



HAL
open science

Déplacement vertical du larynx dans la production des plosives en thaï

Paula Alejandra Cano Córdoba, Thi-Thuy-Hien Tran, Nathalie Vallée,
Christophe Savariaux, Silvain Gerber, Nicha Yamlamai, Yu Chen

► To cite this version:

Paula Alejandra Cano Córdoba, Thi-Thuy-Hien Tran, Nathalie Vallée, Christophe Savariaux, Silvain Gerber, et al.. Déplacement vertical du larynx dans la production des plosives en thaï. JEP-TALN-RECITAL 2024 - 35èmes Journées d'Études sur la Parole (JEP 2024) 31ème Conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN 2024) 26ème Rencontre des Étudiants Chercheurs en Informatique pour le Traitement Automatique des Langues (RECITAL 2024), Université Toulouse Jean Jaurès; Université Toulouse III Paul Sabatier, Jul 2024, Toulouse, France. pp.301-311. hal-04621361

HAL Id: hal-04621361

<https://hal.science/hal-04621361>

Submitted on 24 Jun 2024

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

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

Déplacement vertical du larynx dans la production des plosives en thaï

Paula Alejandra Cano Córdoba¹, Thi-Thuy-Hien Tran¹, Nathalie Vallée¹,
Christophe Savariaux¹, Silvain Gerber¹, Nicha Yamlamai², Yu Chen¹

(1) Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, GIPSA-lab, 38000 Grenoble, France

(2) Faculté de Lettres, Univ. Silpakorn, Bangkok, Thaïlande

prénom.nom@gipsa-lab.fr, yamlamai_n@su.ac.th,

yu.chen1@etu.univ-grenoble-alpes.fr

RESUME

Les plosives, généralement accompagnées d'un *burst* (relâchement audible) après la phase d'occlusion, sont néanmoins produites sans *burst* dans certaines langues d'Asie comme le thaï. Cette absence de bruit est attribuée au non-relâchement brusque des articulateurs et est observée exclusivement lorsque les plosives sont en finale de syllabe, jamais en initiale. Nous formulons l'hypothèse qu'un mouvement d'abaissement du larynx pourrait provoquer une diminution de la pression intraorale pendant la tenue de l'occlusion induisant le non-relâchement articuloire. Nous avons examiné le mouvement vertical du larynx chez deux locutrices natives lors de la production des plosives /p, t, k/ dans une tâche de lecture d'une liste de pseudo-mots de structure CVC. Les résultats montrent une grande variabilité dans le mouvement d'abaissement du larynx en fonction des segments consonantiques, vocaliques et du contexte tonal, suggérant que plusieurs facteurs pourraient être impliqués dans l'explication de la diminution de la pression intraorale.

ABSTRACT

Larynx vertical movement in the production of Thai plosives

Plosives are generally produced with a burst (i.e. an audible release) which follows the occlusion phase. However, this is not the case in some Asian languages like Thai. The lack of burst comes from non-abrupt release of articulators and is observed exclusively when plosives are syllable-final, never initial. We suggest that a lowering movement of the larynx could cause a decrease in intra-oral pressure during the closure phase, inducing articulatory non-release. We examined the vertical movement of the larynx in two native speakers during the production of the plosives /p, t, k/ in a reading task of a CVC pseudo-word list. The results reveal a great variability in laryngeal lowering movement as a function of consonant, vowel and tonal contexts, suggesting several factors that may be involved in explaining decrease in intra-oral pressure.

MOTS-CLÉS : Plosives non relâchées, EGG, suivi du larynx, pression intraorale

KEYWORDS: Unreleased stops, EGG, larynx tracking, intraoral pressure

1 Introduction

Les consonnes plosives, présentes dans toutes les langues du monde (Maddieson, 1984 ; Vallée et al., 2002), sont généralement produites avec un blocage de l'air provenant des poumons au niveau

supraglottique, entraînant une augmentation de la pression derrière l'obstruction, ce qui provoque un écartement soudain des articulateurs (Ladefoged & Maddieson, 1996 ; Stevens, 2000). Sur le plan acoustique, ces consonnes se caractérisent par un silence, correspondant à l'occlusion, suivi d'un bruit de plosion court et audible, également appelé *burst*, résultant de la séparation brusque des articulateurs (Ladefoged & Maddieson, 1996 ; Stevens, 2000). Le son de relâchement varie en fonction du point d'articulation de la consonne, reflétant la forme de la cavité de résonance située après le blocage sur le parcours du flux d'air (Stevens, 1997). Néanmoins, dans certaines langues, les plosives sont dépourvues de relâchement audible, spécifiquement en position finale (coda) de syllabe. C'est le cas, par exemple, en vietnamien, en cantonais, en karitiana ou en thaï (Iwata et al., 1990 ; Tingsabath & Abramson, 1993 ; Storto & Demolin, 2002 ; Tsukada, 2004 ; Tran, 2011 ; Yamlamai & Tran, 2018). La position de coda est propice à des phénomènes d'affaiblissement acoustique et articuloire, ou de lénition (Kingston, 2008). Ces processus conduisent à la restriction des inventaires consonantiques dans les langues, où les différentes configurations trouvées en position initiale (attaque) sont neutralisées en position de coda (Kingston, 2008). Par exemple, en coréen, trois configurations laryngales sont observées en attaque (fortis /p, t, k/, lenis /p*, t*, k*/ et aspirée /p^h, t^h, k^h/) tandis qu'une seule réalisation allophonique non voisée et non relâchée [p̣, ṭ, ḳ] est attestée en coda (Cho et al., 2002). Ce processus de neutralisation des plosives en attaque aboutissant à des allophones non relâchés en coda est également observé dans d'autres langues telles que le cantonais, le thaï et le vietnamien (Iwata et al., 1990 ; Tran, 2011). En cantonais, par exemple, les plosives initiales non voisées, qu'elles soient aspirées ou non (ex. /p, p^h/) sont toutes réalisées comme non relâchées en coda de syllabe ([p̣]) (Iwata et al., 1990).

Malgré le fait que cette tendance soit bien décrite sur le plan phonologique, l'explication du processus de non relâchement n'est pas encore très claire, parfois sujette à controverse. D'une part, dans certaines langues comme le thaï ou le hakka, il existe un processus de renforcement glottique avec adduction des plis vocaux qui arrête le flux d'air empêchant l'accumulation de pression dans les cavités supraglottiques et conduisant à la suppression du *burst* (Iwata et al., 1990 ; Edmondson et al., 2010, 2011). En l'absence de glottalisation comme dans le cas des plosives finales du vietnamien (Michaud, 2004), ce type de production non relâchée pourrait nécessiter un contrôle particulier du relâchement de l'occlusion, soulevant ainsi des interrogations sur la complexité de la réalisation allophonique en position lénifiante. Ladefoged & Maddieson (1996), par exemple, suggèrent que ce phénomène résulterait d'une fuite d'air dans les fosses nasales pendant l'occlusion, entraînant ainsi une diminution de la pression intraorale (PIO). Ils notent que « (...) *nasal release occurs in some of the languages which are usually described as having unreleased final stops. A good example is Vietnamese. In this language, word-final stops are usually released, but the release is by lowering the velum while the oral closure is maintained, so that a short voiceless nasal is produced* » (Ladefoged & Maddieson, 1996 : 129). La même tendance a été observée chez des locuteurs du karitiana, langue amérindienne parlée au Brésil, où une augmentation systématique du débit d'air nasal pendant la phase de maintien de l'occlusion des plosives a été remarquée par Storto & Demolin (2002). Cette étude a également révélé une durée plus longue de la phase d'occlusion pour les consonnes non relâchées. Cependant, les fuites nasales n'ont pas été systématiquement observées lors de la production des plosives non relâchées dans des études plus récentes portant sur les données aérodynamiques et glottographiques du coréen, du vietnamien et du thaï (Tran et al., 2020 ; Cano Córdoba et al., 2022). En revanche, ces travaux ont mis en évidence un abaissement plus important du larynx pour les plosives non relâchées en finale de syllabe par rapport à celles relâchées en position initiale, ce qui pourrait expliquer une diminution de la pression intraorale et ainsi remplir les conditions aérodynamiques favorables au non relâchement.

Bien que les recherches sur les actions laryngées aient été abondantes, recourant à diverses méthodes instrumentales à la fois invasives et non invasives ainsi qu'à des techniques de

modélisation computationnelle (voir Esling et al., 2019 pour une revue), peu d'études ont mesuré le mouvement vertical du larynx. Ceci est principalement dû aux défis technologiques inhérents à cette mesure et à l'absence, jusqu'à présent, d'une méthodologie de mesure standard établie (Kleiner et al., 2023). Il semble y avoir un consensus sur des découvertes telles que la corrélation positive entre hauteur du larynx et f_0 , c'est-à-dire l'abaissement du larynx en tant que corrélât de l'abaissement de la f_0 (Ohala, 1978 ; Sagart et al., 1986 ; Hallé, 1994 ; Moïsik et al., 2014) explicable par la contraction des muscles infra-hyoïdiens qui provoque une descente globale du larynx et une diminution du pitch. En revanche, la contraction des fibres des muscles supra-hyoïdiens provoque une élévation du larynx et une augmentation de f_0 (Trigo, 1991 ; Honda et al., 1999). En outre, la hauteur du larynx est activement impliquée dans la production des tons comme en mandarin, dans la mesure où elle pourrait compenser l'absence d'implication de la musculature principale responsable de la régulation de la hauteur (Moïsik et al., 2014).

Par ailleurs, des régularités concernant le lien entre la position verticale du larynx et la production des voyelles ont été établies dans des travaux antérieurs. Les trois voyelles cardinales /i, a, u/ ont respectivement une position moyenne haute, intermédiaire et basse du larynx (Ewan & Krones, 1974). Il est également reconnu que les voyelles postérieures telles que /u, o/ ont une position laryngée plus basse que les voyelles antérieures telles que /i, e/ selon les travaux de Hoole & Kroos (1998). Leur étude révèle également une corrélation entre la position du larynx et la labialité des voyelles antérieures en allemand : le larynx est plus bas pour les voyelles arrondies /y, ø/ que pour les non arrondies /i, e/. Ces résultats confirment les travaux antérieurs de Riordan (1977) et de Petersen (1983) respectivement sur le français et le néerlandais, indiquant que le larynx est en position plus haute pour /i/ que pour /u/. Néanmoins, Hoole (2006) affirme que même si la voyelle postérieure /u/ a clairement tendance à avoir une position plus basse du larynx, la position laryngée relative de /i/ et /a/ n'est pas aussi nette.

2 Objectifs et hypothèses

La présente étude consiste à explorer des pistes permettant de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents au non relâchement des plosives en position finale en thaï, parmi lesquelles le mouvement du larynx lors de la production de ces consonnes.

Le lexique du thaï est majoritairement mono- et dissyllabique avec respectivement 41,37 % et 40,35 % des lemmes (Rousset, 2004) et présente une structure syllabique prédominante CVC (64,41 % des syllabes). De manière plus générale, les syllabes fermées sont favorisées (69 % des syllabes relevées dans le lexique. Rousset, 2004). En thaï, huit plosives sont autorisées en initiale /p, p^h, b, t, t^h, d, k, k^h/ (Abramson & Tingsabadh, 1999) présentant trois modes phonatoires différents (Lisker & Abramson, 1964). La distinction phonologique observée en initiale de syllabe se voit neutralisée en position de coda où seulement trois allophones plosifs sont permis (Iwata et al., 1990), réalisés comme non voisés et non relâchées [p^ˀ, t^ˀ, k^ˀ] (Tingsabadh & Abramson, 1993).

Une descente plus importante du larynx aurait pour effet de diminuer ce qui, selon Stevens (1997), est nécessaire pour produire un burst audible : la montée de la pression intraorale derrière le lieu d'articulation de la consonne. En considération des résultats de Shipp et collègues (1987) qui ont mis en évidence une descente systématique du larynx lors de la production de segments non voisés par rapport à des segments voisés, il est attendu que l'abaissement du larynx soit plus marqué pour une plosive sourde en finale si elle est suivie d'un segment non voisé que pour une plosive sourde en initiale devant voyelle. Il a été observé que la position de la consonne dans la syllabe a une influence sur le degré d'abaissement du larynx en vietnamien, coréen et thaï. En effet, en l'absence de fuite nasale ou d'adduction des plis vocaux, le larynx descend davantage en C₂ où se trouvent

les plosives non relâchées (Tran et al., 2020 ; Cano Córdoba et al., 2022). De plus, une corrélation a été établie entre le lieu d’articulation de la plosive et le déplacement vertical du larynx : plus la consonne est postérieure, plus le larynx descend (Cano Córdoba et al., 2022).

L’hypothèse générale proposée dans cette étude suggère que l’absence de relâchement audible des plosives finales pourrait résulter d’un mouvement d’abaissement du larynx pendant la phase de maintien de l’occlusion (Cano Córdoba et al., 2022), une caractéristique également observée en vietnamien et en coréen (Tran et al., 2020). En outre, étant donné que la position verticale du larynx est proposée directement corrélée à la hauteur de la f_0 et à l’articulation des voyelles (voir les études antérieures citées plus haut), nous cherchons à savoir si le mécanisme laryngé dans les productions non relâchées peut être impacté par le registre tonal porté par la syllabe, ainsi que par le contexte vocalique.

3 Méthodologie

3.1 Matériel

Les données glottographiques analysées ont été recueillies avec un électroglottographe multicanal (EGG réf. EG2-PCX2 de Glottal Enterprises Inc.)(Rothenberg, 1992). Deux électrodes fixées par un dispositif autoagrippant à un collier, ont été placées de part et d’autre du larynx des participants pour détecter à la fois les oscillations des plis vocaux (mouvements d’ouverture et de fermeture de la glotte) et le déplacement vertical du larynx lors de la production de parole. Le signal acoustique de la parole a été enregistré à l’aide d’un micro AKG C1000S et d’un enregistreur Marantz PMD 670, à une fréquence d’échantillonnage de 44.1 kHz. Les données acoustiques ont également été enregistrées en synchronisation avec les données EGG en utilisant le système d’acquisition Biopac MP150 via le logiciel *Acqnowledge* à une fréquence d’échantillonnage de 25 kHz. Aucun filtrage n’a été réalisé sur les données avant analyse. Le corpus a été enregistré dans la chambre anéchoïque de l’Université Silpakorn, à Nakhon Pathom, en Thaïlande, durant l’été 2023.

3.2 Corpus et locuteurs

Pour cette étude, nous avons sélectionné une liste de pseudo-mots de type C_1VC_2 . Nous avons inclus dans notre étude toutes les combinaisons possibles où C_1 et C_2 correspondent aux plosives non voisées et non aspirées /p, t, k/, ainsi que tous les contextes vocaliques possibles en thaï /a ε e i o u ɾ u/. Pour observer toute différence éventuelle selon le registre tonal, deux tons, bas descendant T2 /a²¹/ et haut montant T4 /a⁴⁵/ (Ladefoged & Maddieson, 1996), ont été sélectionnés pour la syllabe cible. Les pseudo-mots ainsi obtenus ont été insérés dans la phrase porteuse พุทฺทาว __ ฎี ๗ [p^hũ:t⁵¹ wâ:⁵¹ __ di:³² di:³²] “Dis __ attentivement”. Le corpus est constitué de deux répétitions de la liste de phrases, où les pseudo-mots cibles de chaque répétition ont été mis en ordre aléatoire différent, mais identique, pour tous les participants. La consigne a été donnée de lire à voix haute, à un débit normal et fluide les phrases qui s’affichaient une par une sur l’écran (dont la taille était de 15”).

Nous présentons ci-dessous les premières analyses effectuées auprès de deux locutrices natives (au total 20 locuteurs ont été enregistrés pour ce projet). Originaires de la région de Bangkok, elles parlent la même variété dialectale du centre de la Thaïlande. L’une d’entre elles (âgée de 49 ans)

n'avait pas été au contact de langues étrangères (TH_FG) tandis que l'autre locutrice (TH_FE), âgée de 18 ans, était étudiante en première année du département de français de l'Université Silpakorn de Nakhon Pathom, Thaïlande, au moment de l'enregistrement. Les résultats sont issus de 81 pseudo-mots * 2 tons * 2 répétitions * 2 locutrices, soit un total de 648 stimuli cibles.

3.3 Mesures et analyses

Le signal acoustique des productions de chaque locutrice a été segmenté et annoté manuellement avec Praat (v.6.2.23, Boersma & Weenink, 2022). Le traitement des données physiologiques a été effectué avec TRAP (TRaitement Automatique de la Parole), développé sous Matlab en interne au GIPSA-lab (Savariaux, 2017) et consistait à l'étiquetage des événements glottographiques sur le signal EEG. (FIGURE 1).

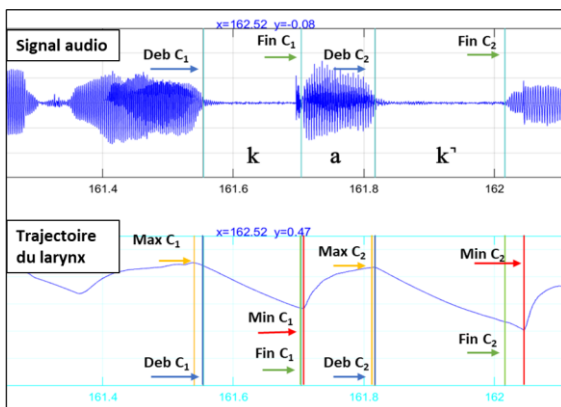


FIGURE 1: Visualisation de la fenêtre de travail du programme TRAP avec les 4 points repérés (Maximum PVL, Minimum PVL, Début de la consonne, Fin de la consonne) pour C₁ et C₂ sur la trajectoire du larynx lors de la réalisation de la syllabe /kak/ réalisé [kak'] par TH_FE4.

Les tracés du déplacement du larynx pouvant être liés à des mouvements de la tête et/ou des électrodes de l'EGG ont été exclus des analyses. Au total, 269 réalisations ont été écartées, comprenant 140 réalisations de C₁ (21 %) et 129 réalisations de C₂ (20 %). Les données glottographiques analysées correspondent à la position verticale du larynx (dorénavant PVL). Quatre événements ont été repérés le long de la trajectoire PVL : (1) le début acoustique de la consonne cible (Deb) ; (2) la fin acoustique de la consonne (Fin) ; (3) la position maximale de la PVL (Max) ; (4) la position minimale de la PVL (Min). Généralement, la valeur maximale de PVL se situe autour du début acoustique de la consonne et la valeur minimale autour de la fin acoustique de celle-ci. Pour décrire le mouvement de déplacement vertical du larynx pendant la réalisation des consonnes cibles, quatre calculs de différence de PVL (Δ PVL) ont été effectués à partir de ces points de mesure : (1) $\Delta PVL_{FD} = Fin - Deb$, (2) $\Delta PVL_{mM} = Min - Max$, (3) $\Delta PVL_{MD} = Max - Deb$, (4) $\Delta PVL_{mF} = Min - Fin$. Étant donné que le matériel EGG utilisé ne dispose d'aucun paramètre de calibrage, les quatre différences d'amplitude du mouvement du larynx pour un locuteur donné ont ensuite été calibrées en les divisant par la valeur maximale de PVL (PVL_{Max}) du locuteur. Par exemple, le pourcentage de l'abaissement du larynx ΔPVL_{FD} du locuteur j est calculé avec la formule suivante : $100 * \Delta PVL_{FDj} / PVL_{Maxj}$. Cependant, parmi les quatre calculs de Δ PVL initialement proposés, celui qui semble le plus pertinent pour rendre compte de l'amplitude et de la trajectoire du larynx pendant la production des plosives est ΔPVL_{FD} . Par conséquent, nous présentons ci-dessous les analyses de cette variable.

3.4 Analyses statistiques

Pour chacune des deux participantes, nous avons étudié l'impact de plusieurs variables explicatives et de leurs interactions sur la variable réponse ΔPVL_{FD} . Les variables explicatives sont CONSONNE (p, t, k), TON (T2 et T4), POSITION (initiale C₁ et finale C₂) et VOYELLE (a, e, i, o, u, ε, ə, ɤ, u). Les valeurs de la variable réponse sont bornées dans l'intervalle [-100, 0]. Compte tenu qu'un mot est prononcé plusieurs fois, nous avons introduit la variable *STIMULI* comme effet aléatoire dans le modèle. Dès lors, comme nous sommes en présence d'une variable réponse dont les valeurs sont bornées, et de mesures répétées, nous avons choisi d'utiliser une régression beta avec effets aléatoires réalisée à l'aide de la fonction *glmmTMB* du package *glmmTMB* du logiciel R. Pour pouvoir utiliser la régression beta, nous avons appliqué une bijection sur les valeurs de la variable réponse pour passer de l'intervalle [-100, 0] à l'intervalle [0, 1]). Afin d'évaluer si les facteurs fixes ainsi que leur interaction ont un impact significatif sur la variable réponse, nous avons utilisé des tests de modèles emboîtés en partant du modèle initial et en réalisant une sélection descendante avec $p \leq 0.05$. Les tests ont été réalisés à l'aide de la fonction *anova* et du package *DHARMA* de R. En complément de l'étape de sélection du modèle, nous avons réalisé des comparaisons multiples (Hothorn et al., 2008) en utilisant la fonction *glht* du package *multcomp* de R d'où ont été tirées les valeurs de p présentées ci-dessous. La matrice de contrastes a été calculée avec la fonction *emmeans* du package *emmeans*.

4 Résultats

Afin d'observer les effets en inter-sujet, l'amplitude du déplacement vertical du larynx est estimée par rapport au point de référence correspondant spécifiquement à la valeur la plus élevée de la PVL relevée chez l'ensemble des locutrices. Parmi les deux sujets, TH_FG présente le plus grand abaissement de la PVL. Le point de référence est donc observé chez cette locutrice avec une valeur maximale absolue de 0,89.

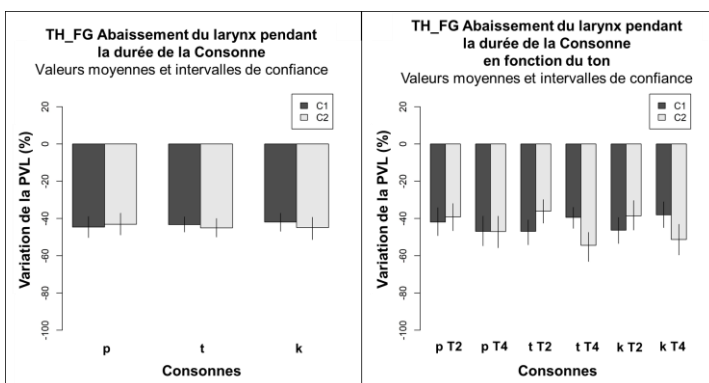


FIGURE 2: Valeurs moyennes et intervalles de confiance pour la descente du larynx, pendant la réalisation de /p, t, k/ chez la locutrice TH_FG, en fonction de la position de la consonne dans la syllabe (à gauche) et en fonction du contexte tonal (bas T2 ou haut T4) et de la position de la consonne dans la syllabe (à droite).

Lors de la segmentation des données acoustiques, nous avons remarqué dans les répétitions de la locutrice TH_FE que le segment sonore /d/ qui suit la consonne finale C₂ de la syllabe cible se dévoise régulièrement. Ainsi, un silence est présent sur le signal acoustique entre C₂ non relâchée et /d/ dévoisée, ce qui rend difficile la détermination de la durée de C₂ pour cette locutrice. Par conséquent, les données glottographiques de cette locutrice ne nous permettent pas d'étudier l'hypothèse principale de ce travail concernant une comparaison de la PVL entre C₁ et C₂. Afin de pouvoir continuer la segmentation et observer les C₂ non relâchées entre elles, il a été décidé de placer la frontière entre C₂ et C₃ en nous basant sur l'intensité. La fin de C₂ est ainsi déterminée par le point où la courbe d'intensité commence à remonter.

Concernant la locutrice TH_FG, la tendance de la descente du larynx présente des variations entre les consonnes en position initiale et finale. Le larynx descend un peu plus en C₂ pour /t/ et /k/ mais en C₁ pour /p/. Cependant, ces différences entre C₁ et C₂ ne sont pas significatives.

Une analyse plus détaillée en fonction du contexte tonal, révèle des différences dans le mouvement du larynx en position initiale et finale. Par exemple, pour le ton bas (T2) en position initiale, le larynx descend davantage pour la coronale (47 %), puis la vélaire (46 %), et moins pour la bilabiale (41 %), tandis qu'en position finale, cette distribution est inversée : le larynx descend davantage pour /p/ et /k/ (39 %) et moins pour /t/ (36 %). En fonction de la position de la plosive dans la syllabe, c'est en C₁ où une descente plus importante est relevée pour les trois lieux d'articulation (/p/ C₁ : 42 % vs C₂ : 39 %, /t/ C₁ : 50 % vs C₂ : 36 % et /k/ C₁ : 46 % vs C₂ : 38 %). En contexte tonal haut (T4), la descente du larynx est marquée pour la consonne bilabiale en C₁ : le larynx descend plus pour la consonne /p/ (47 %), suivie de /t/ (39 %), et finalement de /k/ (38 %). En C₂, le larynx descend plus notablement pour la consonne coronale (54 %) et moins pour la bilabiale (46 %). À l'intérieur des consonnes, une descente plus importante en C₂ qu'en C₁ est observée pour /t/ (54 % vs 39 %) et /k/ (51 % vs 38 %), tandis que la différence pour /p/ est quasi inexistante (46,98 % en C₂ vs 46,91 en C₁). En dépit de ces constatations, le facteur CONSONNE et toutes les interactions associées ont été statistiquement éliminées par la sélection descendante. En conséquence, les analyses des comparaisons entre C₁ et C₂ pour cette locutrice ne concernent que les interactions des variables TON et VOYELLE. Suite au traitement statistique résultant, les différences significatives trouvées sont limitées aux voyelles /i/ et /e/ sous le ton bas T2 ($z = -3.282$, $p = 0.016$ et $z = -3.01$, $p = 0.039$ respectivement) où le larynx descend davantage en position initiale, et à la voyelle /o/ sous registre tonal haut T4 ($z = 2.955$, $p = 0.047$) avec un abaissement plus important en position finale qu'initiale.

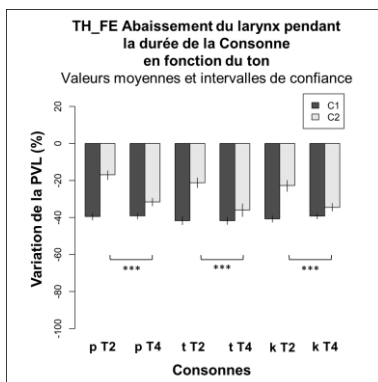


FIGURE 3: Valeurs moyennes et intervalles de confiance de la variation de la descente du larynx pendant la réalisation de /p, t, k/ chez la locutrice TH_FE, en fonction du contexte tonal (bas T2 ou haut T4) et de la position de la consonne dans la syllabe.

Rappelons que pour TH_FE, en raison du voisement du segment qui suit la syllabe cible, nous n'avons pas inclus ces données dans les analyses qui comparent la PVL entre C₁ et C₂. Néanmoins, ces données ont également révélé des tendances en fonction du contexte tonal. En position C₂, la différence de mouvement du larynx est plus ou moins prononcée selon le ton porté par la syllabe : une descente plus importante pour le ton haut que pour le ton bas est observée. Les analyses statistiques ont révélé des différences significatives pour les trois consonnes /p, t, k/ en fonction du ton ($z = 16.672$, $p = <0.001$ pour les trois consonnes), ainsi que pour la combinaison de facteurs CONSONNE*VOYELLE, à l'exception des voyelles fermées postérieures /u, ʊ/ ($z = 2.986$, $p = 0.073$ et $z = 2.966$, $p = 0.077$ respectivement). La différence entre T2 et T4 pour les consonnes en position finale s'est révélée également significative chez la locutrice TH_FG pour toutes les voyelles ($z = 3.817$; $p = 0.002$).

5 Conclusion

Cette étude qui est une partie d'un projet en cours vise à déterminer les aspects physiologiques des plosives non relâchées du thaï. Face aux résultats de travaux antérieurs qui attestent une absence de fuite nasale ou de fermeture glottique (Iwata et al., 1990 ; Michaud, 2004 ; Tran et al., 2020 ; Cano Córdoba et al., 2022), une analyse du mouvement vertical du larynx est proposée en considérant plusieurs variables, notamment le lieu d'articulation, la position syllabique de la consonne, le contexte vocalique, ainsi que le registre tonal. En accord avec les travaux antérieurs de Shipp et al. (1987), une descente du larynx a été observée lors de la production des plosives sourdes. Par ailleurs, entre la position initiale et la position finale de syllabe, une variation selon le contexte tonal a été trouvée.

Malgré la variabilité et l'absence de significativité statistique pour les données de TH_FG, une descente plus marquée du larynx a été constatée en C₂ qu'en C₁ pour les consonnes coronale et vélaire. Une analyse plus détaillée du comportement du larynx en fonction du ton a révélé des tendances spécifiques selon le registre tonal porté dans la syllabe. Pour la plupart des contextes vocaliques sous le ton haut (T4), une descente plus importante en C₂ qu'en C₁ a été observée, tandis que pour le ton bas (T2), le cas inverse a été relevé : c'est en position initiale que le larynx s'abaisse davantage. Cet effet du registre tonal sur le mouvement du larynx pourrait s'expliquer par le rôle de sa position dans la diminution de la hauteur de la fréquence fondamentale (Ohala, 1978 ; Trigo, 1991 ; Honda et al., 1999). Ainsi, lorsque le noyau syllabique se trouve sous le registre haut, le larynx est dans une position plus élevée que pour un registre tonal bas. En l'absence de fuite nasale ou de fermeture glottique, si un geste de descente de larynx est opéré pour donner lieu au non relâchement, celui-ci devrait être plus ample pour une consonne qui succède à une voyelle sous le ton haut que sous le ton bas. En conséquence des observations réalisées au cours de cette étude, il semble important de poursuivre l'exploration des stratégies individuelles qui pourraient expliquer le non relâchement des plosives finales en thaï. Le traitement et l'analyse des productions de deux autres locuteurs issues de la même campagne d'acquisition de données sont en cours.

Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-15-IDEX-02 » (PAALAS : Perceptual-Acoustic cues of Asian-LANGUAGE final Stop consonants).

Les auteurs remercient l'IDEX pour sa contribution au financement de la mobilité de PACC.

Nous remercions vivement tous les locuteurs qui ont participé aux enregistrements.

Références

- ABRAMSON, A. S., & TINGSABADH, K. (1999). Thai Final Stops: Cross-Language Perception. *Phonetica*, 56(3-4), 111-122. <https://doi.org/10.1159/000028446>
- BOERSMA, P., & WEENINK, D. (2022). Praat: Doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.2.23. <http://www.praat.org/>
- CANO CÓRDOBA, P. A., TRAN, T. T. H., VALLÉE, N., SAVARIAUX, C., GERBER, S., & YANLAMAI, N. (2022). Caractérisation des consonnes plosives non relâchées du thaï : Une étude électroglottographique. XXXIIIèmes Journées d'Etude sur la Parole, 361-370.
- CHO, T., JUN, S.-A., & LADEFOGED, P. (2002). Acoustic and aerodynamic correlates of Korean stops and fricatives. *Journal of Phonetics*, 30(2), 193-228. <https://doi.org/10.1006/jpho.2001.0153>
- EDMONDSON, J. A., CHANG, C. B., HUANG, H. J., HSIEH, F., & PENG, Y. (2010). Reinforcing voiceless stop coda in Taiwanese, Vietnamese and other East and Southeast Asian languages: Laryngoscopic case studies. *Labphon*, 12. https://labphon.org/sites/default/files/previous_conferences/LabPhon12.pdf
- EDMONDSON, J. A., CHANG, Y., HSIEH, F., & HUANG, H. J. (2011). Reinforcing voiceless finals in Taiwanese and Hakka: Laryngoscopic case studies. *Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences*, 627-630.
- ESLING, J. H., MOISIK, S. R., BENNER, A., & CREVIER-BUCHMAN, L. (2019). *Voice quality: The laryngeal articulator model*. Cambridge University Press.
- EWAN, W. G., & KRONES, R. (1974). Measuring larynx movement using the thyroumbrometer. *Journal of Phonetics*, 2(4), 327-335. [https://doi.org/10.1016/S0095-4470\(19\)31302-6](https://doi.org/10.1016/S0095-4470(19)31302-6)
- HALLÉ, P. A. (1994). Evidence for Tone-Specific Activity of the Sternohyoid Muscle in Modern Standard Chinese. *Language and Speech*, 37(2), 103-123. <https://doi.org/10.1177/002383099403700201>
- HONDA, K., HIRAI, H., MASAKI, S., & SHIMADA, Y. (1999). Role of Vertical Larynx Movement and Cervical Lordosis in F0 Control. *Language and Speech*, 42(4), 401-411. <https://doi.org/10.1177/00238309990420040301>
- HOOLE, P. (2006). *Experimental studies of laryngeal articulation [Thèse d'habilitation pour l'obtention de la Venia Legendi dans le domaine de la phonétique]*. Ludwig-Maximilians-Universität.
- HOOLE, P., & KROOS, C. (1998). Control of larynx height in vowel production. 5th International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP 1998), paper 1097-0. <https://doi.org/10.21437/ICSLP.1998-360>
- HOTHORN, T., BRETZ, F., & WESTFALL, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50(3), 346-363. <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- IWATA, R., HIROSE, H., NIIMI, S., SAWASHIMA, M., & HORIGUCHI, S. (1990). Syllable final stops in East Asian languages: Southern Chinese, Thai, and Korean. *Proceedings of the 1990 International Conference on Spoken Language Processing*, 621-624. http://www.isca-speech.org/archive/icslp_1990
- KINGSTON, J. (2008). Lenition. 1-31.
- KLEINER, C., HÄSNER, P., & BIRKHOLZ, P. (2023). Intrinsic velocity differences between larynx raising and larynx lowering. *PLOS ONE*, 18(2), e0281877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281877>
- LADEFOGED, P., & MADDIESON, I. (1996). *The sounds of the world's languages*. Blackwell.
- LISKER, L., & ABRAMSON, A. S. (1964). A Cross-Language Study of Voicing in Initial Stops: Acoustical Measurements. *WORD*, 20(3), 384-422. <https://doi.org/10.1080/00437956.1964.11659830>

- MADDIESON, I. (1984). *Patterns of sounds*. Cambridge University Press.
- MICHAUD, A. (2004). Final Consonants and Glottalization: New Perspectives from Hanoi Vietnamese. *Phonetica*, 61(2-3), 119-146. <https://doi.org/10.1159/000082560>
- MOISIK, S. R., LIN, H., & ESLING, J. H. (2014). A study of laryngeal gestures in Mandarin citation tones using simultaneous laryngoscopy and laryngeal ultrasound (SLLUS). *Journal of the International Phonetic Association*, 44(1), 21-58.
- OHALA, J. J. (1978). Production of Tone. In V. A. Fromkin (Éd.), *Tone* (p. 5-39). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-267350-4.50006-6>
- PETERSEN, N. R. (1983). The effect of consonant type on fundamental frequency and larynx height in Danish. *Annual Report of the Institute of Phonetics University of Copenhagen*, 17, 55-86. <https://doi.org/10.7146/aripuc.v17i>
- RIORDAN, C. J. (1977). Control of vocal-tract length in speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 62(4), 998-1002. <https://doi.org/10.1121/1.381595>
- ROTHENBERG, M. (1992). A multichannel electroglottograph. *Journal of Voice*, 6(1), 36-43. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(05\)80007-4](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(05)80007-4)
- ROUSSET, I. (2004). Structures syllabiques et lexicales des langues du monde. Données, typologies, tendances universelles et contraintes substantielles [Phdthesis, Université Stendhal - Grenoble III]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00250154>
- SAGART, L., HALLÉ, P. A., BOYSSON-BARDIES, B. DE, & ARABIA-GUIDET, C. (1986). Tone production in modern standard chinese: An electromyographic investigation. *Cahiers de Linguistique - Asie Orientale*, 15(2), 205-221. <https://doi.org/10.3406/clao.1986.1204>
- SAVARIAUX, C. (2017). Trap (version 7.2) [Logiciel de traitement des signaux de parole] (Gipsa-lab Brevet).
- SHIPP, T., GUINN, L., SUNDBERG, J., & TITZE, I. R. (1987). Vertical laryngeal position—Research findings and their relationship to singing. *Journal of Voice*, 1(3), 220-222. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(87\)80003-6](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(87)80003-6)
- STEVENS, K. N. (1997). Articulatory-Acoustic-Auditory Relationships. In W. J. Hardcastle & J. Laver (Éds.), *The Handbook of Phonetic Sciences* (1re éd., p. 462-506). Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444317251.ch12>
- STEVENS, K. N. (2000). *Acoustic phonetics* (1. paperback ed). MIT Press.
- STORTO, L., & DEMOLIN, D. (2002). The Phonetics and Phonology of Unreleased Stops in Karitiana. *Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society*, 28(1), 487-497. <https://doi.org/10.3765/bls.v28i1.3860>
- TINGSABADH, M. R. K., & ABRAMSON, A. S. (1993). Thai. *Journal of the International Phonetic Association*, 23(1), 24-28. <https://doi.org/10.1017/S0025100300004746>
- TRAN, T. T. H. (2011). Processus d'acquisition des clusters et autres séquences de consonnes en langue seconde : De l'analyse acoustico-perceptive des séquences consonantiques du vietnamien à l'analyse de la perception et production des clusters du français par des apprenants vietnamiens du FLE (Numéro 2011GRENLO28) [Theses, Université de Grenoble]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01568326>
- TRAN, T. T. H., VALLÉE, N., SAVARIAUX, C., KIM, I., & KIM, S. (2020). Caractérisation des plosives finales dans des langues d'Asie : Une étude multilingue du non relâchement. *Actes des XXVIIIèmes Journées d'Etude sur la Parole, Nancy, France*, 597-605.
- TRIGO, L. (1991). On Pharynx-Larynx Interactions. *Phonology*, 8(1), 113-136.
- TSUKADA, K. (2004). A Cross-linguistic Acoustic Comparison of Unreleased Word-final Stops: Korean and Thai. *Proceedings of INTERSPEECH 2004 - ICSLP, 8th International Conference on Spoken Language Processing*, 1293-1296. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2004-76>

VALLÉE, N., BOE, L. J., SCHWARTZ, J. L., BADIN, P., & ABRY, C. (2002). The Weight of Phonetic Substance in the Structure of Sound Inventories. *ZAS Papers in Linguistics*, 28, 145-168. <https://doi.org/10.21248/zaspil.28.2002.163>

YAMLAMAI, N., & TRAN, T. (2018). Effet de la position de la syllabe sur la réalisation acoustique des consonnes finales du thaï. *Actes des XXXIIe Journées d'Études sur la Parole*, 151-159. <https://doi.org/10.21437/JEP.2018-18>