

# COUPLAGE ENTRE LE MODELE A DEUX MASSES ET UN MODELE ANALOGUE DU CONDUIT VOCAL A REFLEXION: THEORIE ET IMPLANTATION

Loan TRINH VAN, Bernard GUERIN, Eric CASTELLI

Institut de la Communication Parlée INPG/ENSERG - Université Stendhal  
UA n° 368 46, av Félix Viallet 38031 Grenoble cedex FRANCE

## ABSTRACT

In this paper we describe the effects of source-tract coupling. The model of the vocal tract used is the acoustic tube model proposed by Kelly and Lochbaum. The vocal tract is excited by a source based on a two-mass model of the vocal folds. In our case, the source is simulated as an elementary tube of the vocal tract. The influence of the source-tract coupling on the glottal flow is compared in three cases : (1) the above mentioned source-tract coupling; (2) the coupling with a model of the input impedance of the vocal tract ; (3) the no coupling case.

## 1. INTRODUCTION

La source vocale utilisée dans notre synthétiseur est le modèle à deux masses proposé par Ishizaka et Flanagan (1972) et basé sur des équations mécaniques et aérodynamiques. La simulation du conduit vocal, quant à elle, repose sur le calcul de propagation des ondes acoustiques dans une série de N tubes élémentaires (Kelly et Lochbaum, 1962). Il faut donc établir la relation entre les paramètres de la source et les ondes acoustiques qui se propagent dans le conduit vocal. Cette relation permet aussi d'évaluer l'interaction entre source et conduit vocal.

## 2. THEORIE ET IMPLANTATION

Dans notre simulation, le couplage source-conduit vocal est basé sur le modèle proposé dans [5]. En effet, la source vocale elle-même peut se représenter comme une source de débit d'impédance  $Z_g$ . On utilise l'indice  $k+1$  pour le premier tube du conduit vocal: l'aire, la pression et le débit à l'entrée de

ce tube seront  $A_{k+1}$ ,  $P_{k+1}$ ,  $U_{k+1}$  respectivement (fig 1a).

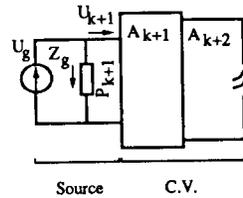


Fig 1a. Modèle de la source vocale chargée par la première section du conduit vocal.

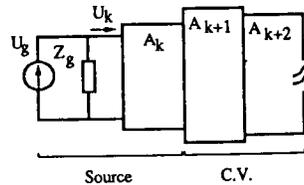


Fig 1b. Source vocale considérée comme un des tubes du conduit vocal.

La figure 1a montre que le débit  $U_g$  est la somme du débit qui traverse l'impédance  $Z_g$  et de celui qui entre dans le tube  $k+1$ :

$$(1) U_g = \frac{P_{k+1}}{Z_g} + U_{k+1}$$

Le débit et la pression dans le tube  $k+1$  s'écrivent :

$$(2a) U_{k+1}(t) = U_{k+1}^+(t-\tau) - U_{k+1}^-(t+\tau)$$

$$(2b) P_{k+1}(t) =$$

$$\frac{\rho c}{A_{k+1}} (U_{k+1}^+(t-\tau) + U_{k+1}^-(t+\tau))$$

où :  $\rho$  est la densité de l'air;  $c$  est la célérité du son;  $\tau$  est le temps de propagation du son dans le tube  $k+1$ ; ( $\tau = \ell / c$ , les tubes sont de la même longueur  $\ell$ );  $A_{k+1}$  est l'aire du tube  $k+1$ ;  $U_{k+1}^+(t-\tau)$

et  $U_{k+1}^-(t+\tau)$  peuvent être interprétées comme l'onde incidente et l'onde réfléchie dans le tube  $k+1$ . La source vocale est considérée (fig 1b) comme un tube spécial d'indice  $k$ , d'aire  $A_k$  et d'impédance  $Z_k$ :

$$Z_k = Z_g = \frac{\rho c}{A_k} \text{ avec le coefficient de}$$

$$\text{réflexion : } r_k = \frac{A_{k+1} - A_k}{A_{k+1} + A_k}$$

Les expressions (1) et (2) nous donnent alors l'équation suivante de l'onde incidente dans le tube  $k+1$ :

$$(3) U_{k+1}^+(t-\tau) =$$

$$r_k U_{k+1}^-(t+\tau) + U_g \frac{1+r_k}{2}$$

Pour notre implantation,  $A_k = A_g$  où  $A_g$  est l'aire de la glotte.

Pour valider le couplage ci-dessus, nous avons utilisé comme référence le modèle de l'impédance d'entrée du conduit vocal proposé par Mrayati et Guerin [6]. Dans ce modèle, le conduit vocal est remplacé par deux circuits résonnants aux premier et deuxième formants (fig. 2).

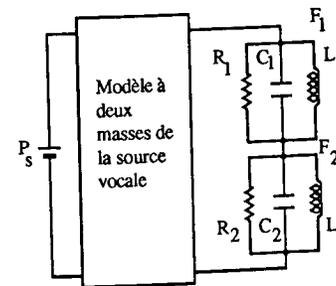


Fig 2. Circuit équivalent à l'impédance d'entrée du conduit vocal couplé au modèle à deux masses de la source vocale.

Dans [6], il a été montré que l'on pouvait se limiter à une représentation de l'impédance d'entrée pour les deux premiers formants.

## 3. RESULTATS

Pour les voyelles orales françaises étudiées, les paramètres des deux circuits de résonances sont déterminés à partir de la configuration du conduit vocal pour chaque voyelle et des mesures de son impédance d'entrée. Les caractéristiques de l'onde de débit de la source vocale (fig. 3) sont données par les paramètres suivants:

+Le quotient d'ouverture :  $Q_0 = \frac{T_1 + T_2}{T_0}$

+Le quotient de dissymétrie :  $Q_d = \frac{T_1}{T_2}$

+La fréquence fondamentale:  $F_0 = \frac{1}{T_0}$

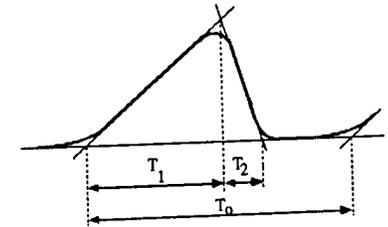


Fig 3. Forme générale de l'onde de débit.

Les paramètres de commande du modèle à deux masses sont la pression subglottique  $P_s$  et le coefficient  $Q$  représentant la tension et la masse des cordes vocales. Pour nos mesures,  $P_s$  varie entre 4 et 16 cmH<sub>2</sub>O et  $Q = 2$ .

Les caractéristiques de l'onde de débit ont été mesurées dans les trois cas ( la figure 4 donne les résultats pour 4 voyelles seulement ):

- sans couplage;
- avec couplage et le conduit vocal est remplacé par le modèle de l'impédance d'entrée;
- le couplage source-conduit vocal mentionné ci-dessus.

Pour les configurations du conduit vocal correspondantes aux voyelles orales étudiées, les résultats ont montré la concordance des deux cas de couplage. Les évolutions de  $F_0$ ,  $Q_0$  et  $Q_d$  en fonction de la pression subglottique sont les mêmes dans les cas avec couplage. Il est difficile de donner une loi d'évolution applicable à toutes les voyelles. Pourtant, nous avons remarqué les caractéristiques suivantes:

-pour les voyelles [a], [ɛ], [ə], [o], [ø], [e] et [æ] la fréquence fondamentale augmente légèrement par rapport au cas sans couplage;

-les quotients d'ouverture et de dissymétrie sont modifiés quand il y a l'interaction source-conduit vocal. Quand la source vocale est chargée par le conduit vocal, on constate une déformation de l'onde de débit sous la forme d'une oscillation additionnelle. Cette sur-oscillation a une fréquence proche du premier formant [1]. En conséquence, le quotient de dissymétrie sera fortement modifié et généralement augmenté. En ce qui concerne le quotient d'ouverture, il est diminué dans le cas de couplage source-conduit vocal.

Nous avons comparé la qualité des voyelles orales synthétisées dans les deux cas : sans couplage et avec le couplage décrit ci-dessus. Des tests informels ont montré que le couplage améliore la qualité et le naturel des voyelles orales synthétisées.

### 3. CONCLUSION

En utilisant le modèle de l'impédance d'entrée du conduit vocal comme référence, nous avons montré que la méthode du couplage source-conduit vocal que nous avons utilisée dans notre

synthétiseur est tout à fait raisonnable. Ce modèle du couplage contribue à améliorer la qualité de sons synthétisés et permet de respecter les effets connus du couplage source-conduit vocal.

### REFERENCES

- [1] AL-ANSARI A., GUERIN B. (1981), " Effet du couplage source-conduit vocal sur les caractéristiques de l'onde de débit ", *12èmes Journées d'étude sur la parole*, Montréal (Canada).
- [2] DEGRYSE D. (1981), " Temporal Simulation of Wave Propagation in the Lossy Tract ", *The Fourth F.A.S.E. Symposium*, Avril, 21-24, Venezia (Italy)
- [3] ISHIZAKA K. and FLANAGAN J.L. (1972), " Synthesis of Voiced Sounds from a Two-mass Model of the Vocal Cords ", *B.S.T.J.*, 51, 1233-1268.
- [4] KELLY J.R. and LOCHBAUM C. (1962), " Speech Synthesis ", *Pro. Stockholm - Speech Communication Seminar - R.I.T.* 127-130.
- [5] MARKEL J.D. and A.H. GRAY, JR. (1976), " *Linear Prediction of Speech* ", Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York.
- [6] MRAYATI M., GUERIN B. (1976), " Etude de l'impédance d'entrée du conduit vocal, couplage source-conduit vocal ", *Acustica* Vol. 35, No. 5, 330-340.

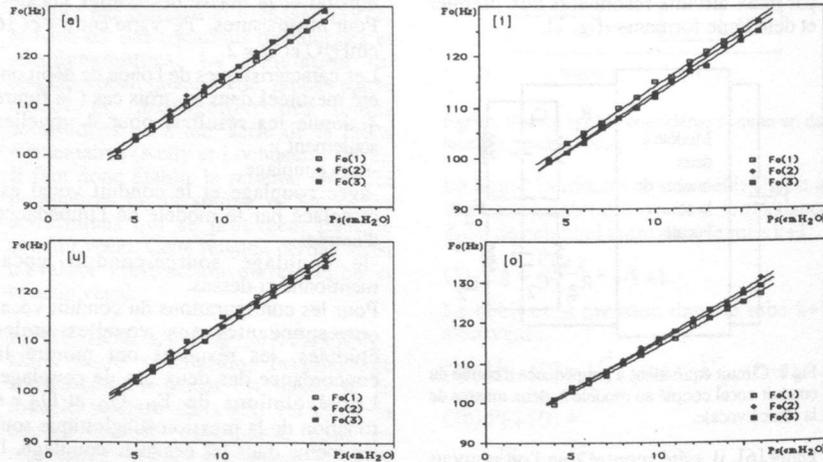


Fig 4a. Relation entre  $F_0$  et  $P_S$  pour les voyelles [a], [i], [u] et [o].  
 $F_0(1)$ : sans couplage,  $F_0(2)$ : couplage avec circuits résonnants,  
 $F_0(3)$ : couplage avec le modèle Kelly-Lochbaum.

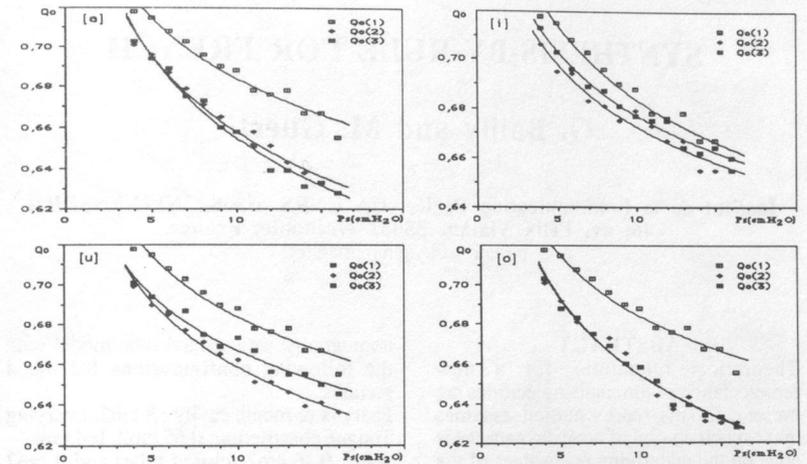


Fig 4b. Variation de  $Q_0$  avec  $P_S$  pour les voyelles [a], [i], [u] et [o].  
 $Q_0(1)$ : sans couplage,  $Q_0(2)$ : couplage avec circuits résonnants,  
 $Q_0(3)$ : couplage avec le modèle Kelly-Lochbaum.

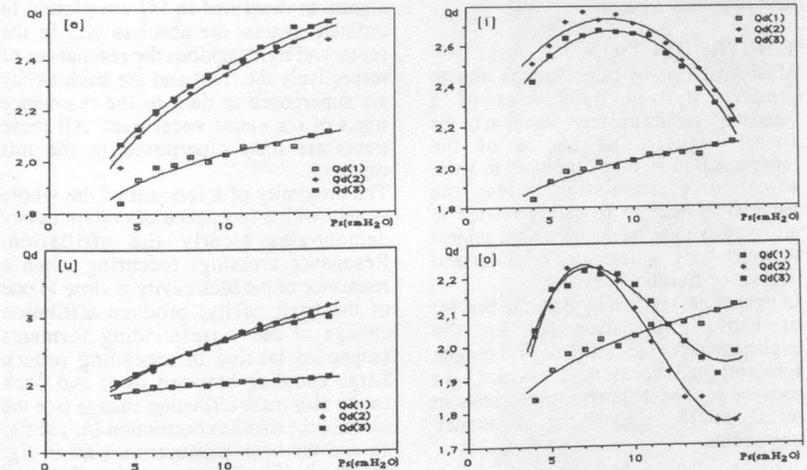


Fig 4c. Evolution de  $Q_d$  avec  $P_S$  pour les voyelles [a], [i], [u] et [o].  
 $Q_d(1)$ : sans couplage,  $Q_d(2)$ : couplage avec circuits résonnants,  
 $Q_d(3)$ : couplage avec le modèle Kelly-Lochbaum.