

# Etude acoustique et représentation phonologique du suffixe rhotique /ə̃/ en mandarin

Anqi LIU

Université Paris Diderot, CLILLAC-ARP, 5 rue Thomas Mann, 75013 Paris, France  
anqi.liu@linguist.univ-paris-diderot.fr

## RESUME

---

Historiquement, le suffixe /ə̃/ est un suffixe diminutif correspondant au mot 儿 (<er> en pinyin) qui signifie "petitesse". Il relève d'une particularité du style plutôt que de la grammaire. Il apparaît souvent dans la parole des locuteurs du nord de la Chine. Pour mieux comprendre le phénomène et son comportement phonologique, on présente les résultats d'une étude acoustique qui vérifie les effets de la rhoticité sur les voyelles adjacentes. Sur la base de ces résultats, on propose une représentation gestuelle du suffixe et des processus qui l'impliquent dans le cadre de la phonologie articulatoire (Browman & Goldstein 1992).

## ABSTRACT

---

### **Acoustic study and phonological representation of the rhotic suffix /ə̃/ in mandarin**

Historically, the rhotic suffix /ə̃/ in Mandarin is a diminutive suffix corresponding to the word 儿 (er) "smallness". It is considered a marker of style more than of grammar. The rhotic suffix occurs often in the speech of Mandarin speakers from northern China. In order to understand this phenomenon and its phonological behavior, I present the results of an acoustic study, determining the effects of the rhoticity on adjacent vowels. Based on these experimental results I propose a gestural phonological representation of the suffix in the framework of articulatory phonology (Browman & Goldstein 1992).

---

**MOTS-CLES :** Suffixe rhotique, Mandarin, Analyse acoustique, Phonologie articulatoire

**KEYWORDS:** Rhotic suffix, Mandarin, Acoustic analysis, Articulatory Phonology

---

## 1 Introduction

Le suffixe rhotique est une caractéristique du dialecte de Pékin. Historiquement, le suffixe /ə̃/ correspond au mot 儿(er) qui signifie "petitesse", donc il est considéré comme un suffixe diminutif. Il peut aussi s'ajouter à des adjectifs et des verbes. Pourtant, il n'est pas un suffixe grammatical dérivational. Il s'agit d'une particularité du style plutôt que de la grammaire. Ce suffixe se combine avec la syllabe à laquelle il s'attache, comme dans les exemples du tableau 1.

sans suffixe	avec suffixe	exemples	traduction
i (y)	(j)ə̃	tɛi/tɛə̃	‘poulet’
a (u ʁ)	aə̃	pa/paə̃	‘manchon’
ai (əi)	aə̃	p <sup>h</sup> a/p <sup>h</sup> aə̃	‘plaque’
an (ən)	aə̃	p <sup>h</sup> an/ p <sup>h</sup> aə̃	‘assiette’
au (əu)	au <sup>r</sup>	tau/tau <sup>r</sup>	‘couteau’
aŋ (əŋ, uŋ)	aŋ <sup>r</sup>	kaŋ/kaŋ <sup>r</sup>	‘jarre’
in	(j)ə̃	tɛin/tɛə̃	‘aujourd’hui’

TABLEAU 1 : EXEMPLES DE DUANMU (2007)

L'occurrence de ce suffixe est très variable dans la parole. L'objectif de cette étude est de déterminer le comportement phonétique du suffixe basé sur une étude acoustique du contexte où il apparaît, pour ensuite mieux comprendre son comportement phonologique.

Il existe plusieurs analyses phonologiques de ce suffixe et des changements qu'il entraîne dans la syllabe à laquelle il s'attache (Lin 1989 ; Duanmu 1990, 2007 ; Wang 1993). L'analyse de Duanmu 2007 est la plus complète et récente. A partir de cette analyse j'effectue une étude acoustique. Basé sur les résultats je propose une représentation gestuelle des mêmes phénomènes, dans le cadre de la phonologie articulatoire (Browman et Goldstein 1992).

Duanmu (2007) propose une règle et deux contraintes phonologiques :

- Règle : Ajouter le suffixe /ə̃/ à la place de la coda. Si le segment de la coda n'est pas compatible avec le suffixe, ce dernier remplace la coda. Sinon /ə̃/ est ajouté directement.
- Contrainte Harmonie de la rime (Rhyme-Harmony) : les segments de la rime sont [retroflex].
- Contrainte d'aperture (Mid) : le degré d'aperture par défaut du noyau vocalique est moyen.

Dans les sections 2, 3, 4 je présente l'étude acoustique sur le suffixe rhotique dans le texte lu, censée vérifier l'analyse phonologique de Duanmu (2007). Je présente les résultats de mon expérience et je les compare aux descriptions de Duanmu. Dans la section 5, je propose une représentation gestuelle préliminaire des données basée sur les généralisations. La conclusion est présentée dans la section 6.

## 2 Étude acoustique

L'étude acoustique est censée vérifier les données et montrer comment ce suffixe se combine avec le segment précédent. J'adopte la notation de Duanmu 2007, où le symbole /ɤ/ indique la voyelle centrale et /ə/ indique la composante centrale des diphtongues. Le mandarin standard contient 5 voyelles: voyelles fermées /i,y,u/ ; voyelle centrale /ɤ/ ; voyelle ouverte /a/.

Dans une étude acoustique précédente, Huang (2010) a observé pour les monophthongues les changements suivants dans la présence du suffixe rhotique:

- 1) F3 descend pour toutes les voyelles ;
- 2) Pour les voyelles fermées antérieures /i, y/, F1 monte et F2 descend ;
- 3) Pour la voyelle centrale /ɜ/, F1 et F2 montent ;
- 4) Pour la voyelle ouverte /a/, F1 et F2 descendent ;
- 5) Pour la voyelle fermée postérieure /u/, aucun changement important pour F1 et F2.

Huang propose que, du à l'arrondissement de /u/, aucun changement n'est trouvé pour cette voyelle.

Dans mon étude je teste la prédiction que toutes les voyelles vont se centraliser sous l'influence du suffixe rhotique. Je compare les valeurs des trois premiers formants pour déterminer le changement de la qualité vocalique sous l'influence du suffixe rhotique.

## 2.1 Méthode

Participants. Six locuteurs chinois – trois femmes et trois hommes (entre 25 et 30 ans) – ont été enregistrés. Deux femmes viennent du nord de la Chine et vivent en France depuis 4 ans. A part le mandarin, elles parlent français et anglais comme langues secondes. Trois hommes et la troisième femme viennent du nord de la Chine et vivent en Chine. Parmi eux, un locuteur a eu 5 ans d'expérience aux Etats-unis. A part le mandarin, ils parlent anglais comme langue seconde.

Corpus. Nous avons créé une liste de 78 mots à enregistrer. La moitié (39 mots) contient des monophthongues, des diphtongues et des voyelles orales suivies par une coda nasale, avec les trois tons simples T1, T2 et T4. On exclut T3 qui est un ton sandhi et, par conséquent, sujet à une grande variabilité inter-locuteurs. Les autres 39 mots sont les mêmes avec en plus le suffixe rhotique ajouté. Chaque mot a été enregistré dans une phrase porteuse : Wo214 ba 214 "da55" xie 214 hao214 (j'écris bien "da55"). Les tons du mandarin sont présentés ici par des chiffres : T1 (ton plat) par 55, T2 (ton montant) par 35, T3 (ton descendant-montant) par 214, T4 (ton descendant) par 51. La consonne /t/ a été choisie comme contexte consonantique pour deux raisons. D'une part, l'usage de la même consonne permet de contrôler l'influence de la coarticulation. D'autre part, /t/ est la consonne qui se combine avec la plupart des voyelles du mandarin. Par contre, on a utilisé la consonne /l/ pour la voyelle /y/, parce que cette voyelle se combine avec relativement peu de consonnes. Les phrases ont été présentées imprimées dans un ordre aléatoire. 5 répétitions des phrases ont été enregistrées pour chaque locuteur.

Enregistrements. Les deux enregistrements faits à Paris ont eu lieu dans une chambre sourde, sur un ordinateur, avec le logiciel Praat (à 44100 Hz), via une carte son Edirol et un microphone externe (Audio technica AE4100). Les quatre enregistrements en Chine ont été faits avec le même équipement dans une chambre à la maison, sans interférence d'appareils électroniques. Les données ont été analysées dans Praat (version 5.3.56) (Boersma and Weenink).

## 2.2 Analyse acoustique

Une analyse acoustique a été faite par Svantesson (1984) sur la structure formantique des voyelles du mandarin. Dans mon étude, j'ai adopté la même méthode pour avoir une référence des valeurs formantiques. Les trois premiers formants des monophthongues avec et sans suffixe ont été mesurés à la main. Dans le contexte sans suffixe, le début de la voyelle est marqué au début de F1 après le relâchement du /t/. La fin de la voyelle est marquée à la fin de F2 avant le début de friction dans le mot suivant. Dans le contexte avec suffixe, la fin de la voyelle est marquée au début de la chute de F3. Les valeurs des trois premiers formants sont mesurées au milieu de la voyelle segmentée d'après

ces critères.

### 3 Résultats

#### 3.1 Effets du suffixe rhotique sur les monophthongues

Les formes avec et sans suffixe observées dans nos données sont présentées dans le tableau 2. Pour les voyelles /a, ʁ, u/, aucun changement n'apparaît entre les formes avec et sans suffixe. Les voyelles /i, y/ deviennent plus courtes et un /ə/ apparaît dans le signal lorsque le suffixe est présent.

Monophthongue seule	a	ʁ	i	y	u
Monophthongue + Suffixe rhotique	a <sup>r</sup>	ʁ <sup>r</sup>	jə <sup>r</sup>	ɥə <sup>r</sup>	u <sup>r</sup>

TABLEAU 2 : LA FORME DES MONOPHTONGUES SEULES ET AVEC SUFFIXE RHOTIQUE

Les résultats sont présentés séparément pour les trois femmes (fig. 3A, B) et les trois hommes (fig. 4A, B). Les trois tons sont représentés par trois couleurs différentes : T1 noir, T2 rouge, T4 bleu. ('e' représente /ʁ/ dans la figure). Puisque ces résultats sont encore préliminaires, on ne présente pas d'analyse statistique.

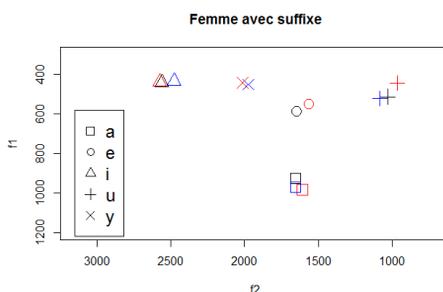
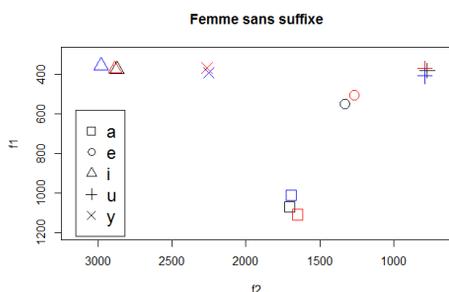


FIGURE 3A : LA MOYENNE DE F1 ET F2 DES TROIS FEMMES POUR LES VOYELLES SEULES

FIGURE 3B : LA MOYENNE DE F1 ET F2 DES TROIS FEMMES POUR LES VOYELLES AVEC SUFFIXE

Les figures 3A et 3B montrent les valeurs moyennes des formants pour les trois femmes, séparément pour chaque ton. La comparaison des deux conditions montre une tendance de centralisation de toutes les voyelles en présence du suffixe. Pour les voyelles fermées /i, y, u/ F1 monte lorsque le suffixe s'ajoute, alors que F1 de /a/ descend. F1 de /ʁ/ monte légèrement. F2 monte pour /u/ et /ʁ/ et descend pour /i/, /y/ et /a/. La dispersion vocalique se centralise quand le suffixe s'ajoute. Au niveau du ton, aucun changement important n'est observé.

Les figures 4A et 4B montrent les valeurs moyennes des formants pour les trois hommes. Comme pour les femmes, la dispersion vocalique tend vers une centralisation lorsque le suffixe s'ajoute. F1 de /i/, /y/, /u/, /ʁ/ a tendance à monter, F1 de /a/ descend. F2 de /u/ et /ʁ/ monte, mais descend pour /i/ et /y/. F2 de la voyelle /a/ a une tendance légère à monter. Au niveau du ton, on n'a pas observé d'effet important.

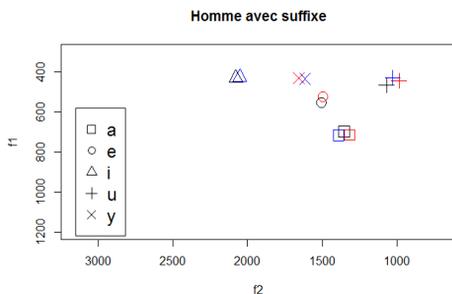
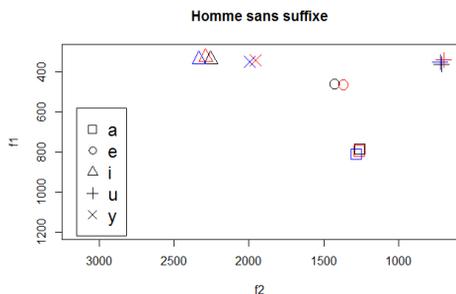


FIGURE 4A : LA MOYENNE DE F1 ET F2 DES TROIS HOMMES POUR LES VOYELLES SEULES

FIGURE 4B : LA MOYENNE DE F1 ET F2 DES TROIS HOMMES POUR LES VOYELLES AVEC SUFFIXE

On observe les mêmes tendances dans les valeurs des formants quand le suffixe rhotique s'ajoute :

- F1 a tendance à descendre pour la voyelle ouverte /a/, qui devient moins ouverte, alors que les voyelles fermées /i, y, u/ ont tendance à devenir moins fermées (F1 monte). La voyelle centrale subit moins de changements.
- F2 des voyelles postérieures /u, ʊ/ a tendance à monter. Les voyelles deviennent moins postérieures. F2 descend pour les voyelles /i, y/, qui deviennent moins antérieures. Pour la voyelle /a/, les hommes ont F2 beaucoup plus bas que les femmes, donc, F2 monte pour les hommes et descend pour les femmes. Mais F2 de la voyelle /a/ a une tendance à se centraliser vers 1500Hz.

Le tableau 5 contient les valeurs moyennes de F3 pour chaque voyelle seule et avec suffixe. On observe que F3 descend pour toutes les voyelles lorsque le suffixe est présent.

Voyelle	a (F/H)	ʊ (F/H)	i (F/H)	u (F/H)	y (F/H)
F3 sans suffixe	2911/2623	3023/2675	3649/3120	2936/2728	2828/2419
F3 avec suffixe	2870/2439	2918/2638	3210/2757	2792/2462	2689/2317

TABLEAU 5 : LA MOYENNE DE F3 POUR LES HOMMES(H) ET LES FEMME (F) AVEC/SANS SUFFIXE

Tous les résultats indiquent que le suffixe rhotique a tendance à centraliser les monophthongues.

### 3.2 Effets du suffixe rhotique sur les diphtongues

Les diphtongues en mandarin combinent la voyelle centrale /ə/ ou la voyelle ouverte /a/ avec une voyelle fermée. Le mandarin standard contient 4 diphtongues (Duanmu 2007) /ai, əi, au, əu/. Les effets du suffixe rhotique sur les diphtongues sont observés par une analyse qualitative des spectrogrammes dans Praat. Le tableau 6 contient la transcription basée sur les enregistrements.

Diphtongue seule	ai	əi	au	əu
Diphtongue + Suffixe rhotique	a <sup>r</sup>	ə <sup>r</sup>	au <sup>r</sup>	əu <sup>r</sup>

TABLEAU 6 : La forme des diphtongues seules et avec suffixe rhotique

On a trouvé que /i/ dans la diphtongue disparaît acoustiquement lorsque le suffixe est ajouté. En comparant les spectrogrammes de la monophthongue /a/ et de la diphtongue /ai/ avec le suffixe rhotique (FIGURES 8A et 8B), on trouve qu'il n'existe pas de différences entre ces deux figures. Nous confirmons donc que la nouvelle forme avec le suffixe rhotique pour la diphtongue /ai/ est /a<sup>r</sup>/. Il en est de même pour /øi/.

Pour les diphtongues /au/ et /əu/, nous n'avons trouvé aucun changement pour F1 et F2 en présence du suffixe. Cependant, on a remarqué que F3 descend après une courte partie stable. Le seul changement, celui de F3, est causé par l'influence de la rhoticité. Nous pouvons dire que le suffixe rhotique s'ajoute directement aux diphtongues /au/ et /əu/.

### 3.3 Voyelle (V) + Nasale (N)

Voyelle(V) + Nasale(N)	an	aŋ	əŋ	uŋ
Voyelle(V) + Nasale(N) + Suffixe rhotique	a <sup>r</sup>	aŋ <sup>r</sup>	əŋ <sup>r</sup>	uŋ <sup>r</sup>

TABLEAU 7 : La forme sans et avec suffixe rhotique pour les cas V+N

Auditivement, il n'y a pas de trace de la nasale alvéolaire /n/ quand le suffixe rhotique s'ajoute. Par contre, la nasale vélaire /ŋ/ reste. Pour confirmer la disparition de /n/ alvéolaire, on a comparé le spectrogramme de /tan<sup>r</sup>/ avec celui de /ta<sup>r</sup>/ (Figures 8A et 8C). La nasale n'est pas visible dans aucun des spectrogrammes. Pour les cas V+/ŋ/, on a trouvé qu'il existe encore une partie visible de la nasale en présence du suffixe rhotique.

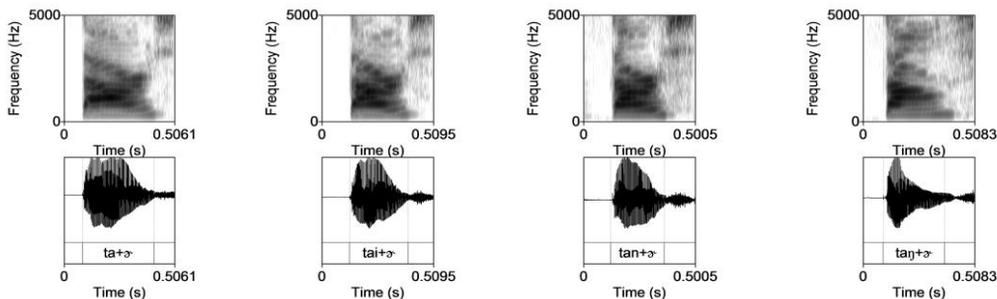


FIGURE 8A : ta+ə-/ta<sup>r</sup>/    FIGURE 8B : tai+ə-/ta<sup>r</sup>/    FIGURE 8C : tan+ə-/ta<sup>r</sup>/    FIGURE 8D : taŋ+ə-/taŋ<sup>r</sup>/

L'examen qualitatif du signal montre la présence d'anti-formants pour la coda nasale vélaire aussi bien dans /taŋ/ que dans /taŋ<sup>r</sup>/.

## 4 Discussion

Nous avons comparé les résultats et les observations de notre étude acoustique avec l'analyse phonologique du suffixe rhotique proposée par Duanmu (2007). Les changements correspondent à ceux qu'il décrit. L'analyse spectrale des monophthongues confirme aussi pour la plupart les résultats

de Huang (2010), sauf pour la voyelle /u/. Dans les données examinées ici, toutes les voyelles, y compris /u/, se centralisent sous l'influence du suffixe rhotique.

## 5 Proposition de représentation gestuelle du suffixe rhotique

Les données des six locuteurs ne sont pas entièrement expliquées par l'analyse phonologique de Duanmu (2007). Notamment, la chute de la coda /n/ apicale, et la retention de la coda /ŋ/ vélaire ne sont pas expliquées dans son analyse. Je propose ici une représentation alternative dans le cadre de la phonologie articulatoire (Browman et Goldstein 1992). Dans l'étude acoustique, on a trouvé que les monophthongues se centralisent sous l'influence du suffixe rhotique. Cependant, les figures 3A et 3B montrent que la distribution des voyelles est toujours dispersée même si le système vocalique s'est beaucoup réduit. Ainsi, les cinq monophthongues restent les mêmes quand le suffixe s'ajoute, sauf pour la distribution de /i, y/. Pour les diphtongues et les cas V+N, on trouve que la coda /i/ et /n/ disparaissent, mais la coda /ŋ/ reste.

Je vais formuler ces généralisations dans le contexte de la phonologie articulatoire. Ce modèle est particulièrement pertinent car il s'appuie sur des observations empiriques. 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. Ici, on représente le suffixe rhotique [ʳ] comme étant composé de deux gestes articulatoires. L'un est le relèvement de la pointe de la langue vers le palais, l'autre est la rétraction du dos de la langue vers le bas et l'arrière. Les généralisations sont résumées dans le Tableau 9A. Il en résulte 3 cas: 1) Rajout de /ə/ dans le contexte /i/ et /y/ ; 2) Rajout du suffixe rhotique ; 3) Chute de coda /n/ et /i/.

	Sans suffixe	Avec suffixe
1. Rajout de /ə/ dans le contexte /i/ et /y/	i, y	jəʳ, ʏəʳ
2. Rajout du suffixe rhotique	a, u, ʁ	aʳ, uʳ, ʁʳ
	au, əu	auʳ, əuʳ
	aŋ, əŋ, uŋ	aŋʳ, əŋʳ, uŋʳ
3. Chute de coda /n/ et /i/	an, ən	aʳ, əʳ
	ai, əi	aʳ, əʳ

TABLEAU 9A : GENERALISATIONS BASEES SUR LES RESULTATS DE L'ETUDE ACOUSTIQUE.

Exemple sans suffixe	Exemple avec suffixe	Traduction
ti	tjəʳ	sol
ta	taʳ	grand
tau	tauʳ	couteau
taŋ	taŋʳ	devoir
tan	taʳ	drap
tai	taʳ	sachet

TABLEAU 9B : EXEMPLES AVEC ET SANS SUFFIXE.

Dans ce qui suit, je vais préciser les gestes articulatoires qui caractérisent les voyelles et les nasales des codas pour comprendre comment les changements observés découlent de leurs interactions.

### 5.1 Rajout de /ə/ dans le contexte /i/ et /y/

La voyelle /i/ est composée de deux gestes : l'un est l'éirement des lèvres, l'autre est l'avancement de la langue. /i/ et /ʲ/ imposent des contraintes linguales contradictoires. La langue s'avance pour /i/ et se lève vers le palais pour la rhoticité, alors que le dos de la langue se retire. Je propose que /ə/ émerge comme une transition entre les deux premiers gestes et la rétraction du dos de la langue. Les

gestes articulatoires pour la production de la voyelle /i/ sont conservés. Dans ce cas, /i/ devient la semi-voyelle /j/, qui a les mêmes gestes articulatoires que /i/, mais raccourcis.

/y/ est composé de deux gestes, l'arrondissement des lèvres et l'avancement de la langue. /y/ et /ʏ/ imposent aussi des demandes linguales contradictoires. Comme dans le cas de /i/, la production de /y/ se raccourcit et devient la semi-voyelle /ɥ/.

## 5.2 Rajout du suffixe rhotique

Les trois cas /aŋ/, /əŋ/, /uŋ/ contiennent la coda nasale vélaire /ŋ/ qui est composée de deux gestes : la rétraction du dos de la langue et l'abaissement du vélum. /ŋ/ partage le premier geste avec le suffixe rhotique. Le geste apical du suffixe peut s'ajouter au geste dorsal et à la baisse du vélum. Ainsi, rien d'autre ne change quand on ajoute le suffixe rhotique.

Les cas /au/, /əu/ et /u/ finissent par /u/ qui est composé de deux gestes, un geste labial d'arrondissement des lèvres et un geste de rétraction du dos de la langue. /u/ partage un geste avec le suffixe rhotique, c'est-à-dire, la rétraction du dos de la langue. Comme dans le cas de la nasale vélaire /ŋ/, le geste apical de la rhoticité s'ajoute sans autres changements.

/a/ et /ɤ/ n'ont pas de geste de rétraction ou d'avancement de la langue. La cohésion entre ces voyelles et le suffixe rhotique est donc facile à réaliser. Ainsi, le suffixe va être ajouté directement à ces monophongues.

## 5.3 Chute de coda /n/ et /i/

La coda /n/ est composée de deux gestes : l'abaissement du vélum et l'avancement de la pointe de la langue vers les alvéoles. La nasale ne partage aucun geste articulatoire avec le suffixe rhotique. D'une part, la pointe de la langue doit avancer vers les alvéoles, d'autre part, le vélum descend pour la nasalité. La cible du geste apical de /n/ est plus antérieure que celle de la rhotique. Ainsi, comme les deux cibles sont incompatibles, seule celle qui correspond au suffixe rhotique est gardée. Les deux gestes rhotiques sont réalisés dans le contexte du suffixe. L'abaissement du vélum est aussi réduit par la rétraction dorsale rhotique. Il est ainsi prédit que la nasalité sera sensiblement réduite.

Les diphtongues /əi/ et /ai/ qui finissent par /i/ ne partagent pas de gestes articulatoires avec le suffixe rhotique. En général, /i/ de la diphtongue devient une semi-voyelle /j/. Mais à cause du geste articulatoire de /a/ et /ə/, la pointe de la langue doit d'abord rester dans une position centrale pour /a/ ensuite elle doit avancer pour /i/, enfin elle doit se relever vers le palais. À cause de sa position et du geste articulatoire qui s'oppose à la rhoticité, la pointe de la langue n'atteint pas la cible de /i/ quand on ajoute le suffixe rhotique. Donc, /i/ disparaît complètement : /tai/ > /taʔ/ 'sachet'.

## 6 Conclusion

L'analyse de Duanmu (2007) nécessite des contraintes et règles spécifiques au phénomène étudié pour expliquer les données. Une représentation gestuelle comme celle proposée ici permet de prédire les détails observés sans recourir à des règles ou contraintes arbitraires. Elle explique, notamment, la chute de la coda /n/ apicale et la rétention de la coda /ŋ/ vélaire. Les effets de la rhoticité découlent des interactions entre les composantes gestuelles.

## Références

- BELL-BERTI F. (1993). Understanding velic motor control: Studies of segmental context. *Phonetics and Phonology Vol5: Nasals, nasalization, and the velum*, 63-85.
- BROWMAN, C.P., GOLDSTEIN L. (1989). Articulatory Gestures as Phonological Units. *Phonology* 6, 201-251.
- BROWMAN, C.P., GOLDSTEIN L. (1990). Gestural Specification Using Dynamically-defined Articulatory Structures. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research, SR-103/104*, 95-110.
- BROWMAN, C.P., GOLDSTEIN L. (1992). Articulatory Phonology: An Overview. *Haskins Laboratories Status Report on Speech Research 1992, SR-111/112*, 23-42.
- CHAO Y. (1968). A Grammar of Spoken Chinese. *University of California Press*. Berkeley.
- SAN D. (1990). A Formal Study of Syllable, Tone, Stress and Domain in Chinese Languages. *Doctoral dissertation*. MIT, Cambridge, Mass.
- SAN D. (2007). *The Phonology of Standard Chinese (2nd Edition)*. Oxford.
- 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) & the 18th International Conference on Chinese Linguistics (IACL-18) 2010. Vol 1*, 331-344.
- OLIVE J.P., GREENWOOD A. & COLEMAN J. (1993). *Acoustics of American English Speech: A Dynamic Approach*. Springer-Verlag, New York.
- LIN Y.H. (1989). Autosegmental treatment of segmental processes in Chinese phonology. *Doctoral dissertation*. Lieu: University of Texas, Austin.
- MAMCHON A., FOULKES P., TOLLFREE L. (1994). Gestural representation and Lexical Phonology. *Phonology* 11, 277-316.
- SVANTESSON J-O. (1984). Vowels and diphthongs in Standard Chinese. *Working Papers* 27. 209-335. Lieu : Lund University, Dept. of Linguistics.
- WANG J.Z. (1993). The Geometry of Segmental Features in Beijing Mandarin. *Ph.D. dissertation*, University of Delaware, Newark.
- WANG L., HE N. (1985). Beijinghua er-huayun de tingbian shiyan he shengxue fenxi. *Beijing Yuyin Shiyuanlu*, 27-72.