

Pression sous-glottique et débit d'air buccal des voyelles en français

Fabrizio Bucella^o, Sergio Hassid⁺, Renaud Beeckmans^o, Alain Soquet^{*} et Didier Demolin^{*}

^oInstitut des Langues Vivantes et de Phonétique

^{*}Laboratoire de Phonologie

⁺Hôpital Erasme

Université Libre de Bruxelles

Tél.: +32 2 650 20 18 - Fax: +32 2 650 20 07

E-mail: Fabrizio.Bucella@ulb.ac.be

ABSTRACT

According to classical view, the respiratory apparatus is a system which permits voluntary changing in intensity and maybe in the shape of the signal, but not (at least in the most known languages) as a system capable of raising the pressure for some given sounds. This paper examine variations going with different vowels and conclude that respiratory effort may be used to distinguish different sounds. Some French speakers seem to voluntary increase sub glottal pressure for some particular segments. Two subjects, one male and one female, participated to this study. We analysed different vowels productions for different controlled frequencies and different controlled intensities. We took measures of mean oral air flow (dm^3/s) and mean sub-glottal pressure (hPa). Results showed (i) that sub-glottal pressure is lower for [a] than for [u] and for [i] ; (ii) that a vowel effect, as well for the pressure as for the oral air flow, was showed by repeated measures of analysis of variance. Obviously, the effect of the pressure reveals more complex mechanisms in the vowels production. In a first approach, this effect may be explained by three ways : (i) a difference in the air flow due to different vocal shapes ; (ii) a different respiratory control ; or (iii) a difference in the tension of the vocal folds. This last explanation seems to be an interesting track to explore for future experiments.

1. INTRODUCTION

Le système respiratoire est généralement considéré comme un système permettant de produire des variations volontaires de l'intensité et peut-être de la forme du signal, mais pas (au moins dans les langues les plus connues) comme un système capable de produire des augmentations de pression pour des sons particuliers [Tit94]. Tous les changements liés à des segments individuels, comme la chute de pression après un [h] ou l'augmentation de pression accompagnant l'occlusion du [k] sont considérés comme des aspects aérodynamiques du conduit vocal, sans contrôle volontaire. Ces différences peuvent être attribuées à des variations de la résistance au passage de l'air au travers des cordes vocales en vibration (l'impédance glottique) ou à la variation de la rigidité des parois du conduit

vocal. Löfqvist [Lof75], résumant les observations faites sur l'activité respiratoire pour différentes catégories d'occlusives, conclut que, à l'exception des occlusives [fortis] en Coréen, les variations de la pression sous-glottique peuvent en général être attribuées à des variations de l'impédance glottique. Ce papier examine des variations accompagnant différentes voyelles et conclut qu'il n'y a pas que les Coréens qui utilisent l'effort respiratoire pour distinguer différents sons. Des locuteurs du Français semblent utiliser un accroissement volontaire de la pression sous-glottique pour des segments particuliers.

La relation entre pression sous-glottique et intensité des voyelles tenues du français a déjà fait l'objet d'une première analyse [Lec98a, Lec98b]. Une discussion plus détaillée sur la différence entre intensité produite et intensité perçue est donnée par la théorie des intensités spécifiques des voyelles [Ros71, Ros81 et Mar79] : des voyelles prononcées avec un effort constant et jugées comme isotoniques ne présentent pas la même intensité objective.

2. MATERIEL ET METHODE

Deux sujets ont participé à cette étude. Un sujet francophone masculin de 43 ans, un sujet francophone féminin de 29 ans. Les enregistrements ont lieu à l'unité ORL de l'hôpital Erasme, Université de Bruxelles. Les deux sujets ne présentaient aucune pathologie du larynx et n'étaient pas entraînés pour la tâche. La pression sous-glottique (*psg*), la pression intra-orale (*pio*), le débit d'air nasal (*dan*), le débit d'air buccal (*dab*) et le signal de parole ont été enregistrés simultanément au moyen de la procédure suivante. Un tube flexible en caoutchouc (2 mm de diamètre interne) est introduit à travers la cavité nasale jusqu'à l'oropharynx pour la mesure de pression intra-orale. Une aiguille (2 mm de diamètre interne) est introduite dans la trachée après anesthésie locale (2% Xylocaïne). Un tube de même type que le tube utilisé pour la pression intra-orale est connecté à l'aiguille. Le débit d'air buccal est mesuré avec un masque flexible en silicone. Le débit d'air nasal est mesuré au moyen d'une olive en silicone introduite dans la narine et reliée à un tube en plastique de 0.5 cm de diamètre. Tous les tubes et les masques sont reliés au

polyphonomètre, station d'acquisition automatique de paramètres aérodynamiques de la parole, développée à l'institut de phonétique d'Aix (France) [Tes90]. Cette station possède un module de post-traitement des données qui nous a permis de calculer l'intensité (RMS) du signal de parole et la fréquence fondamentale (méthode du peigne).

Le corpus se compose de mesures synchronisées de débit d'air buccal et de pression sous-glottique de voyelles. Les voyelles [a], [i] et [u] ont été tenues par le locuteur masculin et le locuteur féminin. Chacune de ces productions a été réalisée à 3 fréquences fondamentales et à 3 intensités différentes. Ce qui nous

fait donc 9 types de répétitions de voyelles par locuteur.

Chaque voyelle a été segmentée en commençant au maximum de pression sous-glottique atteint après la mise en régime, correspondant au signal en régime stationnaire, et en terminant juste avant la chute de pression, correspondant à la fin du signal de parole (voir figures 1 et 2).

Sur ces portions de signaux nous avons pris les mesures du débit d'air buccal moyen et de la pression sous-glottique moyenne. Cependant les mesures de débit d'air buccal du locuteur féminin sont anormalement faibles, nous ne les avons pas retenues en raison d'un artefact possible de la mesure.

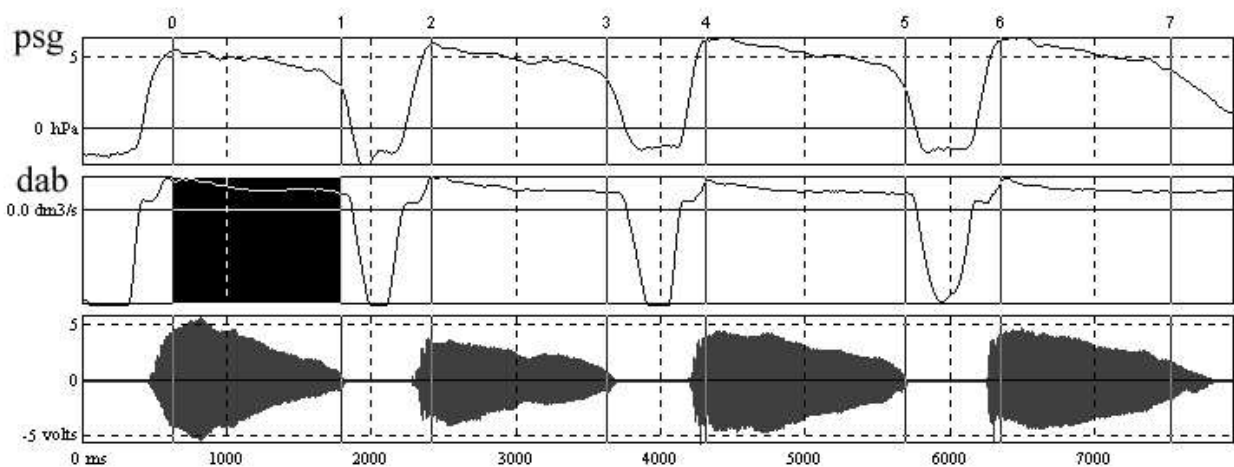


Figure 1: Pression sous-glottique (psg en hPa), débit d' air buccal (dab en dm^3/s) et représentation oscillographique du signal de parole d' un exemple de la voyelle [a] prononcée par le locuteur masculin.

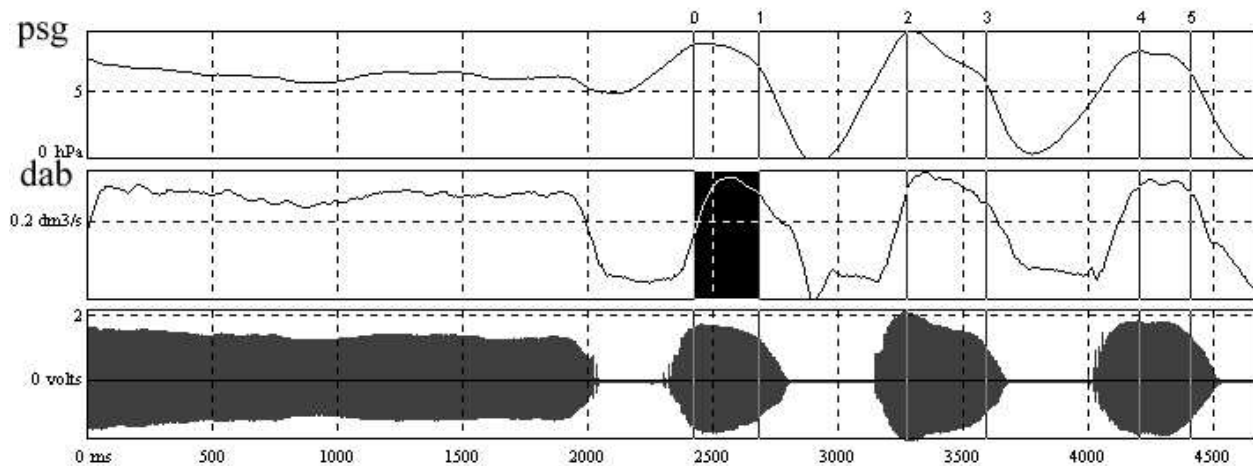


Figure 2: Pression sous-glottique (psg en hPa), débit d' air buccal (dab en dm^3/s) et représentation oscillographique du signal de parole d' un exemple de la voyelle [i] prononcée par le locuteur féminin.

3. RESULTATS

Sur les figures 1 et 2 sont représentés le signal de parole, le débit d'air buccal, (dm^3/s) et la pression sous-glottique (hPa) pour une production donnée. La figure 1 correspond à la production du [a] pour la fréquence la

plus basse et l'intensité la plus faible du locuteur masculin. Le figure 2 représente la production du [i] à la fréquence la plus basse et à l'intensité la plus forte du locuteur féminin. Sur ces figures se trouve en impression plus foncée la portion segmentée du signal de débit d'air buccal, comme décrit précédemment.

Description statistique

Pour le locuteur masculin, les mesures prises sont le débit d'air moyen et la pression sous-glottique moyenne pour chaque répétition de voyelle dans les différentes conditions de production. Une mesure de la moyenne et de l'écart type sur l'ensemble des voyelles est aussi donnée. Enfin sont résumées et représentées sur le graphique les grandeurs statistiques moyenne et écart type global pour les voyelles [a], [i] et [u] - voir à ce propos les figures 3 et 4.

Pour le locuteur féminin, les mesures qui ont été gardées sont la pression sous-glottique moyenne pour chaque répétition de voyelle dans les différentes conditions de production. Une mesure de la moyenne et de l'écart type sur l'ensemble des répétitions de la voyelles est aussi donnée. Enfin sont résumées et représentées à la figure les grandeurs statistiques moyenne et écart type global pour les voyelles [a], [i] et [u] - voir à ce propos la figure 5.

Débit d'air buccal

Tableau 1: Résultats de l'analyse de variance de mesures répétées du débit d'air buccal pour le locuteur masculin. Comme le montrent bien les valeurs du p seul le facteur voyelle est déterminant.

Source	p (signification < .05)
Voyelle	.0001
Intensité	.6256
F0	.1233

L'ensemble du corpus de production du locuteur masculin a été soumis à une analyse de variance de mesures répétées (tableau 1) [Moo99, Ash93]. Les facteurs inter sujets de l'analyse de variance étaient les suivants : voyelle (trois possibilités : [a], [i] et [u]), fréquence (trois possibilités : basse, moyenne et haute) et amplitude (trois possibilités : faible, moyenne et forte). Un facteur intra sujet à quatre niveaux a aussi été introduit pour l'analyse répétée et correspondait à la mesure du débit d'air buccal émis sur une production. Le facteur voyelle s'est révélé le seul significatif valeur de $p = .0001 < .05$, seuil de signification.

Comme énoncé précédemment, une telle analyse n'a pas pu être réalisée sur le locuteur féminin vu les valeurs anormalement faibles des mesures.

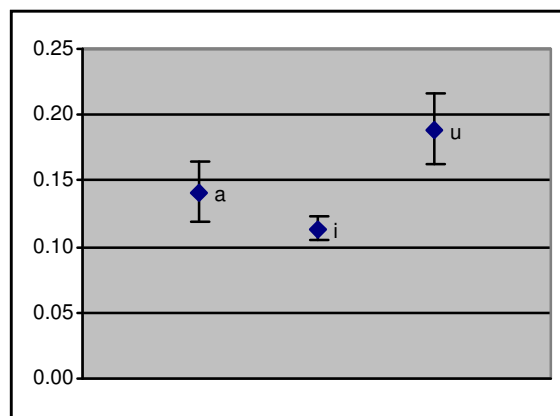


Figure 3: valeurs moyennes et barres d'erreur du débit d'air buccal (dab en dm^3/s) des voyelles [a], [i] et [u] calculées sur les trois ou quatre répétitions pour chacune des trois intensités et des trois fréquences (locuteur masculin).

Pression sous-glottique

Tableau 2: moyennes de la pression sous-glottique des locuteurs féminin et masculin. Lors de la production du [a] la pression est inférieure que lors de la production du [u] et du [i].

psg en [hPa]	[a]	[i]	[u]
Locuteur F	5.48	8.91	8.17
Locuteur M	5.74	7.45	7.22

Comme le montre le tableau 2, la pression sous-glottique est plus basse pour le [a] que pour le [u] et le [i]. Ceci se remarque pour le locuteur féminin et pour le locuteur masculin. Une analyse de variance de mesures répétées des locuteurs féminin et masculin a été réalisée. Les facteurs inter sujets de l'analyse de variance étaient les suivants : voyelle (trois possibilités : [a], [i] et [u]), fréquence (trois possibilités : basse, moyenne et haute) et amplitude (trois possibilités : faible, moyenne et forte). Un facteur intra sujet à quatre niveaux a aussi été introduit pour l'analyse répétée et correspondait à la mesure de la moyenne de la pression sous-glottique pour une répétition. Le facteur voyelle s'est révélé significatif valeur de $p = .000 < .05$, seuil de signification. Les facteurs fréquence et amplitude étaient aussi significatifs avec des valeurs de p semblables.

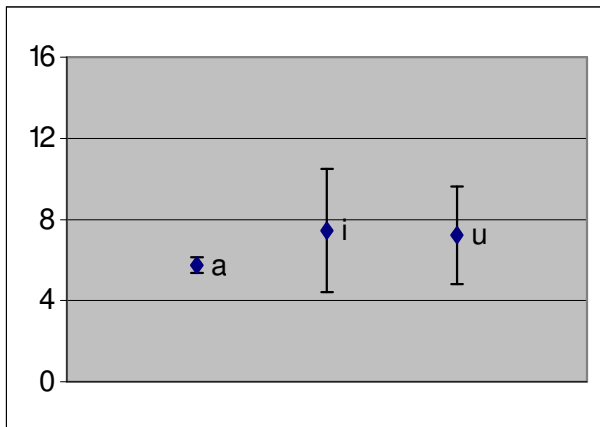


Figure 4: valeurs moyennes et barres d'erreur de la pression sous-glottique (psg en *hPa*) pour les voyelles [a], [i] et [u] calculées sur les trois ou quatre répétitions pour chacune des trois intensités et des trois fréquences du locuteur masculin.

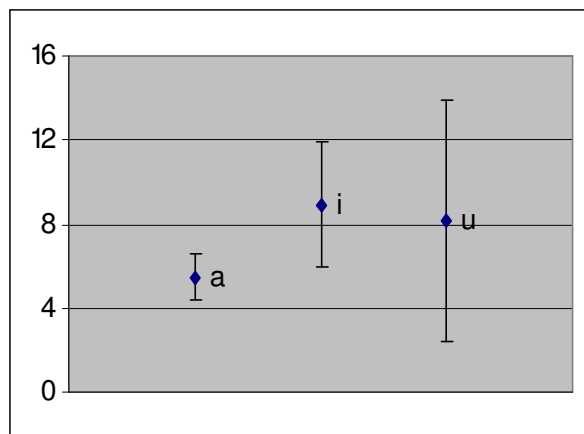


Figure 5: valeurs moyennes et barres d'erreur de la pression sous-glottique (psg en *hPa*) pour les voyelles [a], [i] et [u] calculées sur les trois ou quatre répétitions pour chacune des trois intensités et des trois fréquences du locuteur féminin.

DISCUSSION

Cette différence de pression sous-glottique entre [a], [i] et [u] est mise en évidence par l'analyse de variance de mesures répétées. Cet effet se remarque aussi pour la mesure du débit d'air buccal moyen. La différence de pression sous-glottique entre les voyelles est difficile à expliquer. Manifestement elle est révélatrice de mécanismes plus complexes dans la production des voyelles. En première approche un tel effet pourrait s'expliquer de trois manières : (i) une différence d'écoulement due à une forme différente du conduit ; (ii) un contrôle respiratoire différent ; (iii) une différence de tension dans les cordes vocales. Ce dernier effet semble être une des pistes à explorer pour le futur. La première hypothèse (i) ne permet pas de rendre compte de la différence du débit d'air buccal. En effet, en première approximation, sans couplage avec

les cavités nasales, celui-ci devrait être sensiblement le même quelle que soit la forme du conduit. La deuxième hypothèse (ii) peut sans doute expliquer une partie du phénomène et devrait être explorée plus en détail. Par contre sachant que le cartilage thyroïde fait une rotation vers l'avant lors de la production du [i] et du [u], une différence de tension se produit sur les cordes vocales qui permet de rendre compte de la différence de pression sous-glottique moyenne mesurée - hypothèse (iii).

Cette recherche a été subventionnée par la convention ARC « Dynamique des systèmes phonologiques » 98-02, n°226 de la Communauté Wallonie Bruxelles.

BIBLIOGRAPHIE

- [Ash93] Ash, C., (1993) "The probability tutoring book: an intuitive course for engineers and scientists (and everyone else!)", IEEE, New-York, 470 p.
- [Lec98a] Lecuit, V., Demolin, D., (1998) "The relationship between intensity and subglottal pressure with controlled pitch", Proceedings of the 5th I.C.S.L.P., Sydney, pp. 3079-3082
- [Lec98b] Lecuit, V., Demolin, D., (1998) "Relation entre pression sous-glottique et intensité: étude des voyelles du français", Actes des XXIèmes J.E.P., Martigny, Suisse. pp. 299-302
- [Lof75] Löfqvist, A., (1975) "A study of subglottal pressure during the production of Swedish stops", Journal of Phonetics, 3, pp. 175-189.
- [Mar79] Marchal, A., Carton, F., (1979) "La pression sous-glottique: mesure et relation avec l'intensité et la fréquence fondamentale", in Semaine Larynx & parole, Institut de Phonétique de Grenoble - 8-9 fév. 1979, pp. 315-327.
- [Moo99] Moore, D.S., McCabe, G.P., (1999) "Introduction to the practice of statistics", W.H. Freeman and Company, New-York, 825 p.
- [Ros71] Rossi, M., (1971) "L'intensité spécifique de voyelles", Phonetica, 24, pp. 129-161.
- [Ros81] Rossi, M., Autesserre, D., (1981) "Movements of the hyoid and the larynx and the intrinsic frequency of vowels", Journal of Phonetics, 9, pp. 233-249.
- [Tes90] Teston B., Galindo B. (1990) "Physiologia : un logiciel d'analyse des paramètres physiologiques de la parole", Travaux de l'Institut de Phonétique d' Aix, 13, pp.197-217
- [Tit94] Titze, I.R. (1994) « Principles of voice production », Prentice Hall, U.S.A., 354 p.