

CONTRIBUTION DU CRICOTHYROÏDIEN ET DES MUSCLES SOUS-HYOÏDIENS AUX VARIATIONS DE LA FREQUENCE FONDAMENTALE EN FRANCAIS : APPROCHE ELECTROMYOGRAPHIQUE

☆ Denis AUTESSERRE, Bernard ROUBEAU, ☆ Albert DI CRISTO, Claude CHEVRIE-MULLER, ☆ Daniel HIRST, Jean LACAU et Bernard MATON

☆ Institut de Phonétique, UP 1, UA 261 CNRS, Aix-en-Provence, France
U 2 INSERM, Hôpital de la Salpêtrière, Paris, France.

RESUME

Les signaux électromyographiques du cricothyroïdien (CT) et de trois muscles sous-hyoïdiens sont recueillis chez un locuteur français réalisant des configurations mélodiques Moyen-Haut-Bas (MHB) et Haut-Bas-Haut (HBH). Les résultats obtenus lors de ce premier enregistrement sont précisés par une deuxième étude, restreinte aux degrés d'activité du CT pendant la prononciation d'un ensemble de phrases, représentatif des patrons intonatifs du français.

Nous analysons plus particulièrement les relations entre les pics d'activité de ces muscles, d'une part, et d'autre part la distribution des tons mélodiques dans la phrase et le contexte segmental (fréquence intrinsèque et voisement). Les maxima d'amplitude des pics de CT coïncident avec le point d'inflexion de la courbe ascendante de F_0 , comme s'il s'agissait de la première dérivée de cette courbe.

INTRODUCTION

Il semble établi, à la suite de nombreuses études, que les variations de la fréquence fondamentale (F_0) dans la parole dépendent de deux composantes interactives majeures : l'abaissement graduel de la pression sous-glottique (PS), responsable de la ligne de déclinaison, et l'activité des muscles du larynx qui contrôlent les inflexions locales de F_0 (montées et chutes) superposées à cette ligne de déclinaison /1/, /2/, /3/.

La plupart des spécialistes, et en particulier /4/ et /5/, attribuent à trois paires de muscles laryngés le contrôle des variations positives de F_0 : le cricothyroïdien (CT), le vocalis (V) et le crico-aryténoïdien latéral (CAL). Toutefois le V et le CAL, dont la fonction primaire est d'assurer l'adduction des cordes vocales, semblent moins directement associés aux variations locales de F_0 que ne l'est le CT. Le contrôle des inflexions négatives de F_0 est moins bien connu /6/, /7/. Il n'est pas exclu que le CT joue, cette fois encore, un rôle fondamental, mais dans ce cas, par sa relaxation. Celle-ci s'accompagne certainement d'une participation de certains muscles sous-hyoïdiens tels que le sterno-hyoïdien /7/, le sterno-thyroïdien /8/, et peut-être le sterno-cleido-hyoïdien.

Nous nous proposons d'étudier les relations entre les variations de la fréquence fondamentale et les phases d'activité de trois muscles sous-hyoïdiens et du CT dans des conditions expérimentales qui seront précisées ci-après.

1. - Corpus et enregistrements.

Le corpus enregistré par un locuteur français, est constitué, d'une part, de configurations mélodiques complexes, montantes-descendantes, Moyen-Haut-Bas (MHB) et descendantes-montantes, Haut-Bas-Haut (HBH); d'autre part, de phrases choisies afin d'illustrer la réalisation des principaux patrons intonatifs du français : continuation majeure et mineure, questions totale ou partielle, implication, appel, parenthèses.

2. - Technique électromyographique (EMG).

Nous avons recueilli simultanément l'activité EMG de quatre muscles : le cricothyroïdien (CT) et trois muscles sous-hyoïdiens : le thyro-hyoïdien (TH), le sterno-thyroïdien (ST) et le sterno-cleido-hyoïdien (SCH). Pour l'étude des configurations mélodiques complexes (MHB) et (HBH) nous avons considéré l'ensemble de ces muscles. En revanche pour l'analyse des phrases, nous avons limité l'investigation au seul cricothyroïdien. La technique choisie est celle des électrodes bipolaires (2 fils de platine) décrite par (10). Afin de vérifier si les électrodes ont bien été implantées dans le muscle choisi, on a procédé à plusieurs épreuves de contrôle : respiration calme puis profonde, déglutition, résistance à l'ouverture de la mâchoire.

Les signaux EMG et la parole sont enregistrés sur un magnétophone Ampex (7 pistes) et reproduits sur papier à l'aide d'un enregistreur Gould ES 1000. Les signaux de parole sont captés à la fois par un microphone et par un électroglottographe (Frokjaer-Jensen, type EG 830) relié à un détecteur de mélodie. Le locuteur et les différents capteurs sont placés dans une chambre insonorisée et les enregistreurs disposés en dehors de la cabine.

3. - Les paramètres enregistrés et leurs mesures.

L'analyse porte sur les tracés du phonogramme, du glottogramme, de la courbe mélodique extraite du signal glottographique, des deux types de représentation des signaux EMG, brut et redressé. Les divers types de tracés correspondant à des étapes différentes de la contraction musculaire (ébauchée, franche ou forte) ou à des épisodes de relâchement ont été identifiés qualitativement par ré-

férence au signal acoustique. Cette comparaison est complétée par une mise en correspondance, à partir du signal EMG redressé, des pics d'activité des bouffées EMG les plus importantes et des sommets des configurations de Fo sur la courbe mélodique.

RESULTATS

1. Comparaison des activités électromyographiques du cricothyroïdien et des muscles sous-hyoïdiens dans la réalisation des configurations mélodiques Moyen-Haut-Bas (MHB) et Haut-Bas-Haut (HBH)

- On observe de façon systématique une anticipation de l'activité EMG de tous les muscles considérés, par rapport au début de la phonation (Fig. 1 A et 1 B). Ceci confère à ces muscles un rôle important dans la préparation de l'activité vibratoire du larynx (attaque).
- Les muscles sous-hyoïdiens explorés fonctionnent de manière synergique (Fig. 1 A).
- A l'attaque de la configuration MHB, on remarque une activité plus importante des sous-hyoïdiens, ce qui n'est pas le cas lors de l'attaque de HBH, où l'activité du CT l'emporte.
- L'activité du CT se produit avec une anticipation plus grande à l'attaque qu'au cours de l'émission d'un ton haut à l'intérieur de la configuration MHB ou qu'en finale de HBH.
- D'autre part, l'activité des sous-hyoïdiens est fortement corrélée à la réalisation des tons bas, ce qui semble conférer à ces muscles un rôle important dans le contrôle des variations descendantes de Fo (7). Leur fonctionnement apparaît alors de type antagoniste par rapport à celui du CT. Ceci n'est plus vrai dans le cas d'un ton haut final (Fig. 1 B) pour lequel l'ensemble des muscles fonctionne de manière agoniste (Tableau 1) : ce traitement particulier en position finale impliquerait l'existence d'un processus de contrôle mis en œuvre pour éviter un dépassement de la cible de Fo à atteindre /11/.

2. Comparaison des activités du cricothyroïde dans la réalisation des configurations mélodiques des principaux patrons intonatifs du français.

Si les effets de la contraction du CT apparaissent bien connus, les signaux EMG de notre locuteur nous conduisent à mettre en évidence des faits moins souvent signalés de relâchement de ce muscle (prenant même une allure d'inhibition) qui paraissent ici particulièrement significatifs.

2.1. La présence ou l'absence de ce relâchement est liée à deux facteurs :

- La nature du ton à l'initiale de la phrase : le relâchement se produit à l'initiale des phrases commençant par un ton moyen ou un ton bas (phrases déclaratives et questions totales). Il est absent au début des questions partielles (du type "qu'est-ce que tu lui as dit ?") qui commencent par un ton haut (Fig. 2).
- La nature de l'unité phonique à l'initiale : dans les phrases débutant par un ton haut moyen ou un ton bas, l'organisation temporelle de ces phases de relâchement semble être influencée par le caractère voisé ou non voisé de la première unité

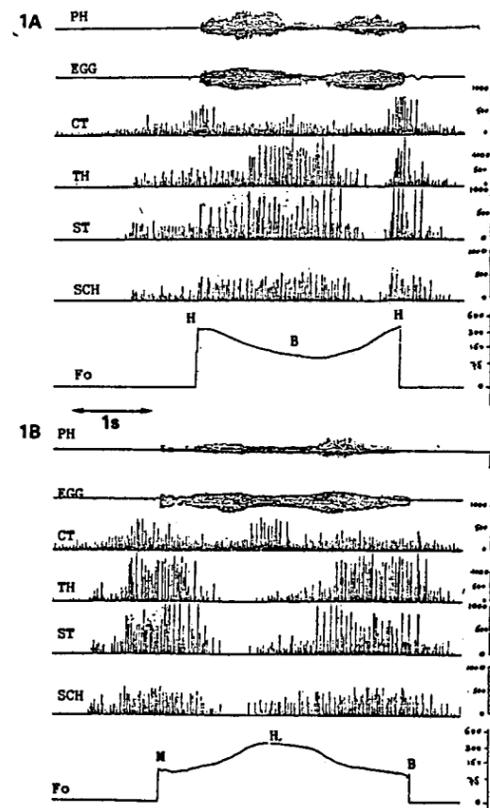


Fig. 1. - Phonogramme (Ph), Glottogramme (EGG) et signaux EMG redressés du cricothyroïdien (CT), du thyro-hyoïdien (TH), du sterno-thyroïdien (ST) et du sterno-cleido-thyroïdien (SCH) et courbe de fréquence fondamentale (Fo), correspondant aux configurations MHB (1 A) et HBH (1 B) réalisées à partir de la voyelle /o/.

TONS	M	H	B
FO (Hz)	110	356	94
CT (µV)	1307	1693	564
ST (µV)	1107	457	821

TONS	H	B	H
FO (Hz)	337	93	377
CT (µV)	1500	366	2216
ST (µV)	550	1150	1083

Tableau 1

Valeurs moyennes de la fréquence fondamentale (Fo), de l'amplitude des pics d'activité EMG du cricothyroïdien (CT) et du sterno-thyroïdien (ST) correspondant aux points cibles (Medium, M, Haut, et Bas, B) des configurations mélodiques montante-descendante (1 A) et descendante-montante (1 B).

phonique. Ces moments de relâchement précèdent la réalisation d'une voyelle ou d'une consonne voisée initiales, alors qu'ils se produisent pendant la tenue d'une consonne non voisée initiale (Fig. 3 et 4).

En finale d'énoncé, le relâchement est en relation directe avec la chute de Fo pour la finalité, la parenthèse basse (Fig. 3) et l'appel ("Jean Paul !", Fig. 5) dont le contour mélodique comporte une montée puis une chute de la voix.

2.2. Les phases d'activité.

Les pics d'activité du CT sont systématiquement associés aux sommets (tons hauts) des contours mélodiques de continuation mineure et majeure et de la question totale. Dans ces cas, la hiérarchie des pics d'activité du CT reflète celle des sommets de Fo (Fig. 6).

Pour les contours continuatifs, la phase d'activité la plus importante commence de manière anticipée sur la consonne de la syllabe accentuée portant le ton haut (Fig. 7).

En revanche, l'anticipation du pic EMG est moins marquée dans les questions totales où elle se situe vers le milieu ou dans le dernier tiers de la voyelle accentuée, qui porte le ton haut (Fig. 8). D'autre part et en première approximation, il semblerait qu'il y ait une corrélation positive entre l'amplitude du pic d'activité du CT et la fréquence intrinsèque des voyelles en syllabe accentuée, dans la mesure où les valeurs de ces pics reflètent la hiérarchie des valeurs de fréquence intrinsèque observées par /12/ et /13/.

DISCUSSION

Les résultats de cette première investigation sur l'activité des muscles du larynx pendant la réalisation des configurations mélodiques du français nous permettent de formuler les remarques suivantes :

1. Les muscles sous-hyoïdiens, retenus pour cette expérience fonctionnent, dans la plupart des cas, en synergie, en relation avec les inflexions négatives de Fo.
2. Les relations entre ces muscles et le CT sont de type antagoniste, dans le cas d'un ton initial ou médian et agoniste, lors de la réalisation d'un ton final.
3. L'activité du CT est systématiquement associée, en français /14/ à la production d'un ton haut conformément aux observations déjà effectuées dans d'autres langues.
4. Nos résultats tendraient à mettre en évidence l'existence d'une véritable pré-programmation, prenant en compte, à l'attaque de l'énoncé, la présence du voisement et la réalisation d'un ton haut.
5. La comparaison du chronométrage de l'activité de CT pour les questions totales et les continuations semble justifier la distinction établie par /15/ entre configuration concave et configuration convexe, ou encore, d'après notre analyse, entre montée retardée (question) et montée anticipée (continuation).
6. Les résultats obtenus à partir d'un premier sondage effectué sur quelques syllabes (Tableau 2),

	Voyelles orales			Voyelles nasales
	Voyelles basses	Voyelles hautes		
	[e, a]	[i]	[u]	[ɛ]
Série 1	866	1033	1066	933
Série 2	779	841	957	985
Moyenne	822	937	1011	959

Tableau 2

Valeurs de l'amplitude du pic d'activité du CT (en µV).

tendraient à montrer que la fréquence intrinsèque n'est pas le résultat d'une contrainte physiologique mais correspond bien à un processus actif /16/.

7. La mise en correspondance systématique des pics d'activité EMG et des courbes mélodiques nous conduit à considérer la courbe de Fo comme l'intégrale de l'activité du CT : le maximum d'amplitude de ces pics coïncide avec le point d'inflexion de la courbe ascendante de Fo (Fig. 9), comme s'il s'agissait de la première dérivée de cette courbe.

BIBLIOGRAPHIE

- /1/ COLLIER, R., "Laryngeal muscle activity, subglottal air pressure and the control of pitch in speech", *Haskins Lab. Status Rep. Speech Res.*, SR - 39/40, pp. 137-170, 1974.
- /2/ COLLIER, R., "Physiological correlates of intonation patterns", *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 58, n° 1, pp. 249-255, 1975.
- /3/ LADD, D. R., "Declination : a review and some hypothesis", *Phonology Year Book*, n° 1, pp. 53-74, 1984.
- /4/ HIRANO, M., OHALA, J. et VENNARD, W., "The function of laryngeal muscles in regulation of fundamental frequency and intensity of phonation", *J. Speech Hear. Res.*, 12 : pp. 616-628, 1969.
- /5/ SAWASHIMA, N., "Laryngeal research in experimental phonetics", *Current trends in linguistics*, vol. 12, pp. 69-115, 1972.
- /6/ LIEBERMAN, P., "A study of prosodic features", *Status Report on Speech Research* (Haskins Lab.), SR - 23, pp. 179-208, 1972.
- /7/ OHALA, J., "How pitch is lowered ?", *Mim. Phonology Lab. Univ. of Berkeley*, pp. 25-30, 1972.
- /8/ FUJIMURA, O., "Phonological functions of the larynx in phonetic control", *Invited Paper at the International Congress of Phonetic Sciences*, Miami, 1977.
- /9/ MAEDA, S., "On the Fo control mechanisms of the larynx", *Séminaire Larynx et Parole*, Institut de Phonétique de Grenoble, GALF, pp. 243-257, 1979.

- /10/ BASMAJIAN, J. V. et STECKO, G. A., "A new bipolar indwelling electrode for electromyography", *Journal of Applied Physiology*, 17, 849, 1962.
- /11/ SUNDBERG, J., "Maximum speed of pitch changes in singers and untrained subjects", *Journal of Phonetics*, 7, 2, pp. 71-79, 1979.
- /12/ DI CRISTO, A., "De la microprosodie à l'intonosyntaxe", éd. J. Lafitte, 854 p., 1985.
- /13/ ROSSI, M. et AUTESSERRE, D., "Movements of the hyoid bone and the larynx and the intrinsic frequency of vowels", *J. of Phonetics*, 9, 233-249, 1981.
- /14/ AUTESSERRE, D., DI CRISTO, A. et HIRST, D., "Approche phonologique des intonations de base du français : cricothyroïdien et fréquence fondamentale", *15es Journées d'Etude sur la Parole*, Institut de Phonétique d'Aix-en-Provence, 27-30 mai 1986, pp. 37-41.
- /15/ DELATTRE, P., "Les dix intonations de base du français", *French Review*, 40, pp. 1-14, 1966.
- /16/ DI CRISTO, A. et HIRST, D., "Modelling French micromelody", *Phonetica*, 43, 1, pp. 11-30, 1986.

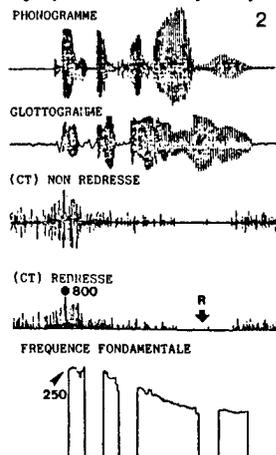


Fig. 2. - Attaque dans le registre haut. Question partielle: "Qu'est-ce que tu lui as dit?".

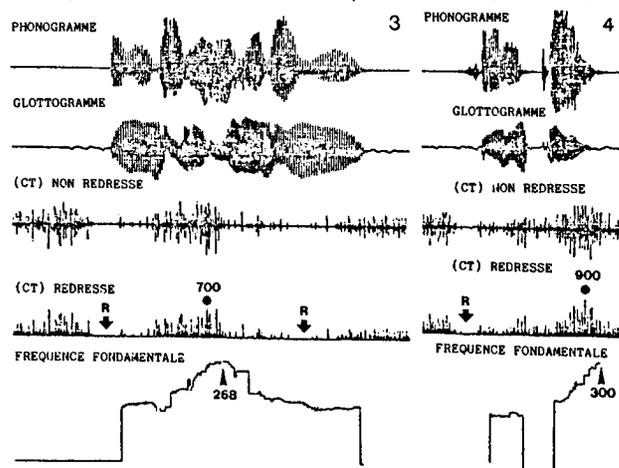


Fig. 3. - Phases d'activité et de relâchement (R) du CT dans l'énoncé "Evidemment! Je l'ai vu" (implication + parenthèse basse).

Fig. 4. - Phases d'activité et de relâchement (R) du CT dans la phrase "Sur le quai?" (question totale).

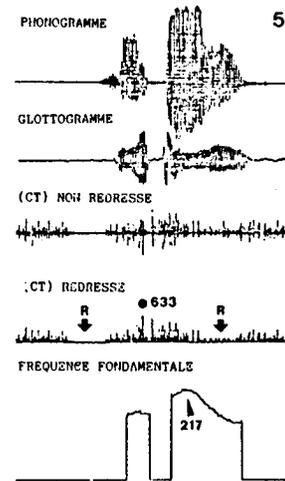


Fig. 5. - Phases d'activité et de relâchement (R) du CT dans le contour mélodique complexe de l'appel ("Jean-Paul!").

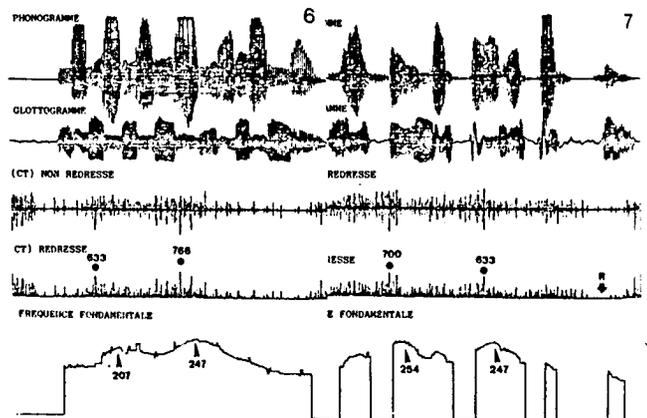


Fig. 6. - Phases d'activité du CT dans la répétition ("mamama...") de la phrase "Le fils de Paul est parti".

Fig. 7. - Phases d'activité du CT dans la phrase "Le fils de Paul est parti".

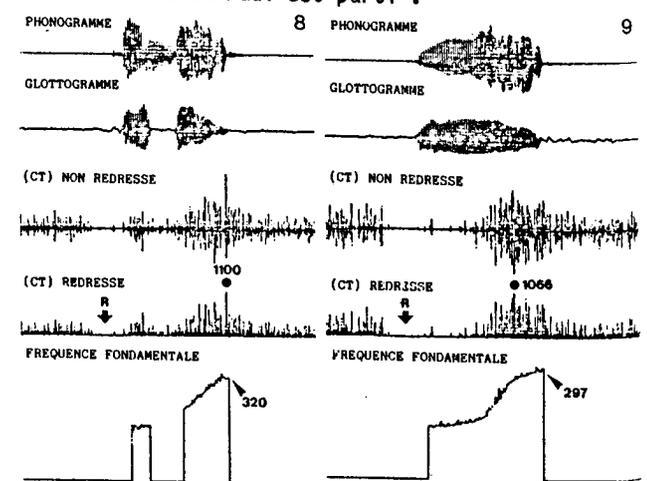


Fig. 8. - Phases d'activité du CT dans la question totale "Tu es sûr?".

Fig. 9. - Correspondance entre le pic d'amplitude du CT et le point d'inflexion de la configuration de Fo (BH).