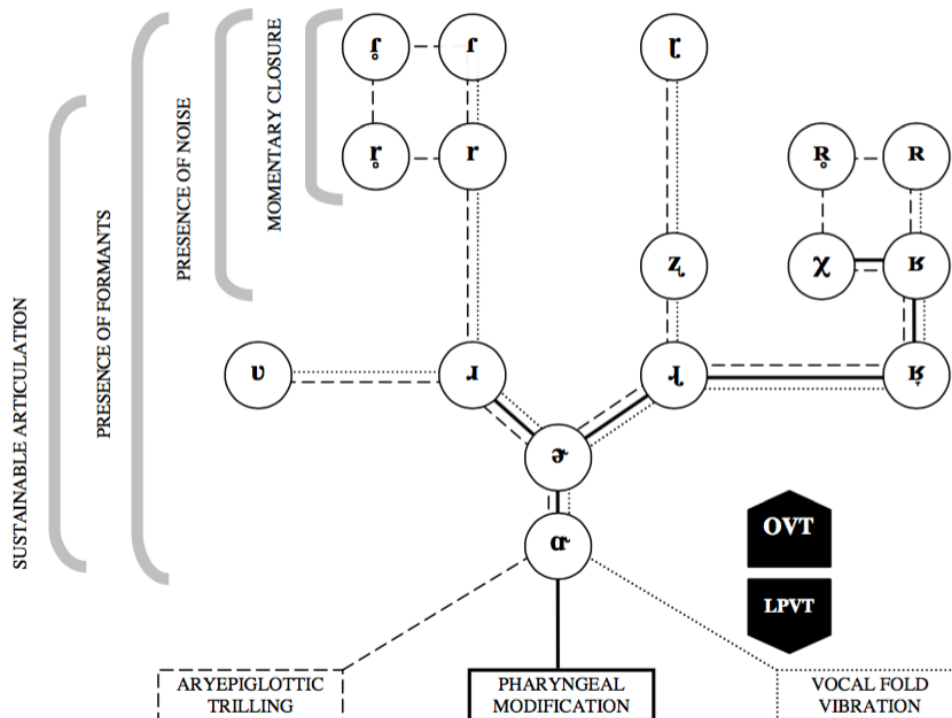


Figure 1.2 Modèle des relations paramétriques des rhotiques (Magnuson 2007)

Cependant, Magnuson a ajouté plus de variantes de rhotiques dans son schéma et a également représenté un nouveau concept inspiré de Esling (2005) et Edmondson et Esling (2006) développant l'idée d'un double conduit vocal. Ce double conduit vocal est composé d'un conduit vocal oral (OVT) et d'un conduit vocal laryngal/pharyngal (LPVT). Le LPVT contient trois paramètres supplémentaires, concernant la vibration aryépyglottique (Aryepiglottic trilling), la modification pharyngale et la vibration des cordes vocales. En dehors de la modification pharyngale, les deux autres paramètres sont optionnels pour les différents types de rhotiques. En revanche, la modification pharyngale provoque des changements acoustiques en fonction de la hauteur où se trouve la constriction. Une constriction dans la partie plus basse du pharynx va faire baisser le F3 et monter le F2 (Delattre et Freeman, 1968 ; Delattre, 1971 ; Lindau, 1985 ; Narayanan et al., 1999) ; au contraire, une constriction dans la partie plus haute du pharynx (c'est à dire une cavité pharyngale plus large) va faire monter le F3 et baisser le F2 (Delattre et Freeman, 1968 ; Delattre, 1971). Par conséquent, les caractéristiques acoustiques dues à la modification du pharynx sont variables : F2 et F3 peuvent soit se rapprocher comme pour le [ɹ] de l'anglais, soit s'éloigner comme pour le [ʁ] du suédois du sud (Lindau, 1985).

Dans le schéma de Magnuson, les segments sont organisés en fonction du lieu d'articulation (suivant l'axe horizontal, les labiales sur la gauche et les uvulaires sur la droite) et du mode d'articulation (suivant l'axe vertical, les vibrantes et les battues en haut, et les voyelles rhotiques en bas). La modification du pharynx est comme un gradient. Les segments qui partagent la modification pharyngale ont été déterminés sur la base de données articulatoires (échographique, IRM et radiographique, etc.). Pour les rhotiques, la composante pharyngale n'est pas l'articulation primaire, comme pour les sons purement pharyngaux. La modification pharyngale est plutôt une articulation secondaire. Magnuson a rappelé que son modèle ne sert pas forcément à montrer des preuves directes de LPVT pour les rhotiques, mais plutôt à proposer un nouveau point de vue, surtout la coordination entre les strictions dans ces deux conduits vocaux (LPVT et OVT) dans les futures recherches sur la classification des rhotiques.

Malgré le fait que les deux schémas proposés par Lindau (1985) et Magnuson (2007) n'ont pas éclairci la nature de la classe des rhotiques, ils peuvent être utilisés pour traiter les rhotiques comme une classe en se basant sur la base de leurs caractéristiques articulatoires communes.

#### 1.4 Caractéristiques articulatoires des rhotiques

Dû à la grande variété des configurations linguales dans la réalisation d'une rhotique dans une langue donnée, il est difficile d'identifier des caractéristiques articulatoires communes. Par exemple, l'approximante /ɹ/ de l'anglais, montre beaucoup de variations dans sa réalisation articulatoire entre les deux variétés extrêmes (Figure 1.3) : l'une est rétroflexe et l'autre est 'bunched' (Delattre et Freeman, 1968).

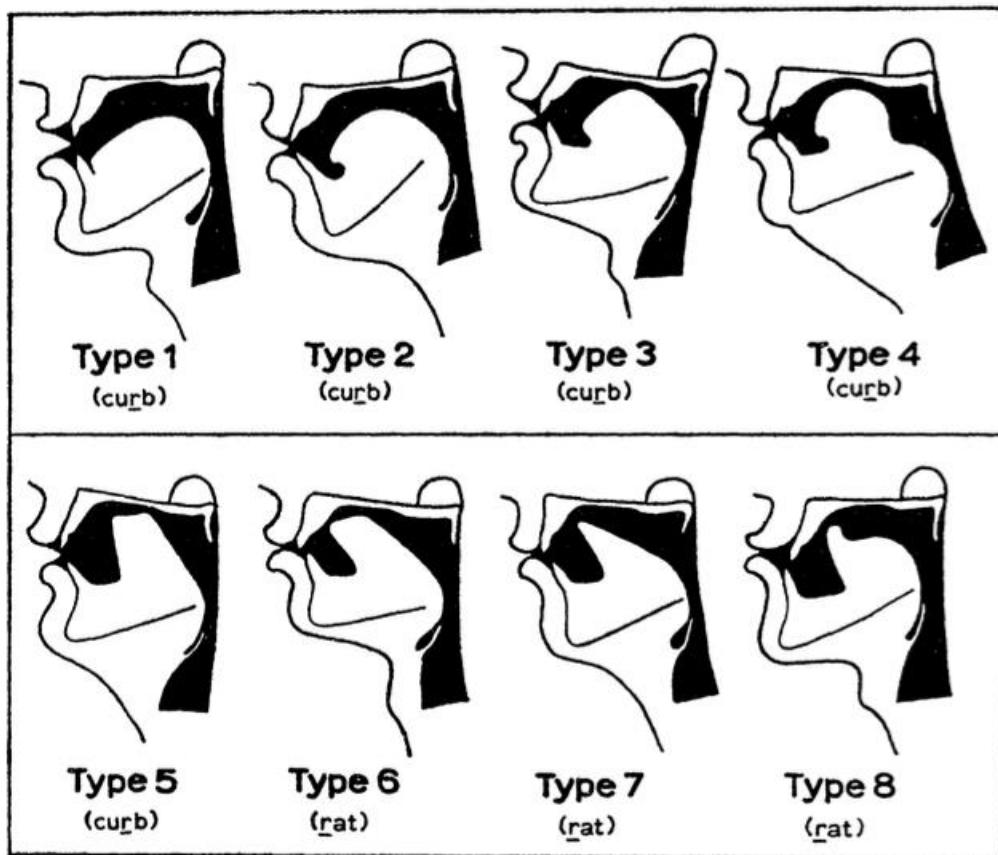


Figure 1.3 Les configurations linguales des /r/ en anglais britannique (type 1 et 8) et en anglais américain (type 2 à 7) dans les croquis correspondant aux images cinéroradiographiques de 46 locuteurs natifs (Delattre et Freeman, 1968)

Delattre et Freeman ont trouvé que les types 1 et 8 se retrouvent exclusivement dans l'anglais britannique, alors que les types 2 à 7 se retrouvent dans l'anglais américain. Ces résultats ont été confirmés par Tiede et al (2004). En général, le /r/ rétroflexe implique un mouvement de la pointe de la langue vers le palais dur. Pour le /r/ 'bunched', le milieu de la langue remonte vers le palais tandis que l'apex descend et recule vers les incisives inférieures.

#### 1.4.1 La présence de la constriction pharyngale

Il est intéressant de noter une similarité parmi les variations de production du /r/ en anglais américain : la présence d'une constriction pharyngale, que ce soit 'rétroflexe' ou 'bunched' (Delattre et Freeman, 1968 ; Hagiwara, 1995 ; Alwan et al, 1997). Cela indique qu'il y a probablement une caractéristique cohérente pour la classe des rhotiques en anglais.

Parmi les différents inventaires phonologiques, les rhotiques ont un grand nombre de configurations articulatoires, mais certaines de ces configurations semblent être plus spécifiques pour les rhotiques. La plupart des études précédentes s'intéressent aux rhotiques apicales (trills ou taps) ou à l'approximante /ɹ/ de l'anglais (cf., Delattre et Freeman, 1968 ; Narayanan et al., 1999 ; Tiede et al, 2004 ; Proctor, 2011 ; Van Lieshout et al, 2008). Les rhotiques uvulaires ont également été étudiées (cf., Delattre, 1971).

Une étude IRM a été faite par Narayanan et al. (1999) pour décrire d'un point de vue articulatoire les trois rhotiques du Tamil : deux trills (/r/ et /r̥/) et une approximante (/ɹ/). L'étude montre une similarité entre les deux trills : une constriction apicale est créée par la pointe de la langue, pendant que le corps de la langue descend graduellement dans la direction antéro-postérieure, et nous observons une concavité légère de la surface de langue. Les deux trills se distinguent par leur lieu de constriction, celle de [r] étant légèrement plus antérieure que celle de [r̥]. Pour la rhotique rétroflexe /ɻ/, une cavité creuse au milieu de la langue est créée puisque la pointe de la langue se relève et est tirée vers l'intérieur. La rhotique



rétroflexe se distingue des deux autres rhotiques par une cavité postérieure plus large et la forme de la langue plus creusée. À cause de la similarité parmi des configurations linguales des rhotiques testées dans leur étude, Narayanan et al. (1999) ont proposé la présence d'une corrélation phonétique (plutôt articulatoire) pour les rhotiques.

L'étude de Delattre (1971) a analysé les données cinéradiographiques des trills uvulaires intervocaliques en français et en allemand. La production de ces deux trills uvulaires impliquent une rétraction de la langue, suivie d'un geste vers l'arrière de la racine de la langue, avec l'élévation du corps de la langue et l'avancement de la luvette.

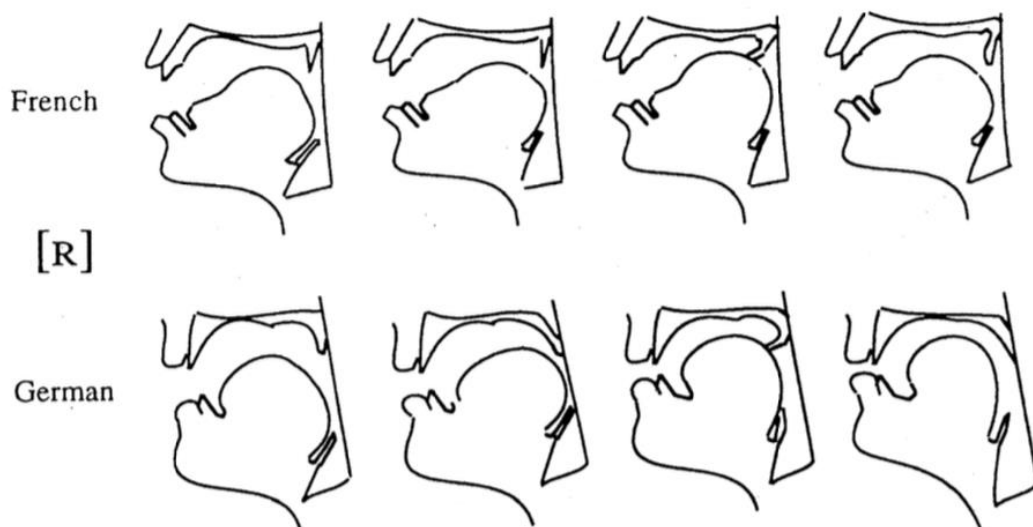


Figure 1.4 Tracés cinéradiographiques de trills uvulaires intervocaliques en allemand et en français. Le second tracé de chaque ligne montre la rétraction de la langue et le troisième tracé de chaque ligne montre le mouvement vers l'arrière de la racine de la langue suivi de l'élévation du corps de la langue et de l'avancement de la luvette, d'après Delattre (1971) [présenté dans Ladefoged et Maddieson (1996)].

La Figure 1.4 (Ladefoged et Maddieson, 1996) montre des tracés cinéradiographiques pour /R/ en français et en allemand. La constriction pharyngale est présente dans la production de toutes les rhotiques étudiées par Delattre (1971). Selon Gick et al. (2002), cette constriction pharyngale pour /r/ en anglais est la même que celle de /ə/. La différence entre /r/ et /ə/ est dans la configuration linguale de la partie orale.

Des études articulatoires plus récentes ont cherché des similarités entre la coordination gestuelle des rhotiques, qui pourrait contribuer à la classification de ce

groupe. Boyce et al (2016) ont supposé que la constriction pharyngale secondaire présente dans la rhotique de l'anglais peut également être une caractéristique commune pour toutes les rhotiques. Ils ont comparé dans une étude échographique les rhotiques de l'anglais, du persan, du malayalam, de l'espagnol et du français. Les résultats ont montré que la constriction pharyngale est présente pour les approximantes (de l'anglais et du malayalam), pour les fricatives uvulaires (du français) et pour les trills (du malayalam, de l'espagnol et du persan). Les auteurs ont également noté les résultats de recherches précédentes en linguistique clinique, montrant que les enfants ont des difficultés à coordonner le geste de la pointe de la langue et la constriction pharyngale secondaire dans l'acquisition des rhotiques (Hamilton et al., 2012 ; Klein et al., 2013). Sur la base de leurs résultats, ils ont avancé l'idée que la constriction pharyngale secondaire est aussi importante pour l'acquisition des rhotiques que l'articulation primaire dans la cavité orale. Par conséquent, les auteurs ont discuté du fait que même si le lieu d'articulation varie en fonction de la langue et du mode d'articulation, la présence de la constriction pharyngale produite par un geste de la racine de la langue est systématique. Comme leurs données articulatoires sont limitées à un seul locuteur par langue, ils notent la nécessité d'examiner davantage de données qui permettraient de confirmer l'hypothèse que la constriction pharyngale puisse être une caractéristique phonétique commune pour la classe des rhotiques.

#### 1.4.2 La coordination des gestes pour les rhotiques

L'étude de Recasens et Espinosa (2007) sur les taps et les trills alvéolaires des dialectes du catalan et l'étude de Proctor (2011) sur les liquides de l'espagnol et du russe ont également mis en avant l'importance de la racine de la langue comme composante dans la production des rhotiques. Leurs résultats ont montré que les rhotiques impliquent un geste de la pointe de la langue qui est coordonné avec un geste de la racine de la langue. Proctor (2011) a supposé que la coordination des gestes linguaux puisse expliquer les comportements phonologiques des rhotiques en russe et en espagnol. Par exemple, la vocalisation des liquides est provoquée par une

lénition du geste de la pointe de la langue, alors que la métathèse des liquides dans le proto-slave (Carlton, 1991) est décrite comme une réorganisation temporelle des gestes entre la rhotique et la voyelle. En position initiale ou en coda de la syllabe, le geste du corps de la langue vers la partie uvulaire-pharyngale est impliqué pendant toute la durée de la syllabe, mais la métathèse apparaît quand sa coordination temporelle avec le geste de la pointe de la langue est modifiée de manière séquentielle à simultanée. De plus, le svarabhakti des rhotiques (voyelle épenthétique) est dû à la coordination des gestes. Ce type de recherche suggère que la coordination temporelle des gestes des rhotiques peut rendre compte de leur comportement phonologique.

La coordination temporelle des gestes en fonction de la position dans la syllabe est aussi un point commun pour les rhotiques (et les latérales). Gick et al. (2006) ont étudié la coordination temporelle des gestes parmi des liquides dans six langues (l'anglais canadien, le français québécois, le serbo-croate, le coréen, le mandarin de Pékin et le salish de Squamish) dans trois positions différentes (en attaque de la syllabe, en position intervocalique et en coda de la syllabe) malgré le fait que les rhotiques étaient limitées à une seule position syllabique pour le mandarin et le coréen. Certaines tendances ont été identifiées dans leur étude sur la coordination temporelle des gestes. Elles sont mentionnées ci-dessous :

- 1) les liquides postvocaliques ont toujours une constriction dorsale ;
- 2) les schémas du timing et l'amplitude des gestes pour les rhotiques sont légèrement différents en position pré-vocalique par rapport à la position postvocalique ;
- 3) les gestes multiples sont produits simultanément dans la position intervocalique ou resyllabifiée ;
- 4) la coordination temporelle des gestes a tendance à suivre la hiérarchie de sonorité (Wiese 2001) qui correspond à l'antériorité, c'est-à-dire des gestes moins antérieurs, comme les gestes dorsaux pour les voyelles apparaissent plus près du noyau de la syllabe tandis que les gestes plus antérieurs comme les gestes de la pointe de la langue pour les consonnes, apparaissent plus en périphérie.

Campbell et al. (2010) ont confirmé que la coordination temporelle en anglais américain correspond aux résultats de Gick et al. (2006). Dans la position pré-vocalique, le déroulement des gestes de /r/ va de l'avant vers l'arrière en fonction du lieu de constriction (c'est à dire palatal et puis pharyngal), en revanche, dans la position postvocalique, le déroulement des gestes de /r/ commence par la constriction pharyngale suivi par la constriction palatale.

Comme nous l'avons présenté dans cette sous-section, les études précédentes montrent des similarités articulatoires pour les rhotiques : la configuration linguale (Narayanan et al., 1999), la présence de la constriction pharyngale secondaire (Delattre, 1971 ; Boyce et al., 2016), et la coordination des gestes (Campbell et al., 2010 ; Gick et al., 2006 ; Proctor, 2011). Afin de prendre en compte ces généralisations, Proctor (2011) affirme que les rhotiques sont composées d'une coordination de deux gestes : un geste de la pointe de la langue (geste coronal) et un autre du corps de la langue (geste dorsal). Il semble ainsi que cette configuration linguale soit similaire quel que soit le lieu d'articulation de la rhotique. De plus, la coordination complexe des gestes de la pointe de la langue et du corps de la langue dépend aussi de la position dans la syllabe. Le geste de la pointe de la langue est produit en premier en position initiale, alors qu'en coda, c'est le geste du corps de la langue qui est produit en premier. En position intervocalique, les deux gestes sont réalisés en même temps (Gick et al., 2006).

Les rhotiques sont un groupe de sons divers, il y a des variations dans la production d'une rhotique dans une langue donnée. Nous nous intéressons à comprendre la réalisation phonétique du suffixe rhotique en mandarin, qui est un sujet discuté dans les recherches phonologiques. Puisque Proctor a pu interpréter les comportements phonologiques des rhotiques dans les autres langues en se basant sur leurs caractéristiques articulatoires, nous voulons garder ce point de vue pour mieux comprendre les comportements phonologiques du suffixe rhotique en mandarin. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter plus en détail la rhotique en mandarin et les recherches concernées.

## Chapitre 2 : Le suffixe rhotique en mandarin

En mandarin, nous appelons ‘suffixe rhotique’ l’ajout d’une rhotique à la fin des mots. Ce phénomène est surtout connu au nord de la Chine et représente une caractéristique importante grâce à laquelle on reconnaît l’accent de cette région. Le suffixe rhotique correspond historiquement à un suffixe diminutif qui, dans son évolution, a perdu sa fonction sémantique. Dans ce chapitre, nous allons présenter le système phonologique du mandarin (section 2.1), les systèmes vocalique, consonantique et tonal, ainsi que la structure syllabique. Nous allons expliquer ensuite, dans les sections 2.2 et 2.3, l’évolution historique du suffixe rhotique et sa distribution géographique en Chine. Dans la section 2.4, nous allons présenter le comportement phonologique du suffixe rhotique en nous basant sur les analyses phonologiques précédentes. Enfin, ses caractéristiques phonétiques seront exposées dans la section 2.5, à partir des études acoustiques et articulatoires existantes à ce jour.

### 2.1 Le système phonologique du mandarin

Nous présentons ici les aspects du système phonologique du mandarin qui sont pertinents pour comprendre le comportement phonologique du suffixe rhotique. Nous adoptons dans ce qui suit l’inventaire phonémique de Duanmu (2007) et nous précisons les divergences et les similarités parmi les différents linguistes dans la description de ce suffixe.

#### 2.1.1 Le système vocalique

Le système vocalique du mandarin compte deux catégories de voyelles : monophthongues et diphtongues. D’après Duanmu (2007), il y a cinq monophthongues et quatre diphtongues en mandarin. Les voyelles sont caractérisées par les traits

[antérieur/postérieur], [arrondi/non-arrondi] et [ouvert/fermé]. Les voyelles monophthongues comprennent les cinq phonèmes du Tableau 2.1 :

Tableau 2.1 Les voyelles phonémiques du mandarin standard

	Antérieures	Postérieures
Fermées	/i/ ; /y/(arrondie)	/u/(arrondie)
Mi- fermées	/ə/	
Ouvertes	/a/	

Les quatre diphtongues (Tableau 2.2) sont composées d'une voyelle mi- fermée (ou ouverte) et une voyelle fermée, [i] ou [u].

Tableau 2.2 Les quatre diphtongues en mandarin standard.

mi- fermée	əi	əu
ouverte	ai	au

Duanmu propose que la voyelle mi- fermée /ə/ est représentée par les traits [-fermé, -ouvert] et reste non-spécifiée pour son antériorité et son arrondissement. Ces deux propriétés changent en fonction du contexte. Les allophones de /ə/ sont : [e], qui apparaît dans le cas où la voyelle suit [j] ou [ɥ] dans une syllabe ouverte ; [o], qui apparaît lorsqu'elle suit [w] dans une syllabe ouverte ; [ɤ] (postérieur et non-arrondi), dans les autres cas.

Nous observons le même comportement pour la voyelle ouverte /a/ en mandarin. Elle est spécifiée par les traits [+ouvert, -arrondi] et peut changer son antériorité selon son contexte. Ainsi, /a/ est souvent réalisée comme [ɑ] dans les syllabes ouvertes, mais en général c'est la réalisation [a] qui est la plus stable.

Les voyelles /i/, /y/ et /u/ ont comme variantes non-syllabiques les glides [j, ɥ, w]. Les glides apparaissent en attaque de syllabe, par exemple, /jan/ 'fumée', /ɥan/ 'ressentiment', /wan/ 'courbe'. À part /y/, les deux voyelles fermées /i, u/ peuvent constituer la deuxième partie d'une diphtongue (Tableau 2.2), par exemple, /lai/ 'venir' et /lau/ 'travailler'.

En plus de ces 5 voyelles, Duanmu (2007) compte aussi une voyelle rétroflexe en mandarin standard. D'après Duanmu, cette voyelle correspond au suffixe rhotique et il la transcrit par le symbole de la voyelle rhotique, /ɤ/. Elle apparaît dans deux cas :

1) Dans la rime 'er', cette voyelle rhotique apparaît toute seule comme une syllabe /ɤ/. Cette syllabe correspond à peu de mots en mandarin puisqu'elle ne peut pas avoir une attaque. Elle est parfois prononcée comme une diphtongue [aɤ]. Lee et Zee (2001), en se basant sur leur étude acoustique, affirment que cette syllabe est composée d'une séquence de sons au lieu d'une voyelle simple.

a) Mots composés de la rime 'er' : dans la syllabe /ɤ/ (ou /aɤ/, ou /əɤ/) seulement,

/ɤ/(T2)	/ɤ/(T3)	/ɤ/(T4)	
ér	ěr	èr	(pinyin)
儿 'fils'	耳 'oreille'	二 'deux'	

2) En tant que suffixe rhotique, la voyelle rhotique s'ajoute à la rime de la dernière syllabe :

b) Le suffixe rhotique

Mot sans suffixe	Mot avec suffixe	
/kan/(T1)	/kaɤ/(T1)	'fruit sec'
gān	gānr	(pinyin)
干	干儿	

Contrairement à Duanmu, nous considérons que le suffixe rhotique et la rime 'er' sont différents pour deux raisons : 1) les résultats de Zee et Lee (2001) montrent que la rime 'er' est une séquence de sons au lieu d'une seule voyelle ; 2) le système pinyin fait également une distinction entre la rime 'er' et le suffixe rhotique, 'er' représente la rime, alors que 'r' représente le suffixe rhotique. Dans cette étude, nous nous concentrons sur le suffixe rhotique, laissant de côté les quelques exemples de (1a). Comme Duanmu ne présente pas d'arguments spécifiques pour le statut syllabique du suffixe, nous n'adoptons pas sa transcription du suffixe en tant que voyelle

rhotique. Nous considérons que le suffixe rhotique n'est pas forcément une voyelle. Il peut aussi être une consonne rhotique qui remplace la coda de la syllabe à laquelle il s'attache. Nous allons le transcrire, dans ce qui suit, comme [r]. L'étude acoustique que nous avons effectuée et qui sera présentée au chapitre 5 sert justement à clarifier le statut segmental et la nature physique du suffixe rhotique.

### 2.1.2 Le système consonantique

Selon le mode d'articulation, le système consonantique du mandarin comprend des occlusives, des fricatives, des affriquées, des nasales et des liquides. Les occlusives et les affriquées comptent une série non-voisée et une série non-voisée aspirée. En fonction du lieu d'articulation, les consonnes se classent en bilabiales, dentales, post-alvéolaires (rétroflexes) et vélares. Le Tableau 2.3 présente les consonnes du mandarin.

Tableau 2.3 Les consonnes du mandarin standard (19 consonnes).

	Bilabiale	Dentale	Post-alvéolaire(Rétroflexe)	Velaire
Occlusive	p p <sup>h</sup>	t t <sup>h</sup>		k k <sup>h</sup>
Affriquée		ts ts <sup>h</sup>	tʂ tʂ <sup>h</sup>	
Nasale	m	n		(ŋ)
Fricative	f	s	ʂ ʐ	x
Liquide		l		

Toutes ces 19 consonnes sauf /ŋ/ peuvent apparaître en position d'attaque. En position de coda ne peuvent apparaître que les nasales /n/ et /ŋ/. Il existe aussi trois consonnes palatales [ç, tç, tç<sup>h</sup>] comme dans [çi] 'ouest', [tçi] 'poulet' et [tç<sup>h</sup>i] 'sept' qui sont considérées respectivement des allophones des vélares /k, k<sup>h</sup>, x/, des dentales /ts, ts<sup>h</sup>, s/ ou des rétroflexes /tʂ, tʂ<sup>h</sup>, ʂ/ (Chao, 1968 ; Cheng, 1973 ; Hsueh, 1986), avec qui elles sont en distribution complémentaire. Les trois palatales apparaissent seulement devant les glides [j, ɥ] et les voyelles antérieures [i, y].



Duanmu (2007) traite la palatale comme un cas spécial issu de la combinaison d'une consonne et un glide. Par exemple, [ts] + [j] → [tɕ], [s] + [j] → [ç]. La fricative rétroflexe /z/ est parfois transcrite comme /r/ (Fu, 1956 ; Wang, 1979 ; Duanmu, 2000).

En plus des consonnes présentées au dessus, il y a deux consonnes syllabiques : [ʐ] et [ʑ]. [ʐ] se trouve après les dentales [ts, tsh, s], [ʑ] après les rétroflexes [tʂ, tʂh, ʂ, ʑ], par exemple, [sʐ] 'soie' ; [ʂʑ] 'poème'. Le statut de [ʐ] et [ʑ] est controversé. Certains linguistes les traitent comme des voyelles qui sont des allophones du phonème /i/ (Fu, 1956 ; Wang, 1980 ; Xu, 1980) ; certains linguistes les considèrent comme des consonnes syllabiques (Chao, 1968 ; Pulleyblank, 1984 ; Ramsey, 1987 ; Wiese, 1997). Cette thèse n'entre pas dans les détails de cette question.

### 2.1.3 Le système tonal

Le mandarin utilise quatre tons lexicaux, qui vont du T1 au T4. Le premier ton (T1) est un ton haut plat, le deuxième ton (T2) est un ton montant, le troisième ton (T3) est un ton bas (ou ton légèrement descendant, puis remontant) et finalement, le quatrième ton (T4) est un ton descendant. Des exemples classiques sont présentés dans le Tableau 2.4.

Tableau 2.4 Les transcriptions du système tonal du mandarin standard.

Ton	T1	T2	T3	T4
(a)	ma1	ma2	ma3	ma4
(b)	ma1	ma1	ma1	ma1
(c)	ma55	ma35	ma214	ma51
(d)	mā	má	mǎ	mà
(e)	mha	mar	maa	mah
Traduction	'maman'	'lin'	'cheval'	'insulter'
Caractère chinois	妈	麻	马	骂

Les tons en mandarins sont transcrits de manières variables. Les transcriptions utilisant les numéros de 1 à 4 dans 2.4(a) sont motivées par une facilité typographique. Le système 2.4(b), proposé par Chao (1930), a été ultérieurement adopté par l'API (Alphabet phonétique international). Le système 2.4(c) est une interprétation numérique de 2.4(b), où 5 représente la hauteur mélodique la plus haute, alors que 1 représente la plus basse. Le système présenté dans 2.4(d) est celui utilisé dans la transcription 'pinyin'. Enfin, les transcriptions dans 2.4(e) correspondent au système de la Romanisation Nationale (Chao, 1968). Dans cette thèse, nous utilisons les 4 chiffres de 2.4(a), pour la facilité typographique.

Il existe également un ton neutre en mandarin. Le statut et les caractéristiques du ton neutre sont beaucoup plus controversés que ceux des autres quatre tons. Ce que la plupart des linguistes reconnaissent et acceptent, c'est que le ton neutre est court et faible et qu'il peut avoir plusieurs valeurs de hauteur mélodique en fonction du contexte.

#### 2.1.4 La structure syllabique du mandarin

La structure syllabique maximale du mandarin est du type CGVX. L'attaque peut contenir au maximum une consonne (C) et un glide (G). L'attaque est optionnelle en mandarin. La rime (VX) peut être composée d'une monophthongue, d'une diphtongue, ou d'une monophthongue avec une coda nasale. Le suffixe rhotique peut apparaître en coda. Le suffixe lui-même peut remplacer la coda de la rime à laquelle il s'attache. Enfin, la partie VX peut être aussi occupée par une consonne syllabique dans quelques cas particuliers, comme dans l'exemple de [sz] 'soie'.

La structure syllabique du mandarin est controversée par rapport aux glides. Ainsi, G peut être considéré comme faisant partie de l'attaque ou du noyau de la syllabe. Dans une séquence VG, G est parfois analysé comme le deuxième élément d'une diphtongue, parfois comme une coda. L'analyse la plus contradictoire concerne la partie CG. Duanmu (2007) a proposé par exemple deux types de syllabes en mandarin : (C)VX et (C)V. Dans son analyse, l'attaque C est optionnelle. L'attaque peut être absente, ou bien peut contenir C, G, ou CG. Cependant, Duanmu considère que CG est un seul son en se basant sur des raisons phonétiques. La rime VX ou V peut

contenir des monophthongues, des diphtongues, une voyelle + une coda nasale (V+N), ou une consonne syllabique.

## 2.2 Évolution historique du suffixe rhotique

Le suffixe rhotique en mandarin est noté par le caractère ‘ㄨ’. D’après Zhu (2005), la forme écrite de ce suffixe est attestée pour la première fois pendant la dynastie des HAN Orientaux (25-220). L’étude des anciens textes a révélé qu’à l’époque, il n’était pas tout à fait traité comme un suffixe diminutif. Il était utilisé soit comme un suffixe opaque qui a une fonction grammaticale mais pas au niveau sémantique, soit comme un suffixe pour désigner une personne.

Pendant la période des Six dynasties suivantes (220-589), l’emploi de ce suffixe se répand davantage, sans que les fonctions du suffixe changent beaucoup (Zhu 2005). Basé sur son emploi pendant les Six Dynasties, sa fonction de substantivation est bien confirmée (Hsu, 1972). L’utilisation du suffixe s’est développée davantage durant la dynastie des TANG (618-907) et celle des Song-Jin (1115-1279). Son utilisation commence alors à se rapprocher de celle du mandarin moderne. Le suffixe peut s’ajouter aux substantifs inanimés, aux noms abstraits ainsi qu’à des quantificateurs.

Pendant la dynastie des Yuan (1271-1368) l’emploi du suffixe s’approche davantage de sa manifestation moderne. Il commence à s’ajouter aux adverbes de temps et aussi aux verbes d’état (Hsu, 1972 ; Li, 1994).

L’utilisation du suffixe rhotique reste stable pendant les dynasties des Ming (1368-1644) et des Qing (1644-1911). Durant la Dynastie des Qing, nous le retrouvons combiné avec des adverbes de temps et des adverbes de lieu. D’après l’étude de Li (1994), sa réalisation phonétique en tant que rhotique, telle que nous la connaissons aujourd’hui, apparaît pour la première fois durant la Dynastie des Ming.

Finalement, en mandarin moderne (à partir de 1911), Chao (1968) considère que le suffixe rhotique reflète trois origines possibles :

- a) l’adverbe de lieu, ‘里’ [li] → 儿 [r] ;
- b) l’adverbe de temps, ‘日’ [zɿ] → 儿 [r] ;
- c) ‘儿’ [ər] → 儿 [r], qu’on pourrait traduire en français par ‘petitesse’, en tant que diminutif.

Si, étymologiquement, le suffixe rhotique a eu une fonction sémantique, comme celle d’un suffixe diminutif pour les substantifs, en mandarin moderne il a perdu entièrement cette fonction. Son usage s’est répandu dans le dialecte de Pékin aux autres catégories linguistiques, comme les adverbes de lieu, de temps, les verbes ou bien les classificateurs. Il est aujourd’hui considéré comme un phénomène purement phonologique (Li et Thompson, 1989). Cette évolution s’inscrit dans les phénomènes bien connus et bien étudiés de désémantisation (« *semantic bleaching* »), attestés dans l’évolution des langues romanes. En italien, par exemple, le suffixe diminutif *-ino* est aussi utilisé en dehors de cette fonction (Dressler et Barbaresi, 1994 ; Dressler et al., 2012). Un exemple lexicalisé en français serait le mot *fourchette* par rapport à *fourche*. En italien et en mandarin, par contre, les suffixes, tout en étant désémantisés, restent productifs.

### 2.3 La distribution géographique du suffixe rhotique

Aujourd’hui, le suffixe rhotique relève d’une particularité du style plutôt que de la grammaire (Duanmu 2007). Il est souvent considéré comme une caractéristique du mandarin parlé dans le nord de la Chine (Li, 1994 ; Li, 1996), surtout dans le dialecte de Pékin selon Duanmu (2007), Chao (1968), Li et Thompson (1989). Dans la Figure 2.1, nous présentons une carte illustrant la distribution des langues parlées en Chine. La partie jaune représente la distribution du mandarin en Chine. Le mandarin se divise en trois grandes variétés qui sont présentées par les trois chiffres sur la carte dans la partie jaune : 1 - le mandarin du nord ; 2 - le mandarin de l’est ; 3 - le mandarin du sud-ouest. Comme nous l’avons dit, le suffixe rhotique est une caractéristique du mandarin du nord. Il est présent dans la plupart des régions du nord de la Chine, y

compris les provinces de Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Hebei, Shanxi, Shandong, Shaanxi, Ningxia, Gansu, les villes Tianjin et surtout Pékin.



Figure 2.1 La carte des langues parlées en Chine (Leclerc, 2018).

Le suffixe rhotique a fait l'objet de plusieurs études concernant la phonétique, la phonologie, la morphologie, la sociolinguistique et la linguistique diachronique. Notre thèse a comme objectif d'apporter une contribution à l'explication du statut phonologique et de la réalisation phonétique de ce suffixe. Dans la section suivante, nous allons nous intéresser aux principales analyses phonologiques proposées pour le suffixe rhotique. L'ajout du suffixe entraîne des modifications segmentales différentes sur la syllabe qui le précède. Pour Duanmu, qui considère que le suffixe rhotique est une voyelle, l'ajout du suffixe implique une compression de deux syllabes dans une seule ( $[a]+[ə] \rightarrow [ar]$ ). Cette compression a comme conséquence des changements sur la rime qui précède le suffixe rhotique. Ces changements peuvent inclure la chute d'une voyelle, la chute d'une nasale, ou la nasalisation d'une voyelle.

## 2.4 Les analyses phonologiques du suffixe rhotique

Les principales analyses phonologiques sur le comportement des rimes en présence du suffixe rhotique sont celles de Chao (1968), Cheng (1973), Pulleyblank (1984), Lin (1989 ; 2007), Duanmu (1990 ; 2007), Wang (1993), Ma (1997), Zhang (2000), Tian (2009). À part l'étude de Chao (1968), qui utilise une approche structuraliste pour analyser le suffixe rhotique, les autres études proposent des analyses génératives, basées sur des règles ou des combinaisons de règles et contraintes (Cheng, 1973 ; Duanmu, 1990, 2007 ; Lin, 1989, 2007 ; Wang, 1993). Des analyses dans le cadre de la théorie de l'optimalité (OT) sont proposées par Ma (1997), Zhang (2000) et Tian (2009). Dans cette section, nous allons présenter ces analyses, pour déterminer la représentation phonologique du suffixe rhotique.

Nous commençons par la comparaison des transcriptions proposées pour le suffixe par différents linguistes. Dans le Tableau 2.5 nous avons comparé les transcriptions des premières études citées, celles de Chao (1968) et Wang et He (1985) (une étude acoustique).

Tableau 2.5 Les transcriptions des rimes avec et sans suffixe.

Chao (1968)		Wang et He (1985)	
Sans suffixe	Avec suffixe	Sans suffixe	Avec suffixe
ɿ, ʅ, ei, əŋ	ər	ɿ, ʅ, ei, əŋ	ər
a, ai, an	ar	a, ai, an	ar
o	or	o	or
u	ur	u	ur
ɤ	ɤr	ɤ	ɤr
au	aur	au	aur
əu	<b>əur</b>	əu	<b>our</b>
əŋ	ǎr	əŋ	ǎr
aŋ	<b>ǎr</b>	aŋ	<b>ǎr</b>
uŋ	ũr	uŋ	ũr
e	ɛr	e	ɛr
i, in	iər	i, in	iər
y	yər	y	yər

Nous remarquons déjà quelques différences dans les transcriptions entre les deux études (indiquées en caractères gras dans le Tableau 2.5). Nous verrons dans ce qui suit que des propositions très différentes ont été faites concernant la représentation du suffixe rhotique. Pour certains auteurs, le suffixe rhotique est un segment, pour d'autres, un trait. Lorsqu'il est considéré en tant que segment, certains le considèrent comme une consonne rhotique, d'autres comme une voyelle rhotique. Nous allons exposer dans le reste de cette section les différentes représentations proposées, les arguments présentés et les conséquences pour les analyses phonologiques proposées.

Lin (1989) transcrit le suffixe rhotique par [r]. La rhotique se combine avec la syllabe à laquelle elle s'attache. Cette opération inclut quatre étapes :

- (1) [r] est ajouté à une syllabe ouverte, ou remplace la coda d'une syllabe fermée ;
- (2) Si la syllabe contient une diphtongue [+postérieur] – [au] ou [əu] – ou une nasale vélaire, [r] est ajouté à la rime ;
- (3) Si la syllabe contient une diphtongue [-postérieur] – [ai] ou [əi] – ou une nasale alvéolaire, [i] et [n] sont éliminés avant d'ajouter [r] ;
- (4) Un schwa [ə] est ajouté entre une voyelle fermée antérieure et [r].

Les résultats de cette séquence de processus sont résumés dans le Tableau 2.6.

Tableau 2.6 L'analyse de Lin (1989)

Sans suffixe	Remplacer	Rattacher	Enlever	Ajouter [ə]	Avec suffixe
o	or				or
u	ur				ur
ɤ	ɤr				ɤr
e	er				er
a	ar				ar
au	a(u)r	a <sup>u</sup> r			a <sup>u</sup> r
əu	ə(u)r	ə <sup>u</sup> r			ə <sup>u</sup> r
əŋ	ə(ŋ)r	ə <sup>n</sup> r			ǝr
aŋ	a(ŋ)r	a <sup>n</sup> r			ãr
əi	ə(i)r		ər		ər
ən	ə(n)r		ər		ər
an	a(n)r		ar		ar
ai	a(i)r		ar		ar
i	ir			iər	iər
y	yr			yər	yər
in	i(n)r		ir	iər	iər

Trois aspects dans l'analyse de Lin (1989) ne sont pas, à notre avis, tout à fait convaincants. Premièrement, Lin n'explique pas pourquoi il traite la deuxième partie de la diphtongue comme coda, alors que la plupart des analyses phonologiques du mandarin considèrent que seulement une consonne peut occuper la position de coda. Deuxièmement, l'élimination de /i/ et /n/ devant le suffixe rhotique n'est pas justifiée. Le troisième aspect problématique concerne l'ajout d'un schwa entre la voyelle fermée antérieure et le suffixe. Lin cite Chao (1968), qui considère qu'il y a un conflit



des traits articulatoires entre les voyelles /i, y/ et /r/. Un schwa est ainsi ajouté pour les séparer. Nous sommes d'accord sur les traits contradictoires, mais cet argument n'est pas suffisant, car le schwa n'est pas ajouté dans le cas de la diphtongue /ai/. Ainsi, l'ajout du schwa n'est pas clair dans son analyse.

L'analyse de Duanmu (1990) souligne l'importance de la compatibilité des traits. Trois règles sont proposées pour rendre compte des comportements du suffixe rhotique :

- (1) Remplacer la coda de la syllabe par /r/.
- (2) Rattacher tous les traits compatibles.
- (3) Éliminer les traits qui ne sont pas compatibles et ne peuvent pas se rattacher

Tableau 2.7 L'analyse de Duanmu (1990)

Forme sans suffixe	Remplacer	Rattacher	Forme avec suffixe
a	ar	--	ar
i	ir	--	ir
au	a(u)r	ar <sup>w</sup>	ar <sup>w</sup>
aŋ	a(ŋ)r	ãr	ãr
an	a(n)r	--	ar
ai	a(i)r	--	ar

Duanmu (1990) affirme que la voyelle /i/ dans les diphtongues est éliminée car elle est en position de coda et qu'elle n'est pas [rétroflexe], alors que /r/ est [rétroflexe]. Par contre, la monophthongue /i/ peut rester ensemble avec le suffixe rhotique, puisqu'elle est en position de noyau. Cependant, son analyse est dépendante de la condition que /i/ de la diphtongue soit traité comme coda dans une syllabe. Cette dernière condition est un problème controversé en mandarin. Ainsi, son analyse reste aussi discutable.

La deuxième règle de Duanmu soulève également une question sur le rattachement du trait [+nasal]. Alors que les deux codas nasales ont le trait [+nasal], uniquement le

trait [+nasal] de /ŋ/ uniquement se rattache à la voyelle précédente, alors que celui de /n/ disparaît complètement.

Enfin, nous retrouvons le même problème que dans l'analyse de Lin (1989) : pourquoi les voyelles /i/ et /u/ dans les diphtongues sont-elles toujours traitées comme des codas ? Contrairement à Lin (1989), Duanmu (1990) ne propose pas l'ajout du schwa entre /i/ et /r/.

Dans l'analyse de Wang (1993), le suffixe rhotique est considéré comme un trait [postérieur], dépendant du trait [Coronal]. Le trait est ajouté à la rime de la dernière syllabe. Les rimes sont divisées en 3 types : 1) les rimes qui n'impliquent pas le trait [Coronal] ; 2) les rimes qui impliquent le trait [Coronal] avec des voyelles non-fermées ; 3) les rimes qui impliquent le trait [Coronal] avec des voyelles fermées. Trois types de changements phonologiques sont proposés selon les trois types de rimes.

a) Pour les rimes qui n'impliquent pas le trait [Coronal], le trait [postérieur] du suffixe s'ajoute directement à la rime. Le Tableau 2.8 contient les huit rimes qui correspondent à cette catégorie. Le trait [postérieur] est indiqué par le point en dessous des symboles de la colonne de droite. L'ajout du trait [postérieur] entraîne ainsi la rhotacisation de la rime entière.

Tableau 2.8 L'analyse de Wang (1993) (a)

Forme sans suffixe	Forme avec suffixe
a	ḁ
ɤ	ḡ
o	ḟ
u	ḡ
au	ḁḡ
əu	ḁḡ
aŋ	ḁŋ
əŋ	ḁŋ

b) Pour les rimes qui contiennent le trait [Coronal] et les voyelles non-fermées, le trait [Coronal] du suffixe va remplacer celui de la rime. Par conséquent, la coda

devient /r/ et les voyelles dans le noyau de la rime deviennent postérieures, comme illustré dans le Tableau 2.9. Cinq rimes correspondent à ce type de changement. La voyelle /e/ est traitée comme une voyelle antérieure par Wang, caractérisée par le trait [Coronal].

Tableau 2.9 L'analyse de Wang (1993) (b)

Forme sans suffixe	Forme avec suffixe
e	ə
əi	ər
ən	ər
ai	ər
an	ər

- c) Pour les rimes qui contiennent le trait [Coronal] et des voyelles fermées, le trait [Coronal] du suffixe rhotique va encore remplacer celui de la rime. De plus, la hauteur du noyau devient moyenne. Les quatre rimes concernées sont dans le Tableau 2.10.

Tableau 2.10 L'analyse de Wang (1993) (c)

Formes sans suffixe	Formes avec suffixe
z	ər
ʒ	ər
i	iər
y	yər

Par rapport aux deux analyses précédentes, la différence la plus importante dans l'analyse de Wang est le fait qu'elle considère le suffixe rhotique comme un trait au lieu d'un segment. Cette analyse présente l'avantage d'éliminer une étape : le remplacement de la coda par le suffixe n'est plus nécessaire avant le rattachement

des traits qui sont compatibles. Dans l'analyse de Wang, ce sont uniquement les traits qui ne sont pas compatibles avec le suffixe rhotique qui sont remplacés.

Cependant, d'autres aspects de l'analyse de Wang sont moins clairs. Il s'agit premièrement de la distinction entre /a/ et /an/ dans leurs formes avec suffixe (Tableau 2.8 et 2.9, respectivement). Cette distinction n'existe pas selon d'autres études où les rimes /a/ et /an/ deviennent identiques avec l'ajout du suffixe rhotique. Est-ce qu'il existe une distinction dans la production de ces deux formes ?

Deuxièmement, Wang ne propose pas d'explication pour la rétention de la coda nasale vélaire /ŋ/ et l'élimination de la coda nasale alvéolaire /n/. Dans son analyse, le trait Coronal de /n/ est remplacé par celui du suffixe /r/, mais l'élimination du trait [nasal] n'est pas expliquée. De plus, Wang a affirmé que le mandarin de Pékin n'autorise pas de nasale rétroflexe dans le système phonologique, mais elle transcrit, dans la forme des rimes qui finissent par /ŋ/, une nasale rhotacisée en présence du suffixe rhotique : /aŋ+/r/ → /aŋ/.

Enfin, le dernier aspect concerne l'ajout du schwa comme on l'a vu aussi dans les autres études. Wang propose une contrainte type OCP, \*[+hi] -[+hi] entre /i/ et /r/. Ainsi, /i/ en présence du suffixe rhotique devient un glide (/iər/ → [jər]), mais l'ajout du schwa n'est pas expliqué.

Dans l'analyse de Duanmu (2007), le suffixe rhotique est spécifié comme un segment [ə̣] qui est spécifié par [rétroflexe] dépendant du trait [Coronal]. Duanmu assume que /n/ et les voyelles antérieures /i/ et /y/ sont spécifiés comme [Coronal] et [-rétroflexe] et sont ainsi incompatibles avec le suffixe rhotique. Par contre, /ŋ/ et les autres voyelles ne sont pas spécifiés comme [Coronal], donc, ils sont compatibles avec le suffixe. L'analyse consiste en une règle et deux contraintes phonologiques :

- (1) Règle : [ə̣] est ajouté à la coda. Si le son en coda n'est pas compatible avec le suffixe, il est remplacé. Sinon [ə̣] est ajouté directement à la rime.
- (2) Contrainte-Harmonie de la rime : les sons de la rime ne peuvent pas différer par rapport au trait [rétroflexe]
- (3) Contrainte – Moyenne (Mid) : l'aperture du noyau est par défaut moyenne.

Les représentations de surface dérivées par l'analyse de Duanmu sont rassemblées dans le Tableau 2.11.

Tableau 2.11 L'analyse de Duanmu (2007)

Formes sans suffixe	Règle : ajout de [ə]	Contrainte Harmonie	Contrainte Mid	Forme de surface	Exemple
z	zə̃	(z)ə̃	(z)ə̃ə̃	(z)ə̃ə̃	tsz/tsə̃ə̃-'caractère'
ʒ	ʒə̃	(ʒ)ə̃	(ʒ)ə̃ə̃	(ʒ)ə̃ə̃	tʂz/tʂə̃ə̃-'branche'
i	iə̃	(j)ə̃	(j)ə̃ə̃	(j)ə̃ə̃	tʃi/tʃə̃ə̃-'poulet'
in	iə̃	(j)ə̃	(j)ə̃ə̃	(j)ə̃ə̃	tʃin/tʃə̃ə̃-'aujourd'hui'
ɣ	ə̃	(ɣ)ə̃	(ɣ)ə̃ə̃	(ɣ)ə̃ə̃	ɣ/ɣə̃ə̃-'poisson'
əi	ə̃ə̃			ə̃ə̃	pəi/pə̃ə̃-'stèle'
ən	ə̃ə̃			ə̃ə̃	kən/kə̃ə̃-'racine'
u	uə̃			uə̃	xu/xuə̃-'lac'
o	oə̃			oə̃	wo/woə̃-'nid'
e	eə̃			eə̃	ɥe/ɥeə̃-'lune'
ɤ	ɤə̃			ɤə̃	kɤ/kɤə̃-'chanson'
a	aə̃			aə̃	pə/pə̃ə̃-'poignée'
ai	aə̃			aə̃	p <sup>h</sup> a/p <sup>h</sup> ə̃ə̃-'plaque'
an	aə̃			aə̃	p <sup>h</sup> an/p <sup>h</sup> ə̃ə̃-'assiette'
au	au <sup>r</sup>			au <sup>r</sup>	tau/tau <sup>r</sup> 'couteau'
əu	əu <sup>r</sup>			əu <sup>r</sup>	kəu/kəu <sup>r</sup> 'rigole'
əŋ	əŋ <sup>r</sup>			əŋ <sup>r</sup>	təŋ/təŋ <sup>r</sup> 'lampe'
aŋ	aŋ <sup>r</sup>			aŋ <sup>r</sup>	kaŋ/kaŋ <sup>r</sup> 'jarre'
uŋ	uŋ <sup>r</sup>			uŋ <sup>r</sup>	k <sup>h</sup> uŋ/k <sup>h</sup> uŋ <sup>r</sup> 'vide'

L'ajout du schwa entre la voyelle fermée et le suffixe rhotique n'est pas encore résolu. Dans la rétention de /ŋ/ et l'élimination de /n/, le trait [nasal] n'a pas été mentionné.

Lin (2007), comme Lin (1989), continue à traiter le suffixe rhotique comme un segment. L'analyse des rimes simples est résumée dans le Tableau 2.12. Lorsque le symbole [ɹ] apparaît dans la forme de la syllabe avec le suffixe rhotique, il indique une syllabe entièrement rhotacisée, composée de deux segments, comme dans [aɹ]. Quand le symbole [ɹ] apparaît en exposant il indique la rhotacisation du phonème auquel il s'attache, par exemple [u<sup>ɹ</sup>] est une voyelle rhotacisée.

L'analyse de Lin (2007) affirme que le suffixe rhotique est compatible avec les voyelles ouvertes et mi-fermées, mais pas avec les voyelles fermées. Elle a précisé que la plupart des locuteurs font une rétraction de la langue dans la production du suffixe rhotique, alors que la production des voyelles fermées/consonnes syllabiques demande un avancement et/ou une élévation de la partie antérieure de la langue. Elle a présenté les changements segmentaux dus à l'ajout du suffixe en deux groupes : les rimes simples et les rimes complexes. Pour le groupe composé de rimes simples, a) [ɹ] est ajouté directement à la rime qui contient la voyelle ouverte (cf., /a/ dans le Tableau 2.12), la forme de /a/ avec suffixe devient /aɹ/ ; b) pour les rimes contenant des voyelles mi- fermées et des voyelles fermées postérieures, celles-ci deviennent des voyelles rhotacisées (cf., /ɤ, o, u/ devient /ɤ<sup>ɹ</sup>, o<sup>ɹ</sup>, u<sup>ɹ</sup>/ dans le Tableau 2.12), le symbole /<sup>ɹ</sup>/ n'est pas un segment, ainsi ce type de rime contient une seule voyelle rhotacisée ; c) pour les rimes contenant des voyelles fermées, celles-ci perdent leur syllabité et deviennent partie de l'attaque ; un schwa est ajouté pour remplir le noyau vide. Ici, deux questions ne sont pas claires : a) pourquoi le suffixe rhotique est-il ajouté comme un segment dans la rime contenant une voyelle ouverte, mais pas dans la rime contenant une voyelle mi- fermée ? b) Il n'y a pas d'explication sur le positionnement de /i/ dans la structure syllabique en présence du suffixe rhotique. Est-ce que le changement de /i/ en [j] en attaque de syllabe est dû seulement à l'incompatibilité entre /i/ et /r/, ou bien y a-t-il d'autres critères impliqués ?

Tableau 2.12 L'analyse de Lin (2007) pour les rimes simples

Formes sans suffixe	Formes avec suffixe	exemple
a	aɹ	xwa1/xwaɹ1 'fleur'
ɤ	ɤ <sup>ɹ</sup>	kɤ1/kɤ <sup>ɹ</sup> 1 'chanson'
o	o <sup>ɹ</sup>	kwo1/kwo <sup>ɹ</sup> 1 'marmite'

u	u'	ku3/ku'3 'tambour'
i	jəɹ	tɕi1/tɕjəɹ1 'poulet'
ɣ	ɣəɹ	ɣɣ2/ɣəɹ2 'poisson'
ɹ	əɹ	tsɹ4/tsəɹ4 'carctère'

Le groupe des rimes complexes contient les diphtongues et les rimes avec une coda nasale (Tableau 2.13). Pour les diphtongues finies par des voyelles fermées antérieures, la partie de la voyelle fermée est éliminée et remplacée par [ɹ] (cf., /ai/ dans le Tableau 2.13). Pour les diphtongues qui finissent par des voyelles fermées postérieures, la rime devient rhotacisée (cf., /au/ dans le Tableau 2.13). Enfin, les deux codas nasales se comportent différemment, /n/ est éliminé à cause du trait [-postérieur], tandis que /ŋ/ reste grâce au trait [+postérieur], tout comme les voyelles postérieures.

Tableau 2.13 L'analyse de Lin (2007) pour les rimes complexes

Formes sans suffixe	Formes avec suffixe	exemple
ai	aɹ	tai4/taɹ4 'sac'
ei	əɹ	xwei4/xwəɹ4 'moment'
au	au'	p <sup>h</sup> jau4/p <sup>h</sup> jau'4 'ticket'
ou	ou'	t <sup>h</sup> ou2/t <sup>h</sup> ou'2 'tête'
an	aɹ	wan2/waɹ2 'jouer'
ən	əɹ	kən1/kəɹ1 'racine'
in	jəɹ	tɕin1/tɕjəɹ1 'aujourd'hui'
yn	ɣəɹ	tɕyn2/tɕɣəɹ2 'robe'
aŋ	ãĩ	jaŋ4/jãĩ4 'forme'
əŋ	ẽĩ	mjəŋ2/mjẽĩ2 'demain'
uŋ	ũ'	khuŋ4/khũ'4 'disponible'

Comme les analyses précédentes, l'analyse de Lin (2007) n'éclaircit toujours pas la question de l'ajout du schwa pour l'incompatibilité entre /i/ et /ɹ/. De plus, elle introduit le symbole de la rhotique en exposant dans les formes des voyelles mi-

fermées et fermées postérieures en présence du suffixe, mais pas pour les voyelles ouvertes. Cette différence n'est pas expliquée dans son analyse. Enfin, pour les deux codas nasales, l'élimination du trait [+nasal] de /n/ mais pas celui de /ŋ/ n'est toujours pas expliquée. Elle cite pourtant Zhang (2000) pour la différence entre les degrés de nasalisation des deux nasales en mandarin, ce qui explique l'effet différent de la rhotique sur les codas nasales. Nous présenterons plus loin l'analyse de Zhang (2000).

Dans l'analyse de Ma (1997), /ər/ représente le suffixe rhotique. D'après Ma, le choix de /ər/ en tant que forme sous-jacente évite le problème de l'ajout d'un schwa dans certains cas. Son analyse, dans le cadre de la théorie de l'optimalité, est basée sur les 9 contraintes suivantes.

*(1) NUCLEUS/V CONSTRAINT (NUCL/V)*

Dans une compétition entre deux voyelles pour une seule place dans le noyau, c'est la voyelle la plus sonore qui gagne. La hiérarchie de sonorité est : a > o > e > ə > [+high].

*(2) MINIMAL WORD CONSTRAINT (MIN-WD)*

Le résultat de la forme diminutive est un mot minimal. Un mot minimal est composé d'une seule syllabe, qui contient 3 'slots', un pour l'attaque, deux pour la rime.

*(3) ALIGN-RIGHT (Suffix, R, PrWd, R)*

La frontière droite du suffixe coïncide avec la frontière droite de chaque mot prosodique.

*(4) IDENT(IO/backV/): Every input back vowel has an identical output correspondent.*

Chaque voyelle postérieure en input a une correspondante identique en output.

*(5) SPREAD [labial]: [labial] must spread to a nearby consonant: front vowel to onset; back vowel to coda.*



Le trait [labial] se propage à une consonne proche : celui d'une voyelle antérieure se propage à l'attaque ; celui d'une voyelle postérieure à la coda.

*(6) CORR. (IO/high, front V/): Every input high front vowel has an output correspondent.*

Chaque voyelle fermée antérieure en input a une correspondante en output.

*(7) CORR. (IO/ŋ/): Every input /ŋ/ has an output correspondent.*

Chaque /ŋ/ en input a un correspondant en output.

*(8) MAX – IO: Every segment of the input has a correspondent in the output.*

Chaque segment en input a un correspondant en output.

*(9) MATCH - OI: Every output correspondent of an input segment contains all specifications of the input. (Output correspondents refer to both segments and features.)*

Chaque correspondant en output pour un segment en input contient toutes les spécifications du segment en input (évalué pour les segments et pour les traits).

La hiérarchie des contraintes dans son analyse est la suivante : ALIGN-R, MIN-WD >> CORR. (IO/high, front V/), CORR. (IO/ŋ/); IDENT (IO/back V/) >> NUCL/V, SPREAD [labial] >> MATCH-OI >> MAX-IO

Par rapport à la représentation, cette analyse adopte le point de vue de Duanmu (1990), selon qui la deuxième voyelle dans la diphtongue est considérée comme un glide. (cf. [taw] 'couteau' → [tar<sup>w</sup>]). Cette analyse ne marche plus lorsque la voyelle /u/ n'est pas considérée comme un glide dans la diphtongue. Tout comme les autres analyses qui se basent sur des règles, celle-ci soulève les mêmes problèmes. Elle n'explique toujours pas pourquoi la nasale vélaire /ŋ/ est soumise à des contraintes, mais pas la nasale /n/.

Zhang (2000) se concentre sur l’interaction entre le suffixe rhotique et les codas nasales dans la rime, pour évaluer deux hypothèses : une contrainte Max [F] ou une contrainte IDENT [F] choisit le candidat optimal. Son étude s’inscrit dans une approche de phonologie de laboratoire. L’analyse qu’il propose s’appuie sur les résultats d’une étude articulatoire aérodynamique, que nous présenterons plus en détail dans la section suivante. L’analyse phonologique se base sur les données expérimentales qui montrent que la nasalité dans la syllabe fermée par une nasale vélaire est plus forte que celle dans la syllabe fermée par une nasale alvéolaire. Par conséquent, deux contraintes sur la nasalité sont proposées :

- a.  $MAX [+nas]_{\eta}$  : If /ŋ/ is the input, then [+nasal] must be in the output.  
Si /ŋ/ est l’input, alors [+nasal] doit être présent en output.
- b.  $MAX [+nas]_n$  : If /n/ is the input, then [+nasal] must be in the output.  
Si /n/ est l’input, alors [+nasal] doit être présent en output.

La hiérarchie relative de ces deux contraintes est essentielle pour l’analyse de Zhang. Si  $MAX [+nas]_{\eta}$  domine  $MAX [+nas]_n$  cela prédit l’asymétrie observée dans le comportement phonologique des deux codas nasales en présence du suffixe. Ceci est illustré dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 2.14 L’analyse de Zhang (2000)

Input: $c\tilde{v}n+\downarrow$	*CompCoda	RealAff	Temp	$MAX[+nas]_{\eta}$	*V <sub>nas</sub>	$MAX[+nas]_n$
$\rightarrow c\tilde{v}\downarrow$						*
$c\tilde{v}n\downarrow$	* !					
$c\tilde{v}n$		* !				
$c\tilde{v}n.\downarrow$			* !			
$c\tilde{v}\downarrow$					* !	
Input : $c\tilde{v}\eta+\downarrow$						
$\rightarrow c\tilde{v}\downarrow$					*	
$c\tilde{v}\eta\downarrow$	* !					
$c\tilde{v}\eta$		* !				
$c\tilde{v}\eta.\downarrow$			* !			

CVɿ				* !		
-----	--	--	--	-----	--	--

Les autres contraintes impliquées dans l'analyse sont :

*REALISE AFFIX : Affixes must be realised.*

Les affixes doivent être réalisés.

*\*COMPLEX CODA : No complex coda is allowed.*

Aucune coda complexe n'est autorisée.

*\*V<sub>nas</sub> : No nasalised vowel is allowed in non-nasal environments.*

Aucune voyelle nasalisée n'est autorisée dans un contexte non-nasal.

*TEMPLATE : The suffixed form must be one syllable.*

La forme avec suffixe doit être une seule syllabe.

L'analyse tient compte de la différence graduelle de nasalité entre les deux codas nasales. Cela explique bien l'élimination de /n/ et la rétention de /ŋ/. La hiérarchie MAX [+nas]<sub>ŋ</sub> >> \*V<sub>nas</sub> >> MAX [+nas]<sub>n</sub> rend compte des deux formes différentes pour les deux codas nasales. Mais les modifications segmentales dues à l'ajout du suffixe rhotique n'ont pas été traitées dans son analyse. L'étude de Zhang est la plus explicative, car le classement des deux contraintes est justifié par les différences aérodynamiques observées. Zhang compare en plus les descriptions de données provenant de 19 dialectes chinois avec deux codas nasales. Sur la base de cette comparaison il conclut que l'hypothèse Max [F] est celle qui rend compte des formes attestées, sans générer des formes non-attestées.

Tian (2009) ne propose pas de forme sous-jacente du suffixe rhotique et utilise à la place l'abréviation 'DIM'. Neuf contraintes sont utilisées dans son analyse, présentées ci-dessous :

a) *\*V NASAL : Vowels can not be nasal.*

Les voyelles ne peuvent pas être nasales.

b) *\*COMPLEX CODA : No consonant clusters are allowed in coda position.*

Aucun cluster consonantique n'est autorisé en position de coda.

c) *\*V[+high, -back]r : No [+high, -back] vowel before [r].*

Aucune voyelle [+fermé, -postérieur] devant [r]

d) *\*STRUC-σ : Do not have syllables.*

Il n'y a pas de syllabes.

e) *ALIGNR (AFFIX, R, PRWD, R) : The right edge of the affix has to align to the right edge of the prosodic word.*

La frontière droite du suffixe est alignée avec la frontière droite de chaque mot prosodique.

f) *\*PlaceV: A vowel should not have a place feature.*

Une voyelle ne peut pas avoir de lieu d'articulation.

g) *RMORPH: A morpheme must be phonologically realized in the output.*

Un morphème doit être réalisé phonologiquement en output.

h) *MAX-IO[η]: A feature of [η] in the input must have a correspondent in the affixed form.*

Un trait de [η] en input doit avoir un correspondant dans la forme suffixée.

i) *MAX-BA : Every element of the base must have a correspondence in the affixed form.*

Chaque élément de la base doit avoir un correspondant dans la forme suffixée.

La hiérarchie des contraintes RMORPH, ALIGNR (SUFFIX, R, PRWD, R), \*V [+high, -back] r, \*STRUC-σ, MAX-IO[η], \*VNASAL >> \*COMPLEXCODA >> MAX-BA >> \*PLACEV rend compte des données. En comparant avec l'analyse de Ma (1997), celle de Tian (2009) évite le problème du désaccord sur la structure syllabique du mandarin. L'asymétrie des deux codas nasales reste pourtant difficile à expliquer, car la contrainte MAX-IO est appliquée pour [η] mais pas pour [n], sans justification. De manière plus générale, plusieurs des contraintes proposées par Tian (2009) sont difficilement justifiables. C'est le cas, par exemple, de la contrainte \*PlaceV, selon laquelle les voyelles ne peuvent pas être spécifiées pour le lieu d'articulation.

Les analyses phonologiques examinées dans cette section proposent des représentations différentes pour le suffixe rhotique. Certaines analyses (Lin, 1989 ;

Duanmu, 1990 ; Lin, 2007 ; Ma, 1997 ; Zhang, 2000 ; Duanmu, 2007) considèrent que le suffixe rhotique est un segment, alors que Wang (1993) considère qu'il correspond à un trait [postérieur]. Le tableau ci-dessous résume les principales propositions.

Tableau 2.15 Les propositions principales sur le statut phonologique du suffixe rhotique en mandarin

SEGMENT	TRAIT
Lin (1989) /r/ Duanmu (1990) /r/ Ma (1997) /ər/ Lin (2007) /r/ Zhang (2000) /ɹ/ Duanmu (2007) /əɹ/	Wang (1993) [postérieur]

Ces divergences entre les différentes analyses génératives constituent un point d'intérêt car elles montrent que la représentation phonologique du suffixe rhotique reste toujours une question à résoudre. Notre propre étude va essayer d'apporter plus de clarifications à ce sujet, mais nous allons d'abord examiner les caractéristiques phonétiques du suffixe rhotique, déterminées dans des études précédentes.

## 2.5 Les études phonétiques précédentes

Étant donné que le suffixe rhotique est un phénomène associé avec le dialecte de Pékin, les études phonétiques sont surtout basées sur des données provenant de locuteurs de cette région. Dans cette section, nous allons présenter les caractéristiques phonétiques du suffixe rhotique telles qu'elles ont été établies par les études de Wang et He (1985), Zhang (2000), Shi (2003), Lee (2005), Gick et al. (2006), Huang (2010), Chen et al. (2017) et Jiang et al. (2019).

Wang et He (1985) ont étudié la perception du suffixe rhotique, qui montre que la caractéristique la plus importante de ce suffixe est l'abaissement du F3, qui se rapproche du F2. Plus F3 et F2 sont proches, plus il est facile d'identifier la rhoticité.

L'étude de Zhang (2000), déjà mentionnée, comprend une étude articulatoire EMA (articulométrie) qui montre que les deux consonnes nasales, [n] et [ŋ], ne sont pas conservées en coda en présence du suffixe rhotique. Zhang se base sur ces résultats pour proposer une analyse phonologique de l'interaction entre le suffixe rhotique et les deux codas nasales. L'étude articulatoire de Zhang est très importante, car les analyses phonologiques précédentes, en l'absence de descriptions phonétiques, avaient proposé que les deux codas nasales interagissent de manières différentes avec le suffixe rhotique, suite à leurs lieux d'articulation différents. En plus des données EMA, les données aérodynamiques de Zhang montrent que les deux codas nasales en mandarin se distinguent non seulement par leurs lieux d'articulation, mais aussi par le degré de nasalisation des voyelles précédentes. Contrairement aux autres chercheurs (Wang, 1993 ; Duanmu, 2007), Zhang affirme, sur la base de ses données expérimentales, que les deux consonnes nasales, [n] aussi bien que [ŋ], disparaissent en présence du suffixe rhotique. Par contre, la distinction entre les deux codas nasales en présence du suffixe est transférée aux voyelles précédentes : la voyelle reste orale devant la coda nasale alvéolaire et elle devient nasalisée devant la nasale vélaire. L'étude de Zhang est donc la plus informative et clarifie le comportement des codas nasales en ce qui concerne leur interaction avec le suffixe rhotique. Ce résultat est très important. Nous reviendrons à l'analyse de Zhang dans l'analyse phonologique que nous allons proposer.

Nous nous tournons maintenant vers les études acoustiques. L'étude acoustique de Shi (2003) divise les formes des rimes réalisées avec le suffixe rhotique en trois types :

- 1) Combinaison : la voyelle et le suffixe rhotique se réalisent séquentiellement, un grand changement apparaît dans la configuration linguale et la cavité orale. Acoustiquement, un changement évident apparaît dans la trajectoire de F3 pour [ar], [er] et [ər] ;
- 2) Fusion : la réalisation de la voyelle et la réalisation du suffixe rhotique se produisent simultanément en un seul son. La configuration linguale change peu. Acoustiquement, on trouve peu de changement sur la trajectoire de F3 pour [uʀ] et [ɣʀ] ;

3) Nasalisation : ceci concerne les rimes qui contiennent une coda nasale [ŋ]. Quand le suffixe s’ajoute, la nasalisation de [ŋ] se réalise sur la voyelle précédente. Il s’agit de trois formes : [ãr], [ã̃r] et [ũr]. Dans leur production, [ãr] et [ã̃r] se réalisent comme une combinaison d’une voyelle nasalisée et d’une rhotique, alors que [ũr] est comme une fusion d’une voyelle nasalisée et d’une rhotique.

Il faut noter que l’étude de Shi est basée, malheureusement, sur les données acoustiques d’un seul locuteur venant de Pékin et pas d’un échantillon plus important. Les résultats restent donc préliminaires.

Une étude beaucoup plus complète est celle de Lee (2005). Il s’agit d’une étude pour déterminer la forme des rimes en présence du suffixe rhotique en se basant sur des indices acoustiques, articulatoires et physiologiques. Toutes les rimes possibles sont considérées dans son étude. Trois locuteurs pékinois sont enregistrés. L’auteur conclut que les changements des rimes en présence du suffixe rhotique impliquent la rhotacisation des voyelles, leur centralisation, la chute des voyelles, la nasalisation des voyelles et la chute des nasales.

Dans la littérature, le suffixe rhotique est considéré comme un rétroflexe. Pourtant, sur la base de données articulatoires EMA, Lee précise que le suffixe rhotique n’est pas rétroflexe. L’étude aérodynamique montre que la nasalisation de [ŋ] disparaît complètement avec l’ajout du suffixe rhotique, alors que la rime qui contient [ŋ] devient complètement nasalisée dans le même contexte. Le Tableau 2.16 présente les formes des rimes avec et sans le suffixe rhotique, telles qu’elles sont proposées par Lee (2005).

Tableau 2.16 La forme des rimes sans/avec suffixe dans l’étude de Lee (2005)

Sans suffixe	Avec suffixe(orale)	Sans suffixe	Avec suffixe(nasale)
[i, ie, in]	→ [iə̃-]	[iŋ]	→ [ĩõ̃-]
[ien]	→ [iɛ̃ə̃-]		
[y, ye, yn]	→ [yɛ̃-]		
[yen]	→ [yɛ̃ə̃-]		
		[aŋ]	→ [ãõ̃-]

[ɿ] → [ɿə̃]	[uŋ] → [ũ̃]
[ʌ] → [ʌə̃]	[əŋ] → [ǎ̃]
[a, ai, an] → [aə̃]	[iaŋ] → [iǎ̃]
[ɤ] → [ɤ̃]	[uaŋ] → [ũ̃ǎ̃]
[u] → [ũ]	
[ei, ən] → [əə̃]	
[ia] → [iǎ̃]	
[ua, uan, uai] → [uǎ̃]	[iuŋ] → [iũ̃]
[au] → [aũ̃]	
[ou] → [oũ]	
[uo] → [uō̃]	
[uən, uei] → [uə̃]	
[iau] → [iǎ̃ũ]	
[iou] → [iõũ]	

L'étude acoustique de Huang (2010) tient compte des études précédentes par rapport aux monophthongues avec suffixe rhotique (Chao, 1968 ; Cheng, 1973 ; Pulleyblank, 1984 ; Li, 1994 ; Duanmu, 2007). Par rapport aux autres études phonétiques, Huang a recueilli une plus grande quantité de données, provenant de huit locuteurs natifs. Son corpus est composé de 350\*2 mots dissyllabiques ayant des rimes et des tons équilibrés, mais elle n'a pas précisé les tons utilisés. La deuxième syllabe du mot contient la rime avec et sans suffixe. Ses observations sur les changements des monophthongues en présence du suffixe rhotique sont les suivantes :

- 1) F3 descend pour toutes les voyelles ;
- 2) Pour les voyelles fermées et antérieures [i, y], F1 monte et F2 descend ;
- 3) Pour la voyelle centrale [ɤ], F1 et F2 montent ;
- 4) Pour la voyelle ouverte [a], F1 et F2 descendent ;



5) Pour la voyelle fermée et postérieure [u], aucun changement important n'est observé pour F1 et F2. Huang propose que cette résistance au changement est due à l'arrondissement des lèvres de [u].

Dans sa conclusion, Huang précise qu'il n'y a pas de trace du suffixe rhotique en tant que coda ; le suffixe rhotique baisse le F3 pour toutes les voyelles et centralise toutes les monophthongues à l'exception de [u]. De plus, il existe une interaction significative entre le suffixe rhotique et la qualité de la voyelle. Ses résultats correspondent à l'analyse de Duanmu (2007) sur la forme des monophthongues avec le suffixe rhotique.

Enfin, nous présentons les trois études articulatoires récentes sur ce suffixe rhotique, deux études échographiques ont été réalisées par Chen et al. (2017) et Gick et al. (2006), une étude EMA a été réalisée par Jiang et al. (2019).

Gick et al. (2006) ont fait une étude universelle sur la coordination gestuelle de la rhotique dans plusieurs langues, y compris la rhotique en post-vocalique du mandarin. Ils ont trouvé que le suffixe rhotique en mandarin est composé de deux gestes articulatoires, l'un est la rétraction de la langue (TB : Tongue Body), l'autre est un geste de la pointe de la langue (TT : Tongue Tip). Ils ont montré également qu'il y a décalage temporel entre le geste TB et le geste TT pour le suffixe rhotique, c'est à dire que la rétraction de la langue commence plus tôt que l'élévation de la partie antérieure de la langue.

En utilisant l'image échographique, l'étude de Chen et al. (2017) vise à déterminer les gestes articulatoires de la rhotique en mandarin, surtout la rhotique en position postvocalique. En même temps, les auteurs vérifient si la différence entre le /r/ en position pré-vocalique et en position post-vocalique implique une différence articulatoire. Les participants viennent du nord de la Chine (5H, 5F). Deux types de stimuli sont utilisés, y compris la consonne 'rétroflexe' en position pré-vocalique avec quatre voyelles et le suffixe rhotique en position post-vocalique avec sept voyelles. Les trois consonnes rétroflexes en mandarin sont aussi enregistrées comme une référence. Les résultats montrent que la consonne /r/ pré-vocalique en mandarin est comme les trois autres 'consonnes rétroflexes', son lieu d'articulation est post-alvéolaire. Cependant, le suffixe rhotique postvocalique se différencie de la consonne

/r/ prévocale par rapport aux gestes articulatoires. Il ressemble à la rhotique de l'anglais américain, qui est produite soit comme rétroflexe, soit comme 'bunched', mais sans protrusion des lèvres.

L'étude de Jiang et al. (2019) se concentre sur les caractéristiques articulatoires du suffixe rhotique en mandarin dans le nord-est de la Chine. Cette étude est basée sur des données articulatoires EMA de trois participants venant de la province de Liaoning (nord-est de la Chine). Les auteurs ont comparé les changements temporels sur la configuration de la langue entre les monophthongues sans suffixe et avec suffixe. Leurs résultats montrent que le suffixe rhotique implique principalement une rétraction du corps de la langue (une configuration linguale 'bunched'), alors que la pointe de la langue ne remonte que dans l'articulation du schwa rhotique /ə/ qui est un phonème dans le système vocalique du mandarin. De plus, leurs données ont montré que, du point de vue articulatoire, le suffixe rhotique et le schwa rhotique /ə/ ne sont pas identiques, du moins dans le mandarin du nord-est de la Chine. Enfin, ils ont indiqué qu'il existe deux formes de suffixe rhotique quand il est ajouté dans une syllabe. L'une est plutôt comme un [-ə] 'syllabique' (pour les voyelles antérieures, par exemple, [i] → [iə]), l'autre est comme [-r] qui est attaché à la voyelle précédente (pour les voyelles postérieures, par exemple, [ɤ] → [ɤr]).

Les études phonétiques présentées dans cette section ont examiné les réalisations acoustique et articulatoire du suffixe rhotique. Certaines études (Wang et He, 1985 ; Shi, 2003 ; Lee, 2005 ; Huang, 2010) se concentrent sur ses caractéristiques acoustiques, alors que certaines autres études (Zhang, 2000 ; Lee, 2005 ; Chen et al., 2017 et Jiang et al., 2019) se concentrent sur ses caractéristiques articulatoires. L'abaissement de F3 est considéré comme une caractéristique acoustique pour le suffixe rhotique (Wang et He, 1985 ; Lee, 2005 et Huang, 2010). Les études articulatoires (Lee, 2005 ; Gick et al., 2006 ; Chen et al., 2017 et Jiang et al., 2019) ont confirmé la rétraction de la racine de la langue comme geste systématiquement présent, que ce soit une rhotique rétroflexe ou 'bunched'. En plus, le suffixe rhotique n'est pas toujours rétroflexe comme ce que Duanmu a proposé dans son analyse phonologique. Par rapport à la réalisation de la coda nasale en présence du suffixe rhotique, Lee (2005) et Zhang (2000) sont d'accord sur la disparition des codas nasales

et la rétention de la nasalité dans le cas de [ŋ] qui précède le suffixe rhotique. Certaines analyses phonologiques existantes peuvent rendre compte de ces résultats, mais ce n'est pas le cas pour celles de Wang (1993) et Duanmu (2007). Étant donné que les rhotiques manifestent une grande variabilité dans leur mode et lieu d'articulation (Ladefoged et Maddieson, 1996), nous considérons que les propriétés acoustiques et articulatoires de ce suffixe rhotique restent une question ouverte et intéressante à traiter avant que l'on puisse arriver à une conclusion sur le degré de variabilité de sa réalisation. Enfin, dû à sa réalisation complexe, la divergence sur sa représentation phonologique reste toujours un problème à résoudre.

Dans ce chapitre, nous avons présenté le suffixe rhotique en mandarin par rapport à son évolution historique, à sa distribution géographique et aux propriétés phonétiques et phonologiques qui le caractérisent, telles qu'elles ont été décrites dans les études précédentes. Il s'agit d'un phénomène très répandu dans le mandarin parlé au nord de la Chine, largement étudié du point de vue phonologique, et relativement moins du point de vue phonétique. Dans cette thèse, nous visons à mieux comprendre le statut du suffixe rhotique sur la base d'études phonétiques et phonologiques. Notre approche est similaire à celle de Zhang, restant dans la perspective de la phonologie de laboratoire. Les représentations phonologiques que nous allons proposer se basent sur des arguments provenant des résultats des études phonétiques. Contrairement à Zhang, qui propose un modèle génératif non-dérivationnel pour intégrer les résultats de son étude articulatoire, nous allons proposer plutôt une analyse gestuelle de la représentation du suffixe rhotique, dans le cadre de la phonologie articulatoire. Dans le chapitre suivant, nous allons d'abord faire un rappel de notre objectif de recherche, ensuite nous présenterons le cadre théorique de la phonologie articulatoire.

## Chapitre 3 : L'objectif de recherche et le cadre théorique

Dans ce chapitre nous allons d'abord faire un rappel de nos objectifs de recherche (section 3.1) avant de présenter les études expérimentales dans les chapitres suivants. La deuxième section (3.2) introduit la théorie de la phonologie articulatoire (Browman et Goldstein, 1986, 1992) et la motivation de son choix comme cadre théorique pour notre analyse.

### 3.1 L'objectif de recherche

Cette thèse se concentre sur deux objectifs. Le premier est de mieux comprendre les caractéristiques acoustiques et articulatoires du suffixe rhotique en mandarin, surtout les changements segmentaux dans la rime en présence du suffixe rhotique. Ces aspects ont été relativement peu étudiés jusqu'à présent. La majorité des études existantes porte sur l'analyse phonologique de ce suffixe (Lin, 1989 ; Duanmu, 1990 ; Wang, 1993 ; Ma, 2007 ; Duanmu, 2007 ; etc.). Cependant, comme nous l'avons déjà mentionné, il existe des conclusions divergentes parmi les analyses phonologiques existantes sur la représentation et le comportement phonologique du suffixe rhotique. Puisque le suffixe rhotique est une caractéristique très saillante dans la parole conversationnelle du nord de la Chine, et surtout de Pékin, il est important de l'étudier de façon plus approfondie pour comprendre le statut de ce suffixe dans la représentation des locuteurs. Ainsi, nous allons présenter dans cette thèse une étude acoustique et une étude articulatoire dans le but de mieux comprendre la production de ce suffixe rhotique et son influence sur les changements de la rime à laquelle il s'attache.

En même temps, les résultats de ces études serviront : 1) à évaluer les analyses phonologiques proposées précédemment ; 2) à proposer une analyse phonologique

plus précise concernant les modifications segmentales de la rime en présence du suffixe rhotique.

Le deuxième objectif de cette thèse est de proposer une nouvelle analyse phonologique du suffixe rhotique dans le cadre de la phonologie articulatoire, concernant principalement la représentation du suffixe. Contrairement à des analyses dans le cadre de la phonologie générative, la phonologie articulatoire prend en compte les changements temporels et dynamiques dans la parole et maintient un lien fort entre la phonologie et les aspects physiques de la parole. Suite à la discussion des analyses phonologiques existantes et des différents changements segmentaux dans la rime en présence du suffixe rhotique, nous allons proposer que le comportement du suffixe rhotique soutient une analyse gestuelle. Cette analyse est basée sur des données phonétiques et elle permet une explication unifiée de plusieurs cas. Notre analyse sera présentée dans le chapitre 6. Dans la section suivante nous présentons les principes de la phonologie articulatoire.

### 3.2 Théorie de la phonologie articulatoire (Articulatory phonology)

La phonologie articulatoire, développée par Catherine Browman et Louis Goldstein (Browman et Goldstein 1986, 1990a, 1990b, 1992), s'appuie sur le concept du geste articulatoire pour capter à la fois les propriétés physiques et les propriétés phonologiques de la parole. Selon Browman et Goldstein (1992), la parole est composée de gestes articulatoires combinables. Les gestes sont à la fois des unités de contraste lexical et des unités physiques d'action articulatoire. En proposant cette double fonction des gestes, la phonologie articulatoire se différencie de la phonologie générative classique car elle ne prévoit plus une interface entre la phonologie et la phonétique. Les deux aspects sont compris dans la double nature des représentations elles-mêmes.

Dans la phonologie articulatoire, un geste est une unité d'action articulatoire pertinente du point de vue linguistique. Par exemple, un geste peut être la formation ou le relâchement d'une constriction spécifique dans le conduit vocal. Ainsi, tous les

mouvements articulatoires ne sont pas des gestes articulatoires. Un geste est décrit comme un type de système dynamique ayant des propriétés spatiales et temporelles. Le geste comme système dynamique est défini dans le modèle de Task Dynamics (Saltzman, 1986, Saltzman et Kelso, 1987, Saltzman et Munhall, 1989), modèle développé pour décrire la coordination des mouvements physiques. Un geste articulatoire est spécifié par une structure coordinative composée de plusieurs articulateurs indépendants qui agissent simultanément pour atteindre la même cible. Par exemple, le geste d'occlusion de la pointe de la langue implique une structure coordinative concernant trois articulateurs : la pointe de la langue, le corps de la langue et la mâchoire.

Les gestes articulatoires sont caractérisés par cinq structures coordinatives constituées d'actions des articulateurs individuels : LIPS (labiale), TT (pointe de la langue), TB (corps de la langue), VEL (vélu) et GLO (glotte). À part la catégorisation de la structure coordinative, les gestes sont aussi spécifiés par deux variables du conduit vocal :

1) Le degré de constriction (CD) :

Fermé (close),  
Critique (critical)  
Étroit (narrow)  
Moyen (mid)  
Large (wide)

La variable CD différencie les occlusives (close), les fricatives (critical), les approximantes (narrow) et trois degrés d'aperture des voyelles.

2) Le lieu de constriction (CL) :

Labiale (labial) ; dentale (dental) ; alvéolaire (alveolar) ; palatale (palatal) ; vélaire (velar) ; uvulaire (uvular) et pharyngale (pharyngeal).

Tableau 3.1 Les structures coordinatives, les articulateurs et les variables du conduit vocal, basé sur Fougeron (2005). (Les termes en anglais sont indiqués entre parenthèses, cf. Browman et Goldstein, 1989).

Structures coordinatives (organs/coordinative structure)	Articulateurs dont l'action est coordonnée (articulators)	Variables du conduit vocal (tract variables)
Labiale (LIPS)	Lèvres inférieure et supérieure, mâchoire	Aperture des lèvres (LA : Lip aperture)
		Protrusion des lèvres (LP : Lip protrusion)
Pointe de la langue (Tongue Tip)	Pointe de la langue, corps de la langue, mâchoire	Lieu de constriction de la pointe de la langue (TTCL : tongue tip constriction location)
		Degré de constriction de la pointe de la langue (TTCD : tongue tip constriction degree)
Corps de la langue (Tongue Body)	Corps de la langue, mâchoire	Lieu de constriction du corps de la langue (TBCL : tongue body constriction location)
		Degré de constriction du corps de la langue (TBCD : tongue body constriction degree)
Velum (Velum)	Velum	Aperture vélaire (VEL : velic aperture)
Glotte (Glottis)	Glotte	Aperture glottale (GLO : glottal aperture)

Les gestes articulatoires sont des unités phonologiques minimales et combinatoires. Un mot, une syllabe ou une phrase sont composés de structures appelées constellations de gestes (« gestural constellations »). Un phonème correspond à une constellation de gestes. Par exemple, /n/ est composé de deux gestes : un geste de la pointe de la langue et un geste du vélum. Une partition gestuelle ('gestural score' en anglais), spécifie les propriétés temporelles et les propriétés spatiales des gestes, et montre la coordination temporelle des gestes et les valeurs cibles des variables du

conduit vocal. Par exemple, la partition gestuelle de la syllabe /pan/ en mandarin est la suivante (Gao, 2008) :

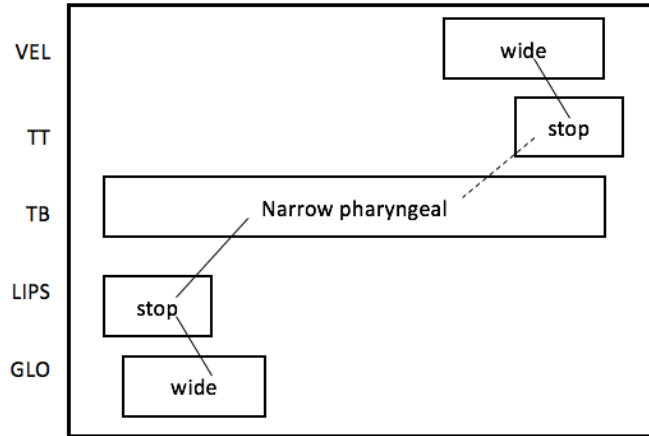


Figure 3.1 "Partition gestuelle" pour la syllabe [pan] en Mandarin d'après Gao (2008).

Dans la Figure 3.1, chaque geste est représenté par un rectangle, la longueur du rectangle indique la durée relative du geste correspondant. Le déroulement de chaque geste par rapport aux autres (« timing ») est déterminé par la relation coordinative entre les différentes paires de gestes. Dans la Figure 3.1, la relation coordinative est indiquée par des lignes. Chaque ligne relie deux gestes. Les relations coordinatives rendent compte de l'organisation des gestes dans des structures plus grandes, comme les segments, les syllabes et les mots, etc.

À part les propriétés spatiales, la dimension temporelle des gestes joue aussi un rôle important dans la phonologie articulatoire. Le couplage dynamique entre les gestes est essentiel dans la dimension temporelle. Le couplage est défini par un réseau de paires d'oscillateurs. Chaque paire d'oscillateurs va s'intégrer dans deux phases relativement stables : un couplage en phase ou en anti-phase.

Pour caractériser la structure syllabique, Goldstein et al. (2006) proposent que le(s) geste(s) de l'attaque C et le geste de la voyelle soient couplés en-phase, alors que le geste de la voyelle et le(s) geste(s) de la coda sont en anti-phase. Une syllabe CVC contient donc : un couplage en phase entre attaque et V (représenté par une ligne continue) et un couplage anti-phase entre V et coda (représenté par une ligne pointillée) : **C \_\_ V ..... C.**



Cependant, la coordination temporelle dans la phonologie articulatoire n'implique pas seulement le couplage dynamique au niveau segmental. Prenons par exemple la syllabe [pan] illustrée dans la Figure 3.1. [p] est composé de deux gestes : le geste LIPS et le geste GLO. Ces deux gestes sont, eux aussi, couplés en-phase (reliés par une ligne continue). Le même type de couplage s'applique entre les deux gestes de [n] : le geste TT et le geste VEL. Un segment peut donc avoir des gestes multiples et leur coordination temporelle n'est pas forcément la même. Les deux gestes de [p], par exemple, commencent simultanément, alors que les deux gestes de [n] démarrent séquentiellement. Ainsi, la coordination temporelle de chaque geste est prise en compte dans ce cadre théorique. Ces gestes peuvent appartenir à un seul segment, ou à des segments différents.

Les gestes appartenant à des segments différents peuvent démarrer de façon synchrone, même lorsque les segments sont réalisés de manière séquentielle (Goldstein et Pouplier, 2014). Par exemple, dans une syllabe CV avec une consonne labiale, les données cinématiques montrent que le geste labial et le geste lingual de la voyelle sont initiés presque simultanément (Löfqvist et Graco, 1999). Les données, provenant de l'anglais américain, montrent que le décalage entre le démarrage des gestes C et V est de moins de 25ms. Un décalage minimal a aussi été observé en catalan, allemand et italien (Mücke et al., 2012 ; Niemann et al., 2011). Cela suggère que cette coproduction de C-V est partagée par les langues du monde. En dehors de la syllabe CV, le démarrage simultané de deux gestes est considéré comme une particularité d'une langue spécifique. Par exemple, Yanagawa (2006) a montré que, en cantonais, la consonne en coda et la consonne en attaque de la syllabe suivante démarrent aussi synchroniquement. Cette organisation temporelle rend compte des assimilations du lieu d'articulation entre coda et attaque de la syllabe suivante, observées en cantonais.

Quant à la coordination temporelle entre les gestes d'un seul segment, ils peuvent démarrer séquentiellement ou simultanément (Goldstein et Pouplier, 2014). Un segment composé de gestes multiples, comme une consonne nasale, est produit de manières différentes en coda et en attaque par rapport à la coordination temporelle des gestes. Les études de Krakow (1993, 1999) et Byrd et al. (2009) montrent que, en

anglais, pour la position attaque dans “see more”, la constriction orale (LIPS) est produite simultanément à l’abaissement du vélum. En position de coda, par contre, (“seem ore”), les mêmes gestes se produisent séquentiellement. La constriction orale commence lorsque le vélum atteint son point le plus bas. La même différence est observée pour les liquides en anglais. Les liquides, latérale et rhotique, sont des segments composés de deux gestes. Pour le /l/ anglais, la fermeture de TT et la rétraction de la racine de la langue démarrent simultanément en attaque, alors qu’en coda elles se produisent séquentiellement, soit la rétraction de la racine de la langue commence avant la fermeture de TT (Browman et Goldstein, 1995 ; Gick, 2003 ; Scobbie et Pouplier, 2010, Sproat et Fujimura, 1993). Le parallélisme des données de la nasale et de la latérale ont permis de proposer une généralisation selon laquelle en coda les gestes plus vocaliques sont attirés vers la rime de la syllabe (Krakow, 1999 ; Gick, 2003 ; Scobbie et Pouplier, 2010 ; Sproat et Fujimura, 1993).

L’ensemble des tendances de synchronisation en attaque et de désynchronisation en coda nous montre que le problème du séquençage gestuel dans la production de la parole ne peut pas être réduit au problème du séquençage segmental. Ainsi, une analyse plus précise au niveau du geste est nécessaire pour expliquer le processus de production. Une analyse plus visible au niveau du geste est exigée aussi par le fait que la généralisation du séquençage gestuel dépend de la langue. Par exemple, dans le cas des nasales en français, la constriction orale et la constriction du vélum se produisent simultanément en coda aussi bien qu’en attaque, contrairement à l’anglais. Ce type de coordination explique l’absence de nasalisation des voyelles devant une coda nasale en français, à la différence de l’anglais (Cohn, 1990). Un autre cas spécifique concerne les liquides dans plusieurs langues (Gick et al., 2006). L’organisation synchrone ou séquentielle peut être observée en attaque aussi bien qu’en coda, en fonction de la langue, même s’il y a une tendance plus générale de synchronisation pour l’attaque et une tendance d’organisation séquentielle pour la coda.

Le chevauchement variable entre les gestes est un autre point essentiel qui différencie la phonologie articulatoire d’autres modèles phonologiques. Ici, deux types de chevauchements généraux seront présentés, suivant Fougeron (2005).

### Chevauchement entre les gestes qui impliquent des variables différentes du conduit vocal

Les deux exemples de la Figure 3.2 nous montrent l'articulation des consonnes [b] et [d] dans des contextes vocaliques différents. Comme nous l'avons déjà vu, dans la coordination C-V, le geste de la consonne et le geste de la voyelle se chevauchent. Dans la Figure 3.2, deux types de chevauchement sont illustrés entre des gestes qui impliquent des variables différentes : (a) le chevauchement ne provoque aucun changement ([ba] et [bi]) ; (b) le chevauchement peut parfois avoir des conséquences acoustiques ([di] et [dy]). Dans la Figure 3.2a, un chevauchement existe entre la constriction labiale pour [b] et la constriction du corps de la langue (vélaire pour [a] ou palatale pour [i]). Aucun changement ne peut être provoqué par ce chevauchement. Pour le cas de [di] et [dy] dans la Figure 3.2b, il y a aussi un chevauchement entre le geste de constriction de la pointe de la langue pour [d] et le geste de constriction du corps de la langue 'palatal' pour les deux voyelles, associé à un geste de protrusion des lèvres pour [y]. Même si dans ces deux syllabes, les gestes ne partagent pas la même variable du conduit vocal, il y aura parfois un relâchement à une fréquence plus basse de [d] sous l'influence du geste de la protrusion des lèvres de [y] par rapport à [i].

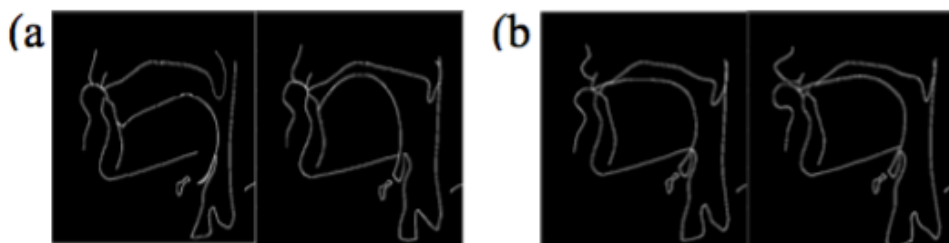


Figure 3.2 a) Articulation de [b] dans les séquences [ba] et [bi]. Chevauchement entre les gestes d'occlusion labiale et de constriction du corps de la langue des voyelles ; b) Articulation de [d] dans [di] et [dy]. Chevauchement entre les gestes de constriction de la pointe de la langue, du corps de la langue et de protrusion labiale. (Fougeron, 2005, citant les données de Vilain, 2000).

Néanmoins, le chevauchement entre gestes consonantiques qui ne partagent pas les mêmes variables du conduit pourrait avoir des conséquences radicales. Des exemples représentatifs sont présentés dans la Figure 3.3. Deux répétitions différentes de « perfect memory » ('mémoire parfaite') et « seven plus » ('sept plus') sont illustrées dans cette figure. Les partitions gestuelles en haut montrent un

chevauchement minimal entre les gestes, alors que les partitions gestuelles en bas montrent un chevauchement plus grand, caractéristique d'une production à débit rapide.

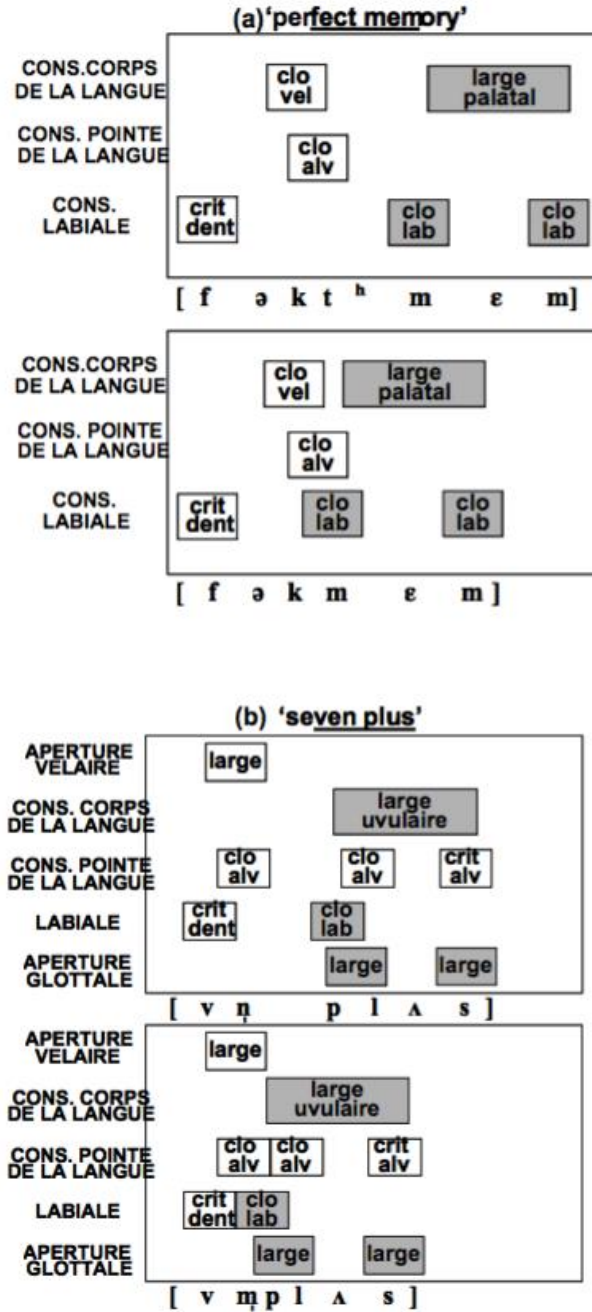


Figure 3.3 a) Une déletion apparente d'un segment dans « perfec(t) memory » ; b) Une assimilation apparente dans « seve(n) plus ». (Fougeron, 2005 adapté de Browman et Goldstein, 1990b)

En comparant les deux partitions gestuelles, nous voyons que le geste de la pointe de la langue pour une occlusion alvéolaire de [t] dans « perfect » est masqué par le geste d'occlusion labiale pour [b] et par le geste du corps de la langue pour une

occlusion vélaire de [k]. La disparition de la consonne [t] est ainsi provoquée par ce masquage (*gestural hiding*) au niveau de la perception car le relâchement alvéolaire se produit quand l'occlusion labiale est déjà en place. Les données articulatoires cinéroradiographiques de Browman et Goldstein (1990b) confirment la présence du geste de [t], mais celui-ci n'est pas réalisé acoustiquement et n'est pas perceptible.

Pour le cas de « seven plus » dans la Figure 3.3b, nous observons un même type de masquage que dans le cas de « perfect memory ». Le geste de la pointe de la langue pour l'occlusion alvéolaire de [n] est masqué par le geste d'occlusion labiale de [p]. Dans cet exemple, une partie du geste d'occlusion labiale et l'ouverture vélaire sont coproduits. Cette coproduction a comme conséquence une assimilation du lieu d'articulation entre le [n] et le [p].

#### Chevauchement entre les gestes qui impliquent les mêmes variables du conduit

Un exemple de coarticulation des gestes partageant les mêmes variables du conduit mais ayant des spécifications différentes, est donné dans la Figure 3.4 pour un cas d'antériorisation des consonnes vélares dans un contexte vocalique antérieur : [igi].

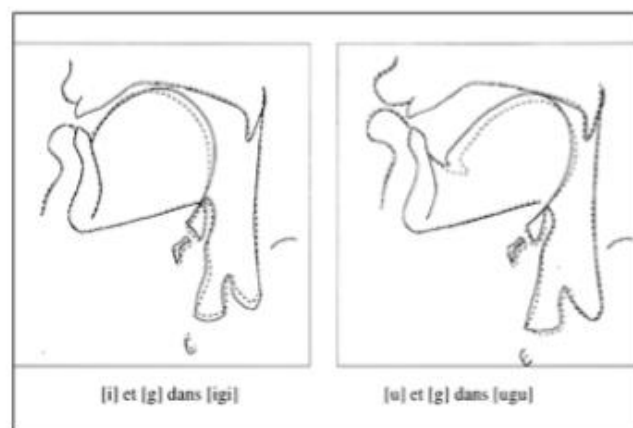


Figure 3.4 Lieu d'articulation de [g] (trait continu) en fonction du lieu d'articulation des contextes vocaliques ([i] et [u]) (trait pointillé). Les gestes consonantiques et vocaliques partageant un geste du corps de la langue s'influencent mutuellement (Fougeron, 2005 citant les données de Vilain, 2000).

Dans ce cas, la consonne [g] implique un geste du corps de la langue, le même pour les deux voyelles [i] et [u], mais leur cible est différente. Pour [igi], la cible de [i] et la cible de /g/ sont très différentes. Puisque chaque geste implique sa propre cible

articulatoire, une compétition entre ces cibles différentes du corps de la langue entraîne une modification des trajectoires des deux gestes. Ainsi, une fusion de ces deux gestes est produite (*gestural blending*), soit une antériorisation du geste d'occlusion vélaire dans la séquence [igi].

Le chevauchement temporel entre les gestes joue un rôle important dans la phonologie articulatoire. Browman et Goldstein (1992) ont proposé que la magnitude des gestes peut changer dans le temps et dans l'espace. Le chevauchement temporel peut être influencé par des facteurs prosodiques comme l'accent, la durée, la position dans un groupe prosodique, etc. Par exemple, en anglais, les occlusives sourdes à l'initiale de mot ou en attaque de syllabe accentuée peuvent être soit aspirées soit non-aspirées, en fonction de leur position et de l'accentuation. Les données articulatoires montrent qu'il y a une ouverture glottique dans certaines positions. Cette ouverture glottique sera audible ou non en fonction de deux facteurs : 1) le timing du geste glottal par rapport aux autres gestes ; 2) la magnitude de ce geste. Cette ouverture glottique peut être graduellement réduite en attaque de la deuxième syllabe d'un mot et quand cette syllabe ne porte pas l'accent lexical.

À la différence d'autres théories, les hypothèses de la phonologie articulatoire tiennent compte de la manière dont la parole est réalisée et sont vérifiables de manière directe par des études expérimentales de production et de perception. Nous avons vu qu'une différence essentielle entre la phonologie générative et la phonologie articulatoire concerne le statut de l'interface entre phonologie et phonétique. Dans la phonologie articulatoire, cette interface n'est pas nécessaire, car la représentation des unités elles-mêmes la rend redondante. Un seul type d'unité de représentation et d'exécution est postulé, ce qui ne nécessite plus une traduction de la forme phonologique en forme phonétique.

Pour résumer, la phonologie articulatoire se démarque des caractéristiques phonologiques abstraites en se focalisant principalement sur la manière dont les caractéristiques articulatoires de différents segments expliquent leur comportement phonologique. L'unité minimale est le geste dans la phonologie articulatoire. Cela diffère des théories basées sur les traits car chaque geste est considéré comme un

mouvement dynamique vers une cible. Toutefois, tous les mouvements articulatoires ne sont pas considérés comme des gestes, seuls les mouvements jouant un rôle phonologique contrastif dans la production sont des gestes dans la phonologie articulatoire. Ainsi, l'objectif principal de ce modèle théorique est d'expliquer la phonologie en termes de différentes interactions des gestes articulatoires.

La phonologie articulatoire a pu rendre compte d'un grand nombre de processus phonologiques, y compris concernant les rhotiques. Proctor (2011) a analysé le comportement phonologique des liquides dans le cadre de la phonologie articulatoire, comprenant la vocalisation, la métathèse, la présence d'une voyelle épenthétique. Ainsi, la métathèse des liquides en proto-slave (Carlton, 1991) est décrite comme une réorganisation temporelle des gestes entre la rhotique et la voyelle. En position initiale ou en coda de syllabe, le geste du corps de la langue vers la partie uvulaire-pharyngale est impliqué pendant toute la durée, mais la métathèse apparaît quand sa coordination temporelle avec le geste de la pointe de la langue est modifiée de manière séquentielle à simultanée.

Nous avons mentionné dans le premier chapitre que les rhotiques sont composées de doubles gestes (Gick et al., 2006 ; Proctor, 2011) et que le geste de recul de la racine de la langue vers le pharynx est une propriété gestuelle constante des rhotiques. Pour cette raison, nous proposons que le cadre théorique de la phonologie articulatoire permette une analyse plus précise de la représentation et du comportement phonologique du suffixe rhotique.

Dans les deux chapitres suivants, nous présenterons les études expérimentales, dont les résultats fourniront des arguments pour notre analyse gestuelle.

## Deuxième partie : Études expérimentales

---

Cette partie est consacrée à deux types d'études de production du suffixe rhotique en mandarin. Dans le chapitre 4, nous présentons une étude échographique descriptive, qui aide à définir le type articulaire de la rhotique du mandarin. Cette étude vise à mieux comprendre les gestes articulaires impliqués dans la production du suffixe rhotique. Dans le chapitre 5, nous présentons une étude acoustique. L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence du suffixe rhotique sur chaque type de rime à laquelle il s'attache (monophthongue, diphtongue, voyelle + coda nasale). Tenant compte des résultats de ces deux études, une analyse phonologique du suffixe rhotique dans le cadre de la phonologie articulaire sera proposée dans le chapitre 6.

### Chapitre 4 : Étude échographique du suffixe rhotique

Gick et Wilson (2006) ont remarqué que le suffixe rhotique en mandarin ressemble au /r/ postvocalique en anglais. Nous savons que le geste lingual pour /r/ en anglais varie de 'bunched' [ɹ] à rétroflexe [ɻ] (Delattre et Freeman, 1968) et notre étude vise à vérifier si la même variation existe pour le suffixe rhotique. A notre connaissance, quatre études ont examiné le suffixe rhotique par des données articulaires. Elles comprennent deux études ultrason – Gick et Wilson (2006) et Chen et al. (2017) – et deux études EMA – Lee (2005) et Jiang et al. (2019). Chen et al. (2017) est, à notre connaissance, la seule étude échographique qui décrit les sons rhotiques du mandarin plus généralement. Dans ce chapitre, nous allons présenter une étude échographique du suffixe rhotique, réalisée avec ma collègue, Hannah King (King et Liu, 2017) et présentée à Ultrafest VIII 2017.



## 4.1 Résultats précédents et objectif de recherche

Notre étude vise à classifier le contour de la langue pour le suffixe rhotique en mandarin en utilisant *Ultrasound Tongue Imaging (UTI)*. En même temps, l'étude compare les contours de la langue pour le suffixe rhotique en mandarin et le /r/ de l'anglais. L'étude EMA de Lee (2005) indique que le suffixe rhotique n'est pas rétroflexe. Par contre, Chen et al. (2017) ont trouvé que le suffixe rhotique en mandarin se manifeste comme le [r] en anglais américain, avec deux réalisations typiques : /r/ rétroflexe et /r/ 'bunched'. Jiang et al. (2019), comme Lee, n'ont pas trouvé que la pointe de la langue remonte dans la production du suffixe rhotique, mais la rétraction de la langue est confirmée comme étant le geste principal.

Nous analysons également les propriétés acoustiques des mêmes données, afin de comprendre l'effet du suffixe sur la structure formantiques des voyelles. Les résultats acoustiques pourront vérifier les résultats de Huang (2010) par rapport à l'effet de la rhotique sur les monophthongues. En nous basant sur l'étude de Huang, nous allons tester deux prédictions concernant les données acoustiques : 1) il y a une centralisation des voyelles en position pré-rhotique, sauf pour la voyelle [u] ; 2) le F3 de toutes les monophthongues baisse en présence de la rhotique.

## 4.2 Méthodologie

### 4.2.1 Participants

Douze locuteurs natifs de mandarin ont été enregistrés à Paris pour le recueil simultané de données acoustiques et articulatoires, dans la salle d'expérimentation de l'université Paris Diderot. Tous les locuteurs étaient étudiants à Paris au moment des enregistrements, vivant en France depuis deux ans (ou plus). Avant l'enregistrement les locuteurs ont rempli un questionnaire leur demandant l'âge et des informations pertinentes sur leur expérience linguistique. Le niveau de français des locuteurs est variable. Ils ont tous appris l'anglais en Chine. Les douze participants ne viennent pas tous de la même région en Chine, cependant, ils ont confirmé qu'ils utilisent le suffixe rhotique dans leur parler quotidien. A cause de la mauvaise qualité

des images échographiques de quatre locuteurs, nous avons analysé les données de huit locuteurs seulement (3 hommes et 5 femmes, âgés de 21 à 31 ans). Les informations sur ces huit locuteurs sont présentées dans le Tableau 4.1.

Tableau 4.1 Participants à l'étude échographique

Participant	Sexe	Âge	Région	Langue étrangère
MTY-tu	H	21	Hubei	Français, anglais
LW-fu	H	31	Liaoning	Français, anglais
XL-fu	F	29	Pékin	Français, anglais
ZHY-fb	F	29	Hebei	Français, anglais
CX-fu	F	26	Shanxi	Anglais
CYN-tu	F	27	Liaoning	Français, anglais
WY-tu	H	28	Liaoning	Français, anglais
LMM-fu	F	24	Liaoning	Français, anglais

Nous notons que quatre de nos huit locuteurs sont de Liaoning, au nord-est de la Chine, la même région que les locuteurs de Jiang et al. (2019). Leur étude a confirmé qu'il s'agit d'une variété rhotique du mandarin.

#### 4.2.2 Corpus

Les stimuli sont composés de trois monophthongues [a], [i] et [u] suivant la même consonne [p] en T1 (ton plat) dans deux conditions : avec suffixe (CVr) et sans suffixe (CV). Puisque les participants doivent porter un casque métallique pour la stabilisation de leur tête, la durée de l'enregistrement doit être courte. Dû à la limite du temps d'enregistrement, un seul mot incluant chaque monophthongue a été choisi pour créer le corpus. Pour minimiser la coarticulation et la variation linguale dans la production, la même consonne [p] prend la position initiale dans la syllabe de tous les stimuli.

Étant donné que la même prononciation correspond à plusieurs caractères possibles en mandarin, nous avons en préalable mené une enquête, avec 23 participants du nord de la Chine, afin de sélectionner les caractères les plus connus. Les participants ont été invités à lire le corpus et à indiquer s'ils connaissent chaque

caractère présenté ou non. S'ils le connaissent, ils doivent indiquer s'ils les produisent souvent avec le suffixe rhotique. Nous avons ensuite sélectionné les caractères en nous basant sur les résultats de leurs réponses. Tous les stimuli ont été enregistrés dans une phrase porteuse, et les phrases ont été présentées en caractères chinois en ordre aléatoire. Chaque phrase a été produite cinq fois par chaque locuteur. Le corpus est présenté dans l'annexe-Corpus UTI pour l'étude échographique. La phrase porteuse est :

小 裴 说 \_\_. (Caractère chinois)

Xiǎo péi shuō \_\_. (Pinyin)

[ɕjau3 pəi2 ʃwo1 \_\_] (API)

'Xiaopei dit \_\_' (Traduction)

#### 4.2.3 Enregistrements

Les enregistrements ont été faits dans une cabine insonorisée à l'université Paris Diderot. Le signal acoustique a été enregistré par un microphone oreillette (the t.bone EARMIC 500 - Sennheiser) relié à une carte son externe (Presonus Audiobox). Les données articulatoires ont été recueillies avec le système échographique Echo Blaster 120 avec une fréquence de ~60 images par seconde, relié à une sonde de 5-8 MHz dans le plan sagittal médian. Le signal audio et le signal ultrason ont été enregistrés et synchronisés par Articulate Assistant Advanced (AAA) (Articulate Instruments, 2012) avec un casque pour stabiliser la tête (voir Figure 4.1) (a *head-probe stabilization system*, Articulate Instruments Ltd 2008).

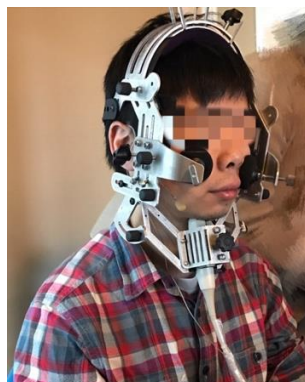


Figure 4.1 Dispositif expérimental avec un microphone oreillette et un casque de stabilisation relié à la sonde échographique.

Les stimuli ont été présentés en caractères chinois dans une phrase porteuse sur un écran qui se situe en face du participant, à une distance de 75 cm. Avant de commencer l'expérience nous avons recueilli les images de leurs palais, en demandant deux fois aux participants de garder de l'eau dans leur bouche. Nous avons ensuite choisi l'image la plus claire des deux. Pendant l'expérience, les participants ont d'abord vu la phrase affichée sur l'écran, ensuite ils ont produit la phrase dès qu'ils ont entendu un bip sonore.

#### 4.2.4 Mesures

Pour les données acoustiques, les formants (F1, F2, F3) de 351 mots ont été mesurés à la main à différents points de la voyelle, dans deux conditions différentes :

- Au milieu de la voyelle dans la condition CV.
- Dans la condition avec suffixe CVr, les formants ont été mesurés le plus tôt possible, directement après la transition entre la consonne et la voyelle, pour éviter l'influence de la coarticulation avec la rhotique (Lawson et al, 2013).

Nous avons utilisé AAA pour détecter d'une façon quasi-automatique le contour de la langue de chaque image ultrason. Le processus est illustré dans la Figure 4.2.

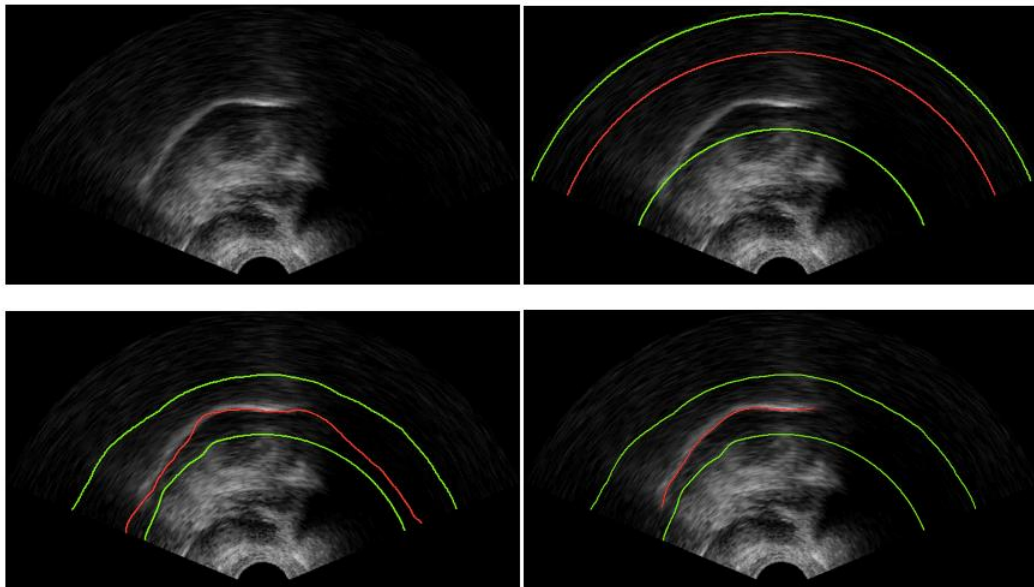


Figure 4.2 Le processus pour détecter d'une façon quasi-automatique le contour de la langue de chaque image ultrason : (en haut à gauche) image échographique d'origine ; (en haut à droite) ensemble de limites supérieure et inférieure (lignes vertes) pour la détection automatique des bords; (en bas à gauche) après l'ajustement automatique du contour de détection de bord (ligne rouge), mais avant la correction; (en bas à droite) après correction manuelle du contour de la langue.

Un contour a été ajusté à la surface visible de la langue médio-sagittale dans la trame sélectionnée en utilisant un algorithme de détection de bord du logiciel AAA. Une étape préliminaire au processus de détection des bords consiste à définir des limites supérieures et inférieures entre lesquelles l'outil de détection des bords peut rechercher une surface brillante. La limite supérieure est fixée pour éliminer les traces du palais dur, dont certaines parties sont parfois visibles. La limite inférieure est définie manuellement pour éliminer les zones lumineuses résultant des structures musculaires à l'intérieur de la langue, à gauche. Des parties du contour ont également été retirées (rendues invisibles) à l'extrême droite et parfois à gauche de l'image, où aucune surface de langue n'apparaît clairement dans l'image échographique. Une révision manuelle est nécessaire car l'outil de détection de bord recherche un bord brillant le long de chaque axe de mesure, ce qui peut entraîner une représentation inexacte de la forme de la langue. Les configurations linguales ont été extraites des cas de /r/ apparaissant après tout l'ensemble des trois monophthongues /a, i, u/ du mandarin. Un total de 233 contours de la langue a été installé (environ 30 jetons par locuteur). Le point de constriction maximale pour /r/ ( $r_{max}$ ) a été identifié et annoté par ma collègue Hannah King sur la base d'une vérification holistique de l'évolution temporelle de la constriction antérieure, et un contour de la surface de la langue a été ajusté à la surface de la langue dans l'image vidéo de  $r_{max}$ . Un contour moyen de la langue a été créé pour chaque locuteur, illustré dans la Figure 4.4, à gauche. Les erreurs de détection ont été corrigées à la main. Nous avons sélectionné l'image ultrason qui représente le point de constriction maximale pendant la production de /r/.

Lawson et al. (2013) proposent quatre types de /r/ (Figure 4.3) : *tip up* (TU), *front up* (FU), *front bunched* (FB) et *mid bunched* (MB). Nous voulons savoir si les quatre types de /r/ se présentent également pour le suffixe rhotique en mandarin. Pour classer les types de /r/, nous avons utilisé la taxonomie proposée par Lawson et al. (2013) pour l'anglais écossais. **Tip Up** correspond à une articulation où, au point de constriction maximale, la pointe de la langue monte vers la région post-alvéolaire et la surface sagittale de la langue est droite, ou une partie de celle-ci est concave, indiquant une rétroflexion. Dans l'articulation **Front up** la partie antérieure de la

langue monte jusqu'à la région post-alvéolaire et la surface sagittale de la langue crée une courbe convexe lisse. Il n'y a pas de rétroflexion, mais également pas de « bunching » de la partie antérieure de la langue, ni de creux derrière la partie antérieure de la langue, comme dans l'exemple « bunched ». Dans l'articulation **Front bunched**, nous voyons la partie antérieure de la langue relevée vers la région palatale ou post-alvéolaire, avec une configuration « bunched » contenant un creux dans la surface de la langue derrière la partie massée de la langue et la pointe de la langue abaissée. Dans **Mid bunched**, il s'agit d'une articulation où la partie antérieure, la lame et la pointe de la langue restent basses, tandis que le dos de la langue monte vers le palais dur.

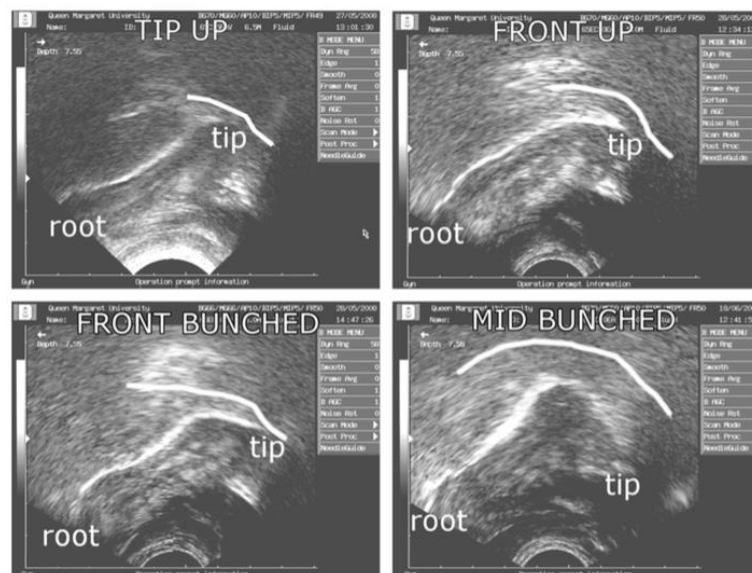


Figure 4.3 Les images représentent le point de constriction maximale du /r/ postvocalique dans l'étude de Lawson et al. (2013). Le dos de la langue est à gauche. La ligne épaisse dessinée en blanc représente la trace du palais dur.

#### 4.2.5 Normalisation des données

Afin de minimiser les différences entre les hommes et les femmes, nous avons normalisé les valeurs des trois premiers formants, qui sont généralement présentés en Hertz, en z-score par locuteur en utilisant la formule de Lobanov (1971) présentée dans l'Équation 1 :

$$F_{i\text{lobanov}} = (F_i - \mu_i) / (\sigma_i)$$

EQUATION 1. Transformation en z-score de Lobanov.

Dans cette formule,  $\mu_i$  est la fréquence formantique moyenne calculée pour toutes les voyelles d'un locuteur pour un formant  $i$ , alors que  $\sigma_i$  représente l'écart type.  $F_i$  est la valeur du formant  $i$  pour une observation spécifique. Cette transformation permet de réduire les différences entre locuteurs en ré-échantillonnant le centre de l'espace vocalique de chaque locuteur et la dispersion moyenne depuis ce centre.

#### 4.2.6 Analyses statistiques

Les valeurs des formants ont été analysées par le test ANOVA dans R studio (R Development Core Team 2017).

Pour tester l'influence de la rhotique sur les voyelles précédentes, F1, F2, F3 sont analysés par des modèles séparés comme une variable dépendante. Puisque l'étude de Huang (2010) montre que le suffixe rhotique centralise toutes les monophthongues, les facteurs fixes sont : voyelle ([a], [i], [u]), condition (présence / absence de rhotique) et éventuellement l'interaction entre ces deux facteurs. Les tests de Post-hoc Tukey HSD sont effectués lorsqu'une interaction significative est observée. Les plots des résultats sont réalisés avec les bibliothèques 'ggplot2' (version 2.2.1, Wickham, 2016) et 'phonR' (version 1.0-7, McCloy, 2016).

### 4.3 Résultats

#### 4.3.1 Résultats articulatoires

Dans notre étude, trois types de /r/ proposé par Lawson et al. (2013) ont été retrouvé dans la production du suffixe rhotique en mandarin, respectivement FU (FRONT UP), TU (TIP UP) et FB (FRONT BUNCHED). Il est produit en utilisant une configuration de la langue FU par deux locuteurs (2F), TU par quatre locuteurs (3H/1F), et FB par deux locuteurs (2F) (Figure 4.4). Nous considérons que le type de [r] TU est le type rétroflexe, en nous basant sur la définition de la rétroflexion de Hamann (2003). Selon Hamann, une articulation rétroflexe doit satisfaire au moins trois propriétés sur quatre : 1) apicalité ; 2) postériorité ; 3) rétraction ; 4) cavité sublinguale. Ici, le [r] TU présente les caractéristiques 1, 2 et 4. Nous le traitons comme une rétroflexe.

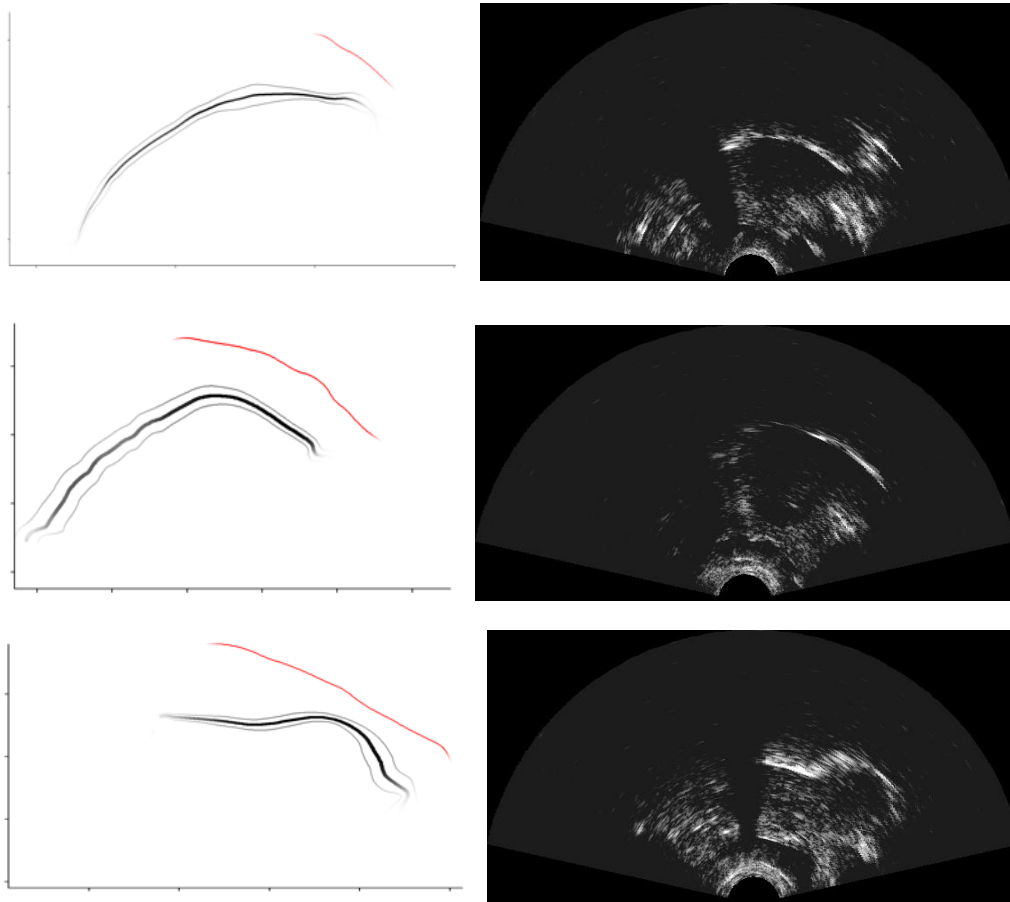


Figure 4.4 Les trois types de [r] observés dans notre étude : les contours de gauche représentent la moyenne de la constriction maximale pour [r] dans les trois conditions vocaliques ; les images de droite représentent le point de constriction maximale du suffixe rhotique dans la syllabe [par] (de haut en bas : Tip Up, Front Up et Front Bunched).

Selon la taxonomie de Lawson et al. (2013) et la définition de la rétroflexion par Hamann (2003), nous proposons que le suffixe rhotique en mandarin est produit soit comme rétroflexe, soit comme ‘bunched’. Les configurations de la langue ressemblent à celles de la production du /r/ en anglais. Cependant, les contours de la langue dans les productions du suffixe sont toujours stables et ne varient pas selon les contextes vocaliques, contrairement à ce qui a été observé dans plusieurs études sur l’anglais (Hagiwara, 1995 ; Westbury et al, 1998 ; Guenther et al., 1999 ; Zhou et al., 2008). Par conséquent, nous pourrions conclure que les voyelles précédentes ont peu d’effet de coarticulation sur la configuration de la langue pendant /r/ et que c’est surtout la rhotique qui affecte les voyelles. Le manque de variation observé suggère que chaque locuteur a une cible articuloire pour le suffixe rhotique et que le /r/ est résistant à



la coarticulation (Recasens et Rodríguez, 2015). De plus, nous avons observé que la rétraction de la langue est présente dans notre étude pour les deux types de /r/.

#### 4.3.2 Résultats acoustiques

Les valeurs moyennes et les écarts types bruts en Hz des trois premiers formants de [a], [i], [u] sont présentés dans les deux tableaux ci-dessous (Tableau 4.2 pour les femmes et

Tableau 4.3 pour les hommes). Les tableaux contiennent les valeurs de chaque voyelle en position pré-rhotique et non-rhotique. SS (sans suffixe) représente la position non-rhotique, AS (avec suffixe) représente la position pré-rhotique.

Tableau 4.2 La valeur moyenne et l'écart type (entre parenthèses) des trois formants de [a, i, u] des femmes (Hz).  
[Condition] : SS=Sans suffixe ; AS=Avec suffixe]

Vow	a		i		u	
	SS	AS	SS	AS	SS	AS
F1	999(81)	855(49)	327(30)	400(58)	358(23)	413(53)
F2	1626(151)	1377(65)	2778(238)	2392(168)	690(63)	828(80)
F3	2854(158)	2592(198)	3716(340)	3061(185)	2988(255)	2365(344)

Tableau 4.3 La valeur moyenne et l'écart type (entre parenthèses) des trois formants de [a, i, u] des hommes (Hz).  
[Condition] : SS=Sans suffixe ; AS=Avec suffixe]

Vow	a		i		u	
	SS	AS	SS	AS	SS	AS
F1	727(46)	658(38)	322(38)	400(31)	342(19)	402(14)
F2	1129(43)	1170(72)	2138(128)	1889(113)	658(86)	733(106)
F3	2533(158)	2312(100)	3088(135)	2623(239)	2725(160)	2429(155)

Les deux figures ci-dessous (Figure 4.5 et Figure 4.6) correspondent aux deux tableaux, avec une visualisation des trois formants. Pour chaque voyelle, [a], [i], [u], les moyennes et les écarts types des formants de chaque voyelle sans rhotique sont à gauche, ceux de la voyelle en position pré-rhotique sont à droite.

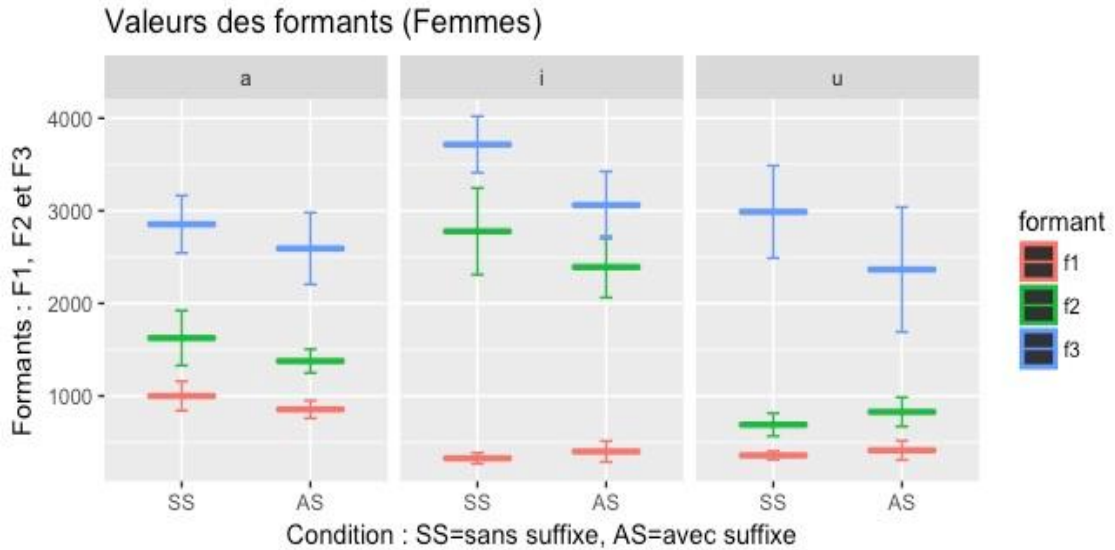


Figure 4.5 Les valeurs moyennes et les écarts types des trois voyelles en position non-rhotique et pré-rhotique (femmes)

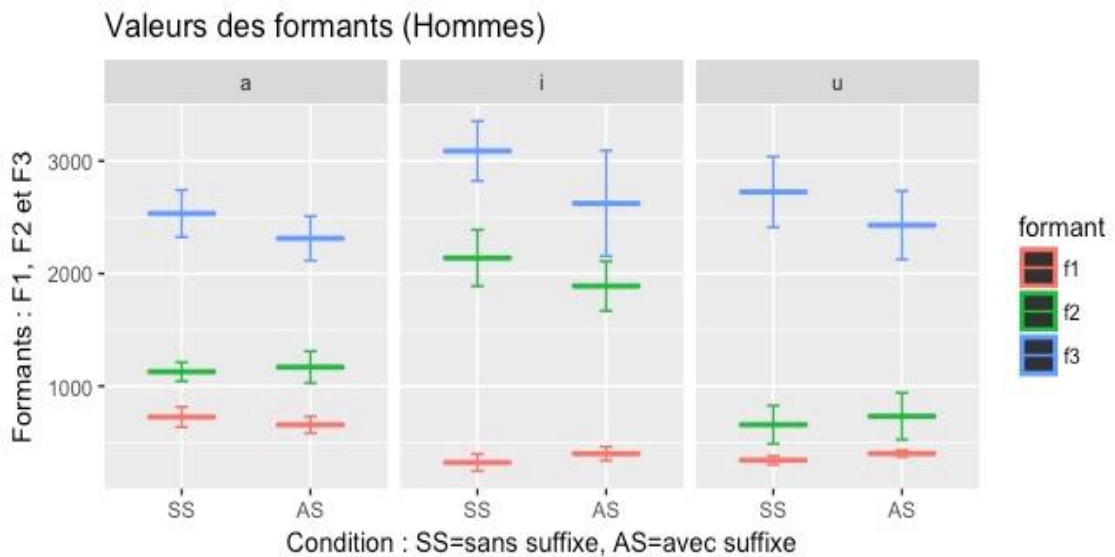


Figure 4.6 Les valeurs moyennes et les écarts types des trois voyelles en position non-rhotique et pré-rhotique (hommes)

Un test ANOVA est fait en se basant sur les données normalisées dans le logiciel Rstudio (Figure 4.7 et Figure 4.8), réduisant ainsi les différences entre les valeurs formantiques des hommes et des femmes. Nous voulons savoir si la rhotique influence la structure formantique des voyelles. Le test ANOVA sur l'ensemble des données (femmes et hommes) indique qu'il y a une interaction entre les voyelles et les deux conditions sur les valeurs de tous les trois formants. Les résultats sont les suivants :

La valeur moyenne de F1 :  $F(2, 225) = 164.39, p < 0.001^{***}$

La valeur moyenne de F2 :  $F(2, 225) = 109.67, p < 0.001^{***}$

La valeur moyenne de F3 :  $F(2, 225) = 21.36, p < 0.001^{***}$

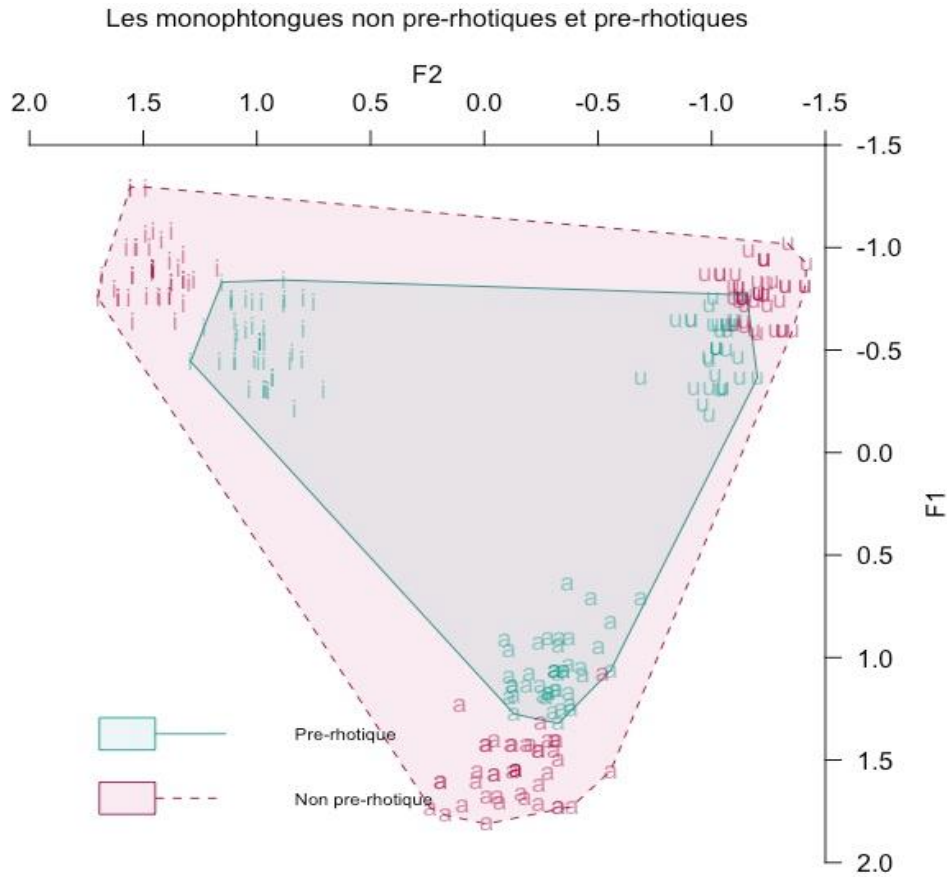


Figure 4.7 Les moyennes de F1 et F2 normalisées par locuteurs.

Pour la valeur moyenne de F1 (voir Figure 4.7), le test post-hoc Tukey HSD (voir Annexes - UTI post-hoc) montre que : la voyelle [a] a un F1 significativement plus bas en position pré-rhotique qu'en position non-rhotique ( $p < 0.001$ ) ; la voyelle [i] et la voyelle [u] ont un F1 significativement plus élevé en position pré-rhotique qu'en position non-rhotique ( $p < 0.001$ ).

Pour la valeur moyenne de F2 nous observons que : la voyelle [a] a un F2 significativement plus bas en position pré-rhotique qu'en position non-rhotique ( $p < 0.001$ ) ; la voyelle [i] a un F2 significativement plus bas en position pré-rhotique qu'en position non-rhotique ( $p < 0.001$ ) ; la voyelle [u] a un F2 significativement plus élevé en position pré-rhotique qu'en position non-rhotique ( $p < 0.001$ ). Dans la Figure

4.6 les voyelles en position pré-rhotique apparaissent plus centralisées par rapport aux mêmes voyelles dans l'absence du suffixe.

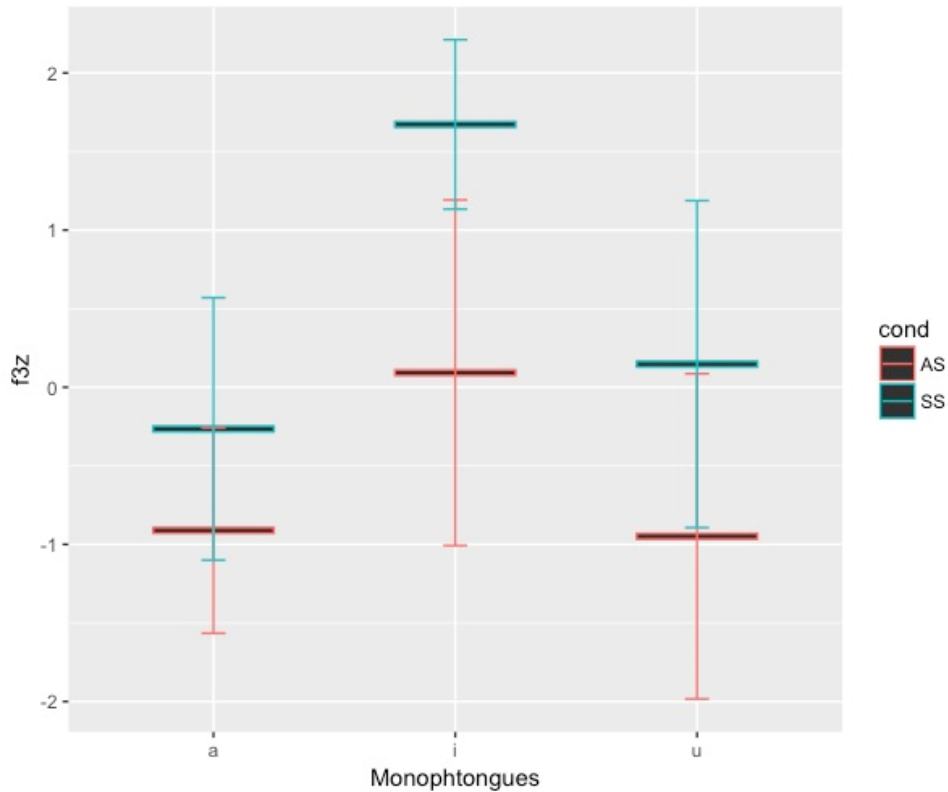


Figure 4.8 Les moyennes et les écarts types de F3 normalisés par locuteur. [AS : Pré-rhotique ; SS : non-rhotique]

Pour la moyenne de F3, le test post-hoc Tukey HSD montre que toutes les trois voyelles [a], [i], [u] ont un F3 significativement plus bas (Figure 4.8) en position pré-rhotique qu'en position non-rhotique ( $p < 0.001$ ).

#### 4.4 Discussion

Par rapport à notre première question, nos résultats montrent que le suffixe rhotique en mandarin partage des caractéristiques du [r] postvocalique en anglais américain. Parmi les 8 locuteurs examinés, l'étude articulatoire montre qu'il est réalisé comme une rétroflexe par 4 locuteurs et comme bunched par les 4 autres. Ces résultats articulatoires ne correspondent pas à ceux de Lee (2005). Son étude de trois locuteurs de Pékin (2F/1H) n'a pas montré que la pointe de la langue remonte ou se rétracte vers l'arrière, alors que notre étude montre que quatre locuteurs sur huit ont monté la pointe de la langue dans la production de [r]. L'étude de Chen et al. (2017),

présentée aussi à Ultrafest VIII, montre, comme la nôtre, que le suffixe rhotique en mandarin est similaire au [r] de l'anglais américain sans la protrusion des lèvres.

L'étude articulatoire la plus récente sur le suffixe est l'étude EMA de Jiang et al., (2019), basée sur les données de trois locuteurs de la province de Liaoning, du nord-est de la Chine. Les auteurs ont confirmé que le suffixe rhotique implique principalement une rétraction de corps de la langue (une configuration linguale 'bunched'). Dans une comparaison avec le schwa rhotique /ɚ/ du mot /ɚ/ 'fils', ils ont trouvé que le rehaussement de la pointe de la langue n'apparaît que dans l'articulation du schwa rhotique. À leur avis, même si le suffixe rhotique s'est développé diachroniquement du schwa rhotique, leurs données ont montré que la variation entre le [r] 'rétroflexe' et 'bunched' en anglais américain est reproduite en mandarin.

Toutes les études présentées ici ont observé que la pointe de la langue ne se rétracte pas vers le haut et l'arrière dans la réalisation du suffixe rhotique. Par contre, la rétraction du corps de la langue dans la réalisation du suffixe rhotique est une caractéristique retrouvée dans toutes les études (Lee, 2005 ; Chen et al, 2017 ; Jiang et al, 2019), y compris la nôtre. Enfin, nous notons que le type du contour de la langue pour le suffixe rhotique est stable pour chaque locuteur dans notre étude.

Nous avons déterminé sur la base des données acoustiques que le suffixe rhotique a une influence significative sur les voyelles précédentes. Cependant, Huang (2010) a indiqué que [u] change peu par rapport aux autres monophthongues puisque [u] est une voyelle arrondie. Nous avons trouvé que les trois voyelles se centralisent en position pré-rhotique par rapport à la position non-rhotique (voir Figure 4.7). La limitation de la durée d'enregistrement nous a permis de faire une étude qui sert uniquement à comprendre la réalisation du suffixe rhotique, spécifiquement à classifier la configuration linguale dans sa production. Dans le chapitre suivant nous allons présenter une étude acoustique plus complète, incluant plusieurs types de voyelles dans les stimuli, pour examiner plus en détail l'effet acoustique de la rhotique.

## Chapitre 5 : Étude acoustique du suffixe rhotique

La majorité des études existantes sur le suffixe rhotique se concentre sur son comportement phonologique, comme nous avons vu dans les analyses phonologiques proposées par Lin (1989), Duanmu (1990), Wang (1993), Duanmu (2007), Ma (1998), Tian (2009), présentées dans le chapitre 2. Les caractéristiques acoustiques du suffixe rhotique ont été relativement moins étudiées, excepté Lee, 2005 et Huang, 2010. Huang (2010) a examiné l'influence du suffixe rhotique sur la qualité de la voyelle. Ses résultats ont montré une différence significative dans la qualité d'une voyelle monophthongue lorsqu'elle est suivie par le suffixe rhotique, à l'exception de la voyelle /u/. Notre étude acoustique se situe dans la continuation de celle de Huang. Nous examinons les changements formantiques des rimes précédentes en présence de la rhotique et nous étendons l'étude aux diphtongues et aux séquences voyelle-coda nasale, en plus des rimes monophthongues. De plus, notre étude vise à comprendre le statut du suffixe rhotique, à savoir s'il est un segment ou un trait. Une comparaison de la durée de la rime avec et sans suffixe est réalisée dans ce but.

Les questions que nous posons dans ce chapitre sont les suivantes : 1) quel est le statut du suffixe rhotique, s'agit-il d'un segment ou d'un trait ; 2) quel est l'effet acoustique du suffixe rhotique sur les valeurs formantiques des rimes précédentes, monophthongues et diphtongues ; 3) y a-t-il neutralisation de certaines rimes en présence du suffixe rhotique au niveau acoustique. Dans la section 5.1 nous présentons la méthodologie et le recueil des données. Dans la section 5.2 nous examinons l'effet du suffixe rhotique sur la durée de la rime, en essayant de répondre à la première question et de déterminer le statut du suffixe en tant que trait ou segment. Dans la section 5.3, les valeurs formantiques mesurées au milieu des monophthongues sont comparées dans la présence et l'absence du suffixe rhotique, pour comprendre l'effet acoustique du suffixe. Cette étude est en continuation de l'étude échographique présentée dans le chapitre précédent. Dans la section 5.4,

nous étudions l'effet du suffixe rhotique sur la trajectoire formantique de rimes différentes, monophthongues et diphtongues, ainsi que la neutralisation des trois rimes différentes.

## 5.1 Méthodologie

Les enregistrements pour l'étude acoustique ont été réalisés à Shenyang en Chine. Dans cette sous-section, nous présentons les informations concernant le choix des participants (5.1.1), la création du corpus (5.1.2) et la procédure d'enregistrement (5.1.3).

### 5.1.1 Participants

Treize locuteurs ont participé aux enregistrements. Pour minimiser les variations entre locuteurs nous avons recruté des locuteurs d'un même dialecte, ayant presque tous le même âge. Les participants sont quatre hommes et neuf femmes originaires de Shenyang, la capitale de la province de Liaoning, située dans le nord-est de la Chine (Figure 5.1). Ils sont âgés entre 25 et 30 ans.



Figure 5.1 Géolocalisation de Shenyang sur la carte de la Chine. (source : wikipédia)

Chacun des locuteurs a passé 4 ans dans une autre ville pour ses études. Tous les locuteurs ont étudié l'anglais pendant plus de 10 ans en Chine. Parmi les treize, deux

locutrices ont aussi étudié le japonais comme spécialité à l'université pendant 4 ans, suivis de deux années d'études au Japon. Deux autres locutrices ont étudié le français comme spécialité à l'université et ont effectué 4 ans d'études en France. Un locuteur a résidé aux États-Unis pendant 4 ans d'études. Une autre locutrice a résidé en Australie pendant 3 ans. Tous les locuteurs ont un diplôme de Licence (bac+4) en Chine. Cinq personnes ont un diplôme de Master (bac+6). Une personne parmi les 13 a reçu une formation en linguistique. Les informations concernant les participants sont rassemblées dans le Tableau 5.1.

Tableau 5.1 Les informations des participants

Participant	Sexe	Age	Formation en linguistique	Langue étrangère
BYL	H	27	Non	Anglais
CC	F	27	Non	Anglais, Japonais
DB	F	26	Non	Anglais, Français
HYT	F	27	Non	Anglais, Japonais
PJ	F	28	Non	Anglais
PZ	F	27	Oui	Anglais
QLY	F	28	Non	Anglais, Japonais
SY	H	29	Non	Anglais
WXF	F	28	Non	Anglais
XCW	H	28	Non	Anglais
ZH	F	28	Non	Anglais
ZL	H	28	Non	Anglais
ZY	F	28	Non	Anglais, Français

### 5.1.2 Corpus

Deux corpus ont été enregistrés pour cette étude. Le premier corpus contient sept enregistrements de parole conversationnelle, le deuxième (celui qui a été analysé), est un corpus contrôlé, contenant des mots avec et sans suffixe rhotique prononcés dans une phrase porteuse.



Le corpus conversationnel a été enregistré pour tester la production spontanée du suffixe rhotique chez les 13 locuteurs. Le corpus conversationnel a été choisie pour avoir la parole spontanée puisque le suffixe rhotique est un phénomène dans la parole spontanée. Nous n'avons pas pu obtenir de parole spontanée avec les tâches « map task » et « diapix » en faisant des essais avec 4 participants. Puisque le suffixe rhotique est une particularité du style parlé, nous avons d'abord vérifié que les 13 locuteurs l'utilisent de manière spontanée et au même degré de fréquence. Nous avons enregistré les locuteurs deux par deux, dans les mêmes conditions que pour l'enregistrement du corpus contrôlé. Nous avons demandé à chaque paire de locuteurs de discuter de « voyage ». Ils ont reçu comme suggestion de raconter leur dernier voyage, ensuite de continuer à parler sans contrainte jusqu'à la fin de l'enregistrement. Les enregistrements nous ont confirmé que tous les locuteurs produisent la rhotique.

Pour le deuxième corpus, composé des enregistrements de la parole contrôlée, nous avons demandé à chaque locuteur de lire des phrases contenant des mots avec et sans suffixe. Puisque les locuteurs ont l'habitude de produire le suffixe rhotique même si le caractère correspondant à ce suffixe est absent à l'écrit, nous leur avons demandé de bien distinguer les phrases écrites avec et sans le suffixe rhotique, afin d'obtenir des données des deux conditions, que nous puissions comparer.

Dans la constitution du corpus contrôlé nous avons repris la méthode utilisée par Svantesson (1984) dans son étude sur la qualité des voyelles du mandarin. Svantesson a choisi le même contexte consonantique [t], car c'est une consonne qui peut précéder la plupart des voyelles en mandarin. Chaque mot est enregistré dans une phrase porteuse dans son étude. Ainsi, nous avons gardé la consonne [t] comme contrôle segmental dans les mots à enregistrer. Cela nous permet de contrôler l'influence de la coarticulation entre la consonne et la voyelle pour le plus grand nombre de voyelles et diphtongues en mandarin. Par contre, la voyelle [y] est précédée par la consonne [l], parce que cette voyelle ne se combine pas avec [t]. Le contrôle contexte consonantique précédent présente un avantage par rapport à l'étude de Huang (2010), où les voyelles étaient précédées par des consonnes

différentes. Au total, nous avons créé une liste de 52 mots (voir l’annexe « Corpus acoustique »), auxquels nous avons ajouté 26 distracteurs (total 78 mots).

Les 52 mots analysés sont divisés en deux parties égales : 26 mots sans suffixe rhotique et les mêmes 26 mots avec le suffixe rhotique. Parmi les 26 mots, 22 mots sont composés de syllabes ouvertes contenant des monophthongues et des diphtongues, 4 mots contiennent des syllabes fermées par une coda nasale (V+N ([n] ou [ŋ])). Les syllabes utilisées dans le corpus ont trois tons : T1 (ton plat), T2 (ton montant), T4 (ton descendant). Le ton T3, qui est un ton sandhi, est exclu de l’étude, car il présente une grande variabilité parmi les locuteurs. Les autres 26 mots sont les mêmes, avec le suffixe rhotique ajouté. Chaque mot a été prononcé dans une phrase porteuse indiquée dans le Tableau 5.2 :

Tableau 5.2 La phrase porteuse enregistrée

wǒ(T3) bǎ(T3) <u>dā(T1)</u> xiě(T3) hǎo(T3).
我 把 <u>搭</u> 写 好
[wɤʔ <sup>12</sup> pa-ʔ <sup>3</sup> <u>ta</u> ɕjɤʔ <sup>12</sup> xau-ʔ <sup>3</sup> ].
‘J’écris bien <u>da</u> (T1).’

### 5.1.3 Enregistrements

Les enregistrements ont été faits avec un enregistreur numérique Edirol (R-09HR) de Roland, dans une pièce silencieuse à la maison sans interférence d’appareils électroniques, pendant la journée. Pour la parole conversationnelle, les locuteurs sont enregistrés deux par deux avec le sujet « voyage » pour commencer la conversation. Chaque enregistrement a une durée d’environ 30 minutes. La parole contrôlée a été enregistrée 5 mois plus tard, dans la même chambre avec le même enregistreur. Les phrases ont été lues en ordre aléatoire. L’ordre des 78 phrases est différent dans chaque enregistrement. Les locuteurs ont enregistré cinq répétitions de chaque phrase, pour un total de  $52 \times 5 \times 13 = 3\,380$  mots analysés. Après chaque bloc de 78 phrases lues, ils ont pris une pause de 5 minutes pour se reposer. Chaque

phrase a été présentée individuellement sur un écran ipad de 9.7 pouces. La distance entre le participant et l'écran est autour de 80cm.

Avant de commencer l'enregistrement, les locuteurs ont lu la liste contenant toutes les phrases porteuses avec les mots clés. Cette étape d'entraînement est nécessaire car les locuteurs sont trop habitués à produire le suffixe rhotique. Ils ont tendance à le produire même quand il n'est pas écrit. Pour s'assurer qu'ils produisent les formes sans suffixe rhotique, nous leur avons demandé de lire la liste attentivement en préalable et nous avons vérifié qu'ils ne produisent pas la rhotique quand elle n'est pas écrite.

## 5.2 L'effet du suffixe rhotique sur la durée de la rime

### 5.2.1 Objectif et prédiction

Nous avons déjà mentionné une divergence d'opinions sur la représentation du suffixe rhotique dans les analyses phonologiques proposées. Il est parfois considéré comme un segment, parfois comme un trait. Pour essayer de comprendre quelle représentation serait correcte, nous avons comparé dans nos données la durée de la rime en présence et absence du suffixe rhotique. Si le suffixe est un segment, nous nous attendons à ce que sa présence contribue à la durée de la rime et que les rimes contenant un suffixe aient une durée plus longue que les rimes sans suffixe. Par contre, si le suffixe est un trait, nous nous attendons à ce que la durée de la rime soit comparable dans les deux conditions.

Sur la base du comportement phonologique, notre prédiction est que le suffixe rhotique est un segment plutôt qu'un trait, pour les raisons suivantes : toutes les analyses phonologiques ont mentionné différentes modifications segmentales en présence du suffixe rhotique, surtout la chute d'une coda nasale ou la chute de /i/ dans la diphtongue /ai/. Si le suffixe est un trait, il peut dans ces cas s'attacher à la nasale ou à la voyelle /i/. Dans notre étude, nous avons cinq rimes qui contiennent cinq monophthongues différentes, quatre rimes qui contiennent quatre diphtongues

différentes et quatre rimes qui contiennent une voyelle simple suivie par une coda nasale. Si chaque segment occupe un timing slot (cf. Clements et Keyser, 1983), nous nous attendons à trouver une hiérarchie de la durée de la syllabe en fonction du nombre de segments. Plus il y a de segments, plus la syllabe est longue : CV < CVG et CVN < CGVN. Nous avons les 13 types de rimes suivants : /a, i, u, y, ʏ, ai, əi, au, əu, an, aŋ, əŋ, uŋ/. Selon la comparaison entre les formes de la rime avec et sans suffixe rhotique dans la plupart des analyses phonologiques existantes, les changements segmentaux se différencient en fonction de la rime. Nous nous intéressons à comparer la durée de chaque rime dans la condition avec suffixe et sans suffixe. Par conséquent, une interaction entre le type de rime et la condition du suffixe sera dans notre prédiction. Enfin, les études précédentes (Ho, 1976 ; Xu, 1997 ; Wu et Kenstowicz, 2015) ont montré un effet significatif du ton sur la durée de la syllabe, nous allons le vérifier dans notre étude.

### 5.2.2 Segmentation et mesures (avec Praat)

La durée de la rime est mesurée à partir du début du premier formant de la voyelle jusqu'au début de la friction de la fricative [ç] dans le mot suivant. Les deux exemples suivants (Figure 5.2 et Figure 5.3) montrent la segmentation de la rime sans et avec suffixe, respectivement. La lettre majuscule 'D' est utilisée pour marquer la durée.

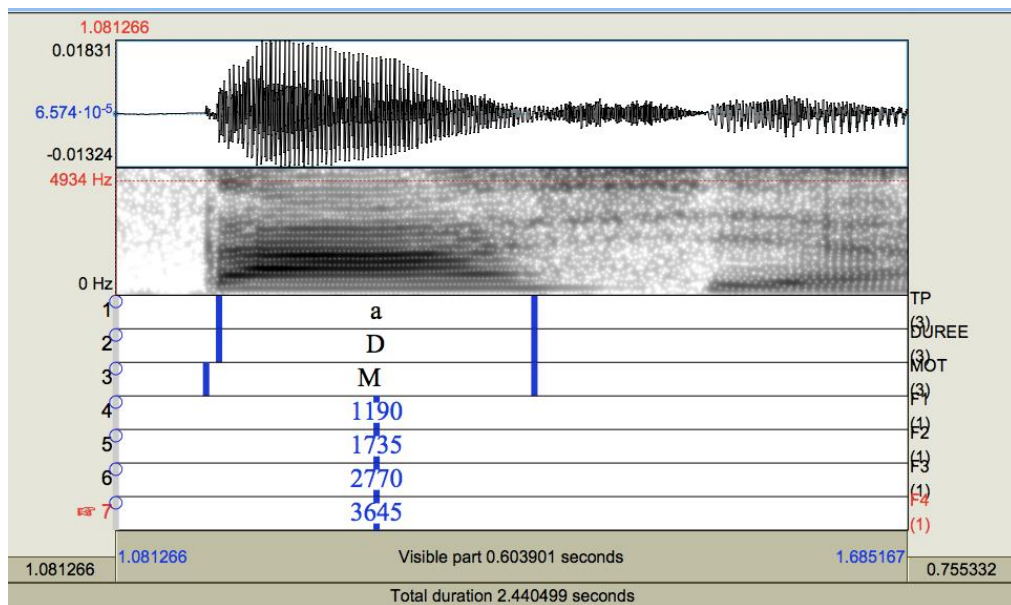


Figure 5.2 La durée de la rime (D) dans le mot [ta] 'dresser' dans [ta#cie]

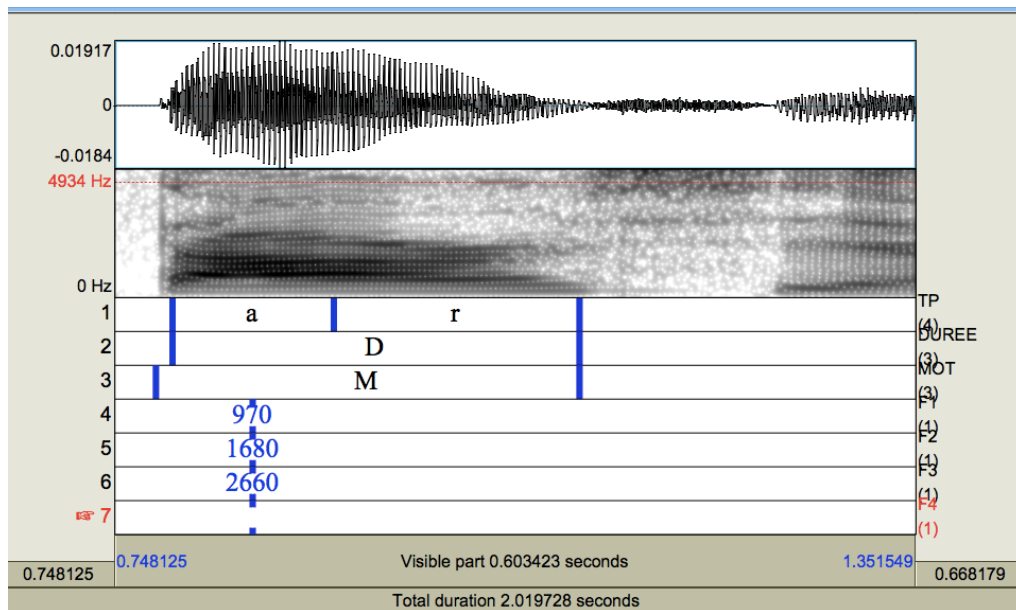


Figure 5.3 La durée de la rime (D) avec suffixe dans le mot, [tar] 'dresser' [ta#cie]

### 5.2.3 Normalisation des données

Pour éviter les différences de débit de parole entre les participants, nous avons normalisé les valeurs de la durée de la rime en z-score par locuteur, en utilisant la formule de l'équation :

$$Z = (X - \mu) / \sigma$$

Dans cette formule,  $\mu$  est la durée moyenne calculée pour toutes les rimes d'un locuteur, alors que  $\sigma$  représente l'écart type.  $X$  est la valeur de la durée initiale en ms pour une observation donnée.

### 5.2.4 Analyses statistiques

Les données sont analysées par une série de modèles de régression linéaire en utilisant la bibliothèque 'stats' (version 3.3.3) du logiciel R (R Development Core Team, 2017). Pour choisir le modèle statistique, nous avons utilisé la méthode 'Backward Elimination'. Afin de tester l'effet de chaque facteur ainsi que celui d'éventuelles interactions, nous avons utilisé le test du rapport de vraisemblance (*likelihood ratio test*) implémenté avec le test 'lrtest' dans la bibliothèque 'lmtest' (version 0.9-35) (Zeileis et Hothorn, 2002) en comparant le modèle avec un facteur donné (ou une

interaction) avec un modèle sans ce facteur (ou cette interaction). Nous n'avons pas inclus les facteurs aléatoires pour deux raisons : 1) nous avons normalisé les données en fonction du participant, donc les différences entre locuteurs sont déjà réduites au maximum ; 2) nous avons des données limitées, le facteur aléatoire sur item est déjà inclus par les facteurs fixes.

Les facteurs fixes dans l'analyse statistique sont : le type de rime (13 niveaux), la condition (2 niveaux : avec et sans suffixe rhotique), le ton (3 niveaux). L'interaction entre le type de rime et la condition est également incluse, puisque l'ajout du suffixe rhotique produit des changements segmentaux différents en fonction de la rime, par exemple, /a/→[ar] avec un rajout de la rhotique et /an/→[ar] avec remplacement de la nasale par la rhotique.

Les analyses des contrastes a posteriori ont été effectuées avec la fonction *emmeans* (bibliothèque 'emmeans', Lenth et al., 2018). Les graphiques de la section suivante sont réalisés à l'aide des bibliothèques 'ggplot2' (version 2.2.1, Wickham, 2016) pour les moyennes et écarts-types en se basant sur les valeurs initiales en ms et 'emmeans' (Lenth et al., 2018) pour montrer l'effet d'interaction entre les facteurs fixes.

### 5.2.5 Résultats

Les valeurs moyennes et les écarts types de la durée en ms sont présentés d'abord dans le Tableau 5.3. Pour la facilité typographique, certains symboles phonétiques sont remplacés par les symboles orthographiques entre parenthèses. Le nombre de données analysées est présenté dans la dernière colonne.

Tableau 5.3 Les moyennes et les écarts types de la durée des différentes rimes dans les deux conditions

<b>Voyelle</b>	<b>Condition</b>	<b>Moyenne(ms)</b>	<b>Écart-type(ms)</b>	<b>Données analysées</b>
a	SS	239.6281	51.61499	194
	AS	271.6031	47.70604	195
ɤ(e)	SS	229.0124	48.17876	129
	AS	251.2014	50.70983	128

u	SS	211.4687	51.47630	194
	AS	250.0255	50.03594	192
i	SS	205.2897	50.40452	195
	AS	256.7429	51.67485	195
y	SS	207.1474	48.11582	130
	AS	260.1832	49.83167	129
au	SS	255.6452	54.66066	194
	AS	273.2554	48.81662	194
əu(ou)	SS	238.4219	55.38664	192
	AS	256.0401	52.36350	195
ai	SS	241.6315	54.03842	130
	AS	265.4737	49.12375	130
əi(ei)	SS	236.2380	47.14591	64
	AS	263.9088	51.35642	59
an	SS	246.8775	51.40705	65
	AS	253.9688	46.07867	65
aŋ(ang)	SS	251.2276	51.50693	65
	AS	279.0895	51.88672	65
əŋ(eng)	SS	229.1283	52.00070	65
	AS	266.3880	50.00646	64
oŋ(ong)	SS	238.8005	49.09689	65
	AS	268.4757	52.92203	63

Les deux figures suivantes (Figure 5.4 et Figure 5.5) montrent les résultats de la durée de toutes les rimes ensemble dans les deux conditions, avec et sans suffixe. La Figure 5.4 présente les données en ms et la Figure 5.5 présente les données normalisées. La ligne horizontale centrale du graphique est la médiane, il existe autant de valeurs supérieures qu'inférieures à cette valeur dans l'échantillon. Les bords du rectangle sont les quartiles. Pour le bord inférieur, un quart des observations ont des valeurs plus petites et trois quart ont des valeurs plus grandes, le bord

supérieur suit le même raisonnement. Les extrémités des moustaches sont calculées en utilisant 1.5 fois l'espace interquartile (la distance entre le 1er et le 3ème quartile).

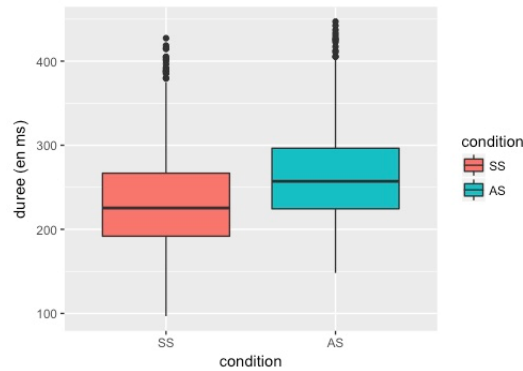


Figure 5.4 La durée (en ms) de toutes les rimes dans les deux conditions, avec et sans suffixe.

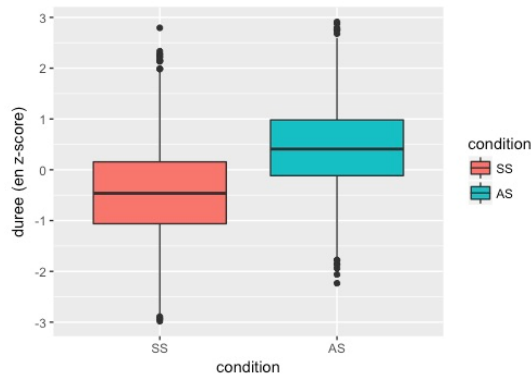


Figure 5.5 La durée (en z-score) de toutes les rimes dans les deux conditions, avec et sans suffixe.

Ces deux figures montrent qu'en présence du suffixe rhotique, la durée de la rime est plus longue que dans la condition sans suffixe ( $\chi^2(1) = 909.24, p < .0001^{***}$ ). Cette tendance correspond à notre prédiction que le suffixe rhotique est un segment qui contribue à rallonger la durée de la rime.

Cependant, nous avons prédit une interaction entre la présence ou absence du suffixe rhotique et différent type de rime. Plusieurs analyses phonologiques ont décrit, dans les cas de /ai/ et /an/, la chute du segment final (/i/ ou /n/) en présence du suffixe rhotique. Nous nous attendons donc à ce que la durée de ces deux rimes se comporte différemment des autres cas. Pour vérifier cette prédiction nous avons comparé la durée de chaque type de rime dans les deux conditions, avec et sans suffixe. Figure 5.6 et Figure 5.7 montrent les durées de chaque rime sans suffixe (en rouge) et avec suffixe (en bleu). Nous observons une augmentation de la durée dans



le cas avec suffixe par rapport au cas sans suffixe pour la plupart des rimes, sauf [an] (comme nous le voyons aussi dans le Tableau 5.3).

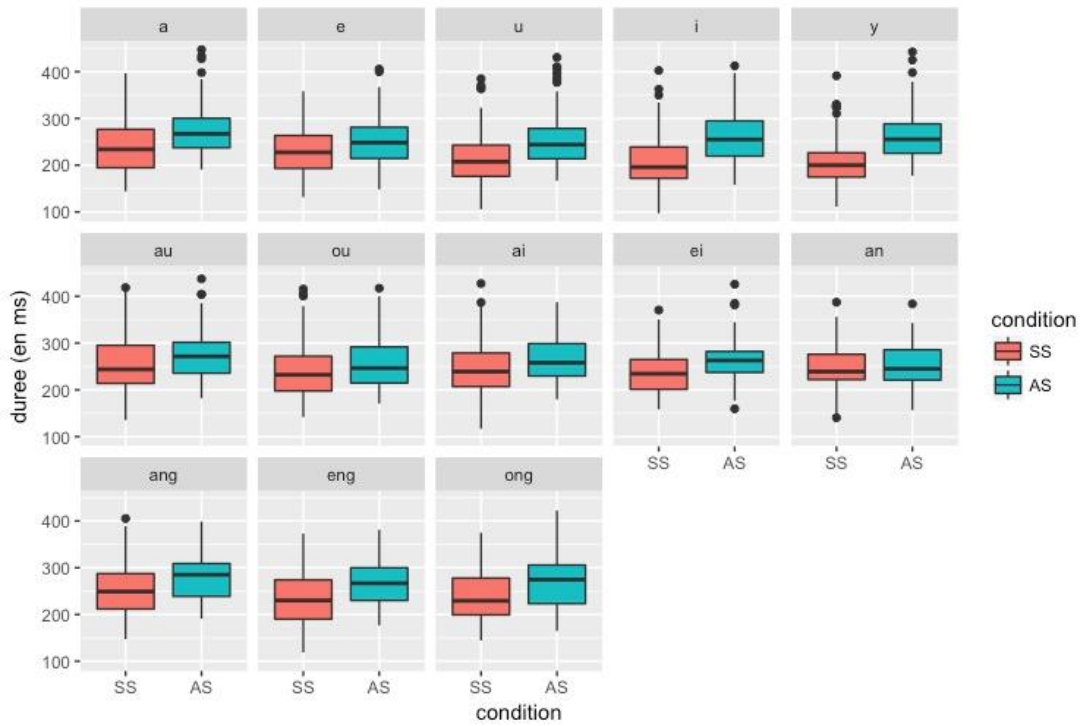


Figure 5.6 La durée (en ms) de chaque type de rime dans les deux conditions, avec et sans suffixe rhotique.

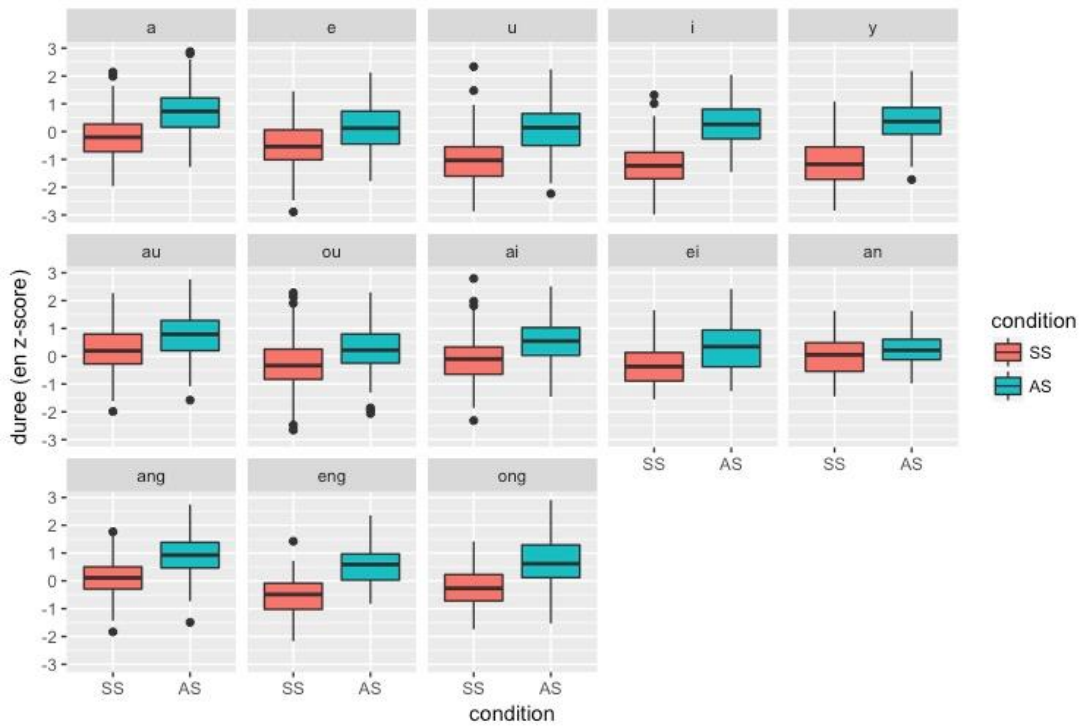


Figure 5.7 La durée (en z-score) de chaque type de rime dans les deux conditions, avec et sans suffixe rhotique.

Le résultat du test statistique montre qu'il y a un effet d'interaction significatif entre le type de rime et la condition du suffixe rhotique sur la durée de la rime ( $\chi^2(12) = 191.4, p < .0001^{***}$ ). La durée des différents types de rimes change différemment avec l'ajout du suffixe rhotique.

La Figure 5.8 présente l'interaction entre le type de rime et la condition avec ou sans suffixe. L'axe x montre les 13 types de rime, l'axe y indique la durée normalisée de la rime. Les deux lignes en couleurs différentes représentent les deux conditions, avec (bleu) et sans (rouge) suffixe rhotique. En comparant les deux lignes, nous pouvons voir que toutes les rimes sont plus longues en présence du suffixe rhotique, mais que le degré d'allongement est différent en fonction de la rime. Pour [i] et [y] le changement de la durée est plus grand que pour les autres rimes.

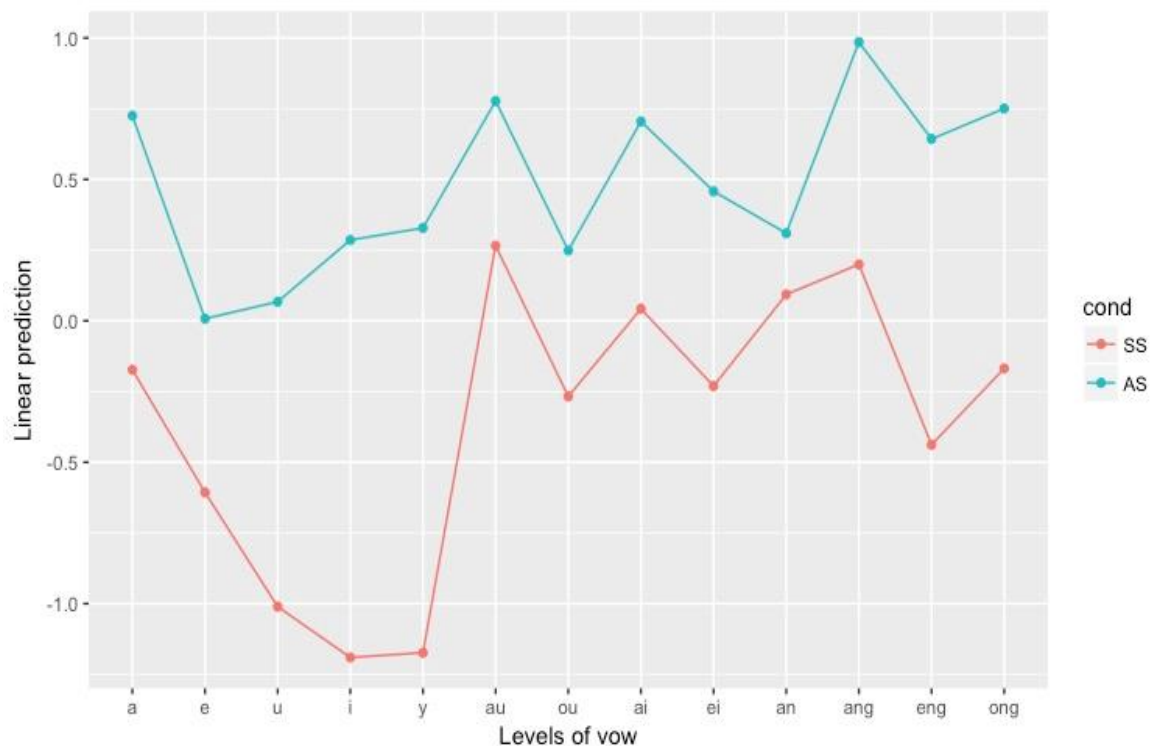


Figure 5.8 L'effet d'interaction entre le type de rime et la présence/absence du suffixe rhotique sur la durée de la rime (en z-score).

Les analyses des contrastes a posteriori (post-hoc) sont présentées dans le Tableau 5.4. Nous voyons que la durée de toutes les rimes est significativement plus longue en présence du suffixe rhotique, sauf dans le cas de [an]. Ce résultat soutient une

analyse différenciée des codas nasales en présence du suffixe rhotique, où seule la coda nasale alvéolaire serait remplacée par la rhotique.

Par contre, nous avons trouvé un rallongement de la durée de la diphtongue [ai] en présence du suffixe rhotique, contrairement aux analyses phonologiques qui proposent la chute de /i/ et son remplacement par la rhotique. Cette différence entre les durées de [ai] et de [an] en présence du suffixe rhotique nous incite à revoir les analyses phonologiques existantes. Globalement, sur la base des effets du suffixe rhotique observés sur la durée de la rime, nous proposons que le suffixe rhotique est un segment, puisqu'il peut rallonger la durée de la rime à laquelle il s'attache. Les cas de [an] vs. [aŋ] et [an] vs. [ai] restent à élucider séparément.

Tableau 5.4 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur 'ton' pour la durée en z-score.

<i>rime</i>	<i>contraste</i>	$\beta$	<i>ET</i>	<i>df</i>	<i>t.ratio</i>	<i>valeur p</i>
a	SS-AS	-0.8981532	0.07740138	3327	-11.604	<.0001
e	SS-AS	-0.6140073	0.09541215	3327	-6.435	<.0001
u	SS-AS	-1.0777091	0.07740138	3327	-13.924	<.0001
i	SS-AS	-1.4756583	0.07770261	3327	-18.991	<.0001
y	SS-AS	-1.5012581	0.09467492	3327	-15.857	<.0001
au	SS-AS	-0.5116551	0.07750144	3327	-6.602	<.0001
ou	SS-AS	-0.5158889	0.07760385	3327	-6.648	<.0001
ai	SS-AS	-0.6622374	0.09467492	3327	-6.995	<.0001
ei	SS-AS	-0.6884048	0.13776161	3327	-4.997	<b>0.0002</b>
an	SS-AS	-0.2162240	0.13389056	3327	-1.615	0.9977
ang	SS-AS	-0.7858829	0.13389056	3327	-5.870	<.0001
eng	SS-AS	-1.0808545	0.13441255	3327	-8.041	<.0001
ong	SS-AS	-0.9187143	0.13494900	3327	-6.808	<.0001

Nous avons observé qu'il y a une influence du ton sur la durée de la rime. Les deux figures suivantes (Figure 5.9 et Figure 5.10) montrent la durée de toutes les rimes ensemble en fonction du ton.

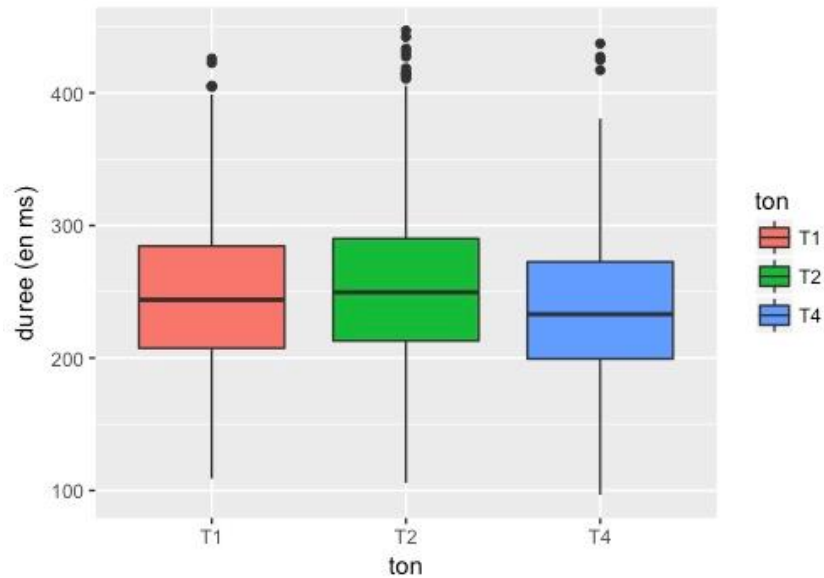


Figure 5.9 La durée (en ms) de toutes les rimes avec trois tons différents.

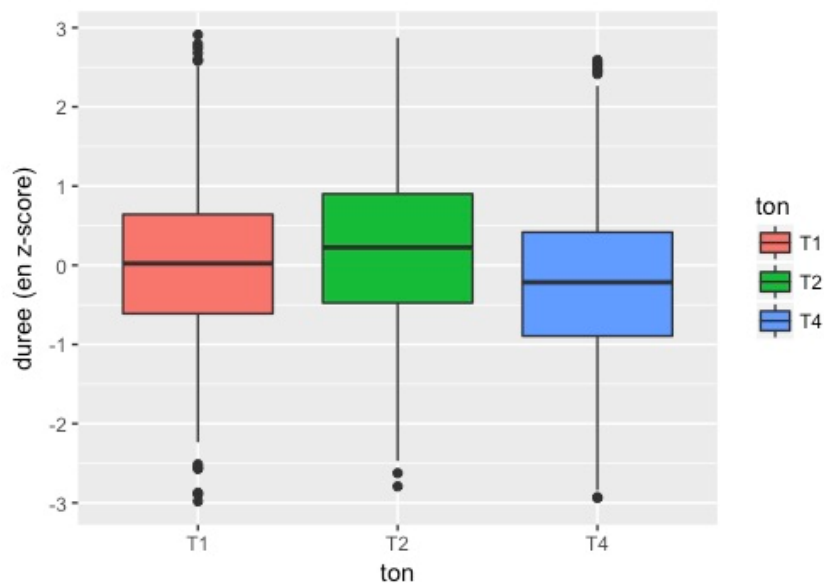


Figure 5.10 La durée (en z-score) de toutes les rimes ensemble avec trois tons différents

La Figure 5.9 contient les données en ms et la Figure 5.10 contient les données normalisées. Dans les deux figures nous voyons que la durée des rimes avec le T4 est plus courte par rapport à T1 et T2. Les rimes avec T2 ont une durée légèrement plus longue qu'avec T1.

Le résultat du test statistique montre qu'il y a un effet significatif du ton sur la durée de la rime ( $\chi^2(2) = 231.35$ ,  $p < .0001^{***}$ ). Les analyses des contrastes a posteriori (post-hoc) pour le ton sont présentées dans le Tableau 5.5.

Tableau 5.5 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur 'ton' pour la durée en z-score.

<i>contraste</i>	<i><math>\beta</math></i>	<i>ET</i>	<i>df</i>	<i>t.ratio</i>	<i>valeur p</i>
T1-T2	-0.3911650	0.03726827	3327	-10.496	<.0001
T1-T4	0.1682966	0.03721227	3327	4.523	<.0001
T2-T4	0.5594616	0.03723501	3327	15.025	<.0001

En nous appuyant sur ces résultats, nous observons que la hiérarchie de la durée en fonction du ton est la suivante :  $T2 > T1 > T4$ . Ces résultats correspondent à ceux des études précédentes de Ho (1976), Xu (1997), Wu et Kenstowicz (2015), qui ont comparé l'effet de tous les quatre tons lexicaux. Leurs résultats montrent que la hiérarchie complète de la durée de la syllabe est :  $T3 > T2 > T1 > T4$ . Il n'est pas surprenant que les syllabes contenant le T3 soient les plus longues, comme nous l'avons déjà mentionné, le T3 est un ton sandhi.

Dans cette sous-section nous avons montré l'effet de l'ajout du suffixe rhotique sur la durée de la rime. Notre objectif était de déterminer si le suffixe rhotique est un segment ou un trait. La comparaison de la durée des rimes avec et sans suffixe nous a montré que la durée de toutes les rimes est significativement plus longue en présence du suffixe rhotique, sauf dans le cas de [an]. Ce résultat soutient une analyse qui propose la chute de [n] en présence du suffixe rhotique. Si le suffixe rhotique était un trait au lieu d'un segment, nous n'aurions pas attendu de changement de la durée de la rime. De plus, pour les cas dans lesquels il y a une chute d'un segment au niveau phonologique, la durée de la syllabe pourrait probablement se raccourcir en présence du suffixe rhotique, si celui-ci était un trait. Ainsi, nous proposons que le suffixe rhotique devrait être traité comme un segment dans l'analyse phonologique.

Nous avons trouvé que le ton a aussi un effet significatif sur la durée de la rime en mandarin. La hiérarchie de durée que nous avons trouvée pour les rimes est la

suivante :  $T2 > T1 > T4$ . Ces résultats correspondent aux résultats des recherches précédentes.

### 5.3 L'effet du suffixe rhotique sur les valeurs formantiques des monophthongues

#### 5.3.1 Objectif et prédiction

L'étude des données acoustiques enregistrées lors de notre étude échographique du chapitre 4 nous a montré que l'ajout du suffixe rhotique a un effet de centralisation sur les trois voyelles [a], [i] et [u]. Dans l'étude acoustique présentée ici nous examinons 5 voyelles du mandarin : [a], [i], [u], [y], [ɤ]. Nous nous attendons à retrouver la même centralisation pré-rhotique pour toutes les voyelles chez les 13 locuteurs. Notre prédiction prévoit donc une interaction entre le type de voyelle et la condition (absence / présence du suffixe rhotique) sur les valeurs formantiques.

#### 5.3.2 Segmentation et mesures

Tous les enregistrements ont été traités dans Praat (version 5.3.56) (Boersma and Weenink). Deux exemples de la segmentation de la voyelle [a] avec et sans suffixe sont présentés dans les Figure 5.11 et Figure 5.12, respectivement.

Dans le contexte sans suffixe (Figure 5.11), le début de la voyelle est marqué par le début de F1, après le relâchement du [t]. La fin de la voyelle est marquée par la fin de F2 avant le début de la friction de [ç] dans le mot suivant.

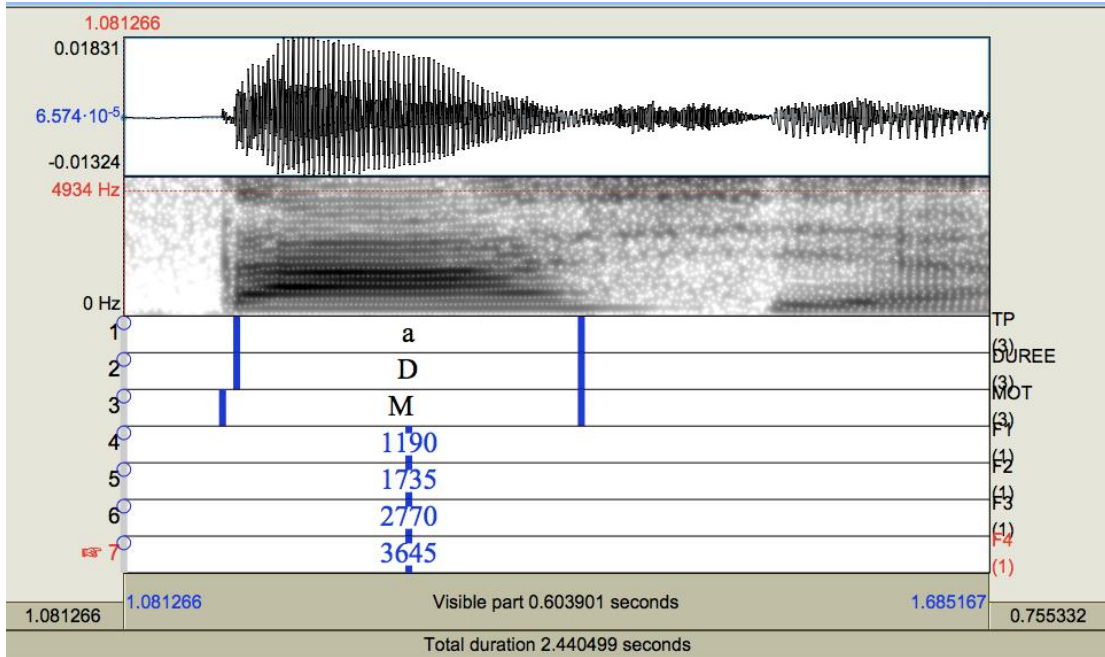


Figure 5.11 La segmentation de [a] dans le mot [ta] 'dresser' sans suffixe ([ta#cie])

Dans le contexte avec suffixe (Figure 5.12), la fin de la voyelle est marquée par le début du mouvement descendant de F3. Les valeurs des trois premiers formants sont mesurées au milieu de la voyelle segmentée d'après ces critères.

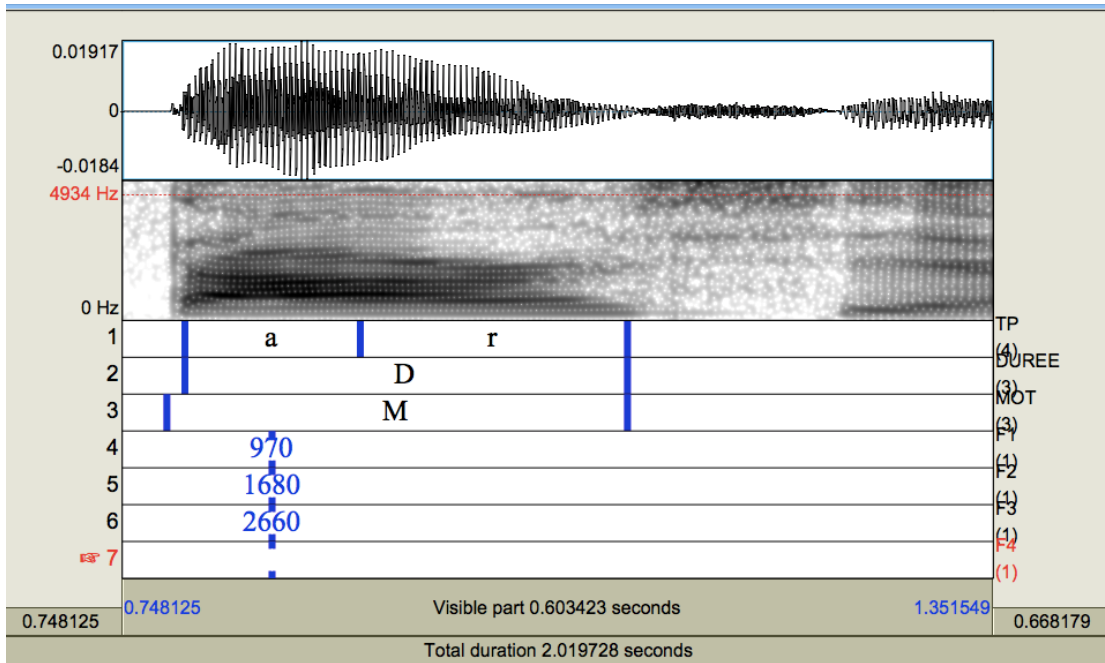


Figure 5.12 La segmentation de [a] dans le mot [tar] 'dresser' avec suffixe ([tar#cie])

Pour les monophthongues nous avons mesuré les valeurs des trois premiers formants à un point statique au milieu de la voyelle, suivant la même méthode que celle utilisée par Svantesson (1984).

Neuf phrases ont finalement été rejetées dû à des erreurs de production ou à une pause inattendue dans la phrase. Le nombre total de mots analysés contenant des monophthongues sont indiquées dans le Tableau 5.6.

Tableau 5.6 Le nombre des données analysées pour les monophthongues.

Voyelle	Nombre de mots	Condition	Répétition	Participant	Total	Données analysées
a	3	2	5	13(4H/9F)	390	389
i	3	2	5	13(4H/9F)	390	390
u	3	2	5	13(4H/9F)	390	386
y	2	2	5	13(4H/9F)	260	259
ɥ	2	2	5	13(4H/9F)	260	257

### 5.3.3 Normalisation des données

Pour combler le manque de parité hommes/femmes parmi les participants et pouvoir traiter toutes les données ensemble, les valeurs des formants F1, F2 et F3 sont normalisées séparément en z-score par locuteur. Nous avons utilisé la formule de Lobanov (1971), comme pour le traitement des données échographiques. Cela nous a permis d'éliminer les différences entre les hommes et les femmes.

### 5.3.4 Analyses statistiques

Les données ont été soumises à une série de modèles de régression linéaire, en utilisant la bibliothèque 'stats' (version 3.3.3) du logiciel R (R Development Core Team, 2017). Pour choisir le modèle statistique, nous avons de nouveau utilisé la méthode 'Backward Elimination'. Les facteurs fixes dans cette étude sont : le type de voyelle (5 niveaux), la condition du suffixe rhotique (2 niveaux) et leur interaction.

Les analyses des contrastes a posteriori ont été effectuées avec la fonction 'emmeans' (bibliothèque 'emmeans', Lenth et al., 2018). Les graphiques de la section suivante sont réalisés : à l'aide de la bibliothèque 'ggplot2' (version 2.2.1, Wickham, 2016) pour les moyennes et écarts-types basées sur les valeurs initiales en Hz ; 'phonR' (version 1.0-7, McCloy, 2016) pour les triangles vocaliques avec les



valeurs normalisées ; ‘emmeans’ (Lenth et al., 2018) pour montrer l’effet d’interaction entre les facteurs fixes.

### 5.3.5 Résultats

Nous présentons d’abord les valeurs moyennes et les écarts types en Hz pour les trois premiers formants de chaque voyelle, pour les femmes et les hommes séparément (Tableau 5.7 et Tableau 5.8, respectivement).

Tableau 5.7 Les moyennes et les écart-types en Hz des monophthongues sans et avec suffixe (femmes).

FEM	F1		F2		F3	
Cond	SS	AS	SS	AS	SS	AS
a	1060(126)	916(118)	1710(127)	1580(80)	2988(117)	2765(180)
u	368(24)	470(55)	766(78)	1052(125)	3055(164)	2739(167)
ɤ	467(42)	560(70)	1356(104)	1661(103)	3060(200)	2814(198)
i	365(38)	450(46)	2894(192)	2455(196)	3655(146)	3166(143)
y	375(43)	460(51)	2248(170)	1926(171)	2855(200)	2654(206)

Tableau 5.8 Les moyennes et les écart-types en Hz des monophthongues sans et avec suffixe (hommes).

HOM	F1		F2		F3	
Cond	SS	AS	SS	AS	SS	AS
a	841(115)	716(78)	1299(89)	1331(84)	2601(144)	2392(188)
u	349(39)	444(43)	694(69)	1010(147)	2847(282)	2499(271)
ɤ	450(40)	572(62)	1362(70)	1530(104)	2768(141)	2618(152)
i	341(35)	434(45)	2335(158)	2074(119)	3142(164)	2770(138)
y	351(29)	442(33)	2014(119)	1663(133)	2496(189)	2322(128)

Les deux figures suivantes (Figure 5.13 et Figure 5.14) montrent les moyennes et les écarts-types de toutes les monophthongues mesurées dans notre étude, pour les femmes et les hommes, respectivement. Pour toutes les voyelles, les trois valeurs de gauche correspondent à leur forme sans suffixe, alors que les trois valeurs de droite

correspondent à leur forme devant le suffixe rhotique. Nous observons une baisse de F3 dans tous les cas. A part cette caractéristique, nous voyons également que les deux premiers formants sont aussi affectés par la présence du suffixe rhotique.

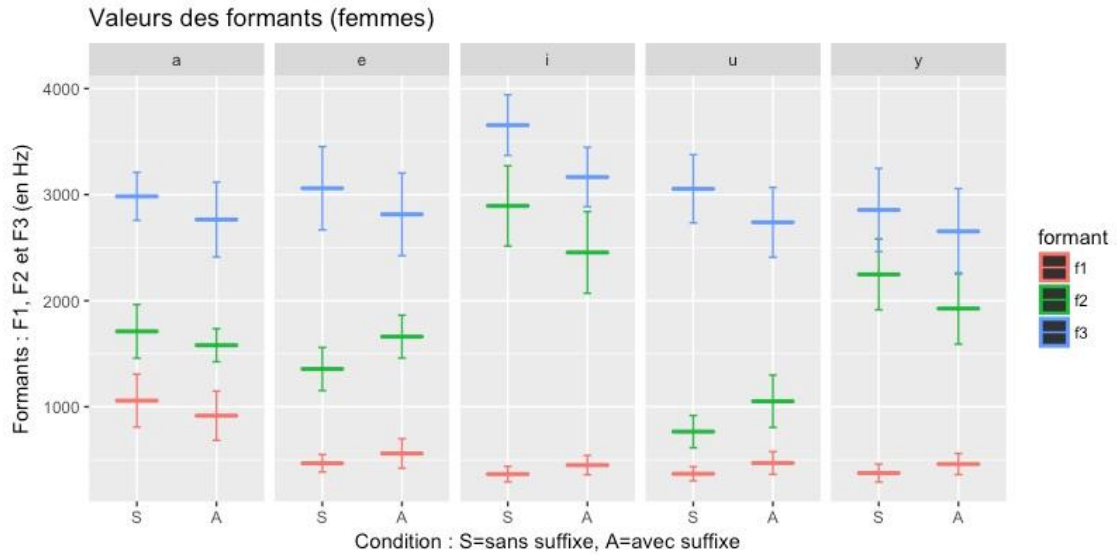


Figure 5.13 Les moyennes et les écarts-types de F1, F2 et F3 des monophthongues dans deux conditions pour les femmes. "e" représente ici la voyelle [ɤ]

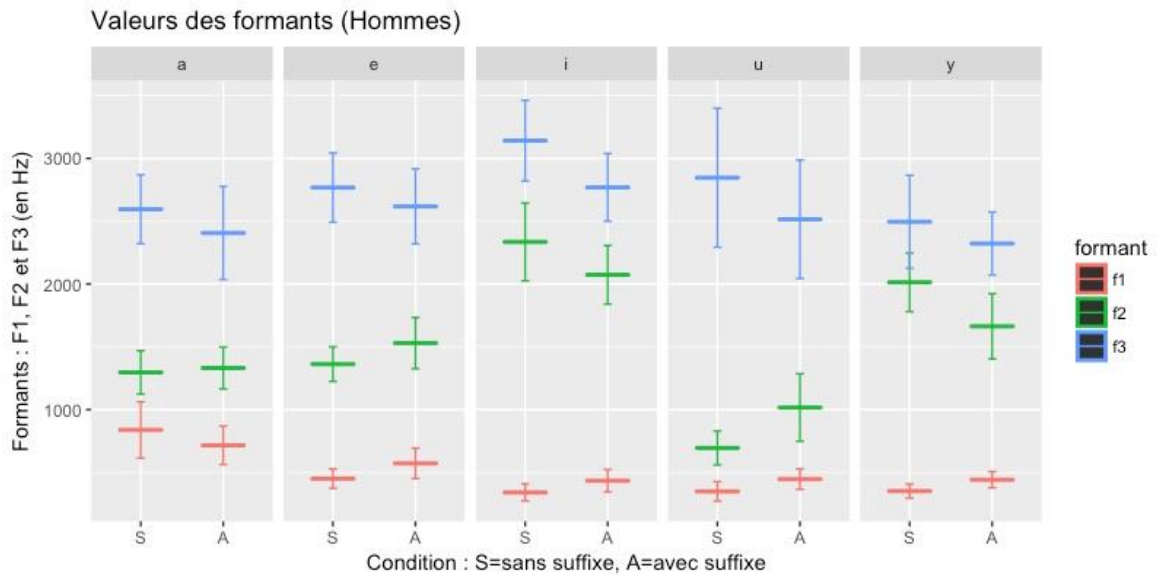


Figure 5.14 Les moyennes et les écarts-types de F1, F2 et F3 des monophthongues dans deux conditions pour les hommes. "e" représente ici la voyelle [ɤ]

Afin de tester l'effet acoustique du suffixe rhotique sur ces monophthongues, nous avons construit une série de modèles de régression linéaire pour les analyses statistiques. Trois modèles de régression linéaire (pour F1, F2 et F3) sont construits en incluant les deux facteurs fixes : Voyelle (5 niveaux), Condition (2 niveaux : absence / présence du suffixe rhotique) et leur interaction. La valeur p est obtenue par 'lrtest' en comparant deux modèles avec et sans un facteur donné.

### Changement de F1

L'analyse du premier formant avec et sans suffixe indique que la condition a un effet significatif ( $\chi^2(1) = 161.78, p < .0001^{***}$ ). Un effet du type de voyelle a été également trouvé ( $\chi^2(4) = 3960, p < .0001^{***}$ ), ainsi qu'une interaction entre la voyelle et la condition ( $\chi^2(4) = 981.31, p < .0001^{***}$ ). La valeur de F1 est donc différente dans la présence et l'absence du suffixe rhotique.

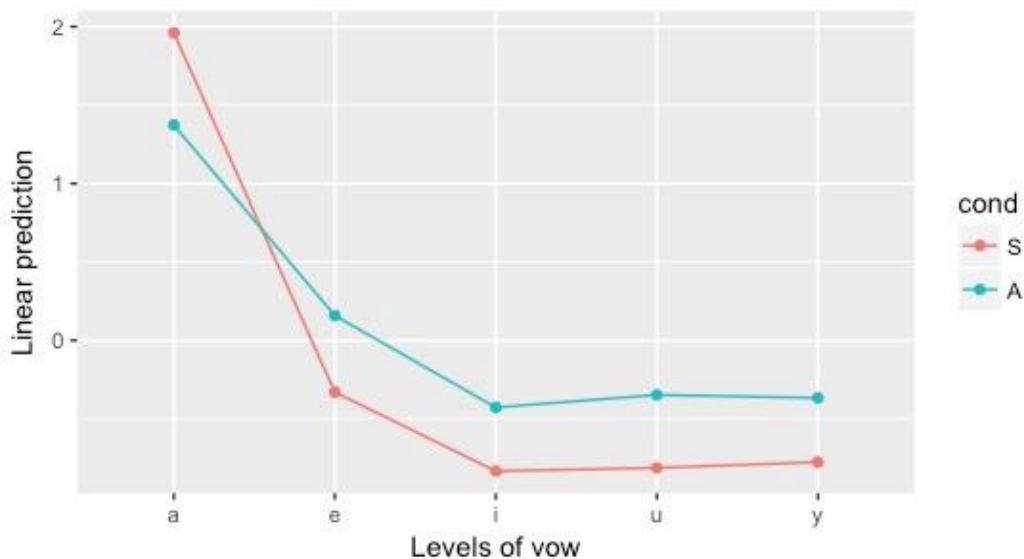


Figure 5.15 L'effet d'interaction entre la voyelle et la condition sur F1 (en z-score). "e" représente ici la voyelle [ɜ]

La Figure 5.15 montre l'interaction entre la voyelle et la condition parmi les valeurs de F1. L'axe x montre cinq niveaux de la voyelle, l'axe y correspond à la valeur de F1 normalisée, les deux lignes en couleurs différentes représentent les deux conditions de suffixe rhotique. La ligne rouge indique la valeur moyenne de F1 de la voyelle sans suffixe et la ligne bleue, la moyenne de F1 des voyelles suivies par la rhotique. En comparant les deux lignes, nous pouvons voir que F1 baisse pour la voyelle [a] en présence du suffixe rhotique, alors que pour les autres voyelles il devient plus élevé.

Les analyses des contrastes a posteriori (post-hoc) sont présentées dans le Tableau 5.9.

Tableau 5.9 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur condition par voyelle sur F1 en z-score.

Voyelle	contraste	$\beta$	ET	df	t.ratio	valeur p
/a/	SS - AS	0.5875103	0.02487476	1663	23.619	<.0001
/ɤ/	SS - AS	-0.4883977	0.03028201	1663	-16.128	<.0001
/i/	SS - AS	-0.4062266	0.02458191	1663	-16.525	<.0001
/u/	SS - AS	-0.4652497	0.02470929	1663	-18.829	<.0001
/y/	SS - AS	-0.4099393	0.03016486	1663	-13.590	<.0001

Ces résultats ont confirmé qu'en présence du suffixe rhotique dans la rime :

- a) F1 de la voyelle [a] baisse significativement ; b) F1 des autres voyelles [ɤ], [i], [u], [y] devient significativement plus élevé.

### **Changement de F2**

L'analyse du deuxième formant des voyelles avec et sans suffixe indique que la condition a un effet significatif ( $\chi^2(1) = 23.331, p < 0.0001^{***}$ ), aussi bien que le type de voyelle ( $\chi^2(4) = 3943.4, p < 0.0001^{***}$ ). L'interaction entre le type de voyelle et la condition est évidente pour F2 ( $\chi^2(4) = 1459.9, p < 0.0001^{***}$ ). Celle-ci indique que la valeur de F2 de chaque voyelle se différencie en fonction de la présence ou l'absence du suffixe rhotique.

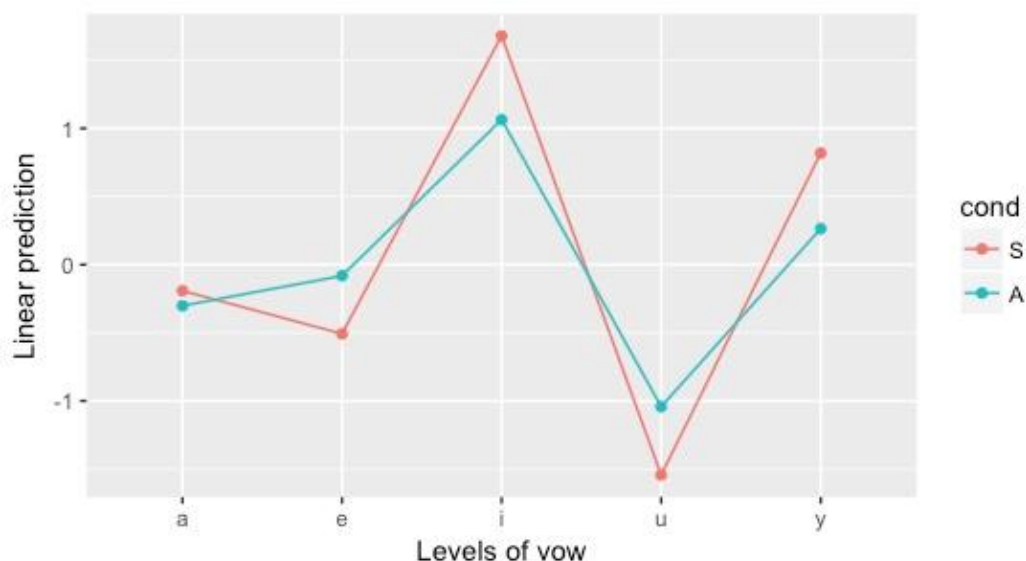


Figure 5.16 L'effet d'interaction entre la voyelle et la condition sur F2 (en z-score). "e" représente ici la voyelle [ɣ]

La Figure 5.16 montre l'effet de l'interaction entre le type de voyelle et la condition sur la valeur de F2. L'axe y correspond à la valeur de F2 normalisée. Nous observons que le changement de F2 dépend du type de voyelle. La valeur de F2 baisse pour les voyelles [a], [i], [ɣ] en présence du suffixe rhotique, alors que celle des voyelles [ɣ] et [u] devient plus élevée.

Tableau 5.10 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur condition par voyelle sur F2 en z-score.

Voyelle	contraste	$\beta$	ET	df	t.ratio	valeur p
/a/	SS - AS	0.109332	0.02036814	1663	5.368	<.0001
/ɣ/	SS - AS	-0.426136	0.02479575	1663	-17.186	<.0001
/i/	SS - AS	0.614341	0.02012836	1663	30.521	<.0001
/u/	SS - AS	-0.501531	0.02023265	1663	-24.788	<.0001
/y/	SS - AS	0.553715	0.02469983	1663	22.418	<.0001

Les analyses des contrastes a posteriori (post-hoc) pour F2 sont présentées dans le Tableau 5.10. Les changements formantiques provoqués par l'ajout du suffixe rhotique sont les suivants :

- F2 des voyelles [a], [i] et [ɣ] devient significativement plus bas ;
- F2 des voyelles [ɣ] et [u] devient significativement plus élevé.

**Changement de F3**

La comparaison des valeurs de F3 montre : 1) que la condition a un effet significatif ( $\chi^2(1) = 941.55, p < .0001^{***}$ ) ; 2) que le type de voyelle a aussi une influence significative sur la valeur de F3 ( $\chi^2(4) = 1688.9, p < .0001^{***}$ ) ; 3) que les deux facteurs interagissent ( $\chi^2(4) = 164.15, p < .0001^{***}$ ). L'interaction indique que la valeur de F3 change différemment pour chaque voyelle en présence du suffixe rhotique.

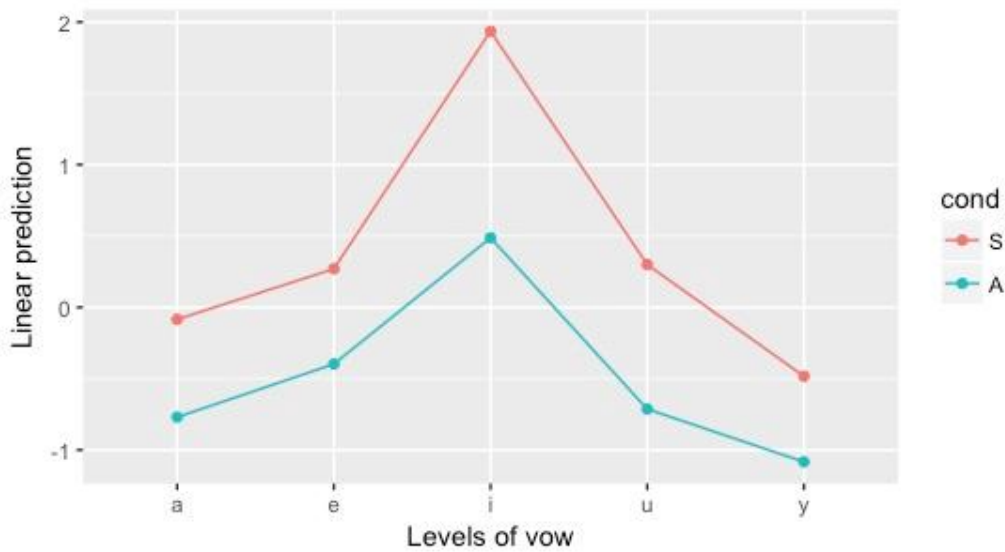


Figure 5.17 L'effet d'interaction entre la voyelle et la condition sur F3 (en z-score). "e" représente ici la voyelle [ɣ]

La Figure 5.17 présente l'interaction entre la voyelle et la condition sur les valeurs de F3. En comparant les deux lignes, nous pouvons voir que le changement de F3 a la même tendance pour toutes les cinq voyelles. F3 est plus élevé pour les voyelles sans suffixe que pour les voyelles suivies par le suffixe rhotique.

Tableau 5.11 Les résultats de l'analyse des contrastes du facteur condition par voyelle sur F3 en z-score.

Voyelle	contraste	$\beta$	ET	df	t.ratio	valeur p
/a/	SS - AS	0.6845041	0.05193105	1663	13.181	<.0001
/ɣ/	SS - AS	0.6670296	0.06321979	1663	10.551	<.0001
/i/	SS - AS	1.4478504	0.05131969	1663	28.212	<.0001
/u/	SS - AS	1.0131377	0.05158560	1663	19.640	<.0001
/y/	SS - AS	0.5999684	0.06297521	1663	9.527	<.0001

Le Tableau 5.11 présente les analyses des contrastes a posteriori (post-hoc) pour F3. Ces résultats confirment que l'ajout du suffixe rhotique fait baisser significativement la valeur de F3 pour toutes les voyelles.

Les changements de F1 et F2 pour toutes les voyelles montrent qu'il y a un effet de centralisation en présence du suffixe rhotique (Figure 5.18),

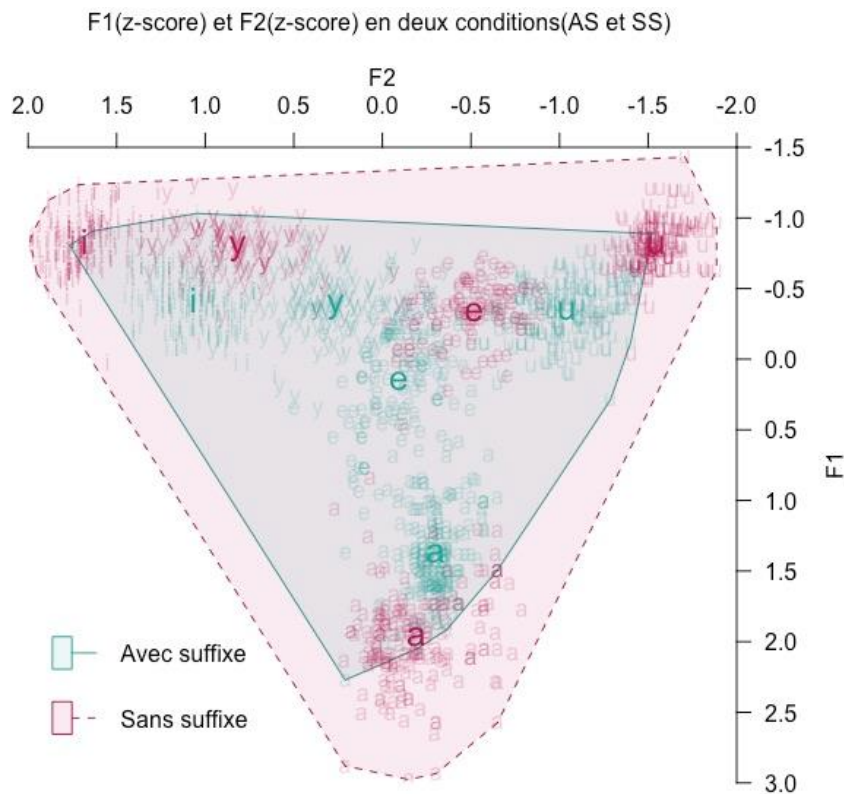


Figure 5.18 L'effet d'interaction. Les moyennes et les écarts-types de F1 et F2 des monophthongues dans les deux conditions, avec et sans suffixe ("e" représente ici la voyelle [ɔ])

Ce résultat correspond à celui de Huang (2010), sauf pour la voyelle [u]. Dans son étude, Huang n'a pas trouvé un effet significatif du suffixe rhotique sur F1 et F2 de la voyelle [u], alors que nous avons trouvé que les changements formantiques sont significatifs pour toutes les voyelles en présence du suffixe rhotique. Sous l'influence du suffixe rhotique, l'espace vocalique est réduit. La distribution des voyelles est moins dispersée en présence du suffixe rhotique que dans son absence. En nous appuyant sur ces résultats, nous proposons que le suffixe rhotique a un effet systématique de centralisation sur la voyelle qui le précède. Nous notons aussi le fait

qu'un F3 plus bas pour toutes les voyelles suivies par le suffixe rhotique correspond à l'effet de la rhotique en anglais américain.

Dans cette section, nous avons présenté l'effet du suffixe rhotique sur la structure formantique des monophthongues. Il est clair que la présence de la rhotique affecte les valeurs formantiques des voyelles et diphtongues précédentes. Dans la section suivante nous allons examiner plus en détail la trajectoire des formants, pour mieux comprendre jusqu'où s'étend l'effet de la rhotique à l'intérieur de la rime.

## 5.4 L'effet du suffixe rhotique sur la trajectoire formantique des rimes

### 5.4.1 Objectif et prédiction

L'objectif de cette étude est de comprendre l'influence du suffixe rhotique tout au long de la rime, en comparant les trajectoires formantiques de chaque rime avec et sans suffixe rhotique. Nous voulons savoir, par exemple, à quel moment l'influence du suffixe rhotique est observable dans la rime. La comparaison des trajectoires formantiques peut nous aider à vérifier le phénomène de la neutralisation des trois rimes différentes /a/, /ai/ et /an/ en présence du suffixe rhotique, proposée par plusieurs linguistes (Duanmu, 1990, 2007 ; Lin, 1989, 2007, etc.). Si la description de la neutralisation est correcte, nous n'attendons aucune différence entre les trajectoires formantiques de ces trois rimes. Les observations basées sur cette comparaison nous permettent de mieux comprendre le comportement phonologique du suffixe rhotique.

### 5.4.2 Segmentation et mesures

La trajectoire formantique de la rime entière, sans et avec le suffixe rhotique, pour les monophthongues aussi bien que pour les diphtongues, est segmentée du début de F1 de la voyelle jusqu'à la fin de la syllabe, marquée par la fin du signal périodique et le début de la friction de la fricative initiale du mot suivant [ç]. La segmentation est marquée par la lettre majuscule 'D'. Un script écrit par Katherine Crosswhite et modifié par Andries W Coetzee dans Praat a été utilisé pour extraire les valeurs des



trois premiers formants sur 21 points situés tous les 5% de la durée de la rime avec et sans suffixe. La Figure 5.19 montre un exemple de la segmentation de [ai] dans [tai] avec le suffixe rhotique. Au total, nous avons analysé 1681 monophthongues, dont 389 exemples de [a], 390 de [i], 386 de [u], 257 de [e] et 259 de [ɣ]. Nous avons analysé 1162 diphtongues, dont 260 exemples de [ai], 123 de [əi], 388 de [au] et 387 de [əu].

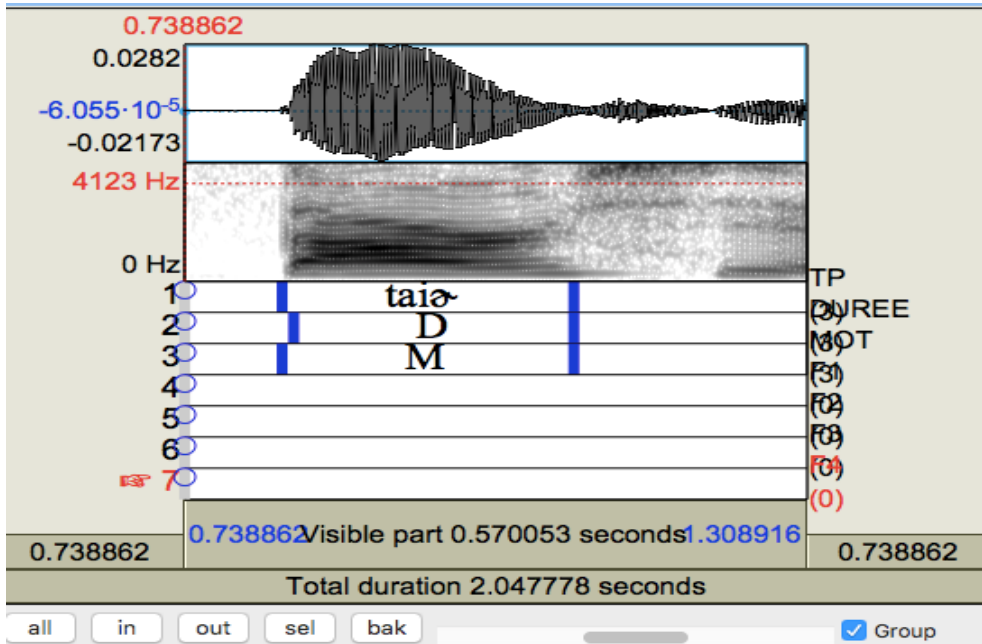


Figure 5.19 Segmentation de [ai] avec suffixe pour l'extraction des trajectoires formantiques dans la phrase ((tai+r#cie))

### 5.4.3 Normalisation des données

Nous avons normalisé séparément les valeurs des trois premiers formants en z-score par locuteur pour éliminer les différences entre les hommes et les femmes en utilisant la formule de Lobanov (1971) :

$$F_{i\text{lobanov}} = (F_i - \mu_i) / \sigma_i$$

### 5.4.4 Analyses statistiques

Les trajectoires dynamiques des valeurs formantiques sont comparées par des modèles mixtes additifs généralisés (Generalised Additive Mixed Models, GAMM) avec la fonction bam du logiciel R (R Development Core Team 2017). Il s'agit de deux

packages : mgcv (Wood, 2006) et itsadug (van Rij et al., 2016). Nous avons traité séparément les rimes des monophthongues et des diphtongues. Nous avons fixé un modèle pour chaque formant (F1, F2 et F3).

Les GAMM sont utilisés en phonétique pour l'analyse de données continues et ont été surtout utilisés pour des données articulatoires (Kösling et al., 2013 ; Wieling et al., 2016 ; Strycharczuk et Scobbie, 2017). Les GAMM permettent de modéliser une variable à expliquer avec des fonctions de lissage non-linéaires des prédicteurs (Wood, 2006 ; Winter et Wieling, 2016 ; Sóskuthy, 2016). Il s'agit d'un modèle plus flexible, qui peut capter non seulement les effets linéaires, mais aussi des effets non-linéaires sans spécifier la forme du contour. Ce modèle a l'avantage de pouvoir analyser des données qui varient dans le temps. Dans le cas d'une trajectoire formantique, il peut capter non seulement les variations de la hauteur de la trajectoire, mais également de leur forme. Par exemple, le suffixe rhotique peut faire baisser la moyenne de F3 et peut affecter en même temps la forme de la trajectoire. Les trajectoires F3 devraient être moins plates pour les voyelles suivies du suffixe rhotique.

Étant donné que les tests séparés des termes principaux et smooth peuvent conduire à des faux positifs, nous évaluons d'abord leur signification conjointement à l'aide de comparaisons de modèles entre un modèle complet et un modèle excluant les deux termes (la comparaison globale : Sóskuthy, 2016). Lorsque la comparaison globale est significative, nous effectuons également des comparaisons de formes plus spécifiques en excluant uniquement le terme de forme. Les résultats sont présentés sous forme de tableaux résumant les comparaisons de modèles et des figures de prédiction de modèles. Les GAMM ne pouvant pas être interprétés uniquement à l'aide de résumés des modèles, les graphiques ne sont pas purement illustratifs. Ils jouent un rôle central dans la discussion.

Nous avons choisi GAMM pour analyser les données des trajectoires des formants de la voyelle dans les deux conditions – avec et sans suffixe. Dans notre segmentation, la trajectoire formantique inclut la partie de la rhotique, lorsque celle-ci est présente, parce que nous voulons savoir à partir de quel moment le suffixe rhotique commence à influencer la voyelle. Pour cette raison nous considérons que le modèle GAMM est

le plus pertinent pour évaluer l'influence de la rhotique sur les trajectoires des formants de la voyelle précédente.

#### 5.4.5 Résultats

##### **Les trajectoires formantiques des monophongues**

Nous présentons d'abord les résultats des valeurs formantiques des monophongues sans et avec le suffixe rhotique. Les trajectoires formantiques de F1, F2 et F3 sont montrées ensemble. Les graphiques de cette section sont réalisés à l'aide des bibliothèques 'ggplot2' (version 2.2.1, Wickham, 2016) pour les moyennes et les écarts-types basés sur les valeurs initiales en Hz, la ligne de la trajectoire présente la moyenne formantique de chaque point mesuré et la ligne verticale présente l'écart type. Les résultats des femmes et des hommes sont présentés séparément en Hz dans les deux figures suivantes (voir Figure 5.20 et Figure 5.21). Afin de comparer les changements dûs à l'ajout du suffixe rhotique, nous présentons les trajectoires formantiques sans suffixe à gauche, les trajectoires formantiques avec suffixe à droite.

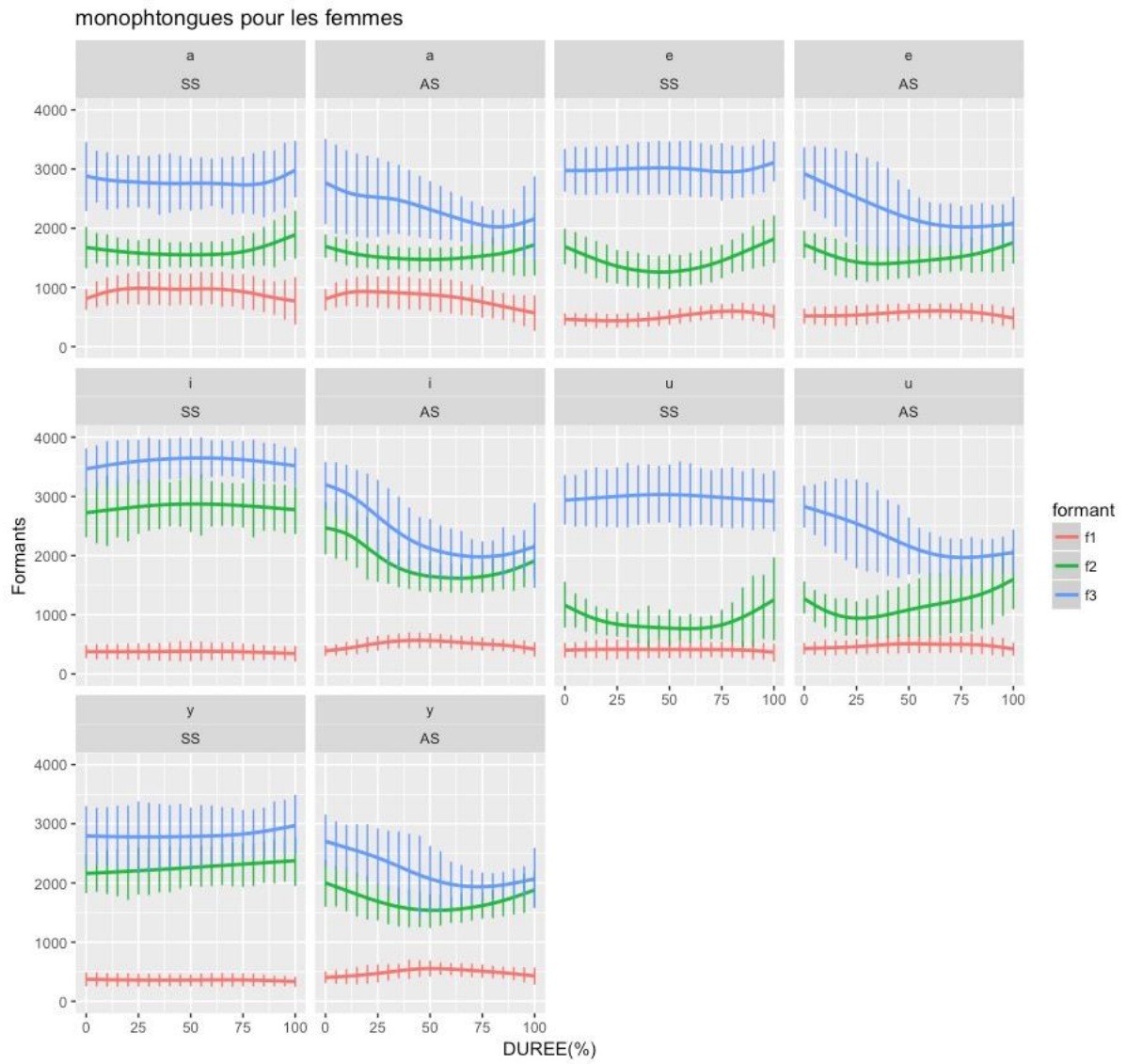


Figure 5.20 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants des monophthongues sans et avec suffixes réalisées par les locutrices (la ligne de la trajectoire représente la moyenne formantique de chaque point mesuré et la ligne verticale représente l'écart type). "e" représente ici la voyelle [ɤ]

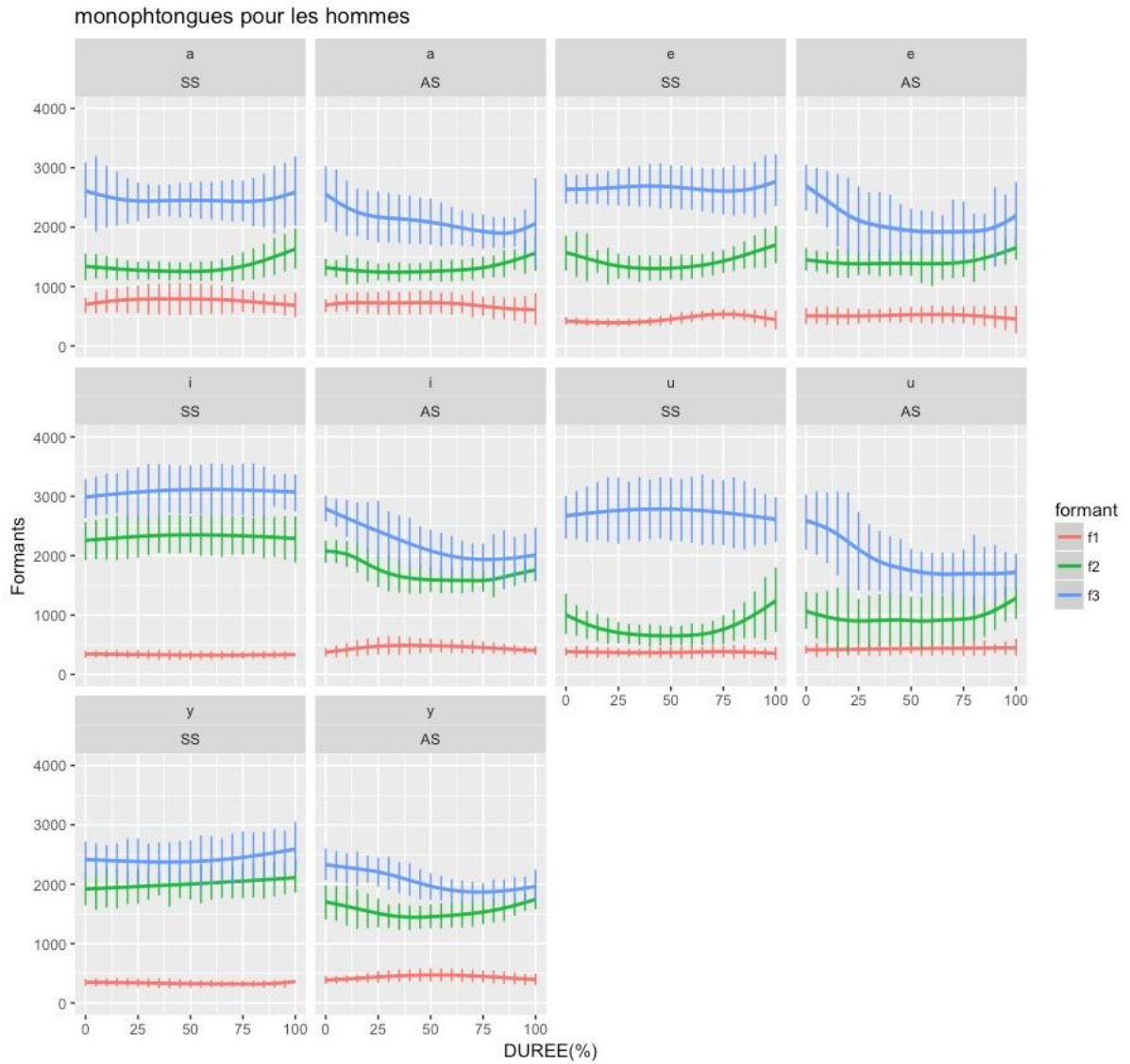


Figure 5.21 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants des monophthongues sans et avec suffixes réalisées par les locuteurs (la ligne de la trajectoire représente la moyenne formantique de chaque point mesuré et la ligne verticale représente l'écart type). "e" représente ici la voyelle [ɣ]

Nous observons que les trajectoires des trois formants sont différentes dans la monophthongue avec suffixe rhotique par rapport à la forme isolée. Le changement le plus évident concerne F3. Dans tous les graphiques de la condition avec suffixe, nous voyons une chute de F3 dès le début de la voyelle. Ensuite, en comparant la trajectoire de F2 des deux conditions, les changements varient en fonction de la voyelle. Les changements les plus importants apparaissent pour les voyelles [i] et [y] par rapport aux voyelles [a], [ɣ] et [u]. Pour F1, les changements sont moins importants pour toutes les voyelles. Enfin, nous observons que F2 et F3 se rapprochent vers la fin de

toutes les trajectoires avec le suffixe rhotique, alors qu'ils s'éloignent dans la voyelle isolée.

Afin de tester l'effet acoustique du suffixe rhotique sur les trajectoires formantiques des monophthongues, nous avons construit une série de modèles GAMM pour les analyses statistiques. Selon nos prédictions, trois modèles sont construits pour les valeurs normalisées pour F1, F2 et F3 en incluant les deux facteurs principaux : **le type de voyelle** et **la condition du suffixe rhotique** et leur interaction. La **forme des mots** et **les participants** sont inclus dans tous les modèles comme smooth aléatoire.

Tableau 5.12 Les comparaisons des modèles pour F1 normalisé des monophthongues. La colonne 'comparaison' représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.

	<i>comparaison(F1)</i>	$\chi^2$	DF	$P(\chi^2)$
1	interaction : condition*voyelle	4950.409	4.000	< .0001 ***
2a	globale : condition	6814.531	9.000	< .0001 ***
2b	forme : condition	509.850	4.000	< .0001 ***
3a	globale : voyelle	5058.655	18.000	< .0001 ***
3b	forme : voyelle	79.971	10.000	< .0001 ***

Le Tableau 5.12 présente les résultats des comparaisons de modèles pour F1. Les comparaisons incluent toujours le modèle complet, intégrant tous les termes et toutes les interactions. L'autre modèle est un modèle imbriqué. Pour les comparaisons « globales », le modèle imbriqué a exclu à la fois le facteur principal en tant que terme paramétrique et le facteur smooth (forme), ainsi que toutes les interactions d'ordre supérieur contenant ce facteur. Pour les deux facteurs fixes (voyelle et condition), nous attendons une interaction entre eux en tant que facteur paramétrique. Par exemple, la ligne 1 montre une comparaison entre un modèle complet et un modèle qui exclut l'interaction entre le type de voyelle et la condition. Elle vérifie si l'interaction améliore l'ajustement du modèle. La ligne 2a montre une comparaison entre un modèle complet et un modèle qui exclut tous les facteurs contenant la condition avec ou sans suffixe. La comparaison teste si la condition améliore globalement l'ajustement du modèle. Pour les comparaisons de « formes »,

le modèle imbriqué conserve le terme paramétrique mais exclut le terme smooth. Ces types de comparaisons (par exemple, 2b) vérifient si le modèle est amélioré en incluant des informations sur les effets de la condition sur les formes des trajectoires. Les comparaisons de formes n'ont été effectuées que lorsque la comparaison globale était significative.

Le Tableau 5.12 montre que la hauteur de F1 de chaque voyelle se comporte différemment en fonction de la présence ou absence du suffixe rhotique ( $\chi^2(4) = 4950.409, p < .0001^{***}$ ).

La Figure 5.22 montre la prédiction du modèle pour chaque voyelle dans les deux conditions différentes, le contour en rouge indique la trajectoire des voyelles isolées, le contour en bleu indique la trajectoire des voyelles avec le suffixe rhotique. Nous remarquons que la trajectoire formantique de la voyelle [a] est plus basse en présence du suffixe rhotique, alors que la trajectoire formantique des autres voyelles est plus élevée. Les changements des trajectoires formantiques commencent dès le début de la voyelle, pour toutes les voyelles. Dans le cas de [i] et [y] les changements sont plus importants que pour les autres voyelles.

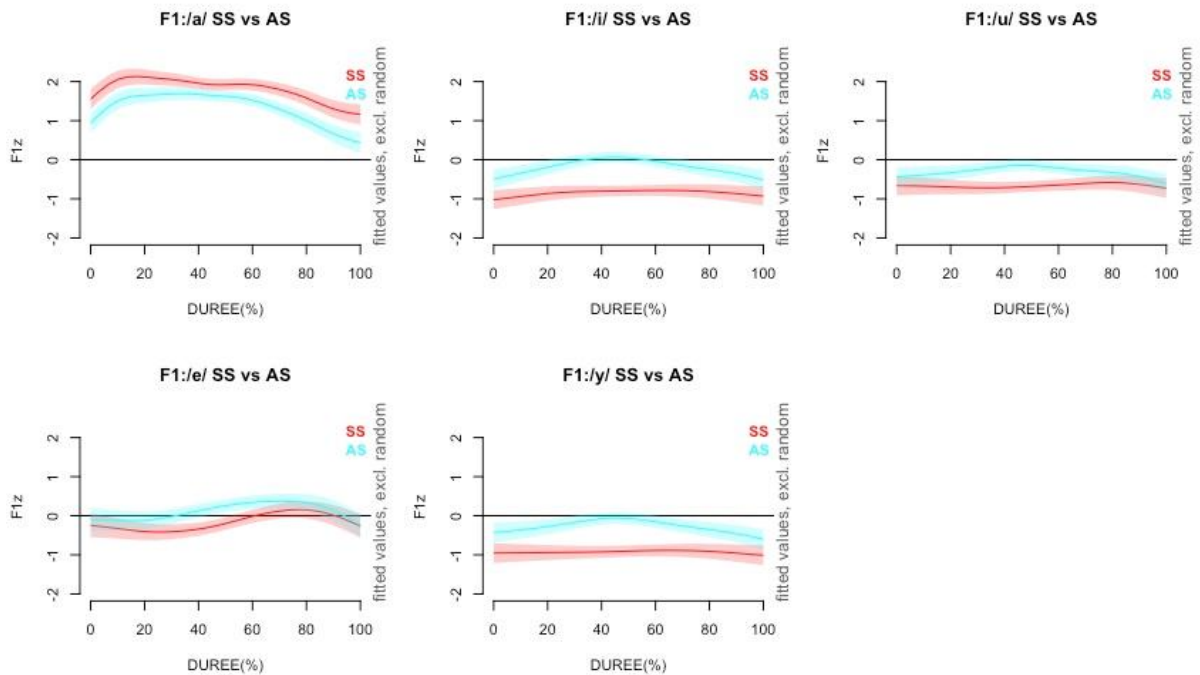


Figure 5.22 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F1 normalisé des monophthongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu). "e" représente ici la voyelle [ɣ]

Le Tableau 5.13 présente les résultats des comparaisons de modèles pour F2. La condition avec ou sans suffixe et le type de voyelle ont des effets évidents sur la trajectoire formantique de F2. Ce tableau montre que la valeur de F2 de chaque voyelle se manifeste différemment en fonction de la présence ou absence du suffixe rhotique.

Tableau 5.13 Les comparaisons des modèles pour F2 normalisé des monophthongues. La colonne ‘comparaison’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.

	<i>comparaison(F2)</i>	$\chi^2$	DF	$P(\chi^2)$
1	interaction : condition*voyelle	15025.581	4.000	< .0001 ***
2a	globale : condition	18090.538	9.000	< .0001 ***
2b	forme : condition	604.444	4.000	< .0001 ***
3a	globale : voyelle	15125.783	18.000	< .0001 ***
3b	forme : voyelle	67.590	10.000	< .0001 ***

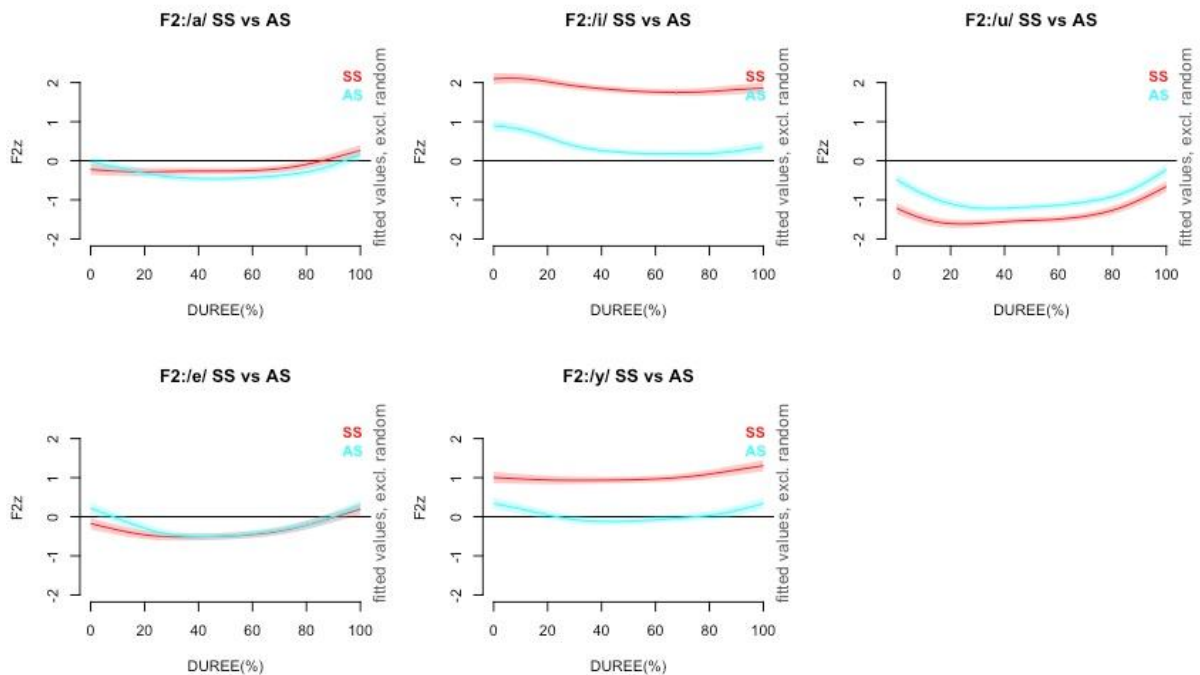


Figure 5.23 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F2 normalisé des monophthongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu). “e” représente ici la voyelle [ɣ]



La Figure 5.23 montre la prédiction du modèle pour chaque voyelle dans les deux conditions. La trajectoire formantique des voyelles [i] et [y] est plus basse en présence du suffixe rhotique et la forme de la trajectoire devient plus courbée par rapport à la forme de la voyelle isolée. La trajectoire formantique de la voyelle [u] devient plus élevée. Tous ces changements sur la trajectoire formantique sous l'influence du suffixe rhotique apparaissent dès le début de la voyelle. Pour la voyelle [a] les trajectoires formantiques des deux conditions restent proches.

Cela veut dire que l'effet du suffixe rhotique est moins important sur F2 de la voyelle [a]. Les formes des trajectoires formantiques de la voyelle [ɤ] sont différentes pendant le premier tiers. En général, les changements importants sur F2 sont dans les voyelles [i] et [y].

Les résultats des comparaisons de modèles pour F3 sont présentés dans le Tableau 5.14. La hauteur de F3 de chaque voyelle change différemment en fonction de la présence ou absence du suffixe rhotique.

Tableau 5.14 Les comparaisons des modèles pour F3 normalisé des monophthongues. La colonne 'comparaison' représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.

	<i>comparaison</i>	$\chi^2$	DF	$P(\chi^2)$
1	interaction : condition*voyelle	4567.468	4.000	< .0001 ***
2a	globale : condition	24963.133	9.000	< .0001 ***
2b	forme : condition	5928.216	4.000	< .0001 ***
3a	globale : voyelle	4662.954	18.000	< .0001 ***
3b	forme : voyelle	73.015	10.000	< .0001 ***

La Figure 5.24 présente la prédiction du modèle pour chaque voyelle dans les deux conditions. Cette figure montre que les trajectoires formantiques de toutes les voyelles isolées sont moins courbées et plus élevées par rapport à leur forme de la trajectoire avec le suffixe rhotique. Sous l'influence de la rhotique nous observons une chute dès le début de la trajectoire de F3 pour toutes les monophthongues.

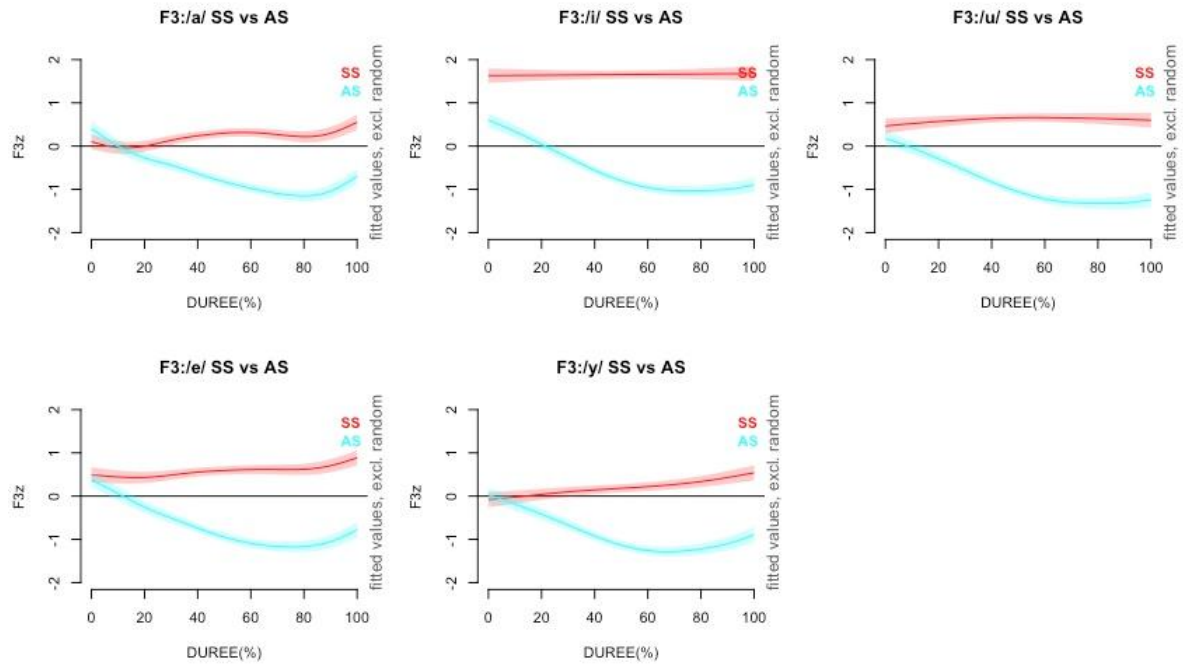


Figure 5.24 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F3 normalisé des monophthongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu). "e" représente ici la voyelle [ɛ]

L'effet commun à toutes les monophthongues est la chute de F3 en présence du suffixe rhotique. F3 est donc affecté pour toutes les voyelles, alors que F1 et F2 changent beaucoup plus pour les deux voyelles [i] et [y] que pour les autres voyelles.

### Les trajectoires des diphtongues

Les résultats de la comparaison des trajectoires des diphtongues sont présentés dans les deux figures suivantes (Figure 5.25 pour les femmes et Figure 5.26 pour les hommes). Les trajectoires formantiques de F1, F2 et F3 sont montrées ensemble. Les graphiques pour les moyennes et les écarts-types sont basées sur les valeurs en Hz, la ligne de la trajectoire présente la moyenne formantique de chaque point mesuré et la ligne verticale présente l'écart type.

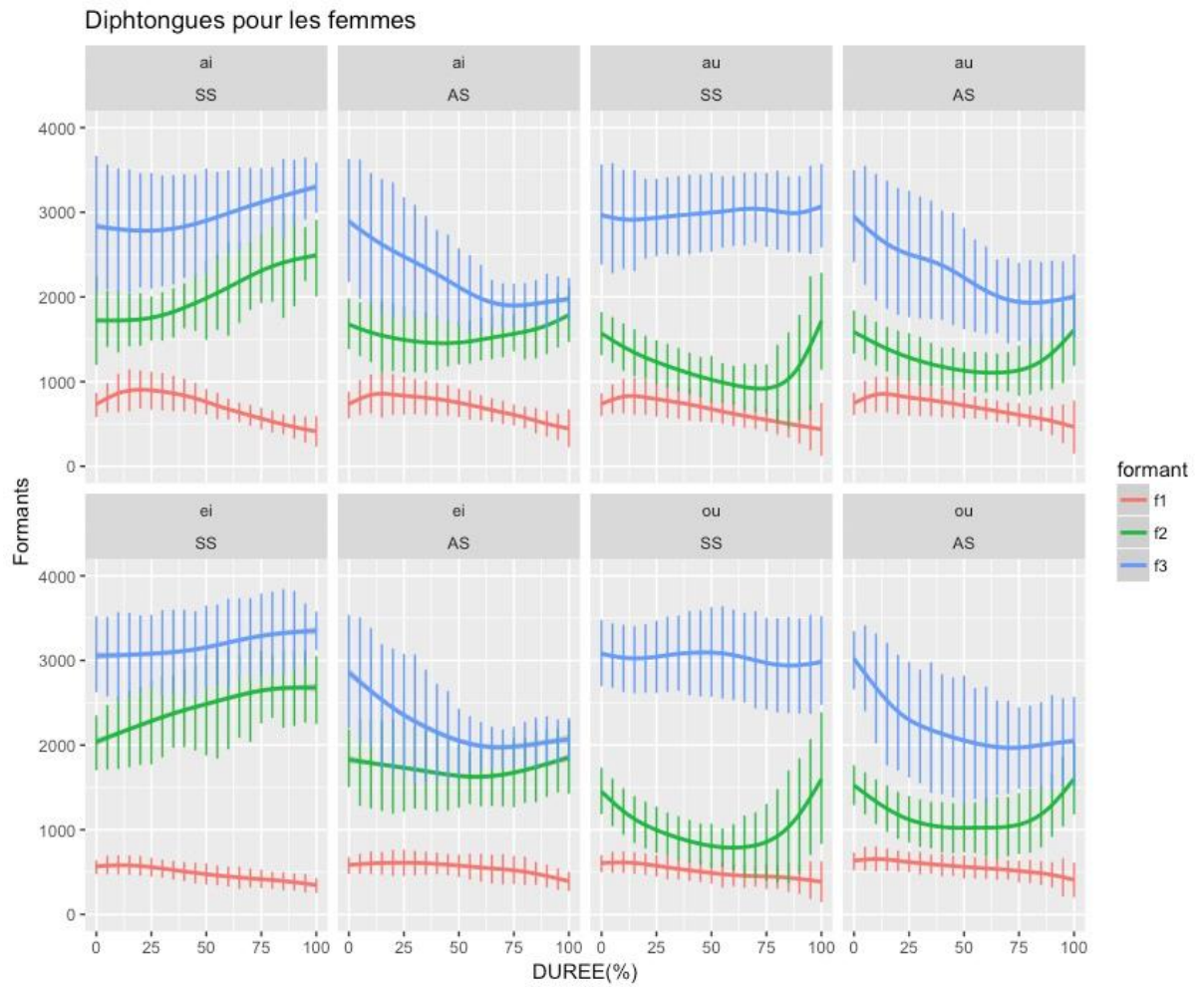


Figure 5.25 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants des diphtongues sans et avec suffixes des femmes (la ligne de la trajectoire représente la moyenne formantique de chaque point mesuré et la ligne verticale représente l'écart type). "ou" représente ici la diphtongue [əu], "ei" représente ici la diphtongue [əi].

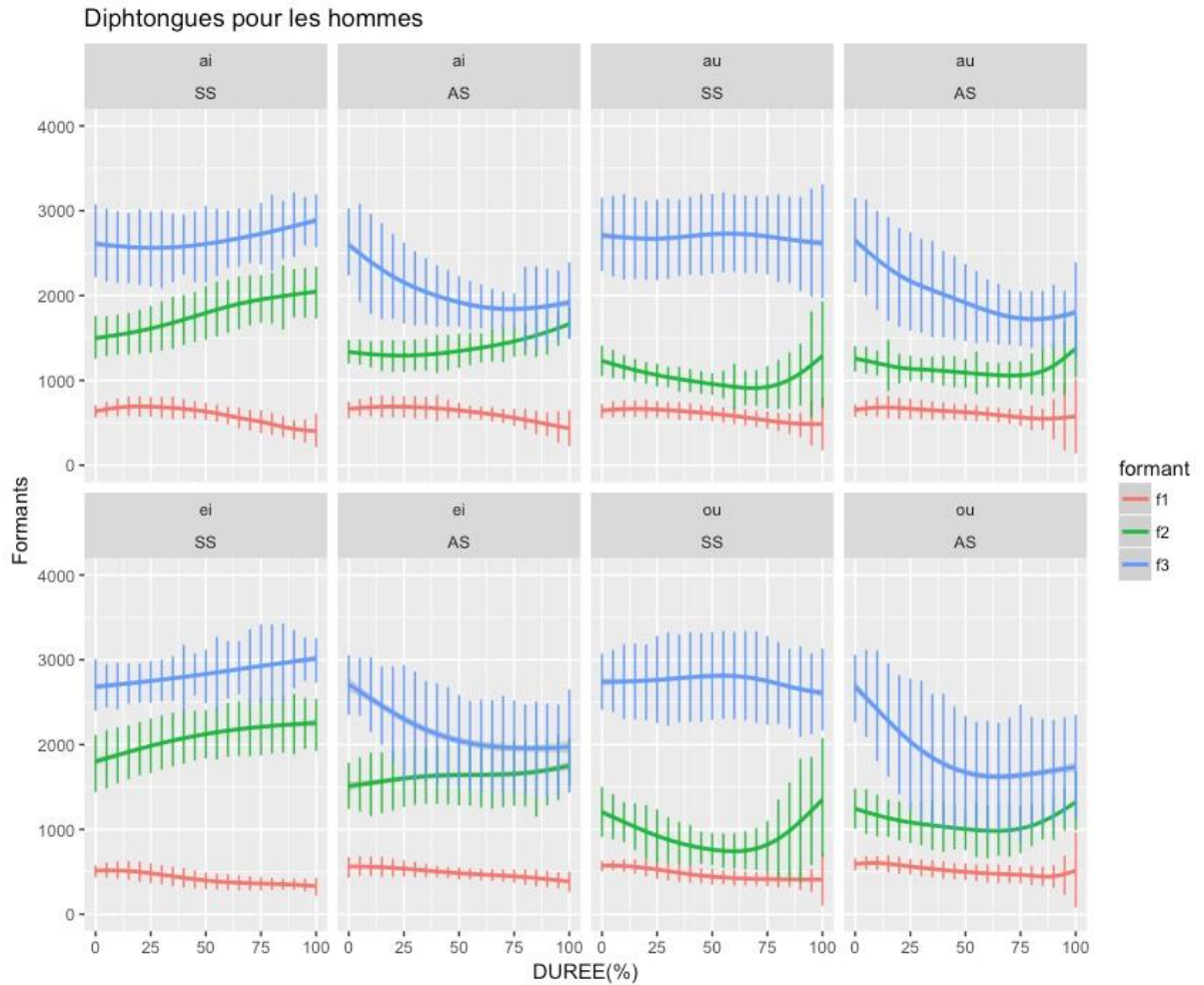


Figure 5.26 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants des diphtongues sans et avec suffixes des hommes (la ligne de la trajectoire représente la moyenne formantique de chaque point mesuré et la ligne verticale représente l'écart type). "ou" représente ici la diphtongue [əu], "ei" représente ici la diphtongue [əi].

Comme pour les monophthongues, le changement le plus évident concerne F3. Dans toutes les diphtongues nous observons une chute de F3 en présence du suffixe, dès le début de la diphtongue. Les changements dans la trajectoire de F2 varient en fonction de la diphtongue. Les changements sont plus importants pour les diphtongues finies par [i] par rapport aux diphtongues finies par [u]. Pour F1, les changements sont moins évidents pour toutes les diphtongues. De plus, F2 et F3 sont plus proches vers la fin des trajectoires de toutes les diphtongues en présence du suffixe rhotique, par rapport à leurs trajectoires sans suffixe.

Afin de tester l'effet acoustique du suffixe rhotique sur les trajectoires formantiques des diphtongues, une série de modèles GAMM sont faites pour les analyses

statistiques. Selon nos prédictions, trois modèles sont construits pour les valeurs normalisées pour F1, F2 et F3 en incluant les deux facteurs principaux : **le type de diphtongue** et **la condition du suffixe rhotique** et leur interaction. La **forme des mots** et **les participants** sont inclus dans tous les modèles comme smooth aléatoire.

Le Tableau 5.15 présente les résultats des comparaisons de modèles pour F1. La condition rhotique et le type de diphtongue ont des effets significatifs sur la trajectoire formantique de F1. Le résultat de l'interaction est significatif, indiquant que l'hauteur de F1 de chaque diphtongue se manifeste différemment en fonction de la présence du suffixe rhotique.

Tableau 5.15 Les comparaisons des modèles pour F1 normalisé des diphtongues. La colonne 'comparaison' représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.

comparaison	$\chi^2$	DF	$P(\chi^2)$
1 interaction : condition*diphtongue	56.681	3.000	< .0001 ***
2a globale : condition	1320.821	8.000	< .0001 ***
2b forme : condition	179.391	4.000	< .0001 ***
3a globale : diphtongue	315.714	14.000	< .0001 ***
3b forme : diphtongue	40.672	8.000	< .0001 ***

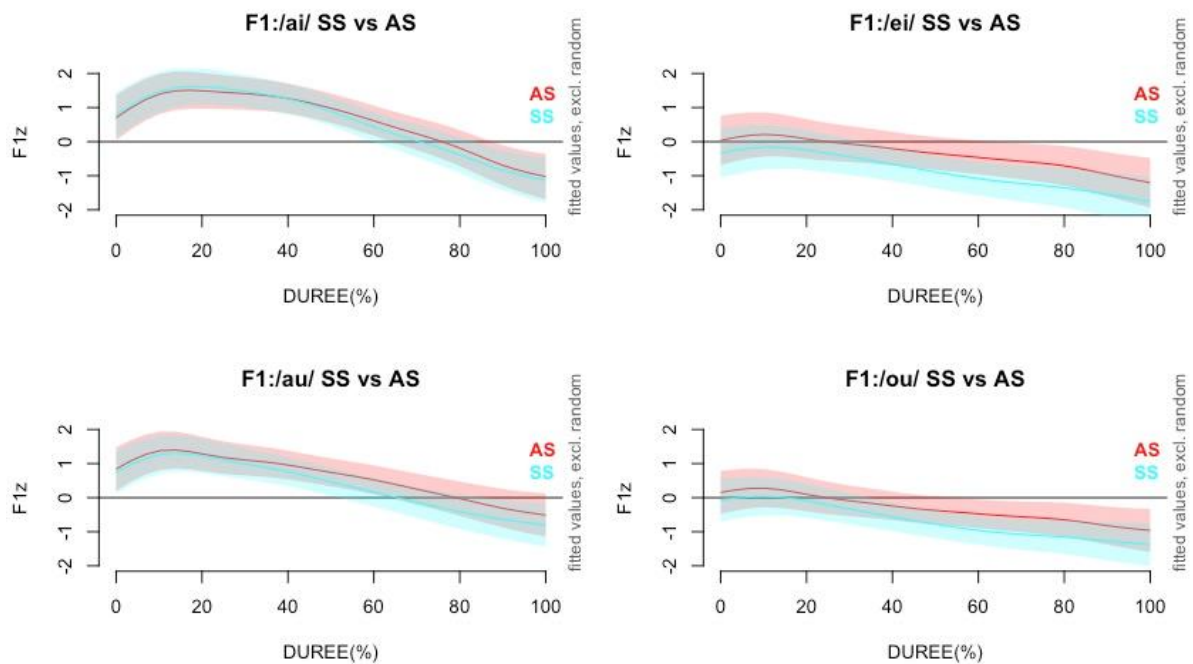


Figure 5.27 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F1 normalisé des diphtongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu). "ou" représente ici la diphtongue [əu], "ei" représente ici la diphtongue [əi].

La Figure 5.27 montre la prédiction du modèle pour chaque voyelle en deux conditions différentes, le contour en rouge présente la trajectoire des diphtongues isolées, le contour en bleu présente la trajectoire des diphtongues avec le suffixe rhotique. Cette figure montre que la trajectoire formantique de F1 change dans la deuxième moitié des diphtongues [ai] et [au] en présence du suffixe rhotique, alors que le changement commence dès le début de la trajectoire des diphtongues [əi] et [əu].

Le Tableau 5.16 présente les résultats des comparaisons de modèles pour F2. Le Tableau 5.16 montre que la condition et le type de diphtongue ont des effets évidents sur la trajectoire formantique de F2. Ce tableau montre que F2 est affecté différemment pour chaque diphtongue, en fonction de la présence ou absence du suffixe rhotique.

*Tableau 5.16 Les comparaisons des modèles pour F2 normalisé des diphtongues. La colonne 'comparaisons' représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.*

<i>comparaisons</i>	$\chi^2$	DF	$P(\chi^2)$
1 interaction : condition*diphtongue	7051.811	3.000	< .0001 ***
2a globale : condition	7644.202	8.000	< .0001 ***
2b forme : condition	280.293	4.000	< .0001 ***
3a globale : diphtongue	7136.610	14.000	< .0001 ***
3b forme : diphtongue	61.501	8.000	< .0001 ***

La Figure 5.28 montre la prédiction du modèle de F2 pour chaque diphtongue dans les deux conditions. Cette figure montre que la trajectoire du deuxième formant des diphtongues [ai] et [əi] est plus basse en présence du suffixe rhotique sur toute sa durée. La trajectoire formantique est plus élevée pour les diphtongues [au] et [əu], mais le changement est moins important. Dans tous les cas, ces changements apparaissent dès le début de la diphtongue.

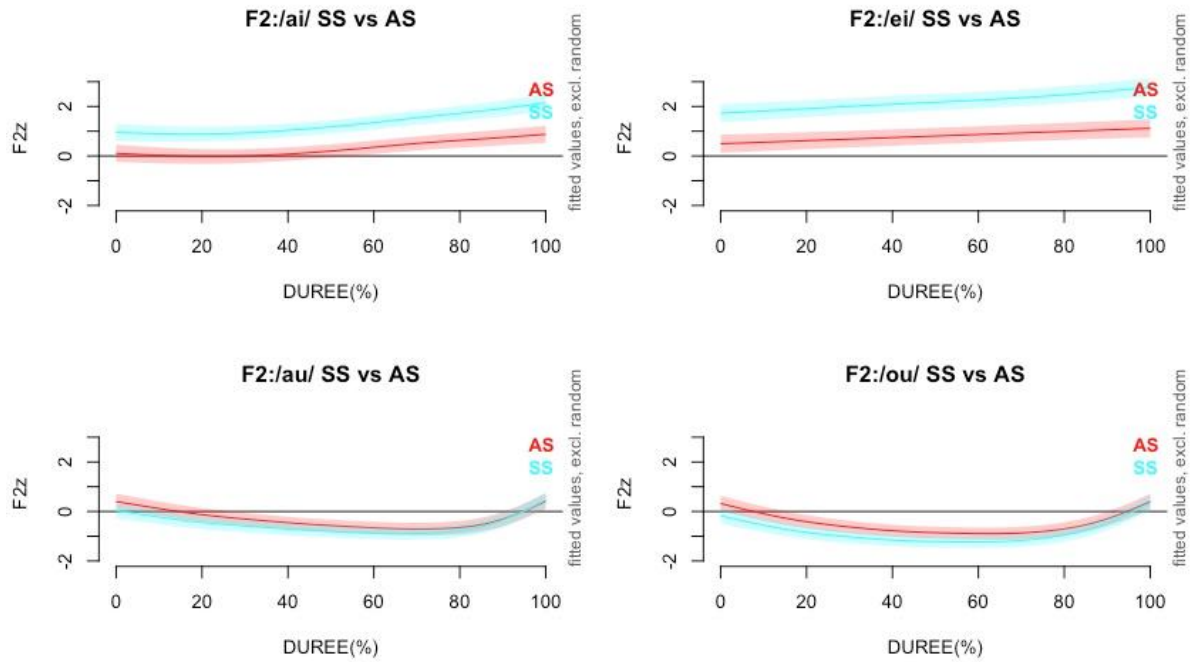


Figure 5.28 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F2 normalisé des diphtongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu). “ou” représente ici la diphtongue [əu]. “ei” représente ici la diphtongue [əi].

Les résultats des comparaisons de modèles pour F3 sont présentés dans le Tableau 5.17. Ce tableau montre que la hauteur de F3 de chaque diphtongue est affectée différemment en fonction de la condition du suffixe rhotique.

Tableau 5.17 Les comparaisons des modèles pour F3 normalisé des diphtongues. La colonne ‘comparaisons’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.

	<i>comparaison</i>	$\chi^2$	DF	$P(\chi^2)$
1	interaction : condition*diphtongue	236.058	3.000	< .0001 ***
2a	globale : condition	16448.518	8.000	< .0001 ***
2b	forme : condition	4636.932	4.000	< .0001 ***
3a	globale : diphtongue	273.337	14.000	< .0001 ***
3b	forme : diphtongue	31.082	8.000	< .0001 ***

La Figure 5.29 montre la prédiction du modèle pour F3 de toutes les diphtongues dans les deux conditions. Cette figure montre que les trajectoires formantiques des diphtongues isolées sont moins courbées et plus élevées par rapport à celle des

diphthongues avec le suffixe rhotique. Sous l'influence de l'ajout du suffixe rhotique, il y a une chute dès le début de la trajectoire formantique de F3 pour toutes les diphthongues.

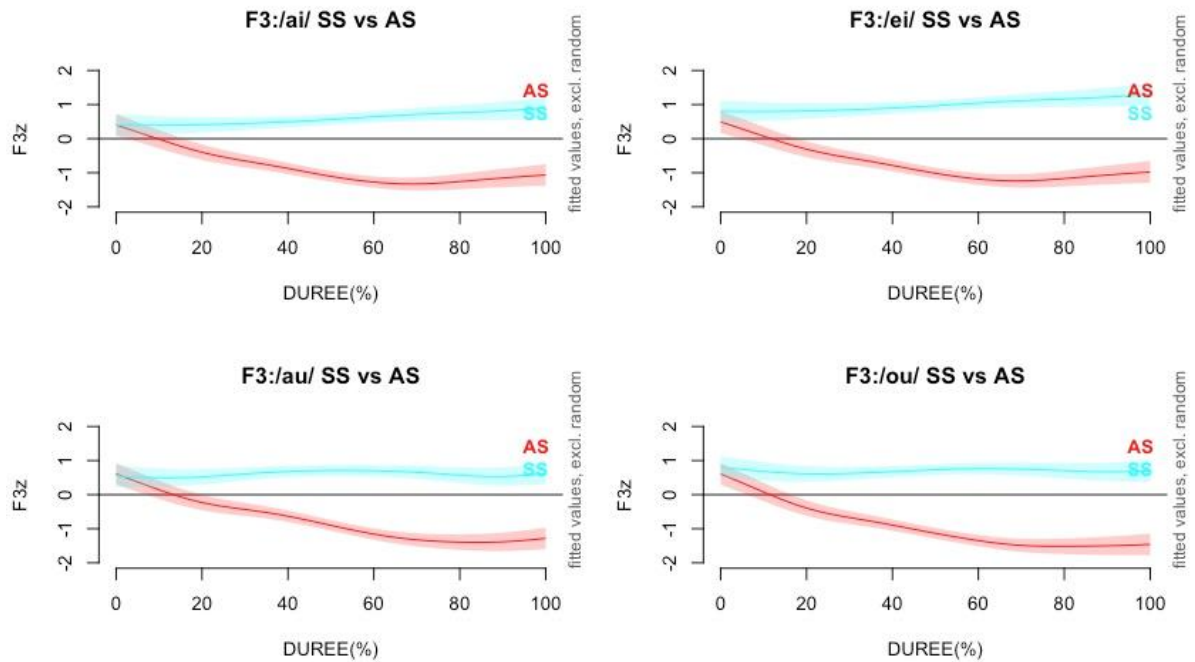


Figure 5.29 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F3 normalisé des diphthongues sans suffixe (rouge) et avec suffixe (bleu). "ou" représente ici la diphthongue [əu], "ei" représente ici la diphthongue [ɛi].

L'effet commun à toutes les diphthongues est la chute de F3. Comme pour les monophthongues, F1 et F2 changent surtout dans les deux diphthongues [ai] et [ɛi], qui finissent par des voyelles fermées antérieures.

**La neutralisation des rimes /a/, /ai/, /an/**

Nous allons en dernier tester un aspect controversé des analyses phonologiques, qui est la neutralisation de trois rimes différentes - /a/, /ai/, /an/. Selon les analyses de (Duanmu, 1990, 2007 ; Lin, 1989, 2007), ces trois rimes deviennent toutes les trois [ar] en présence du suffixe rhotique. Si ces analyses sont correctes, nous prédisons l'absence de différences acoustiques entre les trois rimes en présence du suffixe rhotique. Pour tester cette prédiction nous avons comparé les trajectoires de F1, F2 et F3 de ces trois rimes avec le suffixe rhotique en utilisant un modèle GAMM.



Les résultats des trajectoires de ces trois rimes suivies par le suffixe rhotique sont présentées dans les deux figures suivantes (Figure 5.30 pour les femmes et Figure 5.31 pour les hommes). Les graphiques pour les moyennes et les écarts-types sont basés sur les valeurs en Hz de 389 exemples, la ligne de la trajectoire représente la moyenne de chaque point mesuré et la ligne verticale représente l'écart type. Dans ces deux figures, les trajectoires des trois premiers formants sont similaires.

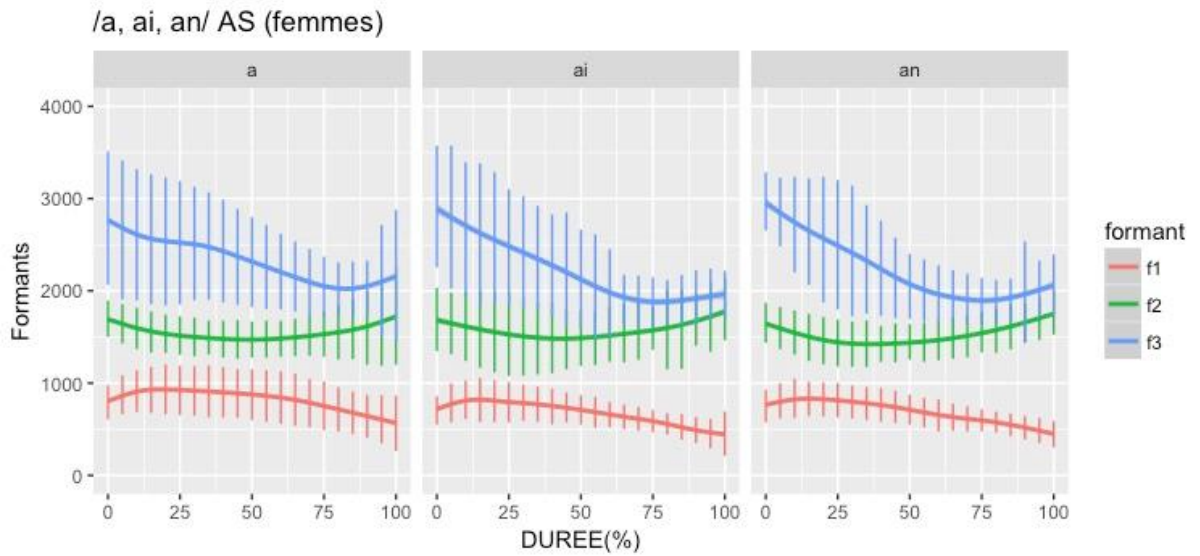


Figure 5.30 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants de /a+r, ai+r, an+r/ des femmes (la ligne de la trajectoire représente la moyenne de chaque point mesuré et la ligne verticale représente l'écart type).

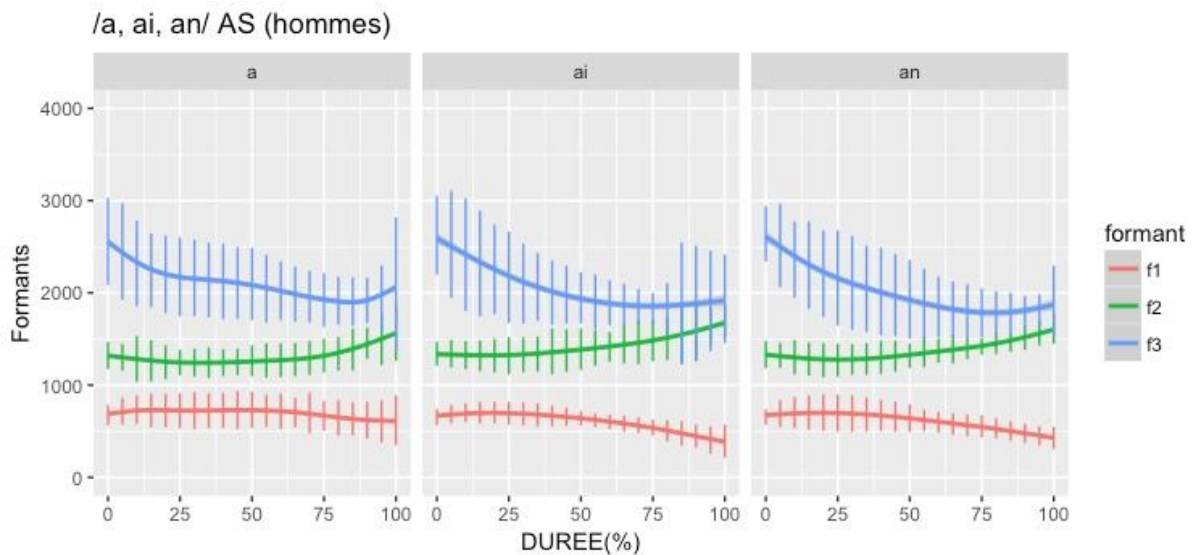


Figure 5.31 Les trajectoires formantiques des trois premiers formants de /a+r, ai+r, an+r/ des hommes (la ligne de la trajectoire représente la moyenne de chaque point mesuré et la ligne verticale représente l'écart type).

Afin de vérifier la neutralisation des trois rimes différentes en présence du suffixe rhotique, nous allons tester si les trois formants de ces trois rimes deviennent acoustiquement identiques. Nous avons construit une série de modèles GAMM pour les analyses statistiques. Selon nos prédictions, trois modèles sont construits pour F1, F2 et F3 normalisés en incluant le facteur principal : **le type de rime**, la **forme des mots** et **les participants** sont inclus dans tous les modèles comme smooth aléatoire. Nous avons normalisé séparément les valeurs des trois premiers formants en z-score par locuteur pour les données de ces trois rimes suivies par le suffixe rhotique.

Le Tableau 5.18 présente les résultats des comparaisons de modèles pour F1.

Tableau 5.18 Les comparaisons des modèles pour F1 normalisé des /a+r, ai+r, an+r/. La colonne 'comparaisons' représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.

comparaison(f1z)	$\chi^2$	DF	$p(\chi^2)$
global : type de rime	1472.864	6.000	< 2e-16 ***
forme : type de rime	155.903	4.000	< 2e-16 ***

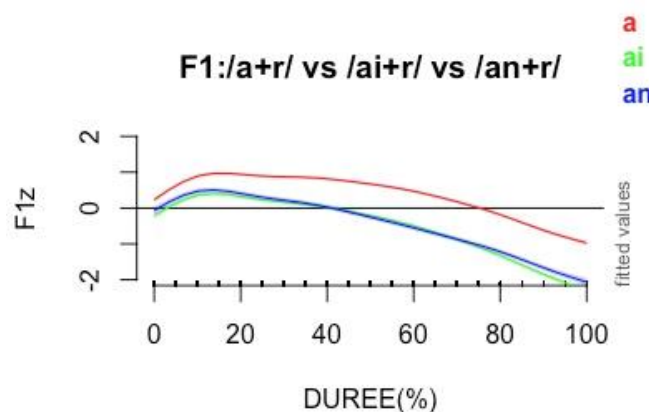


Figure 5.32 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F1 normalisé de /a+r, ai+r, an+r/ (rouge : sans suffixe ; bleu : avec suffixe).

La Figure 5.32 présente la prédiction du modèle pour F1 de ces trois rimes avec suffixe. Cette figure montre que la trajectoire de F1 de la rime [a] est différente de celles de [ai] et [an].

Le Tableau 5.19 présente les résultats des comparaisons de modèles pour F2. Ce tableau montre que le type de rime a un effet significatif sur la trajectoire de F2.

Tableau 5.19 Les comparaisons des modèles pour F2 normalisé des /a+r, ai+r, an+r/. La colonne ‘comparaisons’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.

comparaison(f2z)	$\chi^2$	DF	$p(\chi^2)$
<b>global : type de rime</b>	138.125	6.000	<b>&lt; 2e-16 ***</b>
<b>forme: type de rime</b>	49.593	4.000	<b>&lt; 2e-16 ***</b>

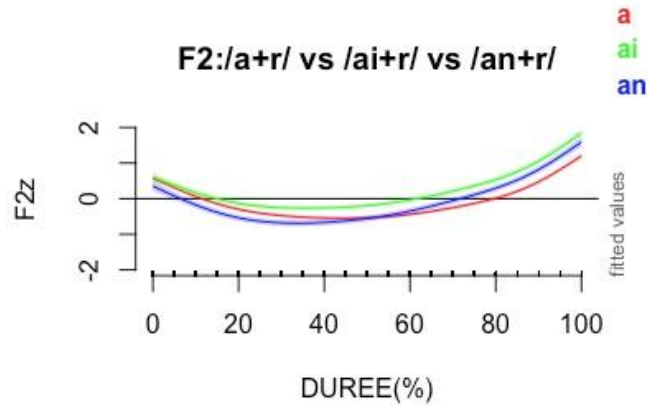


Figure 5.33 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F2 normalisé de /a+r, ai+r, an+r/ (rouge : /a+r/ ; vert : /ai+r/ ; bleu : /an+r/).

La Figure 5.33 présente la prédiction du modèle pour F2 de ces trois rimes avec suffixe. Cette figure montre que la trajectoire de F2 de la rime [a] est aussi différente de celle des deux autres rimes, [ai] et [an].

Le Tableau 5.20 présente les résultats des comparaisons de modèles pour F3.

Tableau 5.20 Les comparaisons des modèles pour F3 normalisé des /a+r, ai+r, an+r/. La colonne ‘comparaisons’ représente le type de comparaison et les facteurs enlevés dans le modèle imbriqué.

comparaison(f3z)	$\chi^2$	DF	$p(\chi^2)$
<b>global : type de rime</b>	302.571	6.000	<b>&lt; 2e-16 ***</b>
<b>forme: type de rime</b>	208.790	4.000	<b>&lt; 2e-16 ***</b>

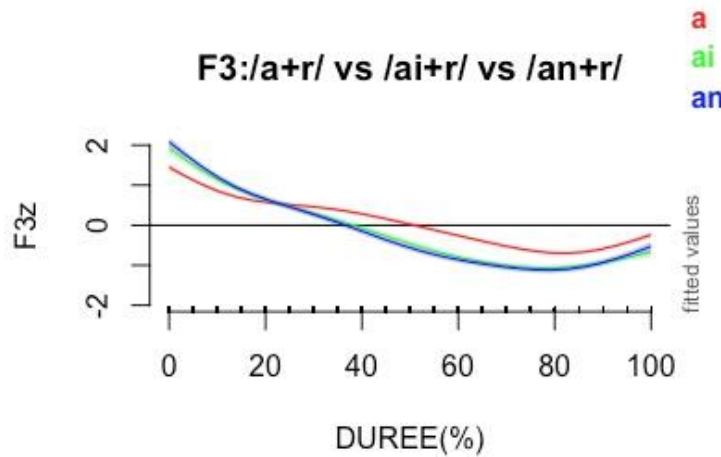


Figure 5.34 La prédiction du modèle pour la trajectoire formantique de F3 normalisé de /a+r, ai+r, an+r/ (rouge : /a+r/ ; vert : /ai+r/ ; bleu : /an+r/).

La Figure 5.34 présente la prédiction du modèle pour F3 de ces trois rimes avec suffixe. Cette figure montre que la trajectoire de F3 de [a] est différente de celles de [ai] et [an].

Nos résultats acoustiques montrent que les trajectoires formantiques de ces trois rimes sont différentes. Mais il reste à tester si ces différences peuvent aider à discriminer les trois rimes au niveau de la perception.

## 5.5 Discussion

Nous commençons cette section par un résumé des résultats des études acoustiques présentés dans ce chapitre.

Tout d'abord, la comparaison de la durée de la rime en présence et absence du suffixe rhotique montre que le suffixe contribue à la durée de la rime. Nous proposons, sur la base de ce résultat, que le suffixe rhotique est un segment plutôt qu'un trait.

Nous avons trouvé une centralisation des monophthongues en présence du suffixe rhotique, ainsi qu'une chute de F3. Nous avons ensuite présenté l'effet du suffixe rhotique sur les trajectoires des trois premiers formants : la chute de F3 dès le début de la rime indique la présence du suffixe rhotique ; les changements sur F1 et F2 sont

plus évidents dans [i], [y], [ai] et [əi], toutes des rimes contenant des voyelles fermées antérieures. Le début des trajectoires formantiques des rimes avec le suffixe rhotique sont similaires à leur forme sans suffixe, mais vers la fin de la trajectoire, F2 et F3 se rapprochent lorsque le suffixe rhotique est présent.

Le Tableau 5.21 montre les généralisations concernant les changements segmentaux dûs à l'ajout du suffixe rhotique, tels qu'ils sont décrits dans les analyses phonologiques existantes. Nous allons comparer ces généralisations aux résultats de notre étude acoustique. Trois types de changements segmentaux ont été proposés en présence du suffixe rhotique : 1) Rajout d'un schwa comme segment ; 2) Rajout du suffixe rhotique sans autre changement ; 3) chute d'un segment de la rime dû à l'ajout du suffixe rhotique. Ce type de changement est décrit pour les diphtongues finissant en [i] et pour la coda [n].

Tableau 5.21 Généralisations des changements des rimes différentes avec le suffixe rhotique

Type de changement	Sans suffixe	Avec suffixe
1. Rajout d'un segment (/ə/)	i, y	jər, ɥər
2. Rajout de la rhotique seule	a, u, ʏ	ər, ur, ʏr
	au, əu	au <sup>r</sup> , əu <sup>r</sup>
	aŋ, əŋ, uŋ	aŋ <sup>r</sup> , əŋ <sup>r</sup> , uŋ <sup>r</sup>
3. Chute d'un segment (/n/, /i/)	an, ən	ər, ər
	ai, əi	ər, ər

Dans le reste de cette section nous allons vérifier ces généralisations en nous basant sur les résultats de notre étude acoustique. D'abord, par rapport à F3, nous avons trouvé dans tous les cas une chute importante de ce formant, qui est une particularité de la rhotique en anglais (Delattre et Freeman, 1968). Nous pouvons ainsi affirmer que nos résultats confirment la présence d'une articulation rhotique dans toutes les rimes.

Selon les différents types des changements sur F1 et F2 au long de la trajectoire en présence du suffixe (voir la section 5.4.5), nous pouvons diviser les rimes monophthongues en deux groupes. Un groupe contient les voyelles postérieures [a], [u] et [ɤ] et montre peu de changements de F1 et F2 en présence du suffixe rhotique. L'autre groupe se compose des voyelles antérieures [i] et [y] et les changements de F1 et F2 observés dans ces voyelles sont plus importants. En comparant les trajectoires formantiques de toutes les monophthongues, nous avons trouvé que l'influence du suffixe rhotique sur le début de la trajectoire est plus faible par rapport à la fin de la trajectoire, et que les trajectoires de F2 et F3 se rapprochent vers la fin. Cette caractéristique est commune à toutes les monophthongues.

Dans les trois voyelles [a], [u] et [ɤ] peu de changement est trouvé sur F1 et F2 en présence du suffixe rhotique. Nous pouvons confirmer que la forme de ces trois voyelles avec suffixe rhotique est [ar, ur, ɤr] comme proposé dans les analyses phonologiques déjà présentées. Bien qu'il y ait des changements acoustiques plus importants sur F1 et F2 de [i] et [y], le milieu de la trajectoire formantique de ces deux rimes peut être une transition entre la voyelle et la rhotique, aussi bien qu'un schwa ajouté, comme un segment en plus. Nous ne pouvons pas vraiment confirmer dans notre étude la présence d'un schwa dans les rimes [i] et [y] avec le suffixe rhotique.

D'après nos résultats, les quatre diphtongues sont aussi divisées en deux groupes selon les différents changements de F2 en présence du suffixe rhotique. Les deux diphtongues [au] et [əu] composent un groupe. Elles n'ont pas été beaucoup affectées par le suffixe rhotique, à part la chute de F3. Leurs trajectoires de F1 et F2 se ressemblent dans les deux conditions, avec et sans suffixe. Ces résultats permettent de confirmer que l'ajout du suffixe rhotique ne provoque pas de changement segmental dans la forme de ces deux diphtongues et soutient les formes proposées pour ces deux diphtongues en présence du suffixe rhotique (/au, əu/ + /r/ → [aur, əur]).

Le deuxième groupe est composé des diphtongues [ai] et [əi]. Nous avons trouvé que ces deux diphtongues ont subi un grand changement sur la trajectoire de F2 en présence du suffixe rhotique. Les analyses phonologiques ont proposé que /i/ de la

diphthongue disparaît en présence du suffixe rhotique ( $/ai, əi/ + /r/ \rightarrow [ar, ər]$ ). Il y aurait ainsi une neutralisation de  $/ai/$  et  $/a/$  avec le suffixe rhotique. Dans nos données, les trajectoires formantiques de ces deux diphthongues avec suffixe ressemblent toujours à des diphthongues. Le rapprochement de F2 et F3 vers la fin de la trajectoire confirme la présence du suffixe rhotique. En général, les trajectoires de F2 pour  $[ai]$  et  $[əi]$  sans suffixe commencent bas, ensuite elles montent pour atteindre une valeur élevée pour  $[i]$ . En présence du suffixe rhotique, nous n'avons pas trouvé de montée de F2 correspondant à  $[i]$ . Ainsi, nous ne pouvons pas trouver la trace de  $[i]$  dans la trajectoire F2. Cependant, en présence du suffixe rhotique, la durée de ces deux diphthongues est plus longue et la trajectoire formantique de F1 reste toujours bas vers la fin, ce qui correspondrait à  $[i]$ . Nous ne pouvons donc pas confirmer avec certitude la disparition de  $[i]$  dans les formes avec suffixe.

Finalement, nous avons montré que la neutralisation proposée pour les trois rimes  $-/a/, /ai/, /an/-$  en présence du suffixe rhotique n'est pas confirmée dans notre comparaison des trajectoires formantiques. Nous allons comparer aussi les deux séquences avec coda nasale. Nous avons effectué une comparaison qualitative des spectrogrammes contenant  $[n]$  et  $[ŋ]$  et nous avons trouvé que dans le cas de  $[an]$  avec le suffixe rhotique, il n'y a pas d'anti-formants visibles de  $[n]$  dans les spectrogrammes. Des anti-formants sont toujours présents, par contre, pour  $[ŋ]$ . Des exemples représentatifs des deux cas sont présentés dans la Figure 5.35. L'examen des données acoustiques des deux séquences V+N en présence du suffixe rhotique suggère que la nasale alvéolaire n'est pas produite dans le cas de  $/an/+r/$ . Par contre, les traces de la nasalité en présence du suffixe rhotique sont toujours visibles dans les spectrogrammes de la voyelle suivie par la nasale vélaire.

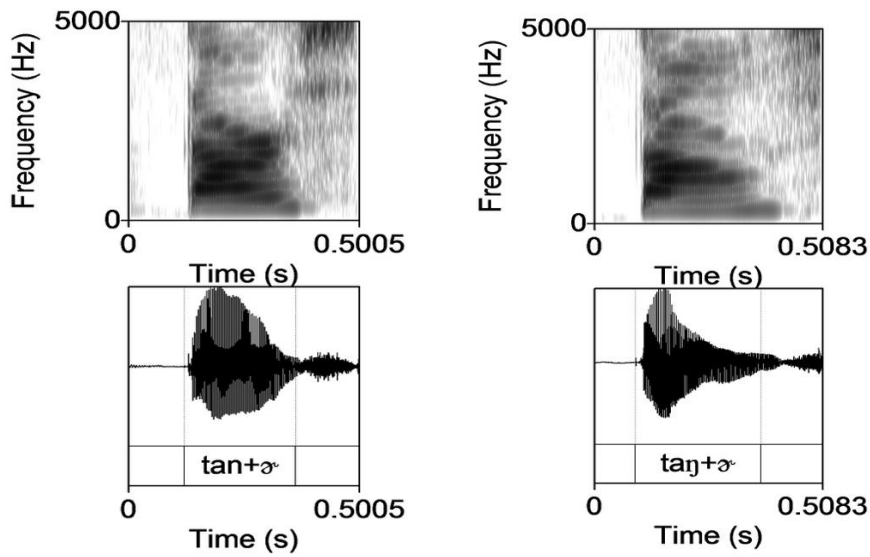


Figure 5.35 Les spectrogrammes de /tan+r/(gauche) et /tanj+r/(droite)

Le résultat de l'examen de nos données acoustiques reflète la conclusion de Zhang (2000) basée sur des données aérodynamiques. Zhang a trouvé qu'en présence du suffixe rhotique, il n'y a plus de nasalité dans la rime finie par la nasale alvéolaire, alors que la nasalité est présente dans la rime finie par la nasale vélaire.

Enfin, nous allons discuter de la neutralisation des trois rimes /a/, /ai/ et /an/ en présence du suffixe rhotique. Si la neutralisation est l'analyse correcte de ces trois cas, on s'attendrait à ne pas trouver de différences significatives entre les trois rimes en présence du suffixe rhotique. Pourtant, nos résultats dans la section 5.4 ont montré une différence entre les trajectoires formantiques de ces rimes. Ainsi, la neutralisation proposée dans plusieurs analyses phonologiques n'est pas justifiée par les mesures acoustiques des données de production. Il reste à tester si les différences observées dans la production sont perceptibles. L'analyse phonologique de la neutralisation resterait valable seulement si elles ne le sont pas.

Notre étude acoustique apporte plusieurs nouvelles informations sur les propriétés acoustiques du suffixe rhotique. Nous avons comparé la durée des rimes sans et avec suffixe et cette comparaison soutient la représentation du suffixe rhotique en tant que segment plutôt que trait. Toutes les comparaisons visent à vérifier les analyses phonologiques en se basant sur la réalisation phonétique du suffixe rhotique. Nos résultats acoustiques ne peuvent pas confirmer tous les changements segmentaux



proposés dans les analyses phonologiques précédentes. Dans le chapitre suivant nous allons proposer une nouvelle analyse, qui peut expliquer le comportement phonologique du suffixe rhotique tout en tenant compte des différences acoustiques que nous avons trouvées.

## Chapitre 6 : Analyse du suffixe rhotique dans une approche de phonologie articulatoire

L'étude articulatoire présentée dans le chapitre 4 nous a montré que le suffixe rhotique du mandarin ressemble à la rhotique de l'anglais américain par sa variabilité entre 'bunched' et rétroflexe. Cependant, la plupart des participants dans notre étude produisent une rhotique rétroflexe. L'étude de Chen et al. (2017) a montré des résultats similaires. Toutes les études articulatoires (Lee, 2005 ; Gick et al., 2006 ; Chen et al., 2017 ; Jiang et al., 2019) confirment la rétraction du dos de la langue comme geste systématiquement présent, que ce soit une rhotique rétroflexe ou 'bunched'.

Dans ce chapitre nous allons proposer une analyse phonologique gestuelle, basée sur les informations obtenues grâce aux données expérimentales présentées dans les chapitres 4 et 5. Pour commencer, nous allons reprendre les informations que nous considérons comme étant les plus pertinentes à incorporer dans des représentations gestuelles. Premièrement, notre étude acoustique a montré que la présence du suffixe rhotique se caractérise par une chute de F3 durant la durée entière de toutes les rimes. En observant les trajectoires formantiques de toutes les voyelles, nous avons trouvé dans tous les cas un rapprochement de F2 et F3 à la fin des trajectoires. Nous avons interprété cette caractéristique comme une cible acoustique du suffixe rhotique en mandarin.

À part le changement de F3, les rimes peuvent se diviser en deux groupes, selon le degré de changement acoustique dû au suffixe rhotique. Nous avons constaté que pour certaines rimes, comme [i], [y], [ai], [ei], les changements dans les valeurs de F1 et F2 en présence du suffixe rhotique sont très importants, alors que F1 et F2 changent moins pour [a], [u], [ʏ], [au] et [əu]. Nous observons que les voyelles et diphtongues du premier groupe ont en commun la présence d'une voyelle fermée antérieure. La même division peut se faire pour les rimes contenant une coda nasale.

Nous avons constaté que [an], avec une nasale alvéolaire, est plus affectée acoustiquement par le suffixe rhotique que [aŋ], [əŋ] et [uŋ]. Cette division est résumée dans le tableau suivant.

Tableau 6.1 Groupement des rimes en fonction de l'influence du suffixe rhotique

Type de rime	a) Plus affectées par la rhotique	b) Moins affectées par la rhotique
Monophtongue	i, y	a, u, ʏ
Diphthongue	ai, ei	au, əu
V+N	an	aŋ, əŋ, uŋ

Dans une comparaison qualitative des spectrogrammes contenant [n] et [ŋ] présentée dans le chapitre 5, nous n'avons pas trouvé de trace de nasalité (anti-formants) dans les exemples avec une nasale alvéolaire, mais la nasalité est présente pour la nasale vélaire. Nous considérons ainsi que la rime V+[n] est plus affectée que V+[ŋ] par la présence du suffixe rhotique.

Finalement, la comparaison de la durée des rimes avec et sans suffixe rhotique nous a amené à proposer que le suffixe rhotique devrait être considéré comme un segment.

Les propriétés énumérées ci-dessus, issues de nos études, ne s'accordent pas en totalité avec les analyses phonologiques proposées dans la littérature. Sur la base des informations provenant de nos études phonétiques et d'autres informations pertinentes provenant d'autres études expérimentales existantes, nous allons proposer, dans ce chapitre, une analyse alternative basée sur des représentations gestuelles dans le cadre de la phonologie articulatoire.

Nous commençons par la révision des transcriptions rencontrées dans la plupart des analyses précédentes pour les syllabes avec suffixe rhotique. Celles-ci sont : [ar, ur, ʏr, (j)ər, (ɥ)ər, ar, au<sup>r</sup>, ar, aŋ<sup>r</sup> (ou ãr)] pour /a, u, ʏ, i, y, ai, au, an, aŋ/. Sur la base des résultats de nos études de production nous proposons à la place : [ar, ur, ʏr, iər, yər, ar, aur, ar, ãr] en présence du suffixe rhotique. En développant notre analyse gestuelle nous allons apporter de nouveaux arguments en faveur de notre transcription.

Les représentations gestuelles que nous proposons ici sont basées sur les propriétés acoustiques et articulatoires observées dans nos études. Pour [a] et [n] en mandarin nous avons pris comme point de départ les représentations proposées par Gao (2008).

La section 6.1 concerne d'abord la représentation gestuelle du suffixe rhotique. Nous allons présenter ensuite, dans les sections suivantes (6.2 à 6.4) les représentations gestuelles des différentes syllabes avec et sans suffixe, en fonction de la composition de leur rime (monophthongues, diphtongues et séquences V+N). Pour les partitions gestuelles proposées dans ce chapitre, tous les termes sont présentés en anglais.

## 6.1 La représentation gestuelle du suffixe rhotique

La rhotique du mandarin ressemble à celle de l'anglais américain, mais elle semble être plus systématiquement réalisée comme une rhotique rétroflexe (King et Liu, 2017 et Chen et al., 2017). La rétraction de la langue, observée dans toutes les études (Lee, 2005 ; King et Liu, 2017 et Chen et al., 2017 ; Jiang et al., 2019), peut être considérée un identifiant fiable du suffixe rhotique en mandarin. Il est connu que les rhotiques ont une configuration linguale complexe, qui implique une coordination de deux gestes. Tous les trois types de [r] que nous avons identifiés (voir le chapitre 4) suivant la classification de Lawson et al. (2013), TU (*tip up*), FU (*front up*) et FB (*front bunched*), partagent une constriction pharyngale qui implique la rétraction de la langue, et une deuxième constriction au milieu de la cavité orale, réalisée en montant soit la pointe de la langue, soit la partie antérieure de la langue. Ainsi, nous proposons que la rhotique en mandarin est composée de deux gestes : la pointe de la langue qui monte vers le palais (TT) et le corps de la langue qui se rétracte vers le pharynx (TB), comme illustré dans la Figure 6.1.

Notre étude acoustique montre qu'en présence du suffixe rhotique F3 baisse dès le début jusqu'à la fin de la rime. Étant donné que la baisse de F3 est due à la rétraction de la langue (Lindau 1978), nous proposons que le geste TB de rétraction se réalise

tôt dans la rime avec le suffixe rhotique. Les données articulatoires de l'étude échographique montrent que pendant la rhotique la cible pour TB est atteinte avant la fin du mouvement TT. De plus, Gick et al. (2006) montrent qu'il y a décalage positif entre le geste TB et le geste TT pour le suffixe rhotique, c'est à dire que la rétraction de la langue commence plus tôt que l'élévation de la partie antérieure de la langue. Toutes ces informations nous permettent de proposer que le geste TB commence avant le geste TT dans la production du suffixe rhotique. Cette même relation temporelle entre les deux gestes se retrouve dans les gestes de [r] en anglais américain en position postvocalique (Campbell et al., 2010). Ces arguments justifient notre proposition de la partition gestuelle pour le suffixe rhotique illustrée dans la Figure 6.1. Le couplage de ces deux gestes est anti-phase.

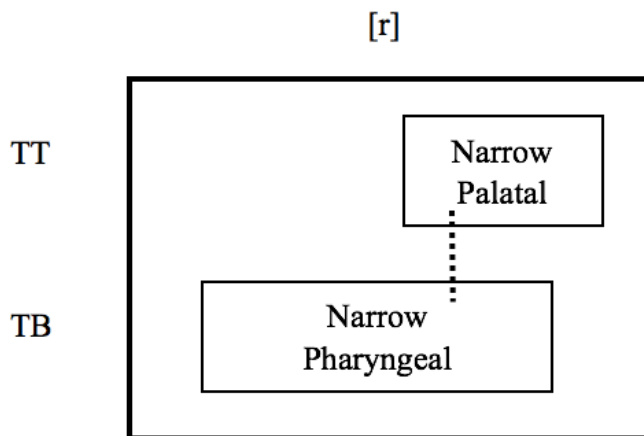


Figure 6.1 Partition gestuelle proposée pour le suffixe rhotique (la ligne pointillée représente un couplage anti-phase).

Les deux gestes de la rhotique sont représentés par les deux rectangles. Le rectangle du haut représente le geste TT, l'avancement de la pointe de la langue vers le palais, celui du bas représente le geste TB, la rétraction du corps de la langue vers le pharynx. Chaque geste (rectangle) est une variable du conduit vocal. Les descriptions à l'intérieur des rectangles précisent le degré de constriction (ici, *étroit*) et le lieu de constriction (*palatal* et *pharyngal*, respectivement). Les deux gestes sont reliés par une ligne pointillée qui représente un couplage en anti-phase.

## 6.2 Les représentations gestuelles des monophthongues avec et sans rhotique

Nous allons proposer les représentations gestuelles de cinq syllabes [ta, tʁ, ti, y, tu] contenant des monophthongues avec et sans suffixe, sur la base des résultats du chapitre 5. Nous avons divisé ces voyelles dans deux groupes (1) [a], [ʁ] et [u] ; 2) [i] et [y]), car les propriétés acoustiques de ces deux classes de voyelles sont affectées de manière différente en présence de la rhotique. Nous allons traiter d’abord le groupe des voyelles non-antérieures [a], [ʁ] et [u] et ensuite les voyelles antérieures [i] et [y].

Nous commençons par la partition gestuelle de la syllabe [ta] sans suffixe, présentée dans la Figure 6.2. Suivant Gao (2008), la voyelle [a] est composée d’un geste lingual (TB) avec une cible articuloire dans la région du pharynx. La consonne [t], qui est une occlusive alvéolaire (ou dentale) non voisée, est composée de deux gestes, un geste TT et un geste glottal (GLO).

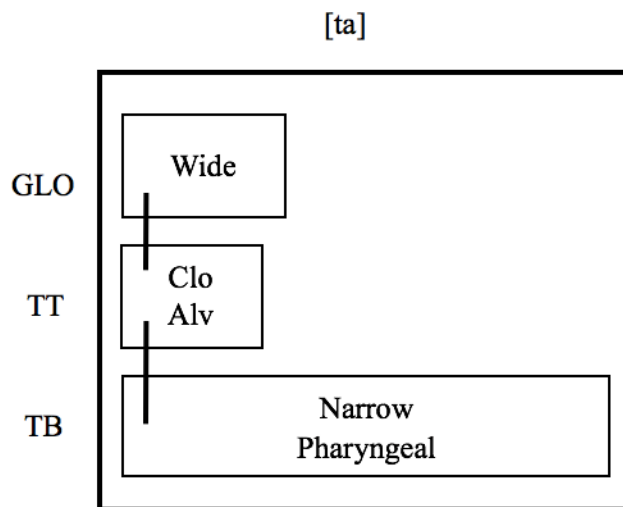


Figure 6.2 Partition gestuelle de la syllabe [ta] (la ligne continue représente un couplage en phase).

Pour une occlusive non voisée, le degré de constriction linguale est fermé (Clo) et la constriction glottale (GLO) est large (“wide”). Ces deux gestes de [t] sont en phase. Un deuxième couplage en phase est établi entre le geste TT de l’attaque et le geste TB de la voyelle, selon le couplage dynamique entre attaque et noyau (voir chapitre 3), proposé dans le cadre de la phonologie articuloire. Dans une syllabe CV, le geste

de l'attaque et le geste de la voyelle sont en phase (représenté par la ligne continue) et débutent simultanément.

La voyelle [a] partage avec le suffixe rhotique le geste TB (« pharyngeal narrow »). Les deux se combinent dans la syllabe [tar], illustrée dans la Figure 6.3. Pour la voyelle [a], aussi bien que pour le suffixe rhotique, le corps de la langue recule vers le pharynx, la même cible de constriction. Nous proposons de représenter cette syllabe par une fusion (*gestural blending*, représenté par une ligne grise) des gestes TB de [a] et de la rhotique. Ainsi, la syllabe [tar] ([ta]+[r]→[tar]) implique un seul geste TB de rétraction vers le pharynx.

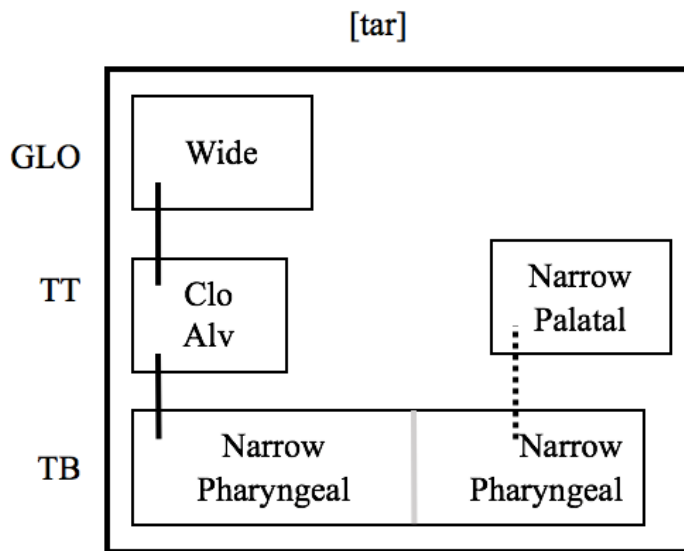


Figure 6.3 Partition gestuelle de la syllabe [ta] +[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage en anti-phase, la ligne grise représente une fusion de gestes (*gestural blending*)).

Le geste TB de la rhotique est en anti-phase avec le geste TT. Le couplage en phase entre le geste de l'attaque (TT) et de la voyelle reste le même que dans la syllabe [ta]. La forme [tar] résultant de cette modélisation est la même que celle prédite par les autres analyses phonologiques précédentes, où le suffixe rhotique est ajouté à la monophthongue [a] sans modification segmentale de la voyelle. Les changements faibles observés sur F1 et F2 de [a] dans notre étude acoustique soutiennent cette analyse.

La deuxième syllabe que nous allons examiner est [ɾ], contenant une voyelle centrale. La partition gestuelle de cette syllabe est présentée dans la Figure 6.4. La voyelle [ɾ] est légèrement postérieure, composée d'un seul geste TB de rétraction vers la région uvulaire. La syllabe consiste ainsi en trois gestes (TT et GLO pour [t], TB pour la voyelle). Le geste TT de l'attaque [t] et le geste TB de la voyelle [ɾ] sont en phase et débutent simultanément.

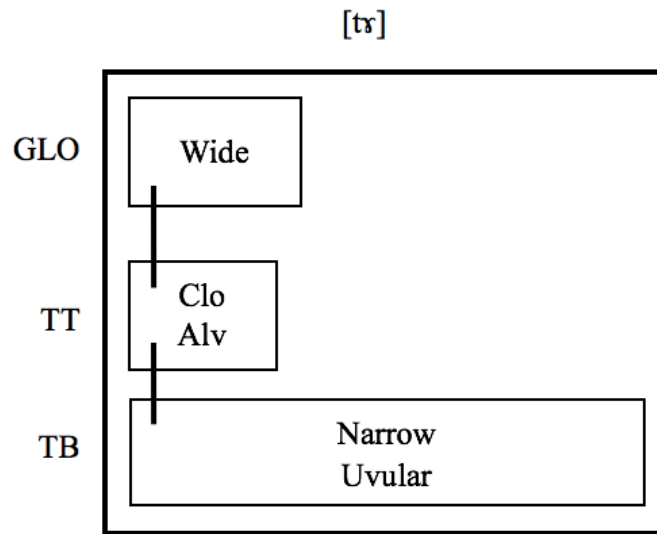


Figure 6.4 Partition gestuelle de la syllabe [ɾ] (la ligne continue représente un couplage en phase).

En présence du suffixe rhotique, la cible uvulaire de [ɾ] est proche de la cible pharyngale de [r] pour le geste TB. Le corps de la langue commence à reculer pour la voyelle [a] et pour la rhotique, dans la même direction. Comme [ɾ] et [r] partagent la même variable de conduit vocal avec des spécifications différentes, nous pouvons de nouveau modéliser cette syllabe par une fusion de deux gestes TB (*gestural blending*), comme illustré dans la Figure 6.5.



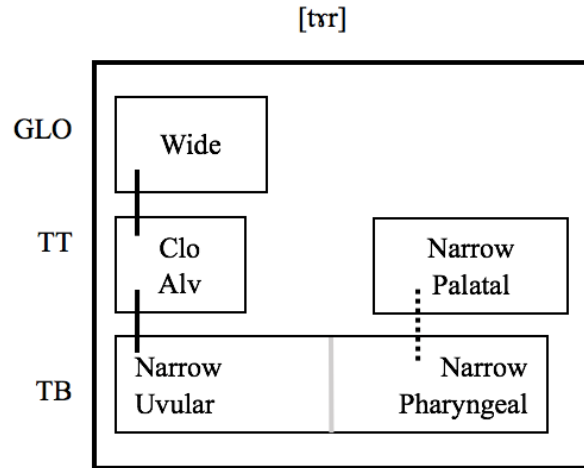


Figure 6.5 Partition gestuelle de la syllabe [tʁ] +[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase, la ligne grise représente une fusion de gestes (gestural blending)).

Le geste TB de la rhotique est en anti-phase avec le geste TT. Cette modélisation prédit la même forme que les analyses précédentes, où la voyelle [ʁ] n’est pas modifiée en présence de la rhotique.

Nous examinons finalement la monophthongue [u], voyelle postérieure arrondie, consistant de deux gestes : 1) le corps de la langue (TB) recule vers la région uvulaire ; 2) les lèvres (LIPS) réalisent une protrusion. Les deux gestes de [u] sont en phase, comme indiqué par la ligne continue dans la Figure 6.6.

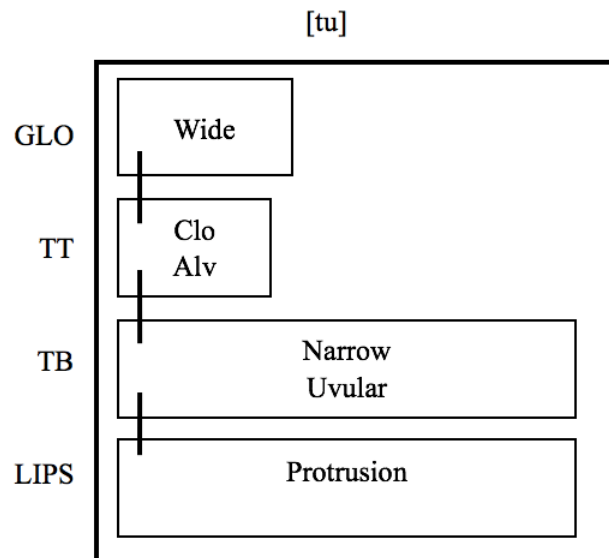


Figure 6.6 Partition gestuelle de la syllabe [tu] (la ligne continue représente un couplage en phase).

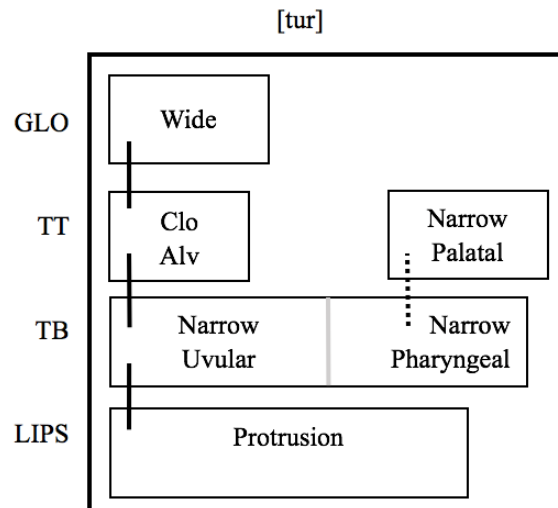


Figure 6.7 Partition gestuelle de la syllabe [tu] +[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase, la ligne grise représente une fusion de gestes (gestural blending)).

La syllabe [tur] ([tu]+[r]) est représentée dans la Figure 6.7. Comme TB recule également pour [r], la seule différence pour le geste TB entre [u] et [r] est le lieu de constriction. Les lieux d'articulation pour [u] et [r] sont tout de même proches. Le corps de la langue commence à reculer, passe par la cible uvulaire de la voyelle et continue vers la cible pharyngale de la rhotique. Comme pour les deux autres voyelles, nous proposons de représenter ce cas par une fusion des deux gestes TB en un seul. Le geste TT de [r] est en anti-phase avec le geste TB. Le geste LIPS de [u] reste compatible avec le geste TB, car il n'y a pas de contrainte entre le mouvement des lèvres et le mouvement de la langue. Ainsi, la forme résultant de la représentation est [tur], qui correspond à celle des analyses existantes.

Jusqu'ici nous avons proposé les représentations gestuelles des trois voyelles postérieures [a, u, ʊ] avec et sans la rhotique [r]. Dans ces trois cas il n'y a pas de modification particulière de la voyelle, due à la rhotique. Dans la représentation gestuelle ceci s'explique par le fait que le geste TB de la rhotique recule pour atteindre sa cible, tout comme le geste TB de ces trois monophthongues. Le mécanisme de fusion de deux gestes (dans ce cas, TB), prévu dans le cadre théorique de la phonologie articulatoire, peut rendre compte des formes avec suffixe rhotique.

Nous allons maintenant examiner le cas des syllabes contenant les voyelles antérieures [i] ou [y]. Les monophthongues [i] et [y] sont produites avec un

avancement de la langue. Le geste TB qui les caractérise est donc opposé au geste lingual de la rhotique, soit la rétraction de la langue. Cet aspect de leur représentation prédit un comportement phonologique différent de celui des voyelles postérieures dans leur interaction avec la rhotique.

La partition gestuelle de la syllabe [ti] est illustrée dans la Figure 6.8. Cette syllabe est composée de trois gestes : les deux gestes, TT et GLO, de [t] et un geste TB de [i]. La geste TT de [t] en attaque et le geste TB de la voyelle [i] sont en phase dans la syllabe CV.

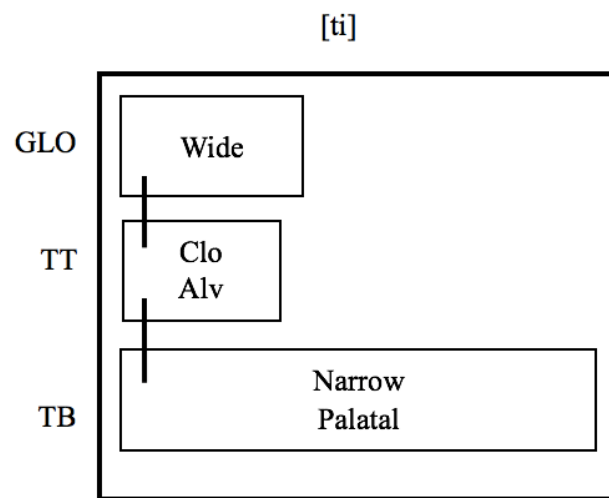


Figure 6.8 Partition gestuelle de la syllabe [ti] (la ligne continue représente un couplage en phase).

La Figure 6.9 montre la partition gestuelle de [ti] avec suffixe. Pour [i], le corps de la langue (TB) s'avance vers le palais, alors que pour [r], le corps de la langue se retire vers le pharynx et la pointe de la langue (TT) se lève vers le palais. Ainsi, l'avancement de la langue pour [i] s'oppose à la rétraction de la langue pour [r].

La plupart des analyses phonologiques existantes proposent l'insertion de /ə/ entre /i/ et /r/. Dans l'analyse de Duanmu (2007) par exemple, une incompatibilité entre la voyelle /i/ et la rhotique est attribuée au trait [rétroflexe] de /r/. Puisque /i/ et /r/ ne partagent pas ce trait, Duanmu propose l'insertion de /ə/ entre les deux. Cette analyse est sans doute censée rendre compte de ce qui est perçu dans la réalisation de cette rime. Dans notre étude acoustique, nous n'avons trouvé qu'une transition longue entre [i] et [r]. Dans le cadre d'une modélisation gestuelle,

ce schwa peut aussi être attribué à une transition vocalique, en fonction de la coordination des gestes de [i] et de [r]. L'étude échographique de Gick et Wilson (2006) montre que le schwa qui apparaît entre deux cibles articulatoires incompatibles n'est pas dû à un processus d'insertion. Il s'agit plutôt d'une transition d'un geste lingual d'avancement à une rétraction, qui résulte dans une forme du conduit vocal ouvert qui ressemble à un schwa. Dans la syllabe [ti]+[r], les gestes d'avancement de la langue pour la voyelle palatale et de rétraction de la langue pour [r] sont incompatibles. Par contre, dû à l'incompatibilité entre les gestes TB de [i] et [r], ces deux gestes TB doivent être réalisés séquentiellement. Ces deux gestes TB sont en anti-phase (indiqué par la ligne pointillée), le couplage qui caractérise une rime VC. Dans le cas des voyelles postérieures nous avons rencontré la situation contraire, où le couplage anti-phase VC est éliminé par la fusion gestuelle de deux gestes TB compatibles et très similaires. L'analyse que nous proposons ne prévoit donc pas l'insertion d'un geste correspondant à un schwa. Par contre, la transition vocalique qui résulte du couplage anti-phase des deux gestes TB peut avoir comme conséquence acoustique une voyelle de type schwa, résultant dans un changement de qualité acoustique entre la voyelle [i] et la rhotique, comme indiqué dans la Figure 6.9, [tiər].

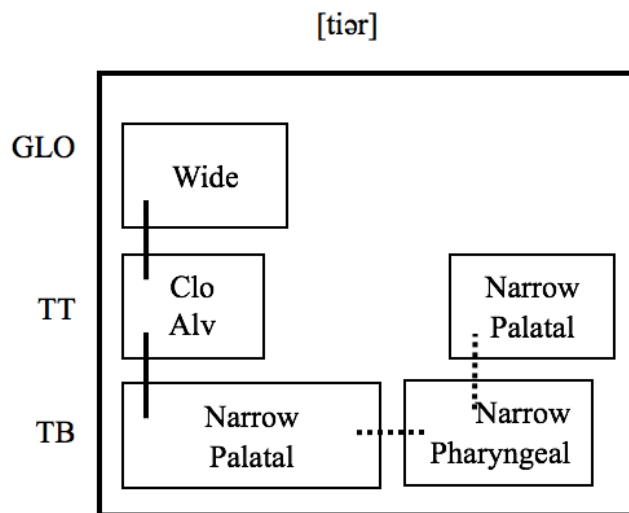


Figure 6.9 Partition gestuelle de la syllabe [ti] +[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase).

Dans le cas de [y], nous proposons une analyse similaire à celle de la voyelle [i]. En tant que voyelle antérieure arrondie, [y] consiste de deux gestes : l'avancement de la langue et la protrusion des lèvres. La partition gestuelle de [y] est présentée dans la Figure 6.10.

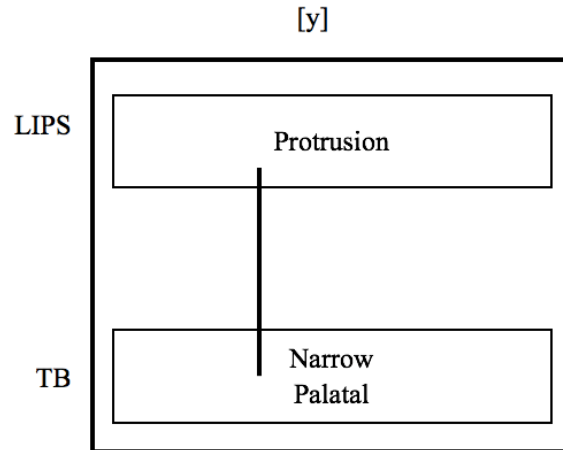


Figure 6.10 Partition gestuelle de la voyelle [y] (la ligne continue représente un couplage en phase).

Le geste LIPS et le geste TB de la voyelle [y] sont en-phase et commencent simultanément. Dans la partition gestuelle présentée dans la Figure 6.11, [y]+[r] a la même transition linguale que celle proposée pour [ti]+[r]. Les gestes TB incompatibles de [y] et [r] sont en anti-phase et ce couplage résulte dans une configuration du conduit vocal qui ressemble à celle d'un schwa.

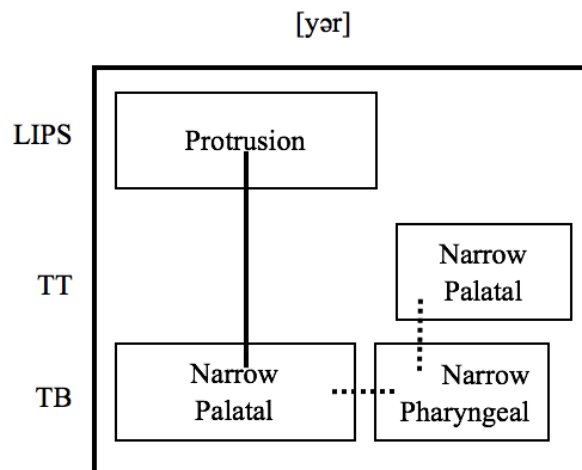


Figure 6.11 Partition gestuelle de la syllabe [y] +[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase).

Comme pour [tiər], il n’y a pas de geste ajouté, correspondant à une voyelle schwa. La présence de la rhotique après [i] et [y] résulte dans une longue transition au niveau acoustique sur les trajectoires des trois premiers formants, qui pourrait être perçue comme un schwa.

Puisque [u] et [y] sont des voyelles fermées et arrondies, contenant toutes les deux un geste de protrusion labiale, nous proposons de comparer directement ces deux voyelles en présence du suffixe rhotique, par rapport à la présence (pour [y]) et l’absence (pour [u]) d’un schwa acoustique émergeant. Les deux gestes TB de [u] et [y] sont différents. Celui de [u] - rétraction de la langue - est compatible avec celui de la rhotique, alors que celui de [y] est incompatible avec le geste TB de la rhotique - avancement de la langue. Une différence essentielle entre [ur] et [yər] réside dans le type de coordination entre les deux gestes TB. Alors que [ur] implique un seul geste TB provenant de la fusion de deux gestes de rétraction, l’un vers une cible uvulaire, l’autre vers une cible pharyngale, dans [yər] les deux gestes TB sont couplés en anti-phase et une transition vocalique émerge de ce couplage.

L’analyse proposée dans cette section est une alternative qui n’implique pas d’insertion du schwa entre [i] (ou [y]) et [r]. Nous avons proposé que les formes avec suffixe pour [i] et [y] respectivement découlent de leurs représentations gestuelles. Dans les sections suivantes nous proposons de tester cette analyse sur les syllabes contenant des diphtongues et des codas nasales.

### 6.3 Les représentations gestuelles des diphtongues avec et sans rhotique

Les quatre diphtongues du mandarin sont divisées en deux groupes en fonction de leur élément vocalique final - [i] ou [u]. Nous proposons ici des analyses pour une diphtongue de chaque catégorie – [ai] et [au], respectivement. Le mandarin est considéré comme une langue syllabique (« syllable-timed language »), dans laquelle chaque syllabe a approximativement la même durée (Lin, 2001 ; Grabe et Low, 2002 ; Lin et Wang, 2007 ; Mok, 2008 ; Li, 2015). En conformité avec cette caractéristique,

dans une partition gestuelle nous représentons la durée de la syllabe [tai] contenant une diphtongue (Figure 6.12) comme étant la même que celle de la syllabe [ta], contenant une monophongue (Figure 6.2).

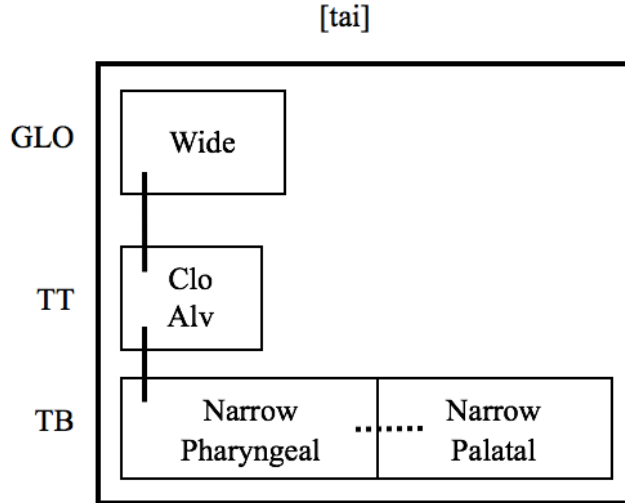


Figure 6.12 Partition gestuelle de la syllabe [tai] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase).

Ainsi, les deux gestes TB de [ai] sont modélisés comme ayant la même durée que le seul geste TB de [a] dans la syllabe [ta]. Dans une diphtongue, les gestes TB correspondant aux deux éléments vocaliques sont en anti-phase et se produisent séquentiellement, tout comme la voyelle et la coda dans une syllabe CVC (Goldstein et al., 2006).

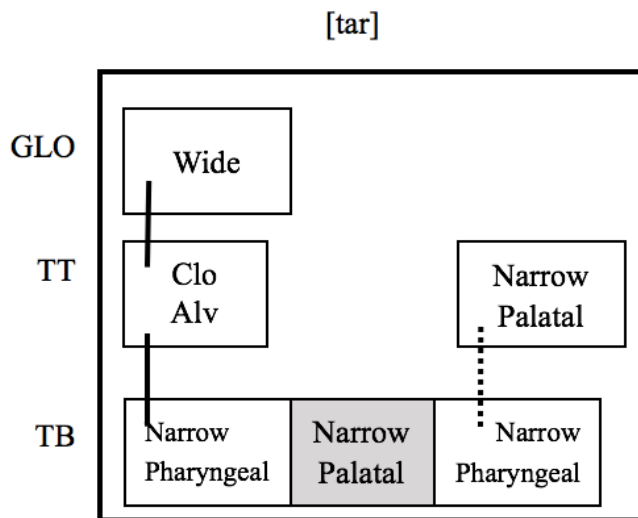


Figure 6.13 Partition gestuelle de la syllabe [tai]+[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase, le rectangle en gris indique un geste incomplet).

La production de la diphtongue [ai] implique une rétraction du corps de la langue pour la voyelle [a], suivie par l'avancement de la langue vers le palais pour la voyelle [i]. En présence du suffixe rhotique, un troisième geste TB est ajouté. Comme la durée de chaque syllabe est constante, l'ajout du suffixe rhotique va comprimer la production de la diphtongue [ai]. Cette compression va surtout affecter le geste TB de [i], qui ne pourra plus atteindre sa cible palatale. Les gestes de rétraction de [a] et [r] auront tendance à fusionner, empêchant ainsi le geste palatal de [i] d'atteindre sa cible. Une conséquence acoustique probable de la fusion des gestes TB de [a], [i] et [r] est la réalisation incomplète (undershoot) de [i]. Dans la partition gestuelle, le geste avec une réalisation incomplète est représenté par la couleur grise. Cette modélisation prédit ainsi la syllabe [ar] pour la diphtongue [ai] avec le suffixe rhotique.

Toutes les analyses précédentes ont proposé que [i] disparaît lorsque le suffixe est ajouté à la diphtongue [ai]. En présence du suffixe, la diphtongue [ai] devient identique à la monophthongue [a]. Pourtant, les résultats de notre étude acoustique ont montré que les trajectoires de F2 pour la voyelle [a] avec suffixe et la diphtongue [ai] avec suffixe ne sont pas identiques. La valeur de F2 reste plus élevée dans [ai]+[r] que dans [a]+[r]. Cette différence observée dans notre étude acoustique ne soutient pas une analyse qui propose la chute catégorielle d'un segment. En revanche, elle peut être intégrée dans une analyse gestuelle. D'ailleurs, une version stricte du modèle de la phonologie articulatoire propose que les gestes ne peuvent pas être éliminés ou ajoutés. Ainsi, même si la cible du geste TB de [i] n'est pas atteinte, la présence d'un geste incomplet dans la partition gestuelle de [ai]+[r] (Figure 6.13) peut être intégrée dans la modélisation. Ce geste partiel de [i] se traduit acoustiquement dans une valeur F2 plus élevée dans le cas de la diphtongue par rapport à la voyelle [a].

La diphtongue [au] est composée de l'ensemble des gestes articulatoires des voyelles [a] et [u]. Il s'agit de deux gestes TB et un geste LIPS, illustrés dans la Figure 6.14.



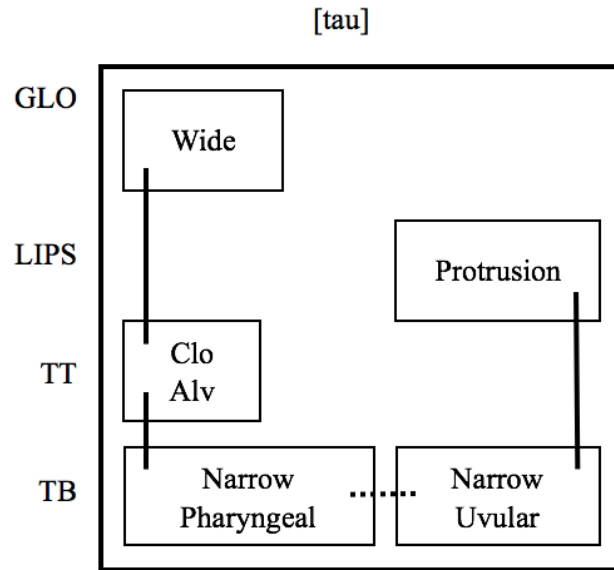


Figure 6.14 Partition gestuelle de la syllabe [tau] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase).

Par rapport à la diphtongue [ai], [a] et [u] partagent la même variable de conduit TB. Les deux gestes TB de la diphtongue sont en anti-phase (Figure 6.14), étant produits séquentiellement. Les deux gestes impliquent une rétraction de la langue. En présence de la rhotique, un troisième geste TB se retrouve dans la même syllabe (Figure 6.15).

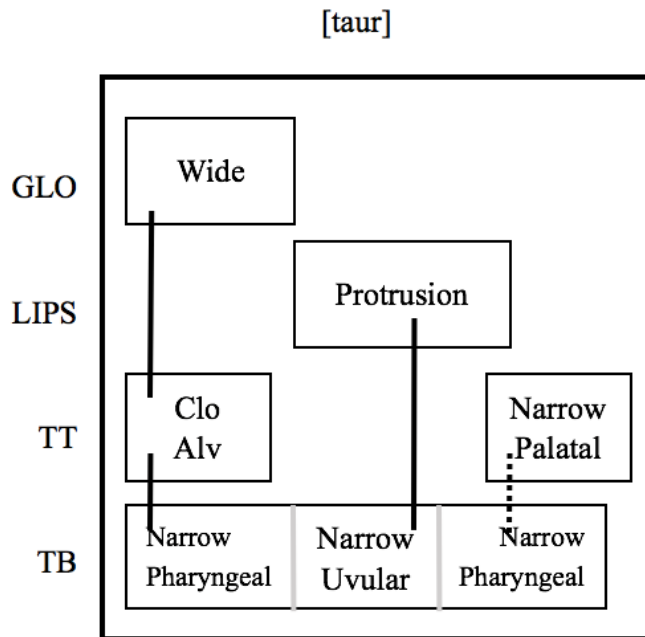


Figure 6.15 Partition gestuelle de la syllabe [tau]+[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase, la ligne grise représente une fusion de gestes (gestural blending)).

Tous les trois gestes impliquent une rétraction de la langue : vers le pharynx pour [a], vers la région uvulaire pour [u], de nouveau vers le pharynx pour [r]. Comme les gestes font partie de la même syllabe, nous proposons de nouveau une fusion gestuelle qui résulterait dans une compression des trois gestes (Figure 6.15). La présence du geste de protrusion labiale permettra la perception de la voyelle [u] en présence de la rhotique. Nous proposons que la diphtongue [au] avec le suffixe rhotique est produite comme [aur].

Notre analyse de la diphtongue [au] ne nécessite aucune explication supplémentaire par rapport à celle de [ai], contrairement aux analyses phonologiques existantes. Nous avons vu que différentes analyses proposent différentes formes de surface, par exemple, [aur], [a<sup>u</sup>r], [ar<sup>w</sup>], [au<sup>r</sup>], etc. Les interprétations de ces différentes formes ne sont pas toujours discutées. Duanmu (2007), par exemple, considère que la voyelle [u] est compatible avec le trait [rétroflexe] et que pour cette raison la rhotique peut s'attacher directement à [au]. Ainsi, [au] devient [au<sup>r</sup>], avec le symbole [r] représentant un trait. Cependant, notre étude acoustique sur la durée de la rime avec et sans suffixe a trouvé une différence significative entre [au] et [aur]. La diphtongue avec suffixe a une durée plus longue, ce qui indiquerait que le suffixe rhotique est un segment, plutôt qu'un trait. Ainsi, nous maintenons qu'en présence du suffixe rhotique, [au] devient [aur], plutôt que [au<sup>r</sup>]. Dans la section suivante nous abordons les séquences voyelle-nasale, qui font aussi ressortir des différences importantes entre les analyses comparées ici.

#### 6.4 Les représentations gestuelles des séquences V+N avec et sans rhotique

Dans les analyses existantes, la forme [an] avec le suffixe devient [ar]. Le plus souvent, les auteurs considèrent que la coda nasale [n] est remplacée par [r], dû à l'incompatibilité entre les deux. Mais pour la coda [ŋ], nous retrouvons une divergence parmi les analyses sur la forme [aŋ] avec le suffixe rhotique. Parfois la forme de surface proposée est [aŋ<sup>r</sup>], parfois [ãr], avec le suffixe rhotique soit un trait,

soit un segment. Par exemple, l'analyse de Duanmu (2007) propose [aŋ<sup>r</sup>]. Pour Duanmu, [ŋ] est compatible avec le suffixe rhotique, ainsi, cette nasale vélaire est maintenue. Un autre exemple est l'analyse de Lin (1989) qui propose la forme [ãr]. Dans son analyse, le suffixe est d'abord ajouté à la place de la coda initiale dans la rime. Ensuite, les deux codas nasales [n] et [ŋ] sont traitées différemment. Si le trait est compatible avec le suffixe rhotique, il est rattaché à la rime, comme dans le cas de [ŋ], donnant la forme avec suffixe [ãr]. Au contraire, si le trait n'est pas compatible avec le suffixe rhotique, comme dans le cas de [n], la nasale alvéolaire disparaît complètement, sa forme avec suffixe devient [ar]. Pourtant, cette analyse n'explique pas la disparition du trait [+nasal] de [n], qui pourrait, dans ce cas aussi, se rattacher à la voyelle. Le modèle de la phonologie articulatoire nous permet de proposer une analyse unifiée des deux codas nasales en présence de la rhotique.

Les deux nasales sont composées d'un geste d'ouverture du vélum et d'un geste de constriction orale : TT pour [n] et TB pour [ŋ]. Les études articulatoires sur les nasales en anglais (Krakow, 1993 ; Byrd et al., 2009) ont montré que dans la coordination interne des deux gestes de la coda nasale, le geste de vélum commence avant le geste oral pour [n] et [m]. L'étude aérodynamique de Zhang (2000) sur les deux codas nasales en mandarin nous informe sur les détails de la coordination entre les gestes de la voyelle et de la coda nasale dans une syllabe CVN. Les résultats de son étude indiquent que la nasalisation de la voyelle devant [ŋ] est plus forte et commence significativement plus tôt que dans la voyelle précédant [n]. Ainsi, nous proposons que les partitions gestuelles de ces deux codas nasales dans la syllabe CVN se différencient non seulement par leur lieu de constriction orale, mais aussi par leurs coordinations gestuelles respectives avec le geste vocalique précédent.

La partition gestuelle de [tan] est proposée dans la Figure 6.16. La nasale [n] est composée de deux gestes, le geste TT et le geste d'ouverture du vélum. Dans la production de la coda nasale, le geste TT et le geste VEL sont en-phase, le geste d'ouverture du vélum commence avant le geste oral dans la position finale.

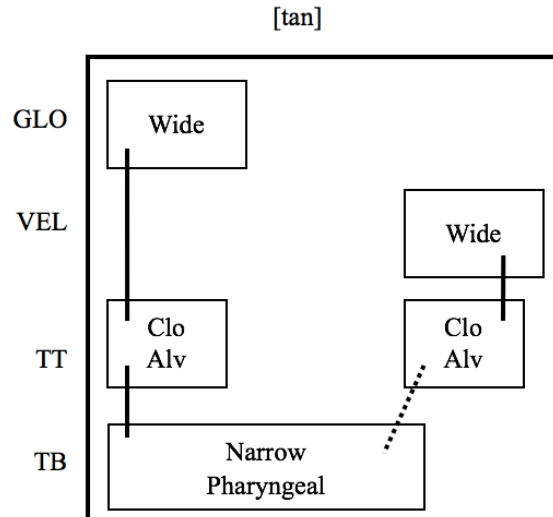


Figure 6.16 Partition gestuelle de la syllabe [tan] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase).

Selon le couplage VC, le geste TB de la voyelle [a] et le geste TT de la nasale [n] sont en anti-phase. Le geste TB pharyngal de [a] implique la rétraction de la langue, alors que le geste TT de [n] implique un avancement de la pointe de la langue. Nous pouvons incorporer les résultats de l'étude aérodynamique de Zhang (2000) en variant le degré de recouvrement entre le geste TB de la voyelle et le geste VEL de la nasale. Un degré de recouvrement plus court entre le geste TB de la voyelle et le geste VEL correspond à [n], un degré de recouvrement plus long correspond à la coda [ŋ].

En présence du suffixe rhotique, la production de la rime est comprimée, comme dans le cas des diphtongues [ai] et [au]. La partition gestuelle de [an]+[r] est proposée dans la Figure 6.17. Le geste TT de [n] est en anti-phase avec le geste TB de [a]. Le geste TB du [r] ajouté en coda est à son tour en anti-phase avec le geste TT de [n]. Un seul des deux segments peut apparaître en position de coda. Les gestes de [n] et de [r] sont donc en compétition pour être intégrés dans la même syllabe, c'est à dire dans le même intervalle de temps.

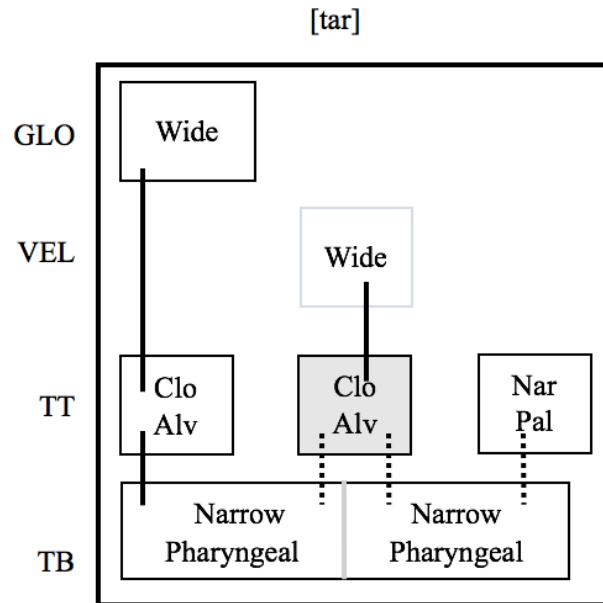


Figure 6.17 Partition gestuelle de la syllabe [tan]+[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase, la ligne grise représente une fusion de gestes (gestural blending), le rectangle en gris indique un geste incomplet, le rectangle avec le contour gris représente un geste qui dépend d'un autre geste).

La constriction TT de [n] ne peut pas se produire en même temps que la rétraction du corps de la langue vers la constriction pharyngale de [r]. Suite à la compression des gestes dans la syllabe due à la limite de temps, le geste TT de [n] n'atteint plus sa cible alvéolaire. Suivant Krakow (1999), nous considérons la constriction orale comme la constriction principale pour les nasales. Si le geste oral de [n] n'est pas réalisé, le geste nasal couplé avec lui ne sera pas réalisé non plus. L'étude aérodynamique de Lee (2005) confirme en fait l'absence de nasalisation dans le cas de [an] avec suffixe rhotique. Cela veut dire que le geste du vélum n'est pas réalisé non plus dans cette syllabe. Par ailleurs, notre étude acoustique montre que les trajectoires de [an] avec suffixe ne sont pas les mêmes que celles de la voyelle [a] avec suffixe. Nous proposons d'interpréter tous ces résultats comme indicatifs d'un geste qui n'atteint pas sa cible, un cas de « target undershoot », semblable à celui proposé pour la diphtongue [ai]. Nous proposons que le geste oral de [n] n'atteint pas sa cible, contraint par la production des gestes TB et TT dans un intervalle de temps fixe. Cette analyse prédit que [an] devient [ar] en présence du suffixe rhotique, mais que, en même temps, cette syllabe n'est pas identique à la syllabe [ar] provenant de la syllabe ouverte [a]

car le geste de la constriction alvéolaire incomplète de [ŋ] est visible dans la trajectoire formantique.

Pour la coda vélaire dans la syllabe [aŋ], nous allons davantage diverger de l’analyse de Duanmu, qui propose que [ŋ] est maintenu devant la rhotique, la syllabe devenant [aŋʳ]. Nous nous rapprochons plutôt de l’analyse de Zhang (2000), qui propose que cette syllabe est en fait réalisée comme [ãr]. Notre analyse rejoint celle de Zhang en soutenant l’absence d’une consonne nasale ([ŋ] aussi bien que [ŋ]) en présence de la rhotique. La partition gestuelle de la syllabe [aŋ] que nous proposons est présentée dans la Figure 6.18. Selon le couplage VC, le geste TB de [a] et le geste TB de [ŋ] sont en anti-phase.

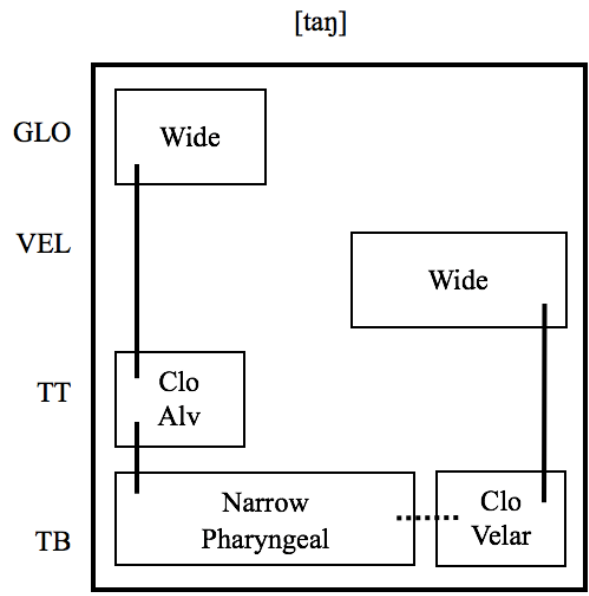


Figure 6.18 Partition gestuelle de la syllabe [taŋ] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase).

Tous les trois gestes impliquent une rétraction de la langue : vers le pharynx pour [a], vers la région vélaire pour [ŋ], de nouveau vers le pharynx pour [r]. Comme les gestes font partie de la même syllabe, nous proposons en 6.19 de nouveau une fusion gestuelle qui résulterait dans une compression des trois gestes TB compatibles et très similaires de [a], [ŋ] et [r]. Suite à la fusion de ces trois gestes TB, le couplage du geste TB de [a] et du geste VEL de [ŋ] sont en phase. Cependant, le degré de constriction TB n’est plus « closed », mais « narrow ». Conformément aux résultats de Zhang (2000), le geste VEL de [ŋ] commence en avance par rapport à son geste TB ce qui

prédit la nasalisation de la voyelle. Nous proposons que [aŋ] suivi par le suffixe rhotique devient [ãr] (Figure 6.19).

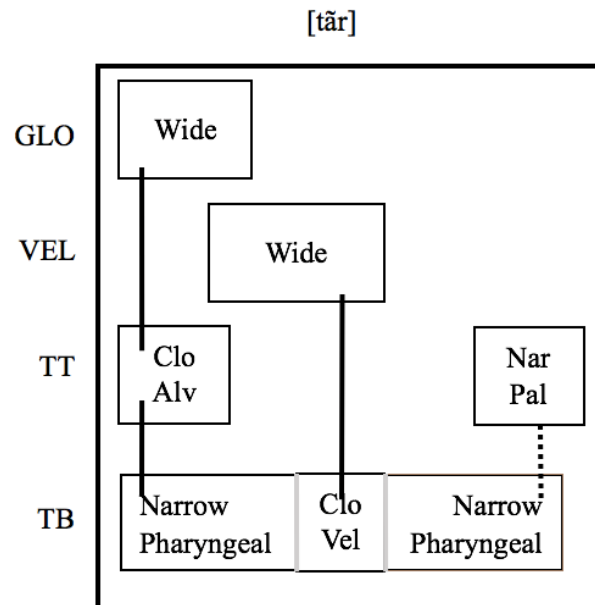


Figure 6.19 Partition gestuelle de la syllabe [taŋ]+[r] (la ligne continue représente un couplage en phase, la ligne pointillée représente un couplage anti-phase, la ligne grise représente une fusion de gestes (gestural blending)).

Dans ce chapitre, nous avons proposé une représentation phonologique gestuelle du suffixe rhotique selon les données de l'étude échographique présentée dans le chapitre 4. Partant de cette représentation, nous avons proposé une nouvelle analyse, adoptant le cadre de la phonologie articulatoire. Cette analyse tient compte des résultats de notre étude acoustique. En utilisant les gestes articulatoires comme primitives phonologiques, nous avons pu rendre compte de toutes les données décrites, y compris des deux codas nasales, de la nasalisation de la voyelle précédente, de la différence entre les diphtongues finissant en [i] et en [u], sans avoir besoin de recourir à des explications externes à l'analyse elle-même. Au contraire, toutes les données découlent de manière unifiée de l'analyse que nous proposons. Avant de clore ce chapitre, nous voulons souligner le fait que ces analyses, bien que basées sur nos études de production, restent des hypothèses dont les détails peuvent être testés. Elles pourront être évaluées par des études de production supplémentaires, aussi bien que par des simulations de coordinations gestuelles rendues possibles par TADA (Task Dynamic model of inter-articulator speech coordination) (Nam et Goldstein, 2007).

## Conclusion et perspectives

---

Les travaux présentés dans cette thèse contribuent à une analyse descriptive du suffixe rhotique en mandarin par rapport à ses propriétés phonétiques et phonologiques et propose une analyse du suffixe rhotique dans le cadre de la phonologie articulatoire de Browman et Goldstein (1992).

Nous avons ajouté des nouvelles données acoustiques et articulatoires aux recherches sur le suffixe rhotique. Il faut noter que notre étude échographique (King et Liu, 2017) et l'étude de Chen et al. (2017), toutes les deux présentées à Ultrafest VIII, sont, à notre connaissance, parmi les premières études de ce genre sur le suffixe rhotique en mandarin. Nos données peuvent vérifier à la fois les analyses phonologiques précédentes et la nouvelle analyse gestuelle que nous proposons et qui soutient une explication des faits dans le cadre de la phonologie articulatoire. A notre connaissance, nous proposons dans cette thèse la première analyse gestuelle du suffixe rhotique.

L'étude articulatoire échographique présentée dans le chapitre 4 est une étude exploratoire qui nous a permis de classifier le contour de la langue pour le suffixe rhotique. Nous avons appris de cette étude des informations essentielles sur la composition gestuelle du suffixe rhotique. Nous avons appris, notamment, que la rhotique en mandarin ressemble à celle de l'anglais américain en position postvocalique par sa variabilité entre le type 'bunched' et le type rétroflexe. Les données de nos participants montrent peu de variations dans le contour de la langue pour le suffixe rhotique dans les différents contextes vocaliques. Le type du contour est stable pour chaque locuteur de notre étude. Aucune préférence du type de rhotique n'est trouvée en fonction de la région de provenance des locuteurs. La comparaison avec les études articulatoires précédentes (Lee, 2005 ; Gick et Wilson, 2006 ; Chen et al., 2017 ; Jiang et al., 2019), nous a montré que : 1) le suffixe rhotique implique une rétraction de la langue ; 2) il ressemble à la rhotique de l'anglais qui



varie entre ‘bunched’ et rétroflexe ; 3) il diffère de la rhotique de l’anglais par une préférence pour le /r/ rétroflexe, qui est produit dans la grande majorité des données.

L’étude acoustique présentée dans le chapitre 5 a examiné l’effet du suffixe rhotique sur le contexte segmental précédent en analysant la durée, les valeurs formantiques, les trajectoires formantiques comme indices acoustiques. La comparaison de la durée de la rime avec et sans le suffixe rhotique nous permet d’établir que le suffixe rhotique est un segment. L’effet du suffixe rhotique sur les valeurs formantiques au milieu de la voyelle qui le précède vient compléter l’étude de Huang (2010) par des données qui contrôlent le contexte consonantique précédent. Notre étude a confirmé de manière plus fiable le résultat de Huang, à savoir le fait que le suffixe rhotique a un effet de centralisation sur les monophthongues.

Nous avons étudié l’influence du suffixe rhotique sur les trajectoires formantiques des rimes différentes pour mieux comprendre le processus de l’ajout du suffixe rhotique à la rime. Nous voulions savoir à partir de quel moment le suffixe rhotique influence la rime, tout au long de sa durée. Les résultats de cette étude confirment : 1) tout d’abord la présence de la rhotique dans tous les types de rimes, par une baisse significative de F3 ; 2) selon l’influence du suffixe rhotique sur F1 et F2, on peut diviser les rimes en deux catégories. Pour les rimes contenant une voyelle fermée antérieure [i], [y], [ai] et [ei], leurs valeurs F1 et F2 sont fortement affectées par l’ajout de la rhotique. Pour les rimes contenant [a], [u], [ʌ], [au] et [əu], les valeurs de F1 et F2 sont moins affectées par la rhotique. Généralement, pour toutes les rimes, la chute de F3 commence dès le début de la trajectoire des formants. De plus, les trajectoires de F2 et F3 se rapprochent vers la fin, une caractéristique que nous avons interprétée comme la cible de la rhotique.

Suite à la comparaison des trajectoires formantiques, nous avons trouvé que la neutralisation phonologique proposée dans la littérature pour les trois rimes /a/, /ai/ et /an/ en présence du suffixe rhotique n’est pas justifiée par la différence phonétique que nous avons trouvée dans notre étude de production. Nos données acoustiques ne soutiennent donc pas certaines modifications segmentales proposées précédemment : 1) l’ajout d’un schwa après [i] et [y] en présence du suffixe rhotique ;

2) la chute de [i] dans les diphtongues [ai] et [əi] ; 3) la neutralisation des trois syllabes différentes en présence du suffixe ([a]+[r]→[ar] ; [ai]+[r]→[ar] ; [an]+[r]→[ar]).

Dans le chapitre 6 nous avons abordé le comportement phonologique du suffixe rhotique et sa représentation. Après une évaluation des analyses précédentes, notamment celle de Duanmu (2007), la plus récente, nous avons proposé une nouvelle analyse en prenant la phonologie articulatoire comme cadre théorique. La phonologie articulatoire permet d'analyser les variations comme des changements dus au recouvrement entre les gestes articulatoires en tant qu'unités phonologiques primaires et également dus aux changements de paramètres temporels et spatiaux de ces gestes. De cette manière, l'analyse que nous proposons peut rendre compte de toutes les modifications concernant les types de syllabes auxquelles s'attache le suffixe rhotique. Certains aspects du comportement du suffixe, qui n'étaient pas facilement explicables dans les analyses précédentes, découlent d'une seule et même analyse dans l'approche gestuelle.

Nous avons proposé une représentation gestuelle du suffixe rhotique en nous appuyant sur les résultats de notre étude échographique. Nous avons proposé que le suffixe rhotique est composé de deux gestes articulatoires : TT qui monte vers le palais et TB qui recule vers le pharynx. Pour les rimes [a, u, ʏ, i, y, ai, au, an, aŋ], nous avons proposé sur la base de notre analyse, de nouvelles transcriptions pour leurs formes en présence du suffixe rhotique : [ar, ur, ʏr, iər, yər, ar, aur, ar, ãr]. Nous considérons que ces transcriptions sont plus adéquates pour trois raisons.

L'argument principal est basé sur le fait que nos données acoustiques ne soutiennent pas l'insertion du schwa proposée par plusieurs linguistes (Duanmu, 2007 ; Lin, 1989 ; Wang, 1993) entre les deux monophthongues [i] et [y] et la rhotique. Les données acoustiques soutiennent plutôt une rhotacisation de la voyelle dès son début, puisque F3 commence à descendre dès le début de sa trajectoire en présence du suffixe. La modélisation gestuelle de [i]+[r] prédit un changement dans la qualité de la voyelle et une transition de [i] à [r] dont les caractéristiques acoustiques correspondent aux caractéristiques du schwa.

Un deuxième argument concerne la neutralisation de [a], [ai] et [an] en présence du suffixe rhotique. Toutes les analyses phonologiques du suffixe rhotique proposent que ces trois types de rimes sont réalisées comme [ar] en présence de la rhotique. Dans une approche générative, cette neutralisation est forcément modélisée comme étant catégorielle. Par contre, une telle neutralisation n'est pas soutenue par nos données acoustiques. L'analyse gestuelle, en revanche, est en mesure de prédire des différences graduelles entre les trois types de rime.

Troisièmement, les modifications des deux codas nasales sont aussi expliquées par notre analyse avec plus de précision. Dans la syllabe finie par une coda nasale alvéolaire, [tan], dû à l'incompatibilité entre le geste TT de [n] et les gestes TB de [a] et [r], le couplage anti-phase existe toujours entre [n] et [a], pareil entre [n] et [r]. Suite à la compression des gestes dans la syllabe, le geste TT de [n] n'atteint plus sa cible alvéolaire à cause du temps réduit. Suivant Krakow (1999), nous considérons la constriction orale comme la constriction principale pour les nasales. Si ce geste n'est pas réalisé, la nasale risque de ne pas être perçue. Nous proposons d'interpréter tous ces résultats comme indicatifs d'un geste qui n'atteint pas sa cible, un cas de « target undershoot ». Ainsi, [tan] devient [tar] en présence du suffixe rhotique. Au contraire, la syllabe finie par une coda nasale vélaire, [taŋ], grâce à la compatibilité entre les gestes TB de [a], [ŋ] et [r], le geste VEL de [ŋ] et le geste TB de [a] sont en phase. Pourtant, la fusion de ces trois gestes TB de [a], [ŋ] et [r] provoque une réalisation incomplète pour le geste TB de [ŋ], son degré de constriction pour le geste TB n'est plus fermé.

Les trois cas évoqués ici montrent qu'une analyse dans le cadre de la phonologie articulatoire peut rendre compte de toutes les modifications de la syllabe à laquelle le suffixe s'attache. En comparaison avec les analyses précédentes, notre analyse a l'avantage d'expliquer plus de changements phonétiques graduels qui apparaissent dans notre étude acoustique, par exemple, la différence acoustique entre les trois rimes /a/, /ai/, /an/ avec le suffixe rhotique, qui sont censées être identiques dans les analyses précédentes. Ces analyses ne peuvent pas rendre compte des changements graduels que nous avons trouvés dans la réalisation phonétique.

Malgré le fait que l'analyse gestuelle que nous avons proposée est basée sur des études acoustiques, tenant compte de leurs résultats, elle peut être testée de manière plus rigoureuse en effectuant une modélisation articulatoire à l'aide de TADA (Task Dynamic model of inter-articulator speech coordination) (Nam et Goldstein, 2007). TADA est une implémentation du modèle Task Dynamics de coordination de la parole, incorporant le couplage gestuel. Le système permet de générer les mouvements des variables du conduit vocal à partir de partitions gestuelles. Nous proposons de tester notre analyse par cette modélisation dans un futur projet.

### **Perspectives**

Les études que nous avons présentées dans cette thèse ont adressé des questions spécifiques concernant le suffixe rhotique. La première extension prévue pour notre recherche au-delà de la thèse vise à tester la perception des trois rimes [a, ai, an] en présence du suffixe rhotique. Nous avons montré que du point de vue acoustique ces trois rimes ne subissent pas une neutralisation complète sous l'influence de la rhotique, comme suggéré dans plusieurs descriptions linguistiques. Pour pouvoir répondre de manière définitive à la question de la neutralisation nous devons tester si les différences acoustiques trouvées sont ou non perçues par les locuteurs natifs. Si les locuteurs natifs n'arrivent pas à discriminer les différentes rimes, malgré les différences acoustiques, nous pouvons conclure qu'une neutralisation est présente. Dans l'étude de perception, nous allons tester la discrimination de ces trois rimes dans un contexte consonantique et tonal contrôlé.

La deuxième extension prévue pour notre recherche au-delà de la thèse concerne le comportement du suffixe rhotique dans la parole spontanée. Lorsque nous avons enregistré les 13 locuteurs de mandarin à Shenyang nous avons recueilli, en plus des enregistrements individuels analysés ici, environ 3h30 de parole conversationnelle des mêmes participants, en binômes. Les deux corpus nous donnent ainsi la possibilité de comparer la production du suffixe rhotique chez les mêmes locuteurs en parole conversationnelle et en parole contrôlée (texte lu). La trajectoire des formants est un indice acoustique pertinent à comparer dans les deux conditions.

Généralement, on s'attend à trouver plus de réduction dans la parole spontanée. Étant donné que le suffixe rhotique implique déjà la compression de deux syllabes, on s'attend à ce qu'il y ait davantage de réduction dans ces syllabes par rapport à la parole contrôlée. En même temps, le suffixe rhotique lui-même est naturellement produit dans la parole spontanée surtout. Par conséquent, on ne s'attend pas à ce que le suffixe rhotique lui-même soit réduit.

Les études de la variation phonétique déjà réalisées dans la parole spontanée en différentes langues ont mis en évidence des types de variations communs à toutes les langues, comme la réduction, l'assimilation et la disparition des phonèmes. À ma connaissance, il n'y a pas encore de telles études sur le mandarin continental. Des recherches sur le mandarin taiwanais (Su, 2003 ; Tseng, 2005) ont trouvé des instances de réduction, disparition, assimilation et simplification de différents types de segments, ainsi que de fusion (ou coalescence).

Ce qui nous intéresse en premier lieu dans ce genre d'étude, c'est de comprendre les tendances de changement phonétique dans la langue. Une comparaison avec les résultats existants en mandarin taiwanais serait possible et très utile pour comprendre les différences et les similarités de ces deux variétés du mandarin. Les questions que l'on peut poser dans un premier temps sont les suivantes :

1. Quels sont les changements phonétiques les plus fréquents dans la parole spontanée en mandarin de Shenyang ?
2. Quels sont les phonèmes concernés par ces changements et dans quels contextes ?
3. Y a-t-il des similarités et des divergences entre les variations phonétiques attestées en mandarin de Shenyang et en mandarin de Taïwan (Su, 2003 ; Tseng, 2005) ? S'il y a des divergences, à quoi sont-elles dues ?

La thèse de Su (2003) compare le mandarin taiwanais et le français, et trouve de grandes différences qui ne sont pas étonnantes vu les systèmes phonologiques très différents des deux langues. Néanmoins, certains résultats sont comparables dans les

deux langues. Par exemple, Su a trouvé que le taux de disparition (soit le cas extrême de la réduction d'un phonème) des segments est généralement faible. Il représente en moyenne 3,7% en français et 2,9% en mandarin taïwanais. On s'attend, par conséquent, à ce que le taux de disparition des segments en mandarin de Shenyang soit également relativement bas dans la parole spontanée. Mais la différence entre le mandarin et le français apparaît dans les classes de segments qui ont le plus tendance à disparaître. Su a trouvé que la réduction des consonnes est plus fréquente en mandarin, alors que la réduction des voyelles est plus fréquente en français. L'explication proposée est que le mandarin est une langue tonale, où la voyelle porte le ton lexical. Les voyelles ont donc tendance à être retenues pour le maintien des contrastes. Pour les mêmes raisons, on s'attend alors à ce que les voyelles soient plus résistantes à la réduction que les consonnes dans les langues tonales plus généralement, y compris dans d'autres variétés de mandarin.

Il y a d'autres résultats de Su qui sont pertinents pour une comparaison avec le mandarin continental. Su a montré dans son corpus spontané des cas de monophthongaison des diphtongues. Cette monophthongaison n'implique pas seulement une simplification de la diphtongue par la suppression de sa partie finale, mais aussi une fusion où le timbre de la monophthongue résultante est différent de celui des composantes de la diphtongue initiale. Par exemple, la diphtongue [ai] est prononcée comme [e], les deux diphtongues [au] et [ou] sont prononcées comme [ə].

Su a indiqué aussi que la réduction segmentale affecte le plus souvent les consonnes et le contexte dans lequel les consonnes ont le plus tendance à disparaître ou à se modifier est la position intervocalique. La réduction est plus prononcée dans les mots grammaticaux que dans les mots lexicaux.

Dans cette thèse, nous avons pu interpréter tous les changements segmentaux provoqués par le suffixe rhotique en utilisant une modélisation gestuelle dans le cadre de la phonologie articulatoire. Puisque ce suffixe est un phénomène connu dans la parole spontanée, nous supposons qu'avec la modélisation gestuelle, nous pouvons comprendre plus de changements phonétiques qui apparaissent dans la parole spontanée. Par exemple, la monophthongaison pourra être modélisée comme la fusion

complexe de deux gestes TB des deux voyelles dans la diphtongue. Les deux gestes sont réalisés en même temps au lieu d'être produits séquentiellement. La coordination temporelle des deux gestes pourrait être impliquée pour expliquer la monophthongaison. Aussi, nous nous intéresserons, dans des travaux ultérieurs, à faire d'abord une étude sur les variations phonétiques dans la parole spontanée que nous avons déjà enregistrée, pour ensuite essayer de les interpréter en profitant d'une modélisation gestuelle dans le cadre de la phonologie articulatoire.

## Références

---

Abramson, A. S. (1962). The vowels and tones of standard Thai: Acoustical measurements and experiments. Indiana U. Research Center in Anthropology, Folklore, and Linguistics, Pub. 20, Bloomington.

Alwan, A., Narayanan, S. et Haker, K. (1997). To- ward articulatory-acoustic models for liquid approximants based on MRI and EPG data. Part II. The rhotics. *Journal of Acoustical Society of America*, 101(2), 1078–1089.

Articulate Instruments Ltd (2008). *Ultrasound Stabilisation Headset Users Manual: Revision 1.4*. Edinburgh, UK.

Articulate Instruments Ltd (2012). *Articulate Assistant Advanced User Guide: Version 2.14*. Edinburgh, UK.

Baayen, R. H., Davidson, D. J., et Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390–412. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.12.005>

Baayen, R. H., Van Rij, J., De Cat, C. et Wood, S. N. (2016). Autocorrelated errors in experimental data in the language sciences : Some solutions oered by generalized additive mixed models. *arXiv preprint arXiv :1601.02043*.

Baayen, R. H., Vasishth, S., Bates, D. et Kliegl, R. (2017). The cave of shadows. addressing the human factor with generalized additive mixed models. *Journal of Memory and Language* 94, 206–234.

Boersma, P. et Weenink, D. (2017). Praat : doing phonetics by computer. [Computer program]. <http://www.praat.org/>

Boyce, S., Hamilton, S. et Rivera-Campos, A. (2016). Acquiring rhoticity across languages : an ultrasound study of differentiating tongue movements. *Clinical Linguistics et Phonetics* 30 :35, 174-201.

Browman, C. P. et Goldstein, L. (1986). Towards an articulatory phonology. *Phonology Yearbook* 3, 219-252.

Browman, C.P. et Goldstein, L. (1989). Articulatory Gestures as Phonological Units. *Phonology* 6, 201-251.



Browman, C. P. et Goldstein, L. (1990a). Gestural specification using dynamically-defined articulatory structures. *Journal of Phonetics* 18, 299-320.

Browman, C. P. et Goldstein, L. (1990b). « Tiers in articulatory phonology, with some implications for casual speech », Kingston, J., Beckman, M.E. (eds.), *Papers in Laboratory Phonology I : Between the Grammar and Physics of Speech*, 341-376, Cambridge University Press.

Browman, C. P. et Goldstein, L. (1992). *Articulatory Phonology : An overview*. *Phonetica* 49, 155-180.

Browman, C. P. et Goldstein, L. (1995). Gestural syllable position effects in American English. In *Producing Speech : Contemporary issues : for Katherine Safford Harris, F. Bell-Berti and R. Lawrence, Eds*, 19–34, American Institute of Physics : Woodbury NY.

Byrd, D., Tobin, S., Bresch, E. et Narayanan, S. (2009). Timing effects of syllable structure and stress on nasals : A real-time MRI examination. *Journal of Phonetics*, 37(1), 97-100.

Campbell, F. ; Gick, B. ; Wilson, I. et Vatikiotis-Bateson, E. (2010). Spatial and temporal properties of gestures in North American English /r/. *Language and Speech* 53.49–69. DOI : 10.1177/0023830909351209.

Carlton, T. R. (1991). *Introduction to the Phonological History of the Slavic Languages*. Slavica

Catford, J. C. (2001). *A practical introduction to phonetics*. Oxford University Press, 2nd edition.

Chao, Y. R. (1968). *A Grammar of Spoken Chinese*. Berkeley/Los Angeles : University of California Press.

Chen, S., Mok, P., Tiede, M., Chen, W. et Whalen, D. H. (2017), Investigating the production of Mandarin rhotics using ultrasound imaging. *Ultrafest VIII*, Potsdam, 04-06 octobre, 2017.

Cheng, C. C. (1973). *A synchronic phonology of Mandarin Chinese*. *Monographs on Linguistic Analysis* 4 (The Hague : Mouton).

Cohn, A. C. (1990). *Phonetic and Phonological Rules of Nasalization*, Ph.D. dissertation, UCLA.

Delattre, P. et Freeman, D. C. (1968). A dialect study of American English r's by x-ray motion picture, *Linguistics* 44, 28–69.

Delattre, P. (1971). Pharyngeal features in the consonants of Arabic, German, French, Spanish, and American English. *Phonetics* 23, 129–155.

Dressler, W. U. et Barbaresi, L. M. (1994). *Morphopragmatics : Diminutives and intensifiers in Italian, German, and Other Languages*. Mouton de Gruyter.

Dressler, W. U., Rainer, F., Gardani, F. et Luschutzky, H. C. (2012). *Morphology and meanings*. John Benjamins publishing company.

Duanmu, S. (2000). *The Phonology of Standard Chinese*. Oxford University Press.

Duanmu, S. (2007). *The Phonology of Standard Chinese (2nd Edition)*. Oxford University Press.

Edmondson, J. A. et Esling, J. H. (2006). The valves of the throat and their functioning in tone, vocal register and stress : Laryngoscopic case studies. *Phonology* 23, 157–191.

Esling, J. H. (2005). There are no back vowels : The laryngeal articulator model. *Canadian Journal of Linguistics* 50, 13–44.

Fougeron, C. (2005). La phonologie articulatoire : une introduction. In Nguyen, N., Wauquier-Gravelines, S., et Durand, J., editeurs, *Phonologie et phonétique : Forme et substance*, 265-290. Hermès, Paris.

FU, M. (1956). 'Beijing hua de yinwei he pinyin zimu' [Phonèmes et Pinyin du dialecte de Pékin]. *Zhongguo Yuwen*, 1956.5: 3–12.

Fu, M. (1956). '北京话的音位和拼音字母 (中国语文)' 'Beijing hua de yinwei he pinyin zimu' [Phonèmes et les symboles pinyin du dialecte de Pékin]. *Zhongguo Yuwen*, 1956.5: 3–12.

Gao, M. (2008). *Mandarin in Tones : An Articulatory Phonology Account*, PhD dissertation, Yale University.

Gick, B. (2003). Articulatory correlates of ambisyllabicity in English glides and liquids. *Papers in Laboratory Phonology VI : Constraints on phonetic interpretation*, 222-236, Cambridge University Press.

Gick, B. et Wilson, I. (2006). Excrescent schwa and vowel laxing : Cross-linguistic responses to conflicting articulatory targets. In : L. Goldstein, D.H. Whalen et C.T. Best (Eds.), *Papers in laboratory phonology VIII : varieties of phonological competence*. Berlin, New York : Mouton de Gruyter.

Gick, B., Campbell, F., Oh, S. et Tamburri-Watt, L. (2006). Toward universals in the gestural organization of syllables : A cross-linguistic study of liquids. *Journal of Phonetics* 34. 49—72.

Gick, B., Min Kang, A. et Whalen, D. H. (2002). MRI evidence for commonality in the post-oral articulations of English vowels and liquids. *Journal of Phonetics*, 30(3) : 357–371.

Goldstein, L. et Pouplier, M. (2014). The temporal organization of speech. In Victor Ferreira, Matthew Goldrick and Michele Miozzo (eds.), *The Oxford Handbook of Language Production*. Oxford : Oxford University Press.

Goldstein, L., Byrd, D., et Saltzman, E. (2006). The role of vocal tract gestural action units in understanding the evolution of phonology. In *Action to language via the mirror neuron system* (ed. Arbib M, editor.), pp. 215–249 New York, NY: Cambridge University Press.

Grabe, E. et Low, E. L. (2002). Durational variability in speech and the rhythm class hypothesis. In *Laboratory Phonology VII*, Gussenhoven C.; Warner, N. (eds.). Berlin: Mouton de Gruyter, 515-546.

Guenther, F., Espy-Wilson C. Y, Boyce, S., Melanie, M., Majid, Z. et Joseph, P. (1999). Articulatory tradeoffs reduce acoustic variability during American English /r/ production. *Journal of the Acoustical Society of America* 105.2854–65. DOI : 10.1121/1.426900.

Hagiwara, R. (1995). Acoustic realizations of American /r/ as produced by women and men. *UCLA Working Papers in Phonetics* 90.1–187. Online : <http://escholarship.org/uc/item/8779b7gq>.

Hamilton, S., Rivera-Campos, A., Rivera Perez, J., Boyce, S. E., McNiell, B. et Schmidlin, S. (2012). *Comparing productions of /r/ : evidence from ultrasound and acoustics*. American Speech Language and Hearing Association. Atlanta, GA.

Haskins Laboratories (2001–2012). TADA (Task Dynamics Application), version 0.9782. Retrieved from [http://www.haskins.yale.edu/tada\\_download/index.php](http://www.haskins.yale.edu/tada_download/index.php).

Hsu, V. L. (1972). Er and Zi Suffixation in Chinese. PhD dissertation, The University of Michigan.

Hsueh, F. (1986). An anatomy of the pekinese sound system. (Taipei : Taiwan Xuesheng Shuju.

Hu, M. Y. (1987). 'Beijing hua chutan, shangwu yinshu guan' [L'étude préliminaire du dialecte de Pékin]. 北京话初探, 商务印书馆.

Huang, T. (2010). Er-suffixation in Chinese monophthongs : phonological analysis and phonetic data. Proceedings of the 22nd North American Conference on Chinese Linguistics (NACCL-22) and the 18th International Conference on Chinese Linguistics (IACL-18) 2010. Vol 1, 331-344.

Jiang, S., Chang, Y. C. et Hsieh, F. F. (2019). An EMA study of ER-suffixation in northeastern mandarin monophthongs. Proceedings of the 19th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS XIX): August 4-9, 2019, Melbourne, Australia.

King, H. et Liu, A. (2017), An ultrasound and acoustic study of the rhotic suffix in Mandarin. Ultrafest VIII, Potsdam, 04-06 octobre, 2017.

Klein, H. B., McAllister Byun, T., Davidson, L. et Grigos, M. I. (2013). A multidimensional investigation of children's /r/ productions : perceptual, ultrasound, and acoustic measures.

Kösling, K., Kunter, G., Baayen, H. et Plag, I. (2013). Prominence in tri- constituent compounds : Pitch contours and linguistic theory. *Language and Speech* 56 (4), 529–554.

Krakow, R. A. (1999). Physiological organization of syllables : A review. *Journal of Phonetics*, 27, 23-54.

Krakow, R. A. (1993). Nonsegmental influences on velum movement patterns : Syllables, sentences, stress, and speaking rate. In Huffman, M.A. et Krakow, R.A. (Eds.), *Nasals, nasalization and the velum (phonetics and phonology V)* (pp. 87-116). New York : Academic Press.

Ladefoged, P. et Maddieson, I. (1996). *The sounds of the world's languages*, peter ladefoged and ian maddieson, blackwell publishing.

Ladefoged, P. (1975). *A course in Phonetics*. (1st edition) Harcourt Brace Jovanovich, New York.

Ladefoged, P. (2004). *Vowels and consonants : An introduction to the sounds of languages*. Oxford : Blackwells. 2nd ed.

Lawson, E., Scobbie, J. M., et Stuart-Smith, J. (2013). Bunched /r/ promotes vowel merger to schwa : An ultrasound tongue imaging study of Scottish sociophonetic variation. *Journal of Phonetics*, 41(3), 198-210.

Leclerc, J. (2018). « Données démolinguistiques » dans *L'aménagement linguistique dans le monde*, Québec, CEFAN, Université Laval, 01 juillet 2018, [<http://www.axl.cefan.ulaval.ca/asie/chine-2langues.htm>], (02 NOV 2018), 225 Ko.

Lee, W. S. (2005). A phonetic study of the “er-hua” rimes in Beijing Mandarin. *INTERSPEECH*, 1093-1096.

Li, C. N. et Thompson, S. A. (1989), *Mandarin Chinese – A functional reference grammar*. University of California press, Berkeley, Los angeles.

Li, S. J. (1994). ‘Hanyu “er” [ə] yinshi yanjiu, taiwan shangwu yinshu guan’ [L’étude sur l’histoire de la rhotique [ə] ]. *汉语“儿” [ə] 音史研究*, 臺灣商務印書館.

Li, Y. (2015). *Timing and Melody : A acoustic study of rhythmic patterns of Chinese dialects*, Phd dissertation, Department of Linguistics, University of Victoria.

Li, Y. R. (1996). ‘Lun putonghua erhuayun ji erhuayinwei’ [La discussion sur le suffixe –er et son statut phonologique dans le mandarin standard]. *Yuwen yanjiu*, 1996. 2nd. *论普通话儿化韵及儿化音位. 语文研究 1996 年第二期*.

Lin, H. et Wang, Q. (2007). Mandarin rhythm : an acoustic study. *Journal of Chinese Language and Computing* 17, 127-140.

Lin, H. (2001). *A grammar of Mandarin Chinese*, Lincom Europa.

Lin, Y. H. (1989). *Autosegmental treatment of segmental processes in Chinese phonology*. Doctoral dissertation. University of Texas, Austin.

Lin, Y. H. (2007). *The Sounds of Chinese*. Cambridge University Press, Cambridge.

Lindau, M. (1978). Vowel features. *Language* 54 : 541-63.

Lindau, M. (1985). The story of /r/. In Fromkin, V. (ed.), *Phonetic Linguistic : Essays in Honor of Peter Ladefoged*, pp. 157-168. Orlando, Florida : Academic.

Löfqvist, A. et Gracco, V. L. (1999). Interarticulator programming in VCV sequences : lip and tongue movements. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105(3), 1874-1876.

Ma, L. (1997). Mandarin diminutive formation : An optimality analysis. WPLC at the University of Victoria. 14, 47-59.

Ma, Q. (2002). Mandarin retroflex suffixation : an OT account. Beijing Normal University. Rutgers Optimality Archive-454, 1-36.

Maddieson, I. (1984). *Patterns of Sounds*. Cambridge University Press.

Maddieson, I. et Precoda, K. (1989). Updating UPSID. *Journal of the Acoustic Society of America*, Suppl.1, 86 : S19.

Magnuson, T. (2007). The story of /r/ in two vocal tracts. *Proceedings of the 16th International Congress of the Phonetic Sciences*. 6-10 Aug. 2007, 1193-1196.

McCloy, D. R. (2016). *phonR : tools for phoneticians and phonologists*. R package version 1.0-7.

Mok, P. (2008). On the syllable-timing of Cantonese and Beijing Mandarin, In *Proceedings of the 8th Phonetics Conference of China (PCC 2008) and the International Symposium on Phonetic Frontiers (ISPF 2008)*. Beijing.

Mücke, D., Nam, H., Hermès, A. et Goldstein, L. (2012). Coupling of tone and constriction gestures in pitch accents. In Hoole, P., Bombien, L., Pouplier, M., Moohammer, C. and Kühnert, B. (Eds.), *Consonant clusters and structural complexity*, 205-230, Berlin : Mouton de Gruyter.

Nam, H. et Goldstein, L. (2007), *TADA (TAsk Dynamics Application) manual*, Haskins Laboratories, New Haven, USA.

Narayanan, S., Byrd, D., et Kaun, A. (1999). Geometry, kinematics, and acoustics of Tamil liquid consonants. *Journal of the Acoustical Society of America* 106(4), 1993-2007.

Niemann, H., Mücke, D., Nam, H., Goldstein, L. et Grice, M. (2011). Tones as Gestures : The Case of Italian and German. *Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences*, Hongkong, China. 1486-1489.

Proctor, M. (2011). Towards a gestural characterization of liquids : Evidence from Spanish and Russian. *Journal of Laboratory Phonology* 2(2), 451-485.

Pulleyblank, E. (1984). *Middle Chinese : A Study in Historical Phonology*, Vancouver, Canada : UBC Press.

R Development Core Team (2017). *R : AS language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Ramsey, S. R. (1987). *The Languages of China* (Princeton : Princeton University Press).

Recasens, D. et Espinosa, A. (2007). Phonetic typology and positional allophones for alveolar rhotics in Catalan. *Phonetica* 63, 1-28.

Recasens, D., et Rodríguez, C. (2015). An investigation of lingual coarticulation resistance using ultrasound. In *Proceedings of the 18th International Congress of Phonetic Sciences*.

Saltzman, E. et Kelso, J. A. (1987). Skilled actions : A task dynamic approach. *Psychological Review* 94, 84-106.

Saltzman, E. et Munhall, K. (1989). A dynamical approach to gestural patterning in speech production. *Ecological Psychology* 1, 333-382.

Saltzman, E. (1986). Task dynamic co-ordination of the speech articulators : a preliminary model. In H. Heuer and C. Fromm (Eds.), *Generation and Modulation of Action Patterns*, 129-144. Berlin : Springer-Verlag.

Scobbie, J. M. et Pouplier, M. (2010). The role of syllable structure in external sandhi : An EPG study of vocalisation and retraction in word-final English /l/. *Journal of Phonetics* 38.240–259.

Shi, F. (2003). Acoustic expression of er-ized finals in Beijing Mandarin, *Nankai Linguistics*, 2, pp. 11-19.

Sóskuthy, M. (2016). *Generalised Additive Mixed Models for linguistic analysis : a practical introduction*. [http://www-users.york.ac.uk/~ms1341/gam\\_intro.pdf](http://www-users.york.ac.uk/~ms1341/gam_intro.pdf).

Sóskuthy, M. (2017). *Generalised Additive Mixed Models for dynamic analysis in linguistics : a practical introduction*. ArXiv : 1703.05339 [stat : AP].

Sproat, R., et Fujimura, O. (1993). Allophonic variation in English /l/ and its implications for phonetic implementation. *Journal of Phonetics*, 21(3), 291-311.

Staun, J. (2010). *An Introduction to the Pronunciation of North American English*. Odense, University Press of Southern Denmark.

Strycharczuk, P. et Scobbie, J. M. (2017). Fronting of Southern British English high-back vowels in articulation and acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 142 (1), 322–331.

Su, T. T. (2003). *Étude sur la disparition des phonèmes en français et en mandarin de Taïwan*. Thèse de Doctorat, Université Paris 3.

Svantesson, J.O. (1984). Vowels and diphthongs in Standard Chinese. *Working Papers* 27. 209-335. Lund University, Department of Linguistics.

Tian, J. (2009). *An Optimality Theory Analysis of Diminutive Suffixation of Beijing Chinese*. *Working Papers in Linguistics* Vol. 19, University of Victoria. 217-231.

Tiede, M. K., Boyce, S. E., Holland, C. K., et Choe, K. A. (2004). A new taxonomy of America English /r/ using MRI and ultrasound. *The Journal of the Acoustical Society of America* 115(5), 2633-2634.

Tseng, S.C. (2005). " Syllable Contractions in a Mandarin Conversational Dialogue Corpus", *International Journal of Corpus Linguistics* 10 : 1, 63-83.

Van Lieshout, P., Merrick, G., et Goldstein, L. M. (2008). An articulatory phonology perspective on rhotic articulation problems : a descriptive case study. *Asia Pacific Journal of Speech, Language and Hearing* 11(4), 283-303.

Van Rij, J., Wieling, M., Baayen, R. et Van Rijn, H. (2017). *Itsadug : Interpreting Time Series and Autocorrelated Data Using GAMMs*. R package version 2.3.

Vilain, A. (2000). *Apports de la modélisation des degrés de liberté articulatoires à l'étude de la coarticulation et du développement de la parole*, Thèse de Doctorat, ICP, Grenoble.

Walsh-Dickey, L. (1997). *The Phonology of Liquids*. Doctoral dissertation. University of Massachusetts, Amherst.

Wang, J.Z. (1993). *The Geometry of Segmental Features in Beijing Mandarin*. Ph.D. dissertation, University of Delaware.



Wang, L. et Wang, H. (1991). 'Erhuayun yanjiu zhong de jige wenti— yu Lisijing xiansheng de shangque' [Quelques question dans la recherche du suffixe rhotique— la discussion avec M. Sijing LI]. *Zhongguo yuwen* 1991. 2nd. 儿化韵研究中的几个问题 – 与李思敬先生商榷。中国语文.

Wang, L. (1979). 'Xiandai hanyu yuyin fenxi zhong de ji ge wenti' [Quelques questions dans l'étude phonétique du mandarin moderne]. *Zhongguo Yuwen*, 1979.4 : 281–6. 现代汉语语音分析中的几个问题. 中国语文.

Wang, L. (1980). *Hanyu Yinyun [La phonologie du mandarin]*, 2nd edition. (Beijing : Zhonghua Shuju). '汉语音韵', 第二版 (北京: 中华书局) .

Wang, L. J. et He, N. (1985). 'Beijingshua er-huayun de tingbian shiyan he shengxue fenxi' [Le suffixe –er dans le dialecte de Pékin—perception et analyse acoustique]. *Beijing Yuyin Shiyanlu*, 27–72. 北京话儿化韵的听辨实验和声学分析. 北京语音实验录.

Westbury, J. R., Hashi, M. et Lindstrom, M. J. (1998). Differences among speakers in lingual articulation for American English /ɹ/. *Speech Communication* 26.203–26. DOI : 10.1016/S0167-6393(98)00058-2.

Wickham, H. (2016). *ggplot2 : Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.

Wieling, M., Tomaschek, F., Arnold, D., Tiede, M., Broöker, F., Thiele, S., Wood, S. N. et Baayen, R.H. (2016). Investigating dialectal differences using articulography. *Journal of Phonetics* 59, 122–143.

Wiese, R. (1997). 'Underspecification and the Description of Chinese Vowels', in Wang Jialing and Norval Smith (eds.), *Studies in Chinese Phonology* (Berlin: Mouton de Gruyter).

Wiese, R. (2001). The unity and variation of (German) /r/. In Van de Velde, H. et van Hout, R. (eds.), *R-atics : Sociolinguistic, Phonetic and Phonological Characteristics of /r/*, pp. 11-36.

Winter, B. et Wieling, M. (2016). How to analyze linguistic change using mixed models, Growth Curve Analysis and Generalized Additive Modeling. *Journal of Language Evolution* 1 (1), 7–18.

Wood, S. (2006). *Generalized additive models : an introduction with R*. Boca Raton: CRC Press.

Xu, S. (1980). 'Putonghua Yuyin Zhishi' [La phonologie du mandarin standard] . Beijing : Wenzhi Gaige Chubanshe. 普通话语音知识, 北京: 文字改革出版.

Xu, Y. (1986). "Putonghua yinlian de shengxue yuyin texing" [Les propriétés acoustiques des conjonctions des syllabes en mandarin standard]. *Zhongguo yuwen*, 1986.5(194) : 353-60. 普通话音联的声学特性, 中国语文.

Yanagawa, M. (2006). *Articulatory timing in first and second language : A cross-linguistic study*. PhD dissertation, Yale University. New Haven, CT.

Zee, E. (1980). Tone and vowel quality. *Journal of Phonetics*, 8(3), 247-258.

Zeileis, A. et Hothorn, T. (2002). Diagnostic Checking in Regression Relationships. *R News* 2(3), 7-10. URL <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>

Zhang, J. (2000). Non-contrastive features and categorical patterning in Chinese diminutive suffixation—MAX[F] or IDENT[F]. *Phonology* 17 : 427-478.

Zhou, X. H., Espy-Wilson, C. Y., Boyce, S., Tiede, M., Holland, C. et Choe, A. (2008). A magnetic resonance imaging-based articulatory and acoustic study of 'retroflex' and 'bunched' American English /r/. *Journal of the Acoustical Society of America* 123.4466–81. DOI : 10.1121/1.2902168.

Zhu, J. (2005). 'zhonggu hanyu de 'er' houzhui' [Le suffixe 'er' en mandarin]. *Zhongguo yuwen*, no.4, 2005. 中古汉语的 '儿' 后缀, 中国语文.

**Annexe 1 : Les informations des participants (étude acoustique)**

Participant	Sexe	Age	profession	Connaissances de linguistique	Langue étrangère
BYL	H	27	Policier	Non	Anglais
CC	F	27	Professeur	Non	Anglais, Japonais
DB	F	26	Fonctionnaire	Non	Anglais, Français
HYT	F	27	Fonctionnaire	Non	Anglais, Japonais
PJ	F	28	Employée	Non	Anglais
PZ	F	27	Journaliste	Oui	Anglais
QLY	F	28	Secrétaire	Non	Anglais, Japonais
SY	H	29	Militaire	Non	Anglais
WXF	F	28	Comptable	Non	Anglais
XCW	H	28	Informaticien	Non	Anglais
ZH	F	28	Employée	Non	Anglais
ZL	H	28	Jurisconsulte	Non	Anglais
ZY	F	28	Étudiante	Non	Anglais, Français

## Annexe 2 : Corpus pour l'étude acoustique

Phrase porteuse :

我把搭写好

wǒ(T3) bǎ(T3) dā(T1) xiě(T3) hǎo(T3).

[wɤʅ paɪ taɪ ɕjɤʅ xauɪ].

'J'écris bien da (T1).'

### Syllabe ouverte / syllabe ouverte +[r]

Wo214 ba 214 daT1 xie 214 hao214 [ta]	我把搭写好	Wo214 ba 214 daT1er xie 214 hao214 [ta]+[r]	我把搭儿写好
Wo214 ba 214 daT2 xie 214 hao214 [ta]	我把达写好	Wo214 ba 214 daT2er xie 214 hao214 [ta]+[r]	我把达儿写好
Wo214 ba 214 daT4 xie 214 hao214 [ta]	我把大写好	Wo214 ba 214 daT4er xie 214 hao214 [ta]+[r]	我把大儿写好
Wo214 ba 214 diT1 xie 214 hao214 [ti]	我把滴写好	Wo214 ba 214 diT1er xie 214 hao214 [ti]+[r]	我把滴儿写好
Wo214 ba 214 diT2 xie 214 hao214 [ti]	我把笛写好	Wo214 ba 214 diT2er xie 214 hao214 [ti]+[r]	我把笛儿写好
Wo214 ba 214 diT4 xie 214 hao214 [ti]	我把地写好	Wo214 ba 214 diT4er xie 214 hao214 [ti]+[r]	我把地儿写好
Wo214 ba 214 duoT1 xie 214 hao214 [two]	我把多写好	Wo214 ba 214 duoT1er xie214 hao214[two] +[r]	我把多儿写好
Wo214 ba 214 duoT2 xie 214 hao214 [two]	我把夺写好	Wo214 ba 214 duoT2er xie214 hao214[two] +[r]	我把夺儿写好
Wo214 ba 214 duoT4 xie 214 hao214 [two]	我把舵写好	Wo214 ba 214 duoT4er xie214 hao214[two] +[r]	我把舵儿写好
Wo214 ba 214 duT1 xie 214 hao214 [tu]	我把嘟写好	Wo214 ba 214 duT1er xie214 hao214 [tu] +[r]	我把嘟儿写好
Wo214 ba 214 duT2 xie 214 hao214 [tu]	我把毒写好	Wo214 ba 214 duT2er xie 214 hao214 [tu] +[r]	我把毒儿写好
Wo214 ba 214 duT4 xie 214 hao214 [tu]	我把肚写好	Wo214 ba 214 duT4er xie 214 hao214 [tu] +[r]	我把肚儿写好
Wo214 ba 214 deT1 xie 214 hao214 [tɤ]	我把得写好	Wo214 ba 214 deT1er xie 214 hao214 [tɤ] +[r]	我把得儿写好

Wo214 ba 214 <b>deT2</b> xie 214 hao214 [tʃ]	我把德写好	Wo214 ba 214 <b>deT2er</b> xie 214 hao214 [tʃ] +[r]	我把德儿写好
Wo214 ba 214 <b>lüT2</b> xie 214 hao214 [ly]	我把驴写好	Wo214 ba 214 <b>lüT2er</b> xie 214 hao214 [ly] +[r]	我把驴儿写好
Wo214 ba 214 <b>lüT4</b> xie 214 hao214 [ly]	我把绿写好	Wo214 ba 214 <b>lüT4er</b> xie 214 hao214 [ly] +[r]	我把绿儿写好
Wo214 ba 214 <b>daiT1</b> xie 214 hao214 [tai]	我把呆写好	Wo214 ba 214 <b>daiT1er</b> xie 214 hao214 [tai] +[r]	我把呆儿写好
Wo214 ba 214 <b>daiT4</b> xie 214 hao214 [tai]	我把袋写好	Wo214 ba 214 <b>daiT1er</b> xie 214 hao214 [tai] +[r]	我把袋儿写好
Wo214 ba 214 <b>deiT1</b> xie 214 hao214 [tai]	我把嘚写好	Wo214 ba 214 <b>deiT1er</b> xie 214 hao214 [tai] +[r]	我把嘚儿写好
Wo214 ba 214 <b>duiT1</b> xie 214 hao214 [twəi]	我把堆写好	Wo214 ba 214 <b>duiT1er</b> xie214hao214[twəi]+[r]	我把堆儿写好
Wo214 ba 214 <b>duiT4</b> xie 214 hao214 [twəi]	我把对写好	Wo214 ba 214 <b>duiT1er</b> xie214hao214[twəi]+[r]	我把对儿写好
Wo214 ba 214 <b>daoT1</b> xie 214 hao214 [tau]	我把刀写好	Wo214 ba 214 <b>daoT1er</b> xie214hao214 [tau]+[r]	我把刀儿写好
Wo214 ba 214 <b>daoT2</b> xie 214 hao214 [tau]	我把捌写好	Wo214 ba 214 <b>daoT2er</b> xie214 hao214 [tau] +[r]	我把捌儿写好
Wo214 ba 214 <b>daoT4</b> xie 214 hao214 [tau]	我把道写好	Wo214 ba 214 <b>daoT4er</b> xie214 hao214 [tau] +[r]	我把道儿写好
Wo214 ba 214 <b>douT1</b> xie 214 hao214 [təu]	我把兜写好	Wo214 ba 214 <b>douT1er</b> xie214 hao214 [təu] +[r]	我把兜儿写好
Wo214 ba 214 <b>douT2</b> xie 214 hao214 [təu]	我把啣写好	Wo214 ba 214 <b>douT2er</b> xie214hao214 [təu] +[r]	我把啣儿写好
Wo214 ba 214 <b>douT3</b> xie 214 hao214 [təu]	我把豆写好	Wo214 ba 214 <b>douT4er</b> xie214hao214 [təu] +[r]	我把豆儿写好
Wo214 ba 214 <b>diuT1</b> xie 214 hao214 [tjəu]	我把丢写好	Wo214 ba 214 <b>diuT1er</b> xie214hao214[tjəu] +[r]	我把丢儿写好
Wo214 ba 214 <b>diaoT1</b> xie 214 hao214 [tjau]	我把雕写好	Wo214 ba 214 <b>diaoT1er</b> xie214 hao214 [tjau]+[r]	我把雕儿写好
Wo214 ba 214 <b>diaoT4</b> xie 214 hao214 [tjau]	我把吊写好	Wo214 ba 214 <b>diaoT4er</b> xie214 hao214 [tjau]+[r]	我把吊儿写好
Wo214 ba 214 <b>dieT1</b> xie 214 hao214 [tjʏ]	我把爹写好	Wo214 ba 214 <b>dieT1er</b> xie 214 hao214 [tjʏ]+[r]	我把爹儿写好
Wo214 ba 214 <b>dieT2</b> xie 214 hao214 [tjʏ]	我把碟写好	Wo214 ba 214 <b>dieT2er</b> xie 214 hao214 [tjʏ]+[r]	我把碟儿写好

Wo214 ba 214 dieT4 xie 214 hao214 [tjɿ]	我把哏写好	Wo214 ba 214 dieT4er xie 214 hao214 [tjɿ]+[r]	我把哏儿写好
--	-------	--	--------

## Syllabe fermée / syllabe fermée + [r]

Wo214 ba 214 danT1 xie 214 hao214 [tan]	我把单写好	Wo214 ba 214 danT1er xie 214 hao214 [tan]+[r]	我把单儿写好
Wo214 ba 214 dangT1 xie 214 hao214 [taŋ]	我把当写好	Wo214ba214 dangT1er xie 214 hao214 [taŋ]+[r]	我把当儿写好
Wo214 ba 214 dingT1 xie 214 hao214 [tjəŋ]	我把丁写好	Wo214 ba 214 dingT1er xie 214 hao214 [tjəŋ]+[r]	我把丁儿写好
Wo214 ba 214 dongT1 xie 214 hao214 [tuŋ]	我把咚写好	Wo214ba214 dongT1er xie 214 hao214 [tuŋ]+[r]	我把咚儿写好
Wo214 ba 214 dunT1 xie 214 hao214 [twən]	我把吨写好	Wo214 ba214 dunT1er xie214 hao214 [twən]+[r]	我把吨儿写好
Wo214 ba 214 dengT1 xie 214 hao214 [təŋ]	我把灯写好	Wo214ba214 dengT1er xie214 hao214 [təŋ]+[r]	我把灯儿写好

### Annexe 3 : Corpus pour l'étude échographique

Phrase porteuse :

小裴说\_\_.

[ɕjau3 pəi2 ʂwo1 \_\_]

'Xiaopei dit \_\_'

小裴说巴	[pa1]
小裴说巴儿	[par1]
小裴说巴儿啊	[par#a1]
小裴说逼	[pi1]
小裴说逼儿	[pir1]
小裴说逼儿啊	[pir#a1]
小裴说铈	[pu1]
小裴说铈儿	[pur1]
小裴说铈儿啊	[pur#a1]

## Annexe 4 : Script pour retirer les trajectoires formantiques (écrit

par Katherine Crosswhite et modifié par Andries W Coetzee)

```

####Description of this script
## This script take F0-F3 at 5% intervals of vowel
## The script writes the results to a text file. It will be called "formant-log.txt", and will be
## written to the same directory holding your sound files.
## To run this script, you will have to have a bunch of sound files with accompanying text grids. The
## locations of vowels to be measured must be marked in tier 2 of the textgrid. Anything with a non-
null
## label in that tier will be logged.
####End of description

directory$ = "/Users/angel/Desktop/parole controlee/zi/5fois/C+V+N/"

## Now we will do some prep work to get your log file ready. First, we
## make sure that any pre-existing variant of the log file is deleted.

filedelete 'directory$formant-log.txt

## Now we make a variable called "header_row$", then write that variable to the log file:

header_row$ = "Filename" + tab$ + "token" + tab$ + "F0_0" + tab$ + "F0_05" + tab$ + "F0_10" + tab$ +
"F0_15" + tab$ + "F0_20" + tab$ + "F0_25" + tab$ + "F0_30" + tab$ + "F0_35" + tab$ + "F0_40" + tab$ +
"F0_45" + tab$ + "F0_50" + tab$ + "F0_55" + tab$ + "F0_60" + tab$ + "F0_65" + tab$ + "F0_70" + tab$ +
"F0_75" + tab$ + "F0_80" + tab$ + "F0_85" + tab$ + "F0_90" + tab$ + "F0_95" + tab$ + "F0_100" + tab$ +
"F1_0" + tab$ + "F1_05" + tab$ + "F1_10" + tab$ + "F1_15" + tab$ + "F1_20" + tab$ + "F1_25" + tab$ +
"F1_30" + tab$ + "F1_35" + tab$ + "F1_40" + tab$ + "F1_45" + tab$ + "F1_50" + tab$ + "F1_55" + tab$ +
"F1_60" + tab$ + "F1_65" + tab$ + "F1_70" + tab$ + "F1_75" + tab$ + "F1_80" + tab$ + "F1_85" + tab$ +
"F1_90" + tab$ + "F1_95" + tab$ + "F1_100" + tab$ + "F2_0" + tab$ + "F2_05" + tab$ + "F2_10" + tab$ +
"F2_15" + tab$ + "F2_20" + tab$ + "F2_25" + tab$ + "F2_30" + tab$ + "F2_35" + tab$ + "F2_40" + tab$ +
"F2_45" + tab$ + "F2_50" + tab$ + "F2_55" + tab$ + "F2_60" + tab$ + "F2_65" + tab$ + "F2_70" + tab$ +
"F2_75" + tab$ + "F2_80" + tab$ + "F2_85" + tab$ + "F2_90" + tab$ + "F2_95" + tab$ + "F2_100" +
"F3_0" + tab$ + "F3_05" + tab$ + "F3_10" + tab$ + "F3_15" + tab$ + "F3_20" + tab$ + "F3_25" +
tab$ + "F3_30" + tab$ + "F3_35" + tab$ + "F3_40" + tab$ + "F3_45" + tab$ + "F3_50" + tab$ + "F3_55" +
tab$ + "F3_60" + tab$ + "F3_65" + tab$ + "F3_70" + tab$ + "F3_75" + tab$ + "F3_80" + tab$ + "F3_85" +
tab$ + "F3_90" + tab$ + "F3_95" + tab$ + "F3_100" + tab$ + "Duration (ms.)" + newline$
header_row$ > 'directory$formant-log.txt

## The next three lines are a form that will pop up when the script is run, allowing the
## user to specify speaker gender.

form Enter speaker gender (m or f only)
  sentence Gender m
endform

## Now we make a list of all the sound files in the directory we're using, and put the number of
## filenames into the variable "number_of_files":

Create Strings as file list... list 'directory$'**.wav
number_files = Get number of strings

# Then we set up a "for" loop that will iterate once for every file in the list:

```



```

for j from 1 to number_files

# Query the file-list to get the first filename from it, then read that file in:

select Strings list
current_token$ = Get string... 'j'
Read from file... 'directory$"current_token$'

# Here we make a variable called "object_name$" that will be equal to the filename minus the
".wav" extension:

object_name$ = selected$ ("Sound")

# Now we do a formant analysis on the current sound file. Note that we first have to re-select the
sound
# object. We then use an if statement to make sure that we use a maximum frequency of
# 5500 for female speakers and 5000 for male speakers. We aren't going to do anything with the
# formant analysis right away -- we will be coming back to it later to get the values we want.

if gender$ = "f"
  To Formant (burg)... 0.0025 5 5500 0.025 50
else
  To Formant (burg)... 0.0025 5 5000 0.025 50
endif

# Now we'll re-select the sound object, and do a pitch analysis:

select Sound 'object_name$'
To Pitch... 0.01 75 600

# Now we get the corresponding TextGrid and read it in:

Read from file... 'directory$"object_name$'.TextGrid

# Now we query the TextGrid to get find out how many intervals there are in tier 1, storing
# that number in a variable called "number_of_intervals". This is used to set up a for loop
# that will be used to go through each of the intervals and measure it (if its label is non-null).
# We then move the cursor 10 ms into the vowel, and take duration from that point to 10 ms before
end
# of vowel. We then take the duration of this new interval, and divide it into 20 equal sized
intervals.
# Finally, we take F0-F3 at each 5% of this interval.

select TextGrid 'object_name$'
number_of_intervals = Get number of intervals... 2
for D from 1 to number_of_intervals
  select TextGrid 'object_name$'
  interval_label$ = Get label of interval... 2 'D'
  if interval_label$ <> ""
    begin = Get starting point... 2 'D'
    end = Get end point... 2 'D'
    begin_vowel = begin + 0.01
    end_vowel = end - 0.01

    vowel_5percent = begin_vowel + ((end_vowel - begin_vowel) / 20)
    vowel_10percent = begin_vowel + 2*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
    vowel_15percent = begin_vowel + 3*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
  end if
end for
end select

```

```

vowel_20percent = begin_vowel + 4*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_25percent = begin_vowel + 5*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_30percent = begin_vowel + 6*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_35percent = begin_vowel + 7*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_40percent = begin_vowel + 8*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_45percent = begin_vowel + 9*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_50percent = begin_vowel + 10*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_55percent = begin_vowel + 11*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_60percent = begin_vowel + 12*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_65percent = begin_vowel + 13*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_70percent = begin_vowel + 14*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_75percent = begin_vowel + 15*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_80percent = begin_vowel + 16*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_85percent = begin_vowel + 17*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_90percent = begin_vowel + 18*((end_vowel - begin_vowel) / 20)
vowel_95percent = begin_vowel + 19*((end_vowel - begin_vowel) / 20)

```

```
# Get F1 to F3
```

```
select Formant 'object_name$'
```

```

  f_one_begin = Get value at time... 1 'begin_vowel' Hertz Linear
  f_two_begin = Get value at time... 2 'begin_vowel' Hertz Linear
  f_three_begin = Get value at time... 3 'begin_vowel' Hertz Linear

```

```

  f_one_5 = Get value at time... 1 'vowel_5percent' Hertz Linear
  f_two_5 = Get value at time... 2 'vowel_5percent' Hertz Linear
  f_three_5 = Get value at time... 3 'vowel_5percent' Hertz Linear

```

```

  f_one_10 = Get value at time... 1 'vowel_10percent' Hertz Linear
  f_two_10 = Get value at time... 2 'vowel_10percent' Hertz Linear
  f_three_10 = Get value at time... 3 'vowel_10percent' Hertz Linear

```

```

  f_one_15 = Get value at time... 1 'vowel_15percent' Hertz Linear
  f_two_15 = Get value at time... 2 'vowel_15percent' Hertz Linear
  f_three_15 = Get value at time... 3 'vowel_15percent' Hertz Linear

```

```

  f_one_20 = Get value at time... 1 'vowel_20percent' Hertz Linear
  f_two_20 = Get value at time... 2 'vowel_20percent' Hertz Linear
  f_three_20 = Get value at time... 3 'vowel_20percent' Hertz Linear

```

```

  f_one_25 = Get value at time... 1 'vowel_25percent' Hertz Linear
  f_two_25 = Get value at time... 2 'vowel_25percent' Hertz Linear
  f_three_25 = Get value at time... 3 'vowel_25percent' Hertz Linear

```

```

  f_one_30 = Get value at time... 1 'vowel_30percent' Hertz Linear
  f_two_30 = Get value at time... 2 'vowel_30percent' Hertz Linear
  f_three_30 = Get value at time... 3 'vowel_30percent' Hertz Linear

```

```

  f_one_35 = Get value at time... 1 'vowel_35percent' Hertz Linear
  f_two_35 = Get value at time... 2 'vowel_35percent' Hertz Linear
  f_three_35 = Get value at time... 3 'vowel_35percent' Hertz Linear

```

```

  f_one_40 = Get value at time... 1 'vowel_40percent' Hertz Linear
  f_two_40 = Get value at time... 2 'vowel_40percent' Hertz Linear
  f_three_40 = Get value at time... 3 'vowel_40percent' Hertz Linear

```

f\_one\_45 = Get value at time... 1 'vowel\_45percent' Hertz Linear  
 f\_two\_45 = Get value at time... 2 'vowel\_45percent' Hertz Linear  
 f\_three\_45 = Get value at time... 3 'vowel\_45percent' Hertz Linear

f\_one\_50 = Get value at time... 1 'vowel\_50percent' Hertz Linear  
 f\_two\_50 = Get value at time... 2 'vowel\_50percent' Hertz Linear  
 f\_three\_50 = Get value at time... 3 'vowel\_50percent' Hertz Linear

f\_one\_55 = Get value at time... 1 'vowel\_55percent' Hertz Linear  
 f\_two\_55 = Get value at time... 2 'vowel\_55percent' Hertz Linear  
 f\_three\_55 = Get value at time... 3 'vowel\_55percent' Hertz Linear

f\_one\_60 = Get value at time... 1 'vowel\_60percent' Hertz Linear  
 f\_two\_60 = Get value at time... 2 'vowel\_60percent' Hertz Linear  
 f\_three\_60 = Get value at time... 3 'vowel\_60percent' Hertz Linear

f\_one\_65 = Get value at time... 1 'vowel\_65percent' Hertz Linear  
 f\_two\_65 = Get value at time... 2 'vowel\_65percent' Hertz Linear  
 f\_three\_65 = Get value at time... 3 'vowel\_65percent' Hertz Linear

f\_one\_70 = Get value at time... 1 'vowel\_70percent' Hertz Linear  
 f\_two\_70 = Get value at time... 2 'vowel\_70percent' Hertz Linear  
 f\_three\_70 = Get value at time... 3 'vowel\_70percent' Hertz Linear

f\_one\_75 = Get value at time... 1 'vowel\_75percent' Hertz Linear  
 f\_two\_75 = Get value at time... 2 'vowel\_75percent' Hertz Linear  
 f\_three\_75 = Get value at time... 3 'vowel\_75percent' Hertz Linear

f\_one\_80 = Get value at time... 1 'vowel\_80percent' Hertz Linear  
 f\_two\_80 = Get value at time... 2 'vowel\_80percent' Hertz Linear  
 f\_three\_80 = Get value at time... 3 'vowel\_80percent' Hertz Linear

f\_one\_85 = Get value at time... 1 'vowel\_85percent' Hertz Linear  
 f\_two\_85 = Get value at time... 2 'vowel\_85percent' Hertz Linear  
 f\_three\_85 = Get value at time... 3 'vowel\_85percent' Hertz Linear

f\_one\_90 = Get value at time... 1 'vowel\_90percent' Hertz Linear  
 f\_two\_90 = Get value at time... 2 'vowel\_90percent' Hertz Linear  
 f\_three\_90 = Get value at time... 3 'vowel\_90percent' Hertz Linear

f\_one\_95 = Get value at time... 1 'vowel\_95percent' Hertz Linear  
 f\_two\_95 = Get value at time... 2 'vowel\_95percent' Hertz Linear  
 f\_three\_95 = Get value at time... 3 'vowel\_95percent' Hertz Linear

f\_one\_end = Get value at time... 1 'end\_vowel' Hertz Linear  
 f\_two\_end = Get value at time... 2 'end\_vowel' Hertz Linear  
 f\_three\_end = Get value at time... 3 'end\_vowel' Hertz Linear

# Get F0 and duration

select Pitch 'object\_name\$'

f\_zero\_begin = Get value at time... 'begin\_vowel' Hertz Linear  
 f\_zero\_5 = Get value at time... 'vowel\_5percent' Hertz Linear  
 f\_zero\_10 = Get value at time... 'vowel\_10percent' Hertz Linear

```

f_zero_15 = Get value at time... 'vowel_15percent' Hertz Linear
f_zero_20 = Get value at time... 'vowel_20percent' Hertz Linear
f_zero_25 = Get value at time... 'vowel_25percent' Hertz Linear
f_zero_30 = Get value at time... 'vowel_30percent' Hertz Linear
f_zero_35 = Get value at time... 'vowel_35percent' Hertz Linear
f_zero_40 = Get value at time... 'vowel_40percent' Hertz Linear
f_zero_45 = Get value at time... 'vowel_45percent' Hertz Linear
f_zero_50 = Get value at time... 'vowel_50percent' Hertz Linear
f_zero_55 = Get value at time... 'vowel_55percent' Hertz Linear
f_zero_60 = Get value at time... 'vowel_60percent' Hertz Linear
f_zero_65 = Get value at time... 'vowel_65percent' Hertz Linear
f_zero_70 = Get value at time... 'vowel_70percent' Hertz Linear
f_zero_75 = Get value at time... 'vowel_75percent' Hertz Linear
f_zero_80 = Get value at time... 'vowel_80percent' Hertz Linear
f_zero_85 = Get value at time... 'vowel_85percent' Hertz Linear
f_zero_90 = Get value at time... 'vowel_90percent' Hertz Linear
f_zero_95 = Get value at time... 'vowel_95percent' Hertz Linear
f_zero_end = Get value at time... 'begin_vowel' Hertz Linear

```

```
duration = (end_vowel - begin_vowel) * 1000
```

```

fileappend "'directory'$formant-log.txt"
'object_name$'tab$"interval_label$'tab$"f_zero_begin:0"tab$"f_zero_5:0"tab$"f_zero_10:0"tab$"f_z
ero_15:0"tab$"f_zero_20:0"tab$"f_zero_25:0"tab$"f_zero_30:0"tab$"f_zero_35:0"tab$"f_zero_40:0"t
ab$"f_zero_45:0"tab$"f_zero_50:0"tab$"f_zero_55:0"tab$"f_zero_60:0"tab$"f_zero_65:0"tab$"f_zero
_70:0"tab$"f_zero_75:0"tab$"f_zero_80:0"tab$"f_zero_85:0"tab$"f_zero_90:0"tab$"f_zero_95:0"tab$
"f_zero_end:0"tab$"f_one_begin:0"tab$"f_one_5:0"tab$"f_one_10:0"tab$"f_one_15:0"tab$"f_one_2
0:0"tab$"f_one_25:0"tab$"f_one_30:0"tab$"f_one_35:0"tab$"f_one_40:0"tab$"f_one_45:0"tab$"f_o
ne_50:0"tab$"f_one_55:0"tab$"f_one_60:0"tab$"f_one_65:0"tab$"f_one_70:0"tab$"f_one_75:0"tab$
"f_one_80:0"tab$"f_one_85:0"tab$"f_one_90:0"tab$"f_one_95:0"tab$"f_one_end:0"tab$"f_two_begi
n:0"tab$"f_two_5:0"tab$"f_two_10:0"tab$"f_two_15:0"tab$"f_two_20:0"tab$"f_two_25:0"tab$"f_tw
o_30:0"tab$"f_two_35:0"tab$"f_two_40:0"tab$"f_two_45:0"tab$"f_two_50:0"tab$"f_two_55:0"tab$
'f_two_60:0"tab$"f_two_65:0"tab$"f_two_70:0"tab$"f_two_75:0"tab$"f_two_80:0"tab$"f_two_85:0"
tab$"f_two_90:0"tab$"f_two_95:0"tab$"f_two_end:0"tab$"f_three_begin:0"tab$"f_three_5:0"tab$"f
_three_10:0"tab$"f_three_15:0"tab$"f_three_20:0"tab$"f_three_25:0"tab$"f_three_30:0"tab$"f_thre
e_35:0"tab$"f_three_40:0"tab$"f_three_45:0"tab$"f_three_50:0"tab$"f_three_55:0"tab$"f_three_60:
0"tab$"f_three_65:0"tab$"f_three_70:0"tab$"f_three_75:0"tab$"f_three_80:0"tab$"f_three_85:0"tab
$"f_three_90:0"tab$"f_three_95:0"tab$"f_three_end:0"tab$"duration:3"newline$'

```

```

endif
endfor

```

```

# By this point, we have gone through all the intervals for the current sound object and
# textgrid, and written all the appropriate values to our log file. We are now ready to go on to
# the next file, so we close can get rid of any objects we no longer need, and end our for loop

```

```

select all
minus Strings list
Remove
endifor

```

```
# And at the end, a little bit of clean up and a message to let you know that it's all done.
```

```

select all
Remove
clearinfo
print All files have been processed. What next?

```

**Annexe 5 : UTI post-hoc**

Contrastes (F1)	Différence de la moyenne (diff)	Intervalle de confiance inférieure (lwr)	de	Intervalle de confiance supérieure (upr)	de	Valeur p ajustée (p adj)
SS:a-AS:a	0.4783919	0.37689206		0.5798918		<.0001
SS:i-AS:i	-0.3519957	-0.45349553		-0.2504958		<.0001
SS:u-AS:u	-0.2642652	-0.37288248		-0.1556480		<.0001

Contrastes (F2)	Différence de la moyenne (diff)	Intervalle de confiance inférieure (lwr)	de	Intervalle de confiance supérieure (upr)	de	Valeur p ajustée (p adj)
SS:a-AS:a	0.1711148	0.08432158		0.2579081		<.0001
SS:i-AS:i	0.4701316	0.38333830		0.5569248		<.0001
SS:u-AS:u	-0.1847892	-0.27766858		-0.0919098		<.0001

Contrastes (F3)	Différence de la moyenne (diff)	Intervalle de confiance inférieure (lwr)	de	Intervalle de confiance supérieure (upr)	de	Valeur p ajustée (p adj)
SS:a-AS:a	0.64589948	0.35530134		0.9364976		<.0001
SS:i-AS:i	1.58019576	1.28959762		1.8707939		<.0001
SS:u-AS:u	1.09566519	0.78468971		1.4066407		<.0001

## Annexe 6 : Les consentements à l'enregistrement (mandarin, anglais, français)



巴黎第七大学  
EA 3967 CLILLAC-ARP  
语音实验室

### 语音发音实验参与者同意书

您即将参与语音发音和/或辨音实验。请您仔细阅读以下内容，在签署同意书之前如有问题请尽管提出。

实验目的：此次实验目的是分析人类发音具体细节。

我们需要您做的：如果您同意参加这个实验，我们将请您读一系列单词或者句子。在您读的同时，我们将录音。然后我们将对录音进行声学研究。

危险性和后果：这个实验没有任何危险，或者任何不良后果。反而，您可能会对这个实验产生兴趣，您同时可以从实验中学学习到一些关于语言和语音学有意思的常识。

如有必要，您可以在实验进行中的任何时间打断或停止实验。

数据保密：您的回答将会匿名保存。不会被除您的实验人以外的人使用。一部分录音可能会用于其他辨音实验的录音材料。在这种情况下，您的身份也始终会被保密。您的名字将不会出现在任何的实验成果发表或者演讲中。

如果您还有其他问题：请向您的实验人咨询，（姓名） \_\_\_\_\_  
（邮箱） \_\_\_\_\_

同意书：

本人已经仔细阅读以上内容，并且所有问题已经得到解答。我同意参加此次实验。

\_\_\_\_\_  
签名

\_\_\_\_\_  
日期

录音同意书：

本人同意被录音。并且清楚这些录音将会被存档。

本人不希望除此次录音实验人以外的学者使用我的录音。

本人同意我的录音以匿名的方式被其他学者使用，从而对实验数据有更好的理解。

\_\_\_\_\_  
签名

\_\_\_\_\_  
日期

您将有一份此文件的复印件



**Université Paris Diderot  
EA 3967 CLILLAC-ARP  
Atelier de Recherche sur la Parole  
Consent form for production/perception experiment**

You are invited to participate in a research study looking at the production and of speech. Please read this form carefully and ask any questions you may have before agreeing to take part in the study.

**What this study is about:** The purpose of this study is to investigate precise details of how human speech is produced.

**What we will ask you to do:** If you agree to participate in a production study you will be asked to read a series of words and short sentences. Your production will be recorded, and this recording will subsequently be acoustically analyzed.

**Risks and benefits:** This experiment involves no known risks or discomfort to you, nor is it expected to be of any direct benefit to you. However, you may find the project interesting and learn something about research on language and speech.

**Taking part is voluntary:** Your participation is completely voluntary. You are free to withdraw consent and discontinue participation in the project at any time without penalty.

**Your answers will be confidential:** Your responses will be anonymous. They will not be available for public use or accessible to anyone except the experimenter. If your speech is used in a perception experiment, your identity will still remain anonymous. Your name will never be associated with your responses in papers or presentations.

**If you have any questions:** Please feel free to contact the Principal Investigator, NAME: \_\_\_\_\_, E-MAIL: \_\_\_\_\_ with questions.



**STATEMENT OF CONSENT:**

I have read the above information, and have received answers to any questions I asked. I consent to take part in the study.

\_\_\_\_\_  
Your signature

\_\_\_\_\_  
Date

**STATEMENT OF CONSENT OF BEING RECORDED:**

I agree to be audio recorded. I understand that these recordings will be archived, as described above.

I do not want that my recorded speech to be made available to researchers other than those involved in this study.

I agree that my recorded speech may be made available anonymously to researchers other than those involved in this study, for purposes of trying to understand the recorded data better.

\_\_\_\_\_  
Your signature

\_\_\_\_\_  
Date

You will be given a copy of this form to keep for your records.



Université Paris Diderot  
EA 3967 CLILLAC-ARP  
Atelier de Recherche sur la Parole

**Participation aux projets de production et perception de la parole  
Formulaire de consentement**

Vous êtes invité(e) à participer à un projet de recherche sur la production et/ou perception de la parole. Nous vous prions de bien vouloir lire ce document explicatif attentivement et de poser toutes les questions que vous aurez avant de consentir à votre participation.

**Objectif de l'étude :** L'objectif de cette étude est d'analyser des détails précis de la production et perception de la parole humaine, pour comprendre comment la parole est produite.

**Ce qu'on vous demande :** Si vous consentez à participer à cette étude on vous demandera de lire une série de mots ou phrases et/ou d'écouter une série de sons. Pendant que vous lisez vous serez enregistré(e) et le signal acoustique de l'enregistrement sera analysé.

**Risques et apports :** Cette expérience ne présente aucun risque connu, ni aucun apport spécifique. Par contre, vous pourriez trouver le projet intéressant et vous pourriez apprendre quelque chose d'intéressant sur le langage et la parole.

**Vous êtes libres à retirer votre consentement et à interrompre votre participation à tout moment si vous le jugez nécessaire.**

**Vos réponses sont confidentielles :** Vos réponses sont anonymes. Elles ne seront pas disponibles au public ni à aucune autre personne en dehors de l'expérimentateur. Des portions de vos enregistrements pourront être utilisés en tant que stimuli dans des tests de perception. Dans ce cas-là votre identité restera anonyme. Votre nom n'apparaîtra jamais dans des publications ou présentations des résultats.

**Si vous avez des questions :** N'hésitez pas à contacter l'expérimentateur, (NOM) \_\_\_\_\_  
(EMAIL) \_\_\_\_\_.

**CONSENTEMENT :**

J'atteste avoir lu l'information précédente and avoir reçu des réponses aux questions posées. Je consens à participer dans cette étude.

\_\_\_\_\_  
Votre signature

\_\_\_\_\_  
Date

**CONSENTEMENT A L'ENREGISTREMENT:**

Je consens à être enregistré. Je comprends que ces enregistrements seront archivés.

Je ne souhaite pas que mes enregistrements soient mis à la disposition d'autres chercheurs à part ceux impliqués dans cette étude.

Je consens à ce que mes enregistrements anonymes soient mis à la disposition d'autres chercheurs que ceux impliqués dans cette étude pour une meilleure compréhension des données.

\_\_\_\_\_  
Votre signature

\_\_\_\_\_  
Date

Vous recevrez une copie de ce document.