



HAL
open science

Fréquence fondamentale et pression intra-orale

Albert Di Cristo, Bernard Teston

► **To cite this version:**

Albert Di Cristo, Bernard Teston. Fréquence fondamentale et pression intra-orale. *Larynx et Parole*, Feb 1979, Grenoble, France. pp.329-366. hal-00241538

HAL Id: hal-00241538

<https://hal.science/hal-00241538>

Submitted on 6 Feb 2008

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.

SÉMINAIRE LARYNX & PAROLE

INSTITUT DE PHONÉTIQUE

GRENOBLE – 8-9 FÉV. 1979

FRÉQUENCE FONDAMENTALE ET PRESSION INTRAORALE

Étude d'un cas d'interférence entre les variations d'un paramètre aérodynamique et celles du rythme de vibration des cordes vocales, en vue d'une explication de la F_0 intrinsèque des consonnes voisées.

Albert DI CRISTO – Bernard TESTON

Institut de Phonétique d'Aix-en-Provence

RÉSUMÉ

Nous présentons dans cette communication, les premiers résultats d'une étude comparative sur les variations de la fréquence fondamentale (F_0) et de la pression intraorale (PIO) qui accompagnent l'émission des consonnes voisées du français.

Au cours de la première partie de cette étude, nous commentons les principales techniques qui sont utilisées pour la mesure des paramètres aérodynamiques de la parole et nous décrivons les méthodes d'investigation que nous avons retenues.

Dans la seconde partie, nous dressons un bilan sommaire des résultats acquis dans les recherches sur la PIO.

Enfin, nous effectuons, dans la troisième partie, une analyse expérimentale des variations de la F_0 et de la PIO qui sont réalisées pendant la production des consonnes voisées. Ces recherches font apparaître qu'il existe une forte corrélation positive entre les valeurs de la rupture négative de F_0 ($R F_0$) et celles du pic de PIO. Les variations intrinsèques de la F_0 des consonnes et celles de leur PIO vont dans le même sens. Les valeurs de $R F_0$ et de PIO sont plus fortes, d'une part, pour les constrictives que pour les occlusives et, d'autre part, pour les obstruan-

tes postérieures que pour les obstruantes antérieures. Des explications de ces phénomènes sont proposées dans la dernière partie de cette étude.

SUMMARY

In this paper we present the first results of a comparative study of the variations of the fundamental frequency (Fo) and the intraoral pressure (PIO) accompanying voiced consonants in French.

In the first part of the paper we comment on the main techniques used to measure aerodynamic parameters of speech and describe the methods of investigation we adopt.

In the second part we give a brief survey of the results obtained in research on PIO.

In the third part we carry out an experimental analysis of the variations of Fo and PIO during the production of voiced consonants. A strong positive correlation is shown to exist between the values of the drop in pitch (R Fo) and the peak values of PIO. The intrinsic variations of Fo for the consonants vary in the same direction as their PIO values. The values for both R Fo and PIO are higher on the one hand for fricatives than for stops and on the other hand for back obstruents than for front obstruents. Some explanations for these phenomena are proposed in the final part of this paper.

SÉMINAIRE LARYNX & PAROLE

INSTITUT DE PHONÉTIQUE

GRENOBLE – 8-9 FÉV. 1979

FRÉQUENCE FONDAMENTALE ET PRESSION INTRAORALE

Étude d'un cas d'interférence entre les variations d'un paramètre aérodynamique et celles du rythme de vibration des cordes vocales, en vue d'une explication de la F_0 intrinsèque des consonnes voisées.

Albert DI CRISTO – Bernard TESTON
Institut de Phonétique d'Aix-en-Provence

INTRODUCTION

Nous nous proposons, dans cet exposé, de décrire les relations qui associent les variations de la pression intraorale (PIO) à celles de la fréquence fondamentale (F_0), au cours de l'émission des consonnes voisées du français. Dans cette perspective, nous poursuivrons un double but. D'une part, nous tenterons de mettre en lumière les incidences des fluctuations d'un paramètre aérodynamique sur le rythme de vibration des cordes vocales pendant la phonation. D'autre part, nous nous efforcerons de présenter une explication plausible des variations intrinsèques de la F_0 des consonnes voisées.

Au cours de la première partie de cette étude, nous évoquerons brièvement les différentes méthodes qui ont été adoptées jusqu'à présent pour procéder à la mesure de certains paramètres aérodynamiques (pression intraorale et débit d'air buccal). Nous décrirons ensuite, dans la seconde étape de ce travail, les techniques d'investigations que nous avons utilisées. La troisième partie de cette recherche sera consacrée à la présentation des principaux résultats acquis dans les travaux sur la pression intraorale. Enfin, nous procéderons dans la dernière partie de notre exposé, à l'analyse comparative des variations de la F_0 et de la PIO qui accompagnent la production des obstruantes voisées en français. Cette ultime étape nous conduira à proposer une explication des variations intrinsèques de la F_0 des consonnes voisées, fondée sur nos propres résultats et sur ceux de nos prédécesseurs.

1 – Rappel des méthodes et des techniques d'investigation

Les premières recherches sur les fluctuations de la pression intraorale et du débit d'air buccal au cours de l'émission de la parole ont été entreprises très tôt par Rousselot (1897-1907) qui a utilisé le Kymographe pour étudier ces deux paramètres. Toutefois, l'emploi des capsules pneumatiques de Marey, pour la mesure de la pression intraorale (PIO) et du débit d'air buccal (qualifié de « pression buccale » par certains phonéticiens), perturbait considérablement la dynamique phonatoire en créant des surpressions importantes dans le conduit vocal. Mais les progrès accomplis en ce qui concerne l'instrumentation et, plus particulièrement, les capteurs de pression, ont permis d'entreprendre de nouvelles expériences pour parfaire nos connaissances sur les mécanismes de la phonation (Fry, 1960).

Les mesures de la PIO peuvent être réalisées à partir de deux méthodes :

- la méthode directe qui consiste à fixer un capteur de pression à l'endroit même où l'on souhaite effectuer la mesure ;
- la méthode indirecte qui reste la plus couramment utilisée et qui permet d'enregistrer les variations de pression par l'intermédiaire d'une sonde située à l'intérieur du conduit vocal.

Malécot (1966) procède à des analyses de la pression intraorale à l'aide d'une sonde qui est introduite par une narine et qui est fixée dans l'oropharynx à proximité de la luette. Brown & Mc Glone (1969) utilisent également une sonde qui est introduite dans la cavité buccale, mais celle-ci est solidaire d'un tube préformé en contournant la face externe des dents et les dernières molaires. La première méthode a été employée notamment par Koike & Perkins (1968) qui ont réussi, en se servant d'un capteur de pression très petit, à effectuer des enregistrements de la PIO et de la pression sousglottique. Cette méthode a pour principal avantage de permettre une mesure directe. Elle présente, cependant, de sérieux inconvénients. Les faibles dimensions du capteur (quelques millimètres de diamètre) entraînent une réduction notable de leur sensibilité. D'autre part, il est impossible d'enregistrer, avec ce type de capteur, des variations de pression très lentes. Enfin, les mises en contact éventuelles du capteur avec les muco-sités et avec la salive du sujet, engendrent des perturbations de la mesure qui sont difficiles à évaluer.

On peut reprocher à la méthode adoptée par Malécot (1966) de ne pas opérer des mesures directes et d'utiliser des sondes qui provoquent des distorsions importantes dans la représentation des temps de montée,

ainsi que des phénomènes de rebondissement, des résonances, etc. Afin de réduire ces perturbations, Fisher-Jørgensen & Tybaerg-Hansen (1969) emploient un fluide incompressible dans la sonde de mesure comme transmetteur de pression. Bien que le recours à cette solution ne paraisse pas s'imposer, il n'en demeure pas moins que certaines précautions doivent être prises en ce qui concerne principalement la longueur de la sonde et le volume mort du capteur de pression.

Teston (1976) a étudié l'ensemble sonde-capteur en régime transitoire. Il a analysé les effets de distorsions sur les temps de montée de la pression et les phénomènes de résonance, en examinant plusieurs types de sondes.

La méthode employée par Brown and Mc Glone ainsi que par plusieurs autres auteurs, présente également deux inconvénients majeurs. D'une part, l'orifice de la sonde risque d'être oblitéré par les contacts de la langue au cours de la phonation. D'autre part, l'introduction de salive (par capillarité) dans les sondes de faible diamètre peut être la source de nombreuses erreurs de mesure.

Les capteurs de pression utilisés dans les travaux sur la PIO sont très divers et souvent inadaptés aux mesures que l'on souhaite effectuer, ce qui est reflété par la grande hétérogénéité des résultats présentés par les auteurs. Toutefois, si l'on considère la rapidité et la dynamique des fluctuations de la PIO, il apparaît que le capteur de pression adéquat n'est pas très difficile à trouver à condition que ce dernier permette de mesurer des pressions statiques.

En revanche, les mesures du débit d'air buccal qui accompagnent généralement celles de la PIO sont plus délicates à effectuer, ce qui se traduit par une grande diversité des méthodes.

Quigley & al. (1963) emploient un anémomètre à fil chaud pour mesurer les variations des débits d'air nasal et buccal. Mais cette méthode a fait l'objet de sévères critiques. Son principal inconvénient réside dans le fait que ce type de capteur n'est pas capable de répondre assez rapidement aux variations des débits d'air qui sont produites pendant la phonation. De ce fait, les chercheurs préfèrent utiliser des systèmes de mesure de ventilométrie respiratoire. Ces derniers sont constitués par une charge résistive à l'écoulement de l'air aux bornes de laquelle est connecté un capteur de pression sensible. C'est ainsi, par exemple, que Hirano & al. (1970) se servent d'un pneumotacographe, alors que

Hixon (1971) et Gilbert (1973) utilisent une charge constituée par un Venturi.

Afin de ne pas trop perturber la mécanique phonatoire, il faut éviter de provoquer des surpressions importantes dans le conduit vocal. Cette condition implique une charge résistive de faible valeur, la différence aux bornes ne devant pas, selon nous, excéder 0,5 millibars.

Pour ces raisons, les résistances des têtes de pneumotacographe à écoulement laminaire (Fleisch) nous paraissent trop importantes, car elles sont utilisées pour l'étude des phénomènes respiratoires. Il semble donc que les Venturi soient mieux adaptés aux recherches phonétiques.

Le choix des capteurs s'avère plus délicat pour les mesures de débit que pour celles de la PIO. Ils doivent, en effet, être à la fois plus rapides et plus sensibles, ce qui, à priori, est assez incompatible. Par ailleurs, la grande sensibilité de ces capteurs nécessite beaucoup de soins lors de leurs manipulations.

2 – Présentation du polyphonomètre de l'Institut de Phonétique d'Aix-en-Provence

Nous utilisons, pour l'étude des paramètres aérodynamiques, le polyphonomètre élaboré par Teston (1976). Cet appareil a été récemment perfectionné, grâce à l'emploi de capteurs thermostatés dont la dérive moins importante autorise une meilleure précision des mesures.

Le polyphonomètre est constitué de trois capteurs de pression différentiels et de trois capteurs acoustiques. Les capteurs de pression sont associés à deux venturi de section de col réglable et à différents types de sondes.

Les capteurs acoustiques comprennent deux microphones et un laryngophone. Ces différents capteurs et leurs dispositifs de conditionnement des signaux permettent de procéder à l'analyse des paramètres suivants :

- débit d'air buccal,
- débit d'air nasal,
- pression intraorale,
- pression sousglottique,
- volume d'air buccal,
- volume d'air nasal,

- pression différentielle pharynx-trachée,
- son buccal,
- son nasal,
- vibration laryngienne.

Nous n'avons retenu, dans la présente étude, que certains de ces paramètres : son buccal et son nasal, vibrations laryngiennes, débit d'air buccal et pression intraorale (fig. 1).

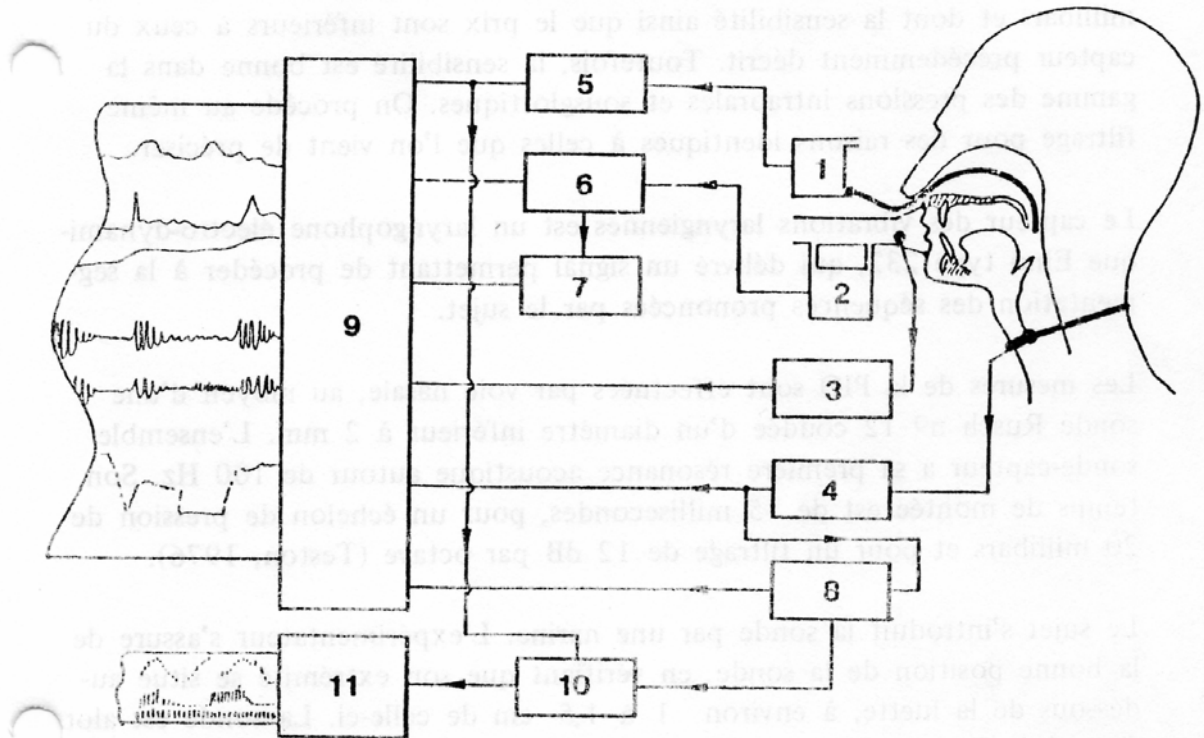


Figure 1

Diagramme du plan d'expérience. 1) Capteur de la pression intraorale. 2) Embouchure buccale et capteur du débit d'air buccal. 3) Amplificateur et filtre du son buccal. 4) Amplificateur du laryngophone. 5) Amplificateur et filtre de la P.I.O. 6) Amplificateur et filtre du débit d'air buccal. 7) Intégrateur du volume d'air buccal. 8) Détecteur de mélodie. 9) Enregistreur oscillographique oscillomink. 10) Calculateur T 1600. 11) Imprimante rapide Houston.

en résine blanche (du type dentine) polymérisée à chaud, au moyen des moules de plâtre obtenus par la méthode dite « de la cire perdue ». Nous disposons de trois sortes d'embouchures, qui permettent une adaptation satisfaisante aux différentes morphologie exacte du locuteur, à l'aide d'une pâte de prise d'empreinte Optosil (méthode Xantopren). L'étanchéité ainsi réalisée est quasi parfaite et l'embouchure n'entrave pratiquement pas l'élocution du sujet. Nous procédons, bien évidemment, à des essais et à une mise en condition du sujet avant d'opérer des mesures.

L'enregistrement des différents paramètres s'effectue au moyen d'un oscillographe à six canaux (vitesse de défilement : 100 ou 250 mm/s., suivant les documents). Pour évaluer les variations de la Fo et de l'intensité, nous utilisons les détecteurs élaborés par Teston (1972). Avant chaque expérience, nous procédons à la calibration des différents paramètres. Celle-ci est réalisée sous la forme de paliers équidistants gradués en millibars, pour la PIO, en litres par minute, pour le débit d'air buccal ; en litres, pour le volume d'air, en Hertz, pour la Fo et en dB, pour l'intensité.

Afin d'obtenir directement des courbes quantifiées, nous procédons également au traitement automatique des paramètres PIO et Fo, à l'aide du système décrit par Teston et Rossi (1977). Nous substituons, dans ce cas, le tracé de la PIO à celui de l'intensité, ce qui permet de procéder à une analyse directe des relations entre la PIO et la Fo.

Avant chaque manipulation, nous vérifions la calibration des capteurs de pression, en employant des manomètres à liquide Birkholz, de + 2 mb et + 40 mb, et un système de mise en pression à seringue. Malgré la faible dérive des capteurs, cette opération est effectuée régulièrement par mesure de sécurité.

3 - *Bilan des travaux sur la PIO*

Les recherches sur les variations de la pression intraorale qui accompagnent l'émission des segments phonétiques au cours de la production de la parole, sont aussi nombreuses que diversifiées. Les multiples travaux qui ont été réalisés dans cette voie ont permis de mettre en lumière plusieurs tendances.

— Il est apparu, notamment, dans de nombreuses études consacrées à l'anglais, que la PIO des obstruants non voisés est régulièrement supérieure à celle des voisés (Black, 1950., Malecot, 1955, 1966, 1969, 1970., Yanagihara & Hyde, 1966., Fischer-Jørgensen, 1964., Isshiki & Ringel, 1964.,

Warren, 1964., Subtelny & al., 1966., Arkebauer & al., 1967., Ringel & al., 1967., Brown & Mc Glone, 1969., Netsell, 1969., Warren & Wood, 1969., Brown & al., 1970., Lubker & Parris, 1970., Lisker, 1971., Leeper & Noll, 1971., Scully, 1972., Brown & al. 1973., Tatham & Morton, 1973., Warren & Hall, 1973., Murry & Brown, 1975., Haag, 1977., Bernthal & Beukelman, 1978).

– On a pu observer, également, que la PIO varie en fonction de la place de la consonne dans le mot et qu'elle est généralement plus élevée pour les consonnes initiales que pour les consonnes finales (Black, 1950., Subtelny & al. 1966., Arkebauer & al. 1967., Brown & al. 1970., Brown & Ruder, 1972., Bernthal & Beukelman, 1978).

– Il semble, par ailleurs, que les valeurs de la PIO enregistrées durant la réalisation des différentes consonnes soient en partie liées à des facteurs extralinguistiques comme l'âge et le sexe des locuteurs. C'est ainsi, par exemple, que les recherches récentes de Bernthal & Beukelman (1978) montrent que ces valeurs sont plus fortes pour les enfants que pour les adultes et pour les hommes que pour les femmes. Ces auteurs confirment ainsi les analyses antérieures de Whalen & Hardy (1962) et de Subtelny & al. (1966), mais ils infirment du même coup celles de Arkebauer (1964) et de Brown & Mc Glone (1969), suivant lesquelles il n'existerait aucun lien entre les valeurs de la PIO et la dimension du conduit vocal.

– De même, les travaux qui ont tenté d'établir une relation entre l'accentuation et la PIO aboutissent souvent à des résultats antagoniques. Si des chercheurs comme : Subtelny & al. (1966), Malécot (1968) et Lubker & Parris (1970) trouvent que les syllabes accentuées sont émises avec une PIO supérieure à celle des syllabes inaccentuées, en revanche, Netsell (1970), ainsi que Brown & Mc Glone (1970) ne relèvent pas de différence significative entre ces deux types de syllabes.

Les variations de la PIO, au cours de l'émission d'un segment consonantique, dépendent essentiellement des diverses résistances qui s'opposent à l'écoulement du flux d'air dans le conduit vocal. Quand la résistance principale est constituée par la présence d'une occlusion ou par celle d'une friction dans la cavité buccale, l'écoulement du flux d'air est interrompu ou entravé, et la pression intraorale augmente rapidement. C'est ainsi que la PIO décroît régulièrement lorsqu'on passe des obstruantes non voisées aux voisées et de ces dernières aux consonnes nasales (Isshiki & Ringel, 1964., Van Hattum & Worth, 1967).

La baisse de la PIO qui accompagne l'émission des obstruantes voisées est provoquée par l'incidence d'une résistance additionnelle (la résistance glottique) qui résulte de l'adduction des cordes vocales, alors que celle qui se produit au cours de la réalisation des consonnes nasales, découle des effets conjoints de ce facteur et de la fuite d'air engendrée par l'abaissement du velum.

Afin que le voisement puisse être maintenu pendant l'articulation des obstruantes voisées, il est indispensable que la PIO demeure inférieure à la pression sousglottique. Le maintien d'une PIO relativement faible durant l'émission de ces consonnes peut être obtenu par la mise en œuvre indépendante ou interactive de plusieurs processus d'accommodation (Rothenberg, 1968) :

- une distension passive des parois du conduit vocal, qui serait engendrée par l'augmentation de la pression intra-buccale et par un relâchement généralisé des activités musculaires.
- une expansion active du volume de l'oropharynx, qui se manifesterait notamment : par un élargissement de la dimension antéro-postérieure du pharynx, par le relèvement du velum et par un abaissement du larynx.
- la réalisation d'une ouverture vélopharyngale qui permettrait à la pression d'air excédentaire de s'écouler par les fosses nasales.

L'augmentation passive du volume du conduit vocal pourrait être facilitée par le contact moins ferme des articulateurs durant la réalisation des obstruantes voisées qu'observent plusieurs auteurs (Simon, 1967., Fujimura & al. 1973).

Toutefois, la durée du voisement des obstruantes est trop importante et l'incrémentation du volume des cavités engendrée par la dilatation passive, trop faible, pour que cette dilatation suffise à maintenir, toutes choses égales par ailleurs, l'écoulement d'un flux d'air transglottique pendant la tenue de ces consonnes (Rothenberg, 1968., Warren, 1976). Il est donc plus vraisemblable que l'accroissement du volume du tractus vocal résulte de la mise en œuvre de processus actifs.

La dimension antéropostérieure de l'oropharynx peut être élargie à l'aide d'un déplacement vers l'avant de la racine de la langue (Perkell, 1965., 1969., Kent & Moll, 1969). La longueur de l'oropharynx est accrue par l'abaissement du larynx (Hudgins & Stetson, 1935., Stetson, 1951., Ewan & Krones, 1972., Bothorel, 1975., Gandour & Maddieson, 1976) qui constitue, de toute évidence, un processus actif nécessitant la contraction

des muscles infra-hyoïdiens. Perkell (1969) observe, en outre, que l'émission des obstruantes voisées s'accompagne d'un relèvement de la porte vélique, lequel contribue ainsi à accroître la dimension verticale de l'oropharynx.

Les analyses électromyographiques récentes de Bell-Berti (1975) font apparaître que l'augmentation du volume de l'oropharynx résulte à la fois d'une distension passive et de la mise en œuvre de processus actifs. Cet auteur observe notamment que les contractions des muscles élévateurs du palais et du sternohyoïde sont plus fortes au cours de l'articulation des consonnes voisées que pendant celle des consonnes non voisées.

Le rôle de l'ouverture vélopharyngale dans la régulation de la PIO peut être déduit des résultats obtenus dans diverses recherches. Plusieurs travaux montrent que les consonnes orales peuvent être émises avec un certain débit d'air nasal (Yanagihara & Hyde, 1966., Van Hattum & Worth, 1967., Lubker, 1968., Fritzell, 1969., Subtelny & al. 1969).

Toutefois la contribution de l'ouverture vélopharyngale au contrôle de la PIO est contestée par la plupart des chercheurs (Lubker & Moll, 1965., Rothenberg, 1968, Lubker & al. 1972, Lubker, 1973). Lubker (1973) réfute l'hypothèse suivant laquelle la fuite d'air par les fosses nasales permettrait de réduire la PIO. Il conclut que l'expansion active de la cavité pharyngale est le principal facteur de la régulation de la PIO.

Il convient également de préciser que les modifications de la résistance glottique (R_g) ont des incidences importantes sur les variations de la PIO. L'augmentation de la résistance glottique pendant l'émission des consonnes voisées (1) a pour résultat de réduire l'écoulement du flux d'air transglottique, ce qui entraîne un accroissement moins rapide de la PIO dans le conduit vocal. Ce fait est mis en évidence par des études comparatives portant sur la parole naturelle et sur la parole chuchotée (Lindqvist, 1969., Malécot, 1970., Schwartz, 1971., Shipp, 1975., Murry & Brown, 1976). Dans cette perspective l'hypothèse qu'avancent Halle et Stevens (1967) pour rendre compte du maintien du voisement pendant la réalisation des obstruantes, est difficilement défendable. Selon ces auteurs, les cordes vocales s'ajusteraient d'une façon particulière avant l'émission d'une consonne voisée, afin d'augmenter l'ouverture de la glotte. Celle-ci permettrait à (R_g) de diminuer, ce qui favoriserait ipso facto la continuité du voisement pendant la tenue de la consonne, notwithstanding la réduction du débit d'air transglottique. Or, la réduction de (R_g) peut engendrer un écoulement d'air plus important et donc, une

augmentation plus rapide de PIO. La mise en œuvre du processus compensatoire postulé par Halle et Stevens donnerait ainsi lieu à des résultats contraires à ceux qui sont attendus (Ohala, 1974).

Il est donc légitime d'admettre, au terme de cet exposé, que la diminution de la PIO que l'on peut enregistrer durant la réalisation des obstruantes voisées, résultent, d'une part, de l'expansion active de la cavité pharyngale, et d'autre part, de la diminution de la résistance glottique.

4 – Fréquence fondamentale et pression intraorale

L'analyse des variations de la fréquence fondamentale qui accompagnent l'émission des consonnes voisées du français fait apparaître (2) :

- que la rupture négative de la fréquence fondamentale (R Fo) est plus grande pour les consonnes initiales que pour les consonnes médianes (tableau 1).
- que cette rupture est plus importante pour les constrictives que pour les occlusives (tableaux, 2, 3, 4).
- que, en règle générale, la valeur de (R Fo) tend à croître en fonction du recul du lieu d'articulation consonantique (tableaux 2, 3, 4 et fig. 2).

Compte tenu de ces résultats, il est donc légitime de parler de la fréquence intrinsèque des consonnes voisées du français. Les différences les plus importantes sont dues au mode articulaire : occlusif \sim constrictif ($t(210) = 6.55$; $P < .001$). Celles qui concernent le lieu sont nettement moins accusées, bien que les écarts de (R Fo) enregistrés entre les labiales et les palatovélaires demeurent toujours hautement significatifs ($P < .01$).

		BOË (1973)	DI CRISTO (1978)
OCCLUSIVES VOISÉES	INITIALES	5	3.5
	MÉDIANES	2.9	3.2
CONSTRUCTIVES VOISÉES	INITIALES	7.5	4.5
	MÉDIANES	4.8	3.7

Tableau I

Valeurs moyennes en quart de ton (q.t.) de la rupture négative de Fo (R Fo) pendant l'émission des obstruantes voisées (occlusives et constrictives). D'après les résultats de BOË (1973), et de DI CRISTO (1978).

	b		d		g		b-d-g	
	%	q.t.	%	q.t.	%	q.t.	%	q.t.
LOC. 1	7.0	2.3	7.0	2.3	9.0	3.0	8.0	2.6
LOC. 2	9.0	3.0	14.0	4.5	15.0	4.9	12.7	4.0
LOC. 3	8.0	2.7	9.0	3.0	9.0	3.0	9.0	3.0
LOCS 1-3	8.0	2.7	10.0	3.3	11.0	3.6	9.6	3.2

Tableau 2

Valeurs moyennes (en % et en quart de ton) de la rupture négative de Fo (R Fo) pour les occlusives voisées intervocaliques. D'après DI CRISTO (1978).

	v		z		ʒ		v-z-ʒ	
	%	q.t.	%	q.t.	%	q.t.	%	q.t.
LOC. 1	9.5	3.1	10.0	3.3	16.0	5.2	12.0	3.9
LOC. 2	9.5	3.1	11.5	3.7	—	—	10.0	3.3
LOC. 3	9.0	3.0	10.0	3.3	16.0	5.2	11.7	3.8
LOCS 1-3	9.3	3.0	10.5	3.4	16.0	5.2	11.3	3.7

Tableau 3

Valeurs moyennes (en % et en quart de ton) de la rupture négative de Fo (R Fo) pour les constrictives voisées intervocaliques. D'après DI CRISTO (1978).

	b	d	g	v	z	ʒ
LOCUTEURS (7)	7.5	9.8	10.6	10.9	11.5	16.9
LOCUTRICE (1)	12.2	16.3	17.9	13.3	16.5	19.0

Tableau IV

Valeurs moyennes (en %) de la rupture négative de Fo (R Fo) pendant l'émission des obstruantes voisées du français. Résultats de l'analyse du second corpus (DI CRISTO, 1978).

Les mesures de PIO effectuées par nos prédécesseurs montrent notamment que les valeurs de ce paramètre sont plus fortes pour les consonnes initiales que pour les consonnes médianes ou finales (Black, 1950., Brown & al. 1970., Brown & Ruder, 1972).

D'autre part, si nous examinons les résultats obtenus par plusieurs chercheurs (Black, 1950., Malécot, 1969., Warren & Wood, 1969), nous

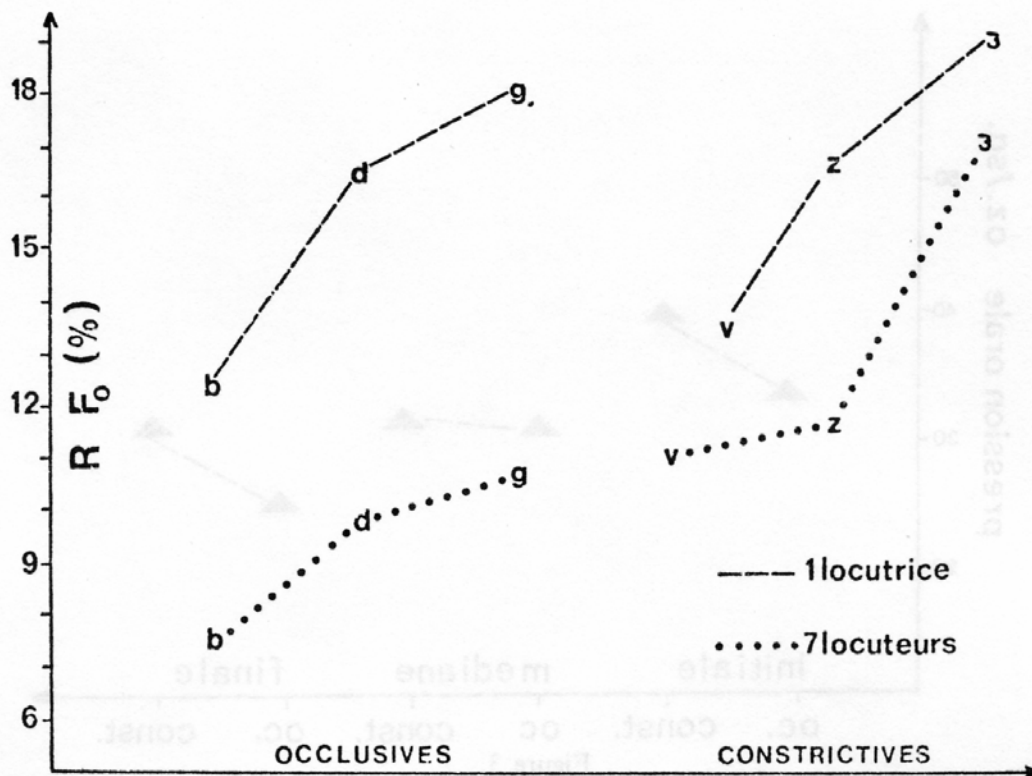


Figure 2

Variations de R Fo (%), en fonction du lieu d'articulation des obstruantes voisées du français.

pouvons remarquer que les valeurs de la PIO sont plus élevées pour les constrictives que pour les occlusives (fig. 3, 4 et 5).

Les travaux que nous avons consultés ne présentent que des données très incomplètes sur les relations entre les variations de la PIO et les changements du lieu articulaire. Cela tient au fait que la plupart des chercheurs ont limité leurs investigations à l'analyse des labiales. Néanmoins, Malécot (1966) et Smith (1972) observent que le pic de PIO mesuré au cours de l'articulation des dentoalvéolaires est nettement supérieur à celui des labiales. Ces observations sont confirmées par les études de Brown & al. (1970) et de Murry & Brown (1975). Les calculs que nous avons effectués en reprenant les données de Brown & al. (1970) indiquent, par exemple, que la PIO moyenne pour [d] est de 6,98 cm/H₂O, alors qu'elle n'excède pas 5,02 cm/H₂O pour [b].

Ces divers résultats nous ont conduit à penser qu'il devait exister un lien rigide entre les variations intrinsèques de la Fo des obstruantes voisées du français et celles de la PIO des dites obstruantes. C'est afin

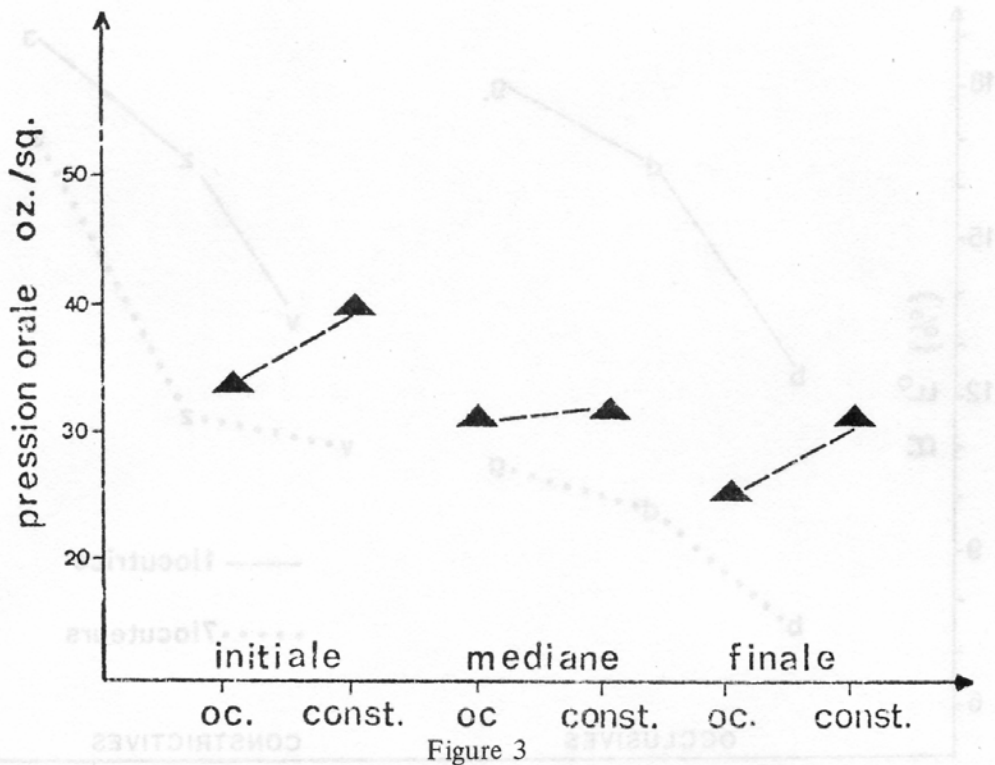


Figure 3

Variations de la pression intraorale (P.I.O.) en fonction du mode articutoire des obs-
truanes (OC : occlusives. CONST : constrictives). D'après les résultats de BLACK, 1950,
p. 209.

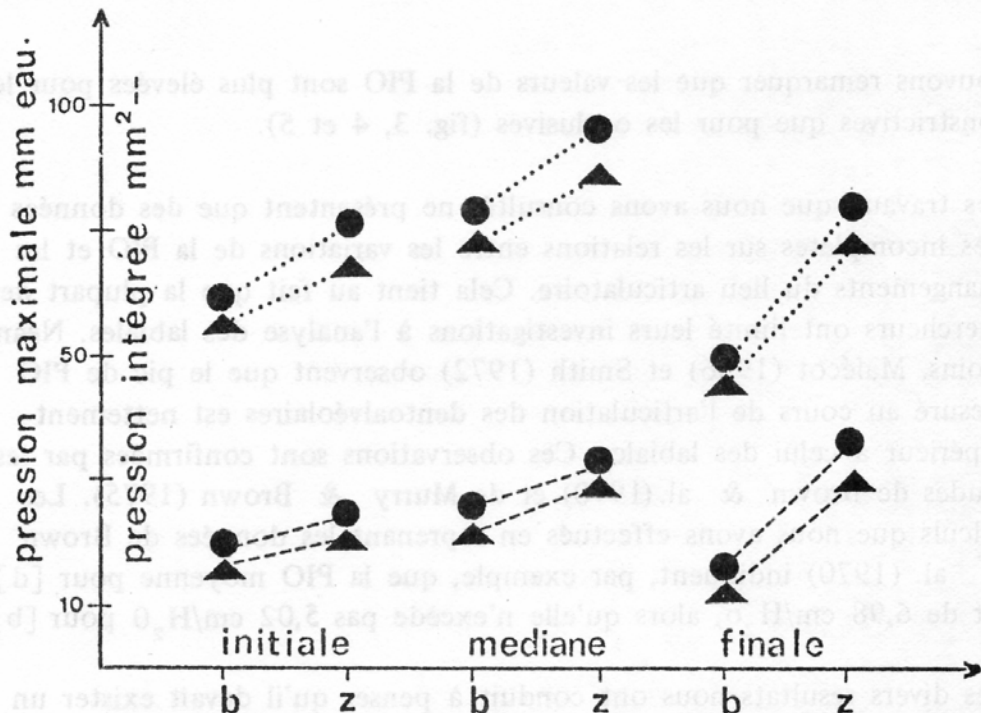


Figure 4

Variations de la pression intraorale (P.I.O.) en fonction du mode articutoire (/b/ ≠/z/).
D'après MALÉCOT, 1969, pp. 210 et 215.

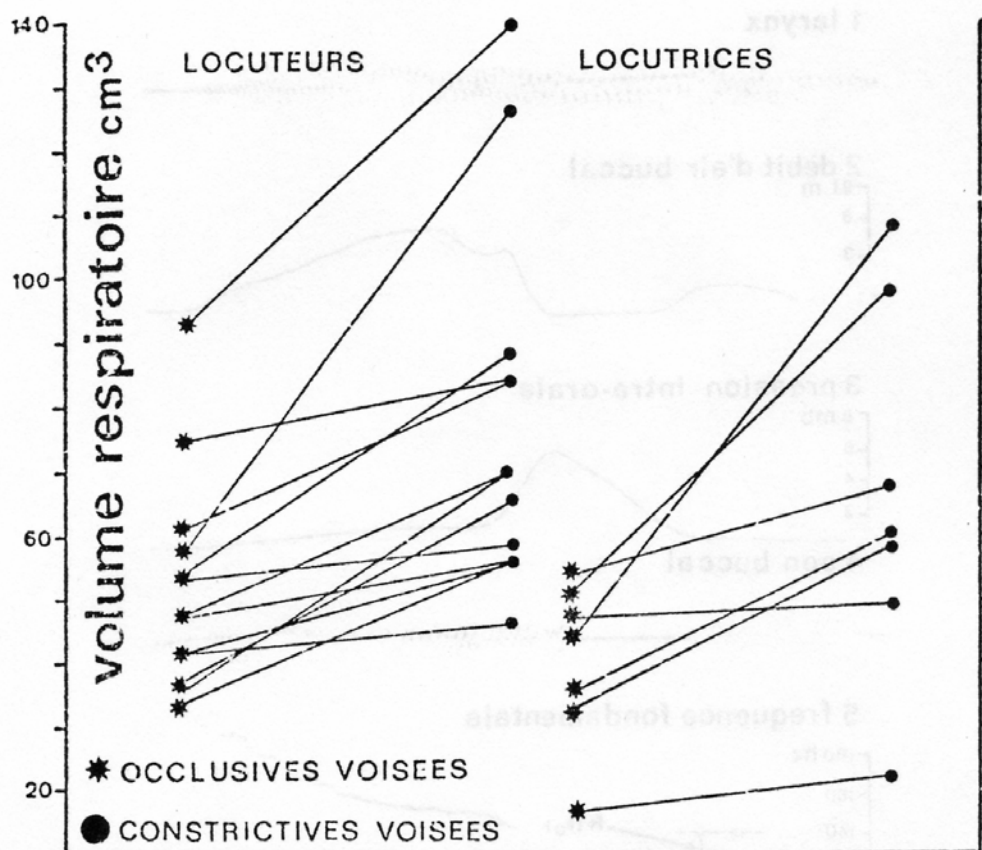


Figure 5

Différences de volume d'air respiratoire entre les occlusives voisées et les constructives voisées (20 sujets). D'après les résultats de WARREN & WOOD, 1969, p. 468.

de vérifier cette hypothèse que nous avons entrepris (Di Cristo, 1978) d'effectuer une analyse instrumentale comparative des variations de la PIO et de la Fo de ces consonnes.

Pour mener à bien cette étude préliminaire, nous avons retenu un seul sujet. Ce dernier devait répéter des séquences V C V sur un ton monocoerde en adoptant un débit syllabique identique à celui de la parole continue. Dans ces séquences, V est toujours représentée par [a] et C, par l'une des consonnes suivantes : [b, d, g, v, z, l, r]. Chaque séquence a donné lieu à sept répétitions et l'expérience a été reconduite une seconde fois. Nous nous sommes attaché principalement à mesurer les valeurs de la PIO et de la rupture négative de Fo (R Fo) des différentes consonnes voisées. Ces mesures ont été réalisées en un même point de l'axe temporel : celui qui correspond à la valeur la plus basse de Fo durant l'émission de la consonne (fig. 6).

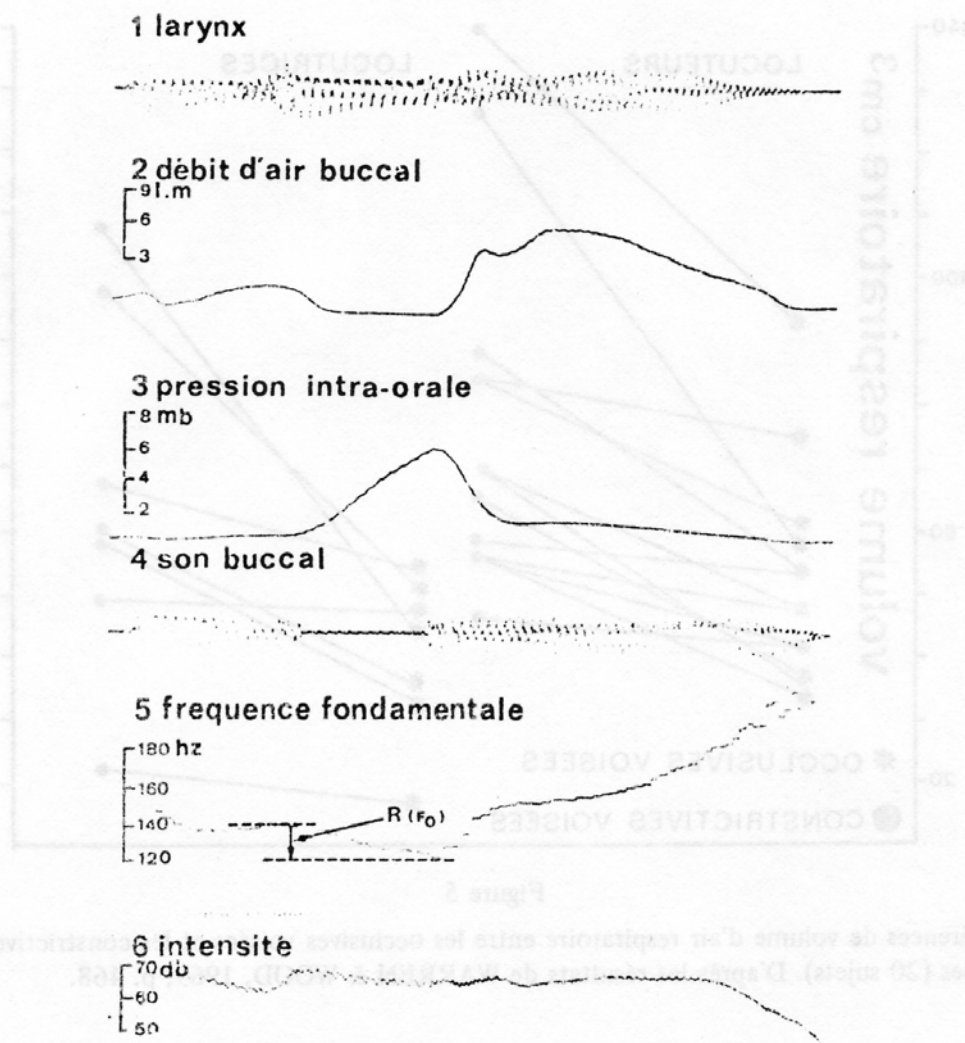


Figure 6

Illustration des tracés obtenus à l'aide du polyphonomètre et des détecteurs de mélodie et d'intensité. Vitesse de défilement du papier : 250 mm/s.

Les résultats des mesures relatives au paramètre PIO sont consignés dans le tableau 5 et illustrés par la fig. 7. On remarque aussitôt, à l'examen de ces documents, que les variations de la PIO obéissent aux mêmes tendances que celles que nous avons déjà observées en ce qui concerne les évolutions de F_0 . C'est ainsi que la PIO des constrictives voisées est significativement supérieure à celle des occlusives voisées ($P < .01$). De même, les différences entre [b] et [d - g], d'une part, et entre [v - z] et [z], d'autre part, sont importantes et toujours significatives à .01.

	b	d	g	v	z	ʒ
P.I.O.	5.7	7.0	7.1	8.2	8.2	9.2

Tableau V

Valeurs moyennes de la pression intraorale (P.I.O.) en millibars pendant l'émission des occlusives et des constrictives voisées.

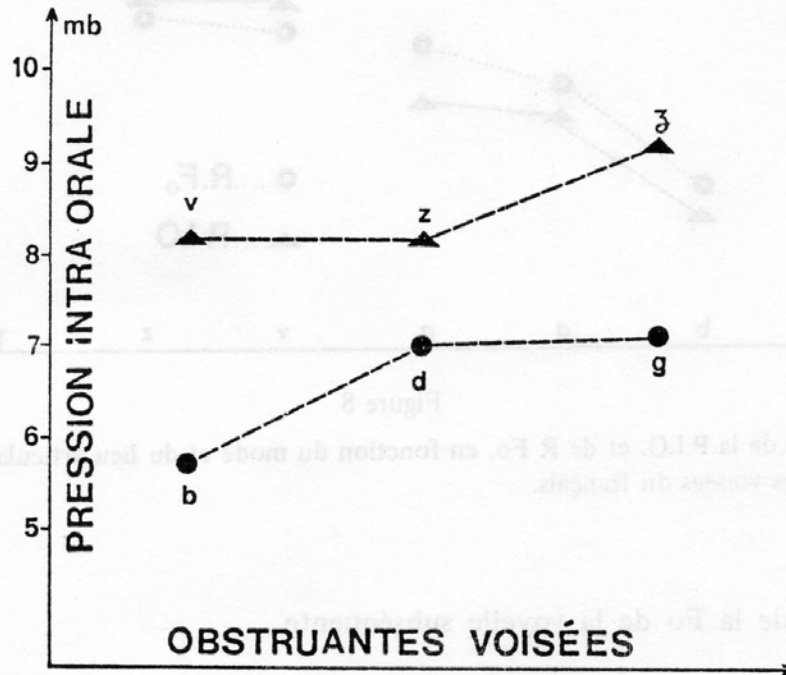


Figure 7

Variations de la pression intraorale (P.I.O.) en fonction du mode d'articulation des obstruantes voisées du français.

Le parallélisme entre l'évolution de PIO et celle de (R Fo) est donc établi. Il est nettement mis en évidence par la fig. 8, sur laquelle nous avons rassemblé les résultats du second corpus (étude de la Fo intrinsèque des consonnes voisées) et ceux de notre analyse de la PIO. La relation inverse qui lie l'évolution de la PIO à celle de Fo est corroborée, en outre, par une étude comparative minutieuse des tracés de Fo et de PIO. Nous constatons, par exemple, que le front de montée de la PIO est extrêmement raide dans le cas d'une obstruante non voisée (fig. 9). L'élévation rapide de la PIO s'accompagne dans ce cas d'une chute brutale du débit d'air buccal et de Fo. Au terme de la tenue, la PIO décroît très vite, alors qu'on observe simultanément une augmentation du débit et une rupture

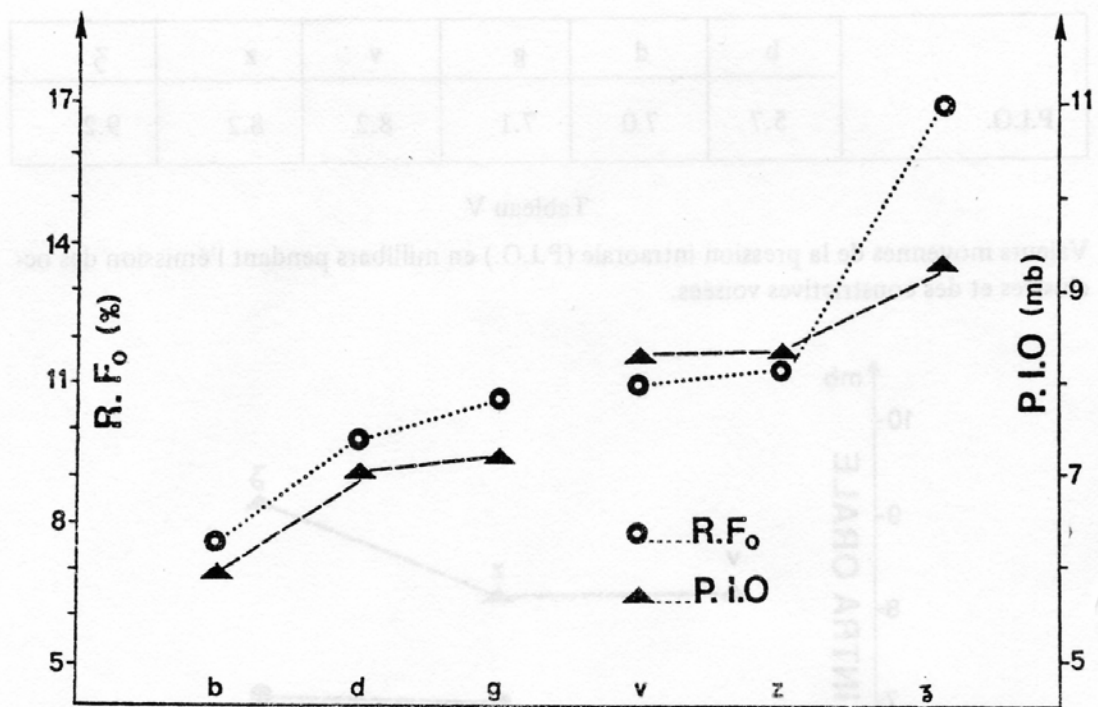


Figure 8

Variations de la P.I.O. et de R Fo, en fonction du mode et du lieu articuloires des obstruantes voisées du français.

positive de la Fo de la voyelle subséquente.

Pendant l'émission d'une obstruante voisée, le temps de montée de la PIO est plus lent (fig. 10). La valeur maximale de ce paramètre n'est atteinte que dans la seconde partie de la consonne. Il arrive parfois, comme c'est le cas sur la figure 10, que le voisement cesse avant la fin de la tenue. On remarque alors que le tracé de Fo s'interrompt à l'instant précis où la PIO atteint une valeur extrême.

Une évaluation plus fine de la relation qui lie les paramètres PIO et (R Fo) peut être obtenue par le calcul du coefficient de corrélation (ou de Bravais-Pearson) entre les valeurs de ces deux paramètres. Ce calcul a été effectué, à titre d'exemple, pour les séquences : [a d a], [a z a], [a g a] et [a ʒ a]. Comme on pouvait s'y attendre, nous obtenons des valeurs de r élevées (tableau 6) qui confirment l'existence d'une corrélation fortement positive entre les valeurs de la PIO et celles de (R Fo). Cette corrélation est illustrée par la fig. 11, pour les séquences [a g a] et [a ʒ a].

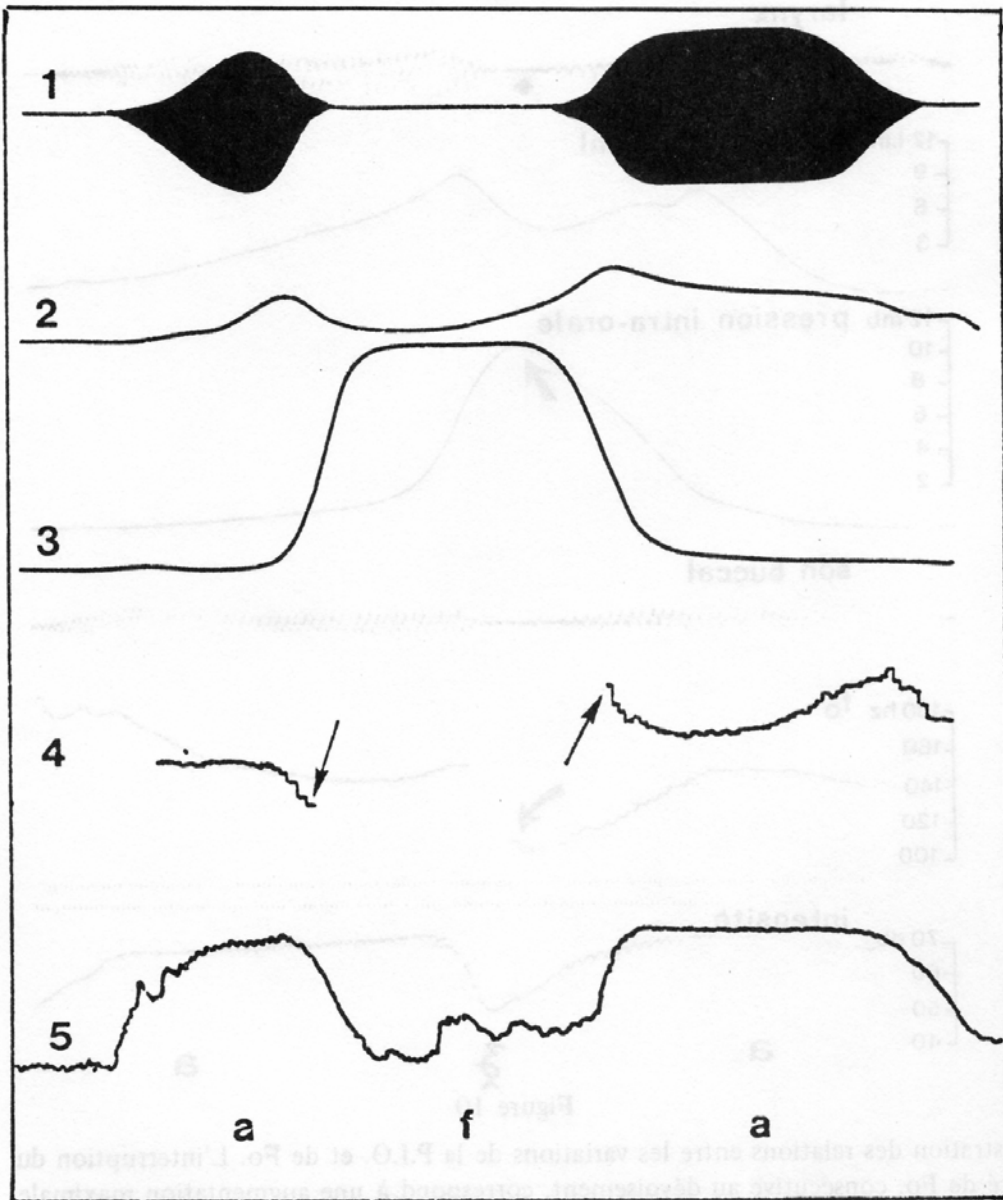


Figure 9

Variations des tracés analysés dans la présente étude. 1) Larynx. 2) Débit d'air buccal. 3) Pression intraorale (P.I.O.). 4) Fo. 5) Intensité. Séquence [a fa].

0.1	0.680	0.02
0.2	0.770	0.02
0.1	0.978	0.02
0.1	0.938	0.02

Tableau VI

Coefficients de corrélation (r de Spearman) entre les valeurs des paramètres R Fo et P.I.O.

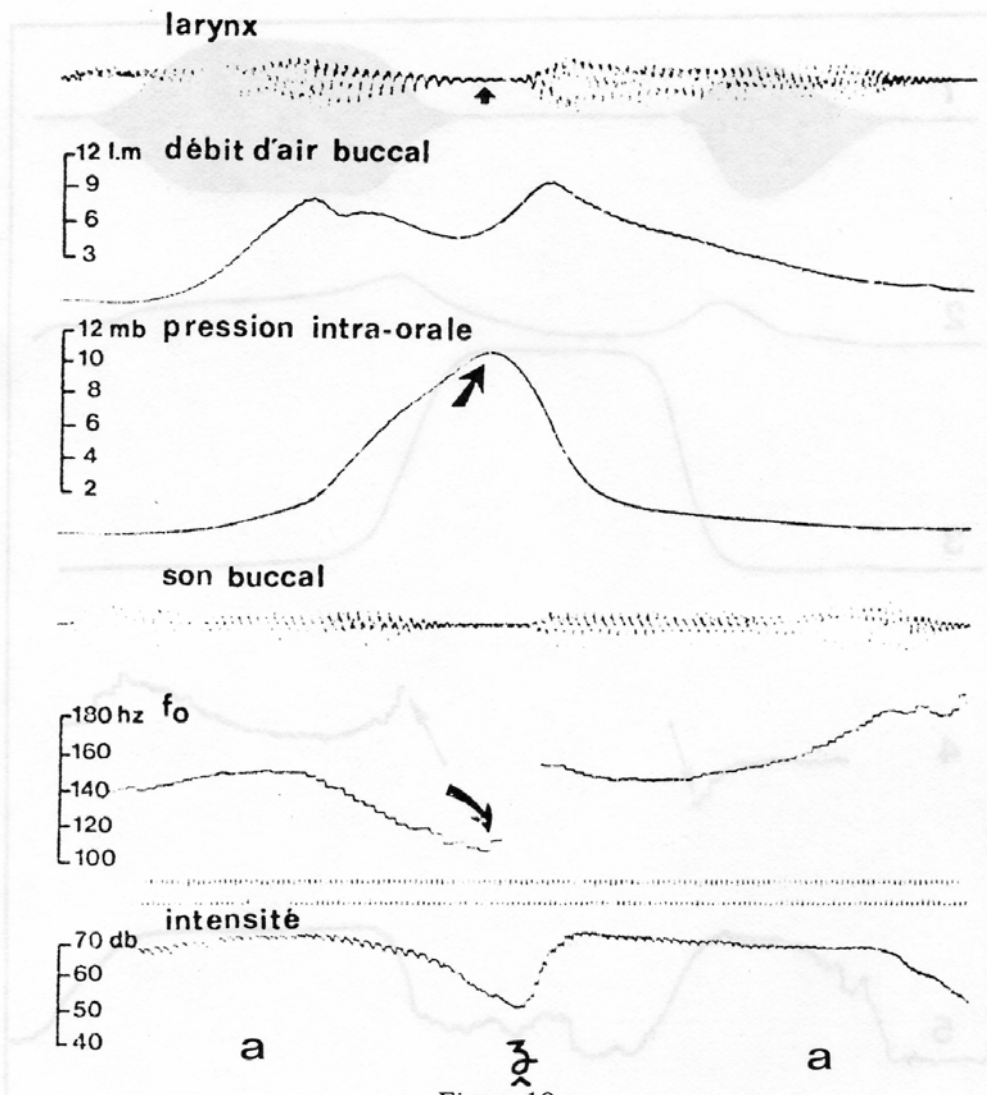


Figure 10

Illustration des relations entre les variations de la P.I.O. et de Fo. L'interruption du tracé de Fo, consécutive au dévoisement, correspond à une augmentation maximale de la P.I.O. Séquence [a ʒ a].

SÉQUENCE	r	PROBABILITÉ
a d a	0.880	.01
a z a	0.770	.02
a g a	0.928	.01
a ʒ a	0.938	.01

Tableau VI

Coefficients de corrélation (r de Bravais-Pearson) entre les valeurs des paramètres R Fo et P.I.O.

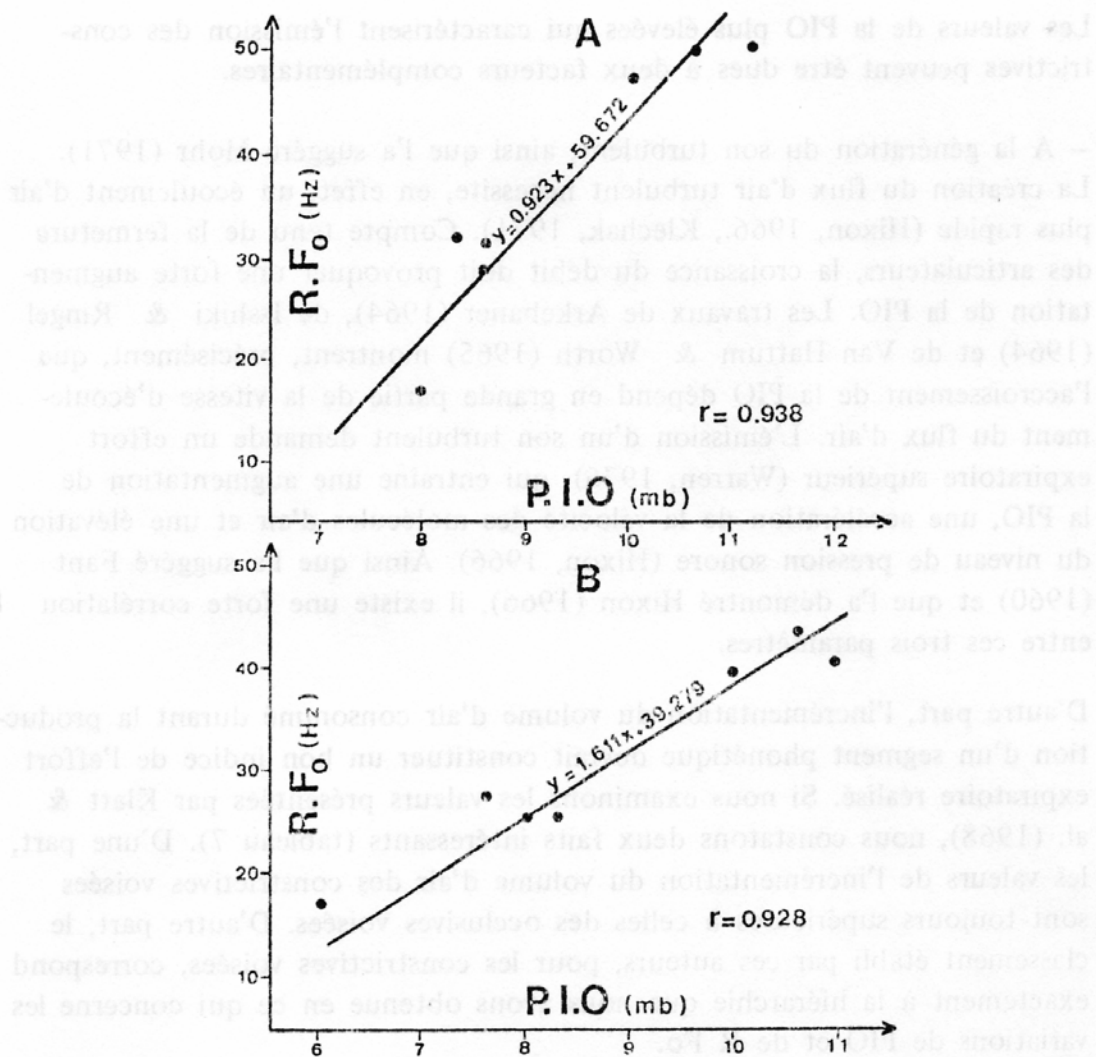


Figure 11

Corrélations entre R Fo et P.I.O., dans les séquences [a ʒ a] (A) et [a ga] (B). Droites et équations de régression (valeurs de r significatives à .01).

DISCUSSION

En nous fondant sur les analyses de nos prédécesseurs et sur les résultats de nos propres recherches, nous avons réussi à mettre en évidence une relation étroite entre les variations de la PIO des obstruantes voisées et celles de leur Fo intrinsèque. Nous pouvons déduire de ces données nouvelles sur le français, que les variations intrinsèques de la Fo des obstruantes voisées sont régies par celles de leur PIO intrinsèque. Cette observation illustre les incidences des effets aérodynamiques sur le rythme de vibration des cordes, lors du couplage source-conduit vocal.

Les valeurs de la PIO plus élevées qui caractérisent l'émission des constrictives peuvent être dues à deux facteurs complémentaires.

— A la génération du son turbulent, ainsi que l'a suggéré Mohr (1971). La création du flux d'air turbulent nécessite, en effet, un écoulement d'air plus rapide (Hixon, 1966., Klechak, 1971). Compte tenu de la fermeture des articulateurs, la croissance du débit doit provoquer une forte augmentation de la PIO. Les travaux de Arkebauer (1964), de Isshiki & Ringel (1964) et de Van Hattum & Worth (1965) montrent, précisément, que l'accroissement de la PIO dépend en grande partie de la vitesse d'écoulement du flux d'air. L'émission d'un son turbulent demande un effort expiratoire supérieur (Warren, 1976), qui entraîne une augmentation de la PIO, une accélération de la vitesse des molécules d'air et une élévation du niveau de pression sonore (Hixon, 1966). Ainsi que l'a suggéré Fant (1960) et que l'a démontré Hixon (1966), il existe une forte corrélation entre ces trois paramètres.

D'autre part, l'incrémentation du volume d'air consommé durant la production d'un segment phonétique devrait constituer un bon indice de l'effort expiratoire réalisé. Si nous examinons les valeurs présentées par Klatt & al. (1968), nous constatons deux faits intéressants (tableau 7). D'une part, les valeurs de l'incrémentation du volume d'air des constrictives voisées sont toujours supérieures à celles des occlusives voisées. D'autre part, le classement établi par ces auteurs, pour les constrictives voisées, correspond exactement à la hiérarchie que nous avons obtenue en ce qui concerne les variations de PIO et de R Fo.

	KNS	DHK	RST	MMK	JL
ʒ	200	175	200	145	94
z	110	135	145	85	62
v	95	80	110	60	62
g	65	50	50	42	56
d	60	60	75	35	48
b	75	60	75	35	46

Tableau VII

Incrémentation (en m.l) du volume d'air dépensé au cours de la prononciation de syllabes CVC par 5 sujets américains. D'après les résultats de KLATT & al. (1966). Tableau I du manuscrit non paginé (NB 043332) communiqué par les auteurs.

— Il est un second facteur qui devrait contribuer, selon nous, à affecter les constrictives voisées d'une PIO supérieure à celle des occlusives. Il s'agit de la durée intrinsèque de ces consonnes. On sait que, dans des contextes identiques, la durée moyenne des constrictives (voisées et non voisées) est supérieure à celle des occlusives homorganiques (Warren & Mackler, 1968., Malecot, 1968., Lehiste, 1970., Umeda, 1977). De ce fait, il n'est pas interdit de penser que l'écoulement du flux d'air pendant un temps plus long, puisse engendrer une augmentation plus importante de la PIO. Suivant Warren & Wood (1969), le volume d'air respiratoire dépensé au cours de l'émission d'une consonne dépend de deux facteurs : la vitesse du flux d'air et la durée du segment. On peut remarquer, en consultant les résultats présentés par ces auteurs, que le volume d'air moyen des constrictives voisées est largement supérieur à celui des occlusives voisées ($76 \text{ cm}^3 \sim 53 \text{ cm}^3$, pour l'ensemble des sujets).

D'après Rothenberg (1968), l'expansion active de la cavité pharyngale qui accompagne la production des obstruantes voisées, permettrait d'augmenter le volume de cette cavité d'environ 10 m.l. L'auteur postule que chaque incrémentation de 1 m.l. devrait assurer le maintien du voisement pendant 10 ms. Si nous adoptons ces valeurs, nous pouvons expliquer pourquoi les obstruantes voisées dont la durée excède 100 ms. se caractérisent si souvent par une interruption du voisement au terme de la tenue. Comme c'est la constrictive [ʒ] qui possède la durée intrinsèque la plus grande (Chafcouloff, Di Cristo et Seimandi, 1976), on comprend du même coup la raison pour laquelle c'est précisément cette consonne qui est la plus sujette au dévoisement (cf. fig. 10).

Les valeurs de la PIO plus fortes qui caractérisent les palatovélaires (par opposition aux labiales et aux dentoalvéolaires) (3), pourraient être liées à la réduction du volume de la cavité située en amont de la constriction, cette réduction étant consécutive au recul de la langue et à un relèvement du larynx qui occupe une position plus haute pour les prépalatales et pour les palatovélaires que pour les autres consonnes (Kim, 1967., Perkell, 1969., Ewan & Krones, 1974., Bothorel, 1975., Gandour & Maddieson, 1976). Cette dernière hypothèse est étayée par les résultats de Whalen & Hardy (1962), de Subtelny & al. (1966) et de Bernthal & Beukelman (1978), suivant lesquels il existe une forte corrélation entre les variations de la PIO et celles du volume des cavités supraglottiques.

NOTES

- (1) D'après Rothenberg (1978), la résistance glottique serait de l'ordre de 1 à 5 Ω , pour les consonnes non voisées et de 40 à 100 Ω , pour les consonnes voisées.
- (2) Pour plus de détails, voir : Boë (1973) : Étude de l'interaction source laryngienne-conduit vocal dans la détermination des caractéristiques intrinsèques des consonnes du français, Larreur et Boë (1973) : Les caractéristiques intrinsèques des consonnes voisées du français dans la parole continue et Di Cristo (1978) : *De la Microprosodie à l'Intonsyntaxe*, chapitre III.
- (3) A l'heure où nous écrivons ces lignes, nous n'avions pas eu connaissance de l'étude de Dixit & Brown (1978) sur le Hindi, dans laquelle les auteurs obtiennent des résultats identiques aux nôtres : Dixit & Brown (1978) : Peak magnitudes of supraglottal air pressure associated with affricated and non affricated stop consonant productions in Hindi, *J. Phonetics*, 6 (4) : 353-65.

BIBLIOGRAPHIE

- ARKEBAUER, H.J. (1964)
A Study of Intraoral Air Pressure Associated with Production of Selected Consonants, Ph. D. Dissert. State Un. Iowa.
- ARKEBAUER, H.J., HIXON, T.J. & HARDY, J.C. (1967)
Peak Intraoral Air Pressures during Speech, *Journal Speech Hear. Res.*, 10 : 196-208.
- BELL-BERTI, F. (1975)
Control of pharyngeal Cavity size for english voiced and voiceless stops, *J.A.S.A.*, 57 : 456-61.
- BERNTHAL, J. & BEUKELMAN, D. (1978)
Intraoral Air Pressure during the Production of [p] and [b] by children, youths and adults, *J. Speech Hear. Res.*, 21 : 361-71.
- BLACK, J.W. (1950)
The Pressure component in the production of consonants, *Journal Speech Hear. Disorders*, 15 : 207-10.
- BOË, L.J. (1973)
Étude de l'interaction source laryngienne-conduit vocal dans la détermination des caractéristiques intrinsèques des consonnes du français, *Bulletin Institut de Phonétique de Grenoble*, 2 : 1-24.
- BOTHOREL, A. (1975)
Positions et mouvements de l'os hyoïde dans la chaîne parlée, *Travaux Institut de Phonétique de Strasbourg*, 7 : 80-132.

- BROWN, W.S. & Mc GLONE, R.E. (1969)
Relation of intraoral air pressure to oral cavity size, *Folia Phoniatrica*, 21 : 321-31.
- BROWN, W.S. & Mc GLONE, R.E. (1969)
Constancy of intraoral air pressure, *Folia Phoniatrica*, 21 : 333-39.
- BROWN, W.S., Mc GLONE, R.E. & PROFITT, W. (1973)
Relationship of lingual and intraoral air pressures during syllable production, *Journal Speech Hear. Res.*, 16 : 141-50.
- BROWN, W.S., Mc GLONE, R.E., TARLOW, A. & SHIPP, T. (1970)
Intraoral air pressures associated with specific phonetic positions, *Phonetica*, 22 : 202-12.
- BROWN, W.S. & RUDER, K. (1972)
Phonetic factors affecting intraoral air pressure associated with stop consonants, *Proc. 7th International Congress Phonetic Sciences* : 294-99.
- CHAFCOULOFF, M., DI CRISTO, A. & SEIMANDI, L. (1976)
Effets de la coarticulation sur les caractéristiques acoustiques des contours fricatives du français, *Travaux Institut de Phonétique d'Aix*, 3 : 61-113.
- DI CRISTO, A. (1978)
De la microprosodie à l'intonosyntaxe, Thèse d'État, Université de Provence, 1274 p.
- EWAN, W.G. & KRONES, R. (1974)
Measuring larynx movement using the thyroumbrometer, *Journal of Phonetics*, 2 : 327-35.
- FANT, G. (1960)
Acoustic Theory of Speech Production, Mouton, The Haye.
- FISCHER-JØRGENSEN, E. (1964)
Beobachtungen über den Zusammenhaug zwischen Stimmhaftigkeit und intraoralem Luftdruck, *Zeits. für Phonetik*, 16 : 19-36.
- FISCHER-JØRGENSEN, E. & TYBJAERG-HANSEN, A., (1969)
An electrical manometer and its use in Phonetic research, *Phonetica*, Vol. 4, 43-53.
- FRITZELL, B. (1969)
The velopharyngeal muscles in speech, an electromyographic and cineradiographic study, *Acta Otolaryngeol. Sup.* 250.
- FRY, D.L. (1960)
Physiologic recording by modern instruments with particular refe-

- rence to pressure recording, *Physiological Review*, Vol. 40, 753-787.
- FUJIMURA, O., TATSUMI, I.F. & KAGAJA, R. (1973)
Computational processing of palatographic patterns, *Journal of Phonetics*, 1 : 47-54.
- GANDOUR, J. & MADDIESON, I. (1976)
Measuring Larynx height in standard Thai using the cricothyrometer, *Work. Pap. Phonetics*, 33 : 160-90.
- GILBERT, H.R. (1973)
Oral airflow during stop consonant production, *Folia Phoniatica*, Vol. 25, n^o 4, 288-301.
- HAAG, W.K. (1977)
Oral air pressure and airflow in German stop consonants, *Phonetica*, 34 : 31-39.
- HALLE, M. & STEVENS, K.N. (1967)
On the mechanism of glottal vibration for vowels and consonants, *Quart. Prog. Rept.*, 85 : 267-71.
- HATTUM, Van R.J. & WORTH, J.H. (1967)
Air flow rates in normal speakers, *The Cleft Palate Journal*, 4 : 137-47.
- HIRANO, M., MIYAHARA, T., HIROSE, H., KIRITANI, S. & FUJIMURA, O. (1970)
Airflow rate in singing. *R.I.L.P.*, n^o 4, Université de Tokyo, 55-65.
- HIXON, T.J. (1966)
Turbulent noise sources for Speech, *Folia Phoniatica*, 18 : 168-82.
- HIXON, T.J. (1971)
Some news techniques for measuring the mechanical events of Speech productions. Our laboratory experiences. *Proc. Nat. Conf. Oral-Facial Function clin. Res. Dent. Speech Path. Ann Arbor.*
- HUDGINS, C.V. & STETSON, R.H. (1935)
Voicing of consonants by depression of the larynx, *Arch. Néerl. Phon. Exp.*, 13 : 85-94.
- ISSHIKI, N. & RINGEL, R. (1964)
Airflow during the production of selected consonants, *Journal Speech Hear Res.*, 7 : 233-44.
- KENT, R. & MOLL, K.L. (1969)
Vocal tract characteristics of the stop cognates, *J.A.S.A.* 46 : 1549-56.

- KIM, C.W. (1967)
Cineradiographic study of korean stops and a note on aspiration, Quart. Prog. Rep. (M.I.T.), 86 : 259-72.
- KLATT, D., STEVENS, K.N. & MEAD, J. (1968)
Studies of articulatory activity and air flow during speech, Sound Production in Man, Bouhuys, A. ed., Annales of New York Acad. Sciences, 155 : 42-45.
- KOIKE, Y. & PERKINS, W.H. (1968)
Application of a miniaturized pressure transducer for experimental speech research. Folia Phoniatica, Vol. 20, n° 6, 360-366.
- LARREUR, D. & BOË, L.J. (1973)
Les caractéristiques intrinsèques des consonnes voisées du français dans la parole continue, Bulletin Institut de Phonétique de Grenoble, 2 : 25-29.
- LEEPER, H. & NOLL, J.D. (1971)
Pressure measurements of articulatory behavior during alteration of vocal effort, J.A.S.A., 51 : 1291-95.
- LEHISTE, I. (1970)
Suprasegmentals, M.I.T. Press.
- LINDQVIST, J. (1969)
Laryngeal mechanisms in speech, STL-QPSR, 2-3 : 26-32.
- LISKER, L. (1971)
Supraglottal air pressure in the production of english stops, Language and speech, 13 : 215-30.
- LUBKER, J.F. (1968)
An electromyographic-cinefluorographic investigation of velar function during normal speech production, Cleft Palate Journal, 5 : 1-18.
- LUBKER, J.F. (1973)
Transglottal airflow during stop consonant production, J.A.S.A., 53 : 212-15.
- LUBKER, J.F., FRITZELL, J. & LINDQVIST, J. (1972)
Velopharyngeal function : an electromyographic study, Proc. 7th Int. Cong. Phon. Sciences : 371-73.
- LUBKER, J.F. & MOLL, K.L. (1965)
Simultaneous oral-nasal airflow measurements and cinefluorographic observations during speech production, Cleft Palate Journal, 2 : 257-72.

- LUBKER, J.F. & PARRIS, P.J. (1970)
 Simultaneous measurements of intraoral pressure, force of labial contact and labial electromyographic activity during production of the stop cognates /p/ and /b/, *J.A.S.A.*, 47 : 625-33.
- MALECOT, A. (1955)
 An experimental study of force of articulation, *Studia Linguistica*, 9 : 35-44.
- MALECOT, A. (1966)
 Mechanical pressure as an index of « force of articulation », *Phonetica*, 14 : 169-80.
- MALECOT, A. (1969)
 The effect of syllable rate and loudness on the force of articulation of american stops and fricatives, *Phonetica*, 18 : 205-16.
- MALECOT, A. (1970)
 The lenis-fortis opposition : its phonological parameters, *J.A.S.A.*, 47 : 1588-92.
- MOHR, B. (1971)
 Intrinsic variations in the speech signal, *Phonetica*, 23 : 65-93.
- MURRY, T. & BROWN, W.S. (1975)
 Aerodynamics interactions associated with voiced-voiceless stop cognates, *Proc. VIIIth. Int. Cong. Phon. Sciences (LEEDS)*.
- MURRY, T. & BROWN, W.S. (1976)
 Peak intraoral air pressure in whispered stop consonants, *Journal of Phonetics*, 4 : 183-87.
- NETSELL, R. (1969)
 Relation of intraoral air pressure to oral cavity size, *Folia Phoniatrica*, 21 : 321-31.
- NETSELL, R. (1970)
 Underlying physiological mechanism of syllable stress, *J.A.S.A.* 47 : 103 (A).
- OHALA, J. (1974)
 A mathematical model of speech aerodynamics, *A.R.I.P.U.C.*, 8 : 11-22.
- PERKELL, J.S. (1969)
Physiology of Speech Production : Results and Implications of a quantitative cineradiographic study, M.I.T., Press.
- QUIGLEY, L.F., WEBSTER, R.C., COFFEY, R.J., KELLERHER, R.E. &

- GRANT, H.P. (1963)
Velocity and volume measurements of nasal and oral airflow in normal and cleft palate speech utilizing a warm wire flow meter and two channels recorder, *Journal of dentist research*, Vol. 42, 1520-1527.
- RINGEL, R., HOUSE, A. & MONTGOMERY, A. (1967)
Scaling articulatory behavior : intraoral air pressure, *J.A.S.A.*, 42 : 1209 (1).
- ROUSSELOT l'Abbé, P.J. (1897, 1901)
Principes de phonétique expérimentale. WELTER, Leipzig, Paris, 2 volumes.
- ROTHENBERG, M. (1968)
The Breath-Stream Dynamics of simple-released plosive Production, *Bibliotheca Phonetica*, 6, Karger, Basel.
- SCHWARTZ, M. (1971)
Air consumption values for oral and whispered plosive-vowel syllables, *J.A.S.A.*, 49 : 610 (A).
- SCULLY, C. (1972)
Aerodynamics and acoustic pattern of speech, *Proc. VIIth. Int. Cong. Phon. Sciences* : 401-404.
- SHIPP, T. (1975)
Vertical laryngeal position during continuous and discret vocal frequency changes, *J. Speech Hear Res.*, 18 : 707-18.
- SIMON, P. (1967)
Les consonnes françaises, Klincksieck, Paris.
- SMITH, S. (1972)
Air pressure sensitivity of soft palate in closed position, *Proc. VIIth. Int. Cong. Phon. Sciences* : 412-17.
- STETSON, R.H. (1951)
Motor Phonetics, North Holland Publishers, Amsterdam (2 nd éd.).
- SUBTELNY, J.D., KHO, G.H. & CORMACK, R. (1969)
Multidimensional analysis of bilabial stop and nasal consonants. Cineradiographic and pressure flow analysis, *The Cleft Palate Journal*, 6 : 263-89.
- SUBTELNY, J.D., WORTH, J.H. & SAKUDA, M. (1966)
Intraoral air pressure and rate of flow during speech, *J. Speech Hear Res.*, 9 : 498-518.
- TATHAM, M.A. & MORTON, K. (1973)

- Electromyographic and intraoral air pressure studies of bilabial stops, *Language and Speech*, 16 : 336-50.
- TESTON, B. (1972)
Description d'un système de détection de l'intensité et de la mélodie de la voix, *T.I.P.A.*, 1 : 129-145.
- TESTON, B. (1975)
Un système d'analyse des paramètres articulatoires : le polyphonomètre. Communication au VIIIe Congrès International des Sciences Phonétiques, Leeds, Août 1975.
- TESTON, B. (1976)
Description d'un système d'analyse des paramètres articulatoires. *T.I.P.A.*, 3 : 151-207.
- TESTON, B. & AUTESSERRE, D. (1975)
Réalisation d'une unité d'analyse polyphonométrique. Sa contribution à l'étude de la nasalisation vocalique et de la nasalité consonantique en français parlé à Marseille. *C.L.O.S. Vol. 5-6. En hommage à Georges Mounin*, Université de Provence, pp. 415-437.
- TESTON, B. & ROSSI, M. (1977)
Un système de détection automatique du fondamental et de l'intensité, *Actes des VIIIe Journées d'Études sur la Parole*, Aix-en-Provence, pp. 111-117.
- UMEDA, N. (1977)
Consonant duration in american-english. *J.A.S.A.*, 61 : 846-858.
- WARREN, D.W. (1964)
Velopharyngeal orifice size and upper pharyngeal pressure flow patterns in normal speech, *Plast. Reconst. Surg.*, 33 : 148-62.
- WARREN, D.W. (1976)
Aerodynamics in speech production, in : *Contemporary Issues in Experimental Phonetics*, LASS, ed., Academic Press : 105-77.
- WARREN, D.W. & HALL, D.J. (1973)
Glottal activity and intraoral pressure, *Folia Phoniatica*, 25 : 121-29.
- WARREN, D.W. & MACKLER, S.B. (1968)
Duration of oral port constriction in normal and cleft palate speech, *Journal Speech Hear. Res.*, 11 : 391-401.
- WARREN, D.W. & WOOD, M.T. (1969)
Respiratory volumes in normal speech : a possible reason for intra-oral pressure differences among voiced and voiceless consonants, *J.A.S.A.*, 45 : 466-69.

WHALEN, R. & HARDY, J.C. (1962)

Investigation of intraoral air pressures and rates of airflow associated with voiceless consonant speech sound production in adult males, Lab. Rept. 1, A-3, Research Section, Speech and Hearing Service, University Hospital, State University of Iowa.

YANAGIHARA, N. & HYDE, C. (1966)

An aerodynamic study of the articulatory mechanism in the production of bilabial stop consonants, *Studia Phonologica*, 4 : 70-80.

DOCUMENTS ANNEXES

Légendes

- Doc. Annexe 1 – Tracés de Fo et de PIO dans la séquence [a ta].
- Doc. Annexe 2 – Tracés de Fo et de PIO dans la séquence [a da].
- Doc. Annexe 3 – Tracés de Fo et de PIO dans la séquence [a sa].
- Doc. Annexe 4 – Tracés de Fo et de PIO dans la séquence [a za].
- Doc. Annexe 5 – Tracés de Fo et de PIO dans la séquence [a la].

5697.35 ---x 1
 5704.34 ---x 1
 5711.25 ---x 1
 5718.26 ---x 1
 5725.22 ---x 1
 5732.12 ---x 2
 5739.06 ---x 2
 5746.00 ---x 2
 5752.71 ---x 2
 5759.53 ---x 2
 5766.31 ---x 2
 5773.07 ---x 3
 5779.85 ---x 3
 5786.59 ---x 3
 5793.26 ---x 3
 5799.98 ---x 3
 5806.67 ---x 3
 5813.33 ---x 3
 5820.03 ---x 3
 5826.67 ---x 3
 5833.36 ---x 4
 5840.34 ---x 7
 5847.42 ---x 9
 5854.62 ---x 11
 5862.05 ---x 12
 5869.59 ---x 14
 5877.30 ---x 15
 5885.19 ---x 16
 5893.10 ---x 18
 5901.04 ---x 19
 5909.01 ---x 20
 5917.00 ---x 21
 5925.09 ---x 22
 5933.10 ---x 23
 5941.12 ---x 25
 5949.00 ---x 27
 5956.87 ---x 25
 5971.40 ---x 30
 5977.86 ---x 15
 5984.05 ---x 11
 5990.69 ---x 3
 5997.44 ---x 6
 6004.11 ---x 5
 6010.82 ---x 5
 6017.53 ---x 5
 6024.31 ---x 4
 6031.05 ---x 5
 6037.82 ---x 5
 6044.55 ---x 4
 6051.22 ---x 5
 6057.89 ---x 5
 6064.60 ---x 4
 6071.29 ---x 4
 6077.94 ---x 5
 6084.60 ---x 4
 6091.23 ---x 4
 6097.35 ---x 4
 6104.44 ---x 4
 6110.98 ---x 4
 6117.53 ---x 4
 6124.13 ---x 3
 6130.56 ---x 3
 6137.01 ---x 3
 6143.45 ---x 3
 6149.75 ---x 2
 6156.02 ---x 3
 6162.27 ---x 2
 6168.40 ---x 2
 6174.46 ---x 2
 6180.44 ---x 2
 6186.32 ---x 1
 6192.08 ---x 1
 6197.78 ---x 2

x 141
 x 143
 x 145
 x 143
 x 144
 x 145
 x 144
 x 147
 x 147
 x 147
 x 148
 x 147
 x 150
 x 149
 x 149
 x 150
 x 149
 x 151
 x 149
 x 143
 x 141
 x 139
 x 135
 x 133
 x 130
 x 127
 x 126
 x 126
 x 125
 x 124
 x 125
 x 125
 x 127
 x 127
 x 146?
 x 155
 x 162
 x 151
 x 148
 x 150
 x 149
 x 149
 x 147
 x 148
 x 148
 x 149
 x 150
 x 150
 x 149
 x 149
 x 150
 x 150
 x 151
 x 151
 x 152
 x 153
 x 152
 x 153
 x 156
 x 155
 x 155
 x 159
 x 159
 x 160
 x 163
 x 165
 x 167
 x 170
 x 174
 x 175

Document Annexe 2

69373.47 -----x 4
 69989.86 -----x 4
 69989.86 -----x 4
 70002.78 -----x 5
 70009.29 -----x 4
 7018.80 -----x 4
 7022.74 -----x 5
 7028.92 -----x 5
 7035.54 -----x 4
 7042.18 -----x 5
 7042.89 -----x 5
 7055.59 -----x 4
 7062.32 -----x 5
 7059.07 -----x 4
 7075.81 -----x 4
 7082.55 -----x 4
 7083.35 -----x 4
 7096.17 -----x 4
 7103.05 -----x 4
 7110.00 -----x 4
 7116.89 -----x 4
 7123.84 -----x 5
 7130.92 -----x 1
 7137.99 -----x 5
 7145.21 -----x 5
 7152.51 -----x 5
 7153.80 -----x 5
 7167.23 -----x 5
 7174.63 -----x 5
 7182.20 -----x 6
 7189.93 -----x 6
 7197.67 -----x 7
 7205.88 -----x 7
 7212.77 -----x 7
 7221.85 -----x 6
 7230.00 -----x 5
 7237.99 -----x 5
 7246.09 -----x 5
 7254.13 -----x 4
 7252.09 -----x 4
 7270.24 -----x 4
 7278.38 -----x 4
 7285.63 -----x 4
 7291.23 -----x 4
 7303.01 -----x 4
 7311.34 -----x 4
 7313.59 -----x 4
 7327.90 -----x 4
 7336.02 -----x 4
 7344.37 -----x 4
 7352.88 -----x 3
 7360.16 -----x 3
 7377.29 -----x 3
 7385.75 -----x 4
 7394.15 -----x 4
 7402.46 -----x 4
 7411.09 -----x 5
 7419.75 -----x 3
 7438.75 -----x 3
 7449.75 -----x 2
 7459.75 -----x 2

a

l

a

x 160
 x 157
 x 156
 x 154
 x 154
 x 154
 x 153
 x 152
 x 151
 x 151
 x 149
 x 149
 x 149
 x 148
 x 148
 x 143
 x 143
 x 147
 x 147
 x 145
 x 144
 x 145
 x 141
 x 141
 x 139
 x 137
 x 137
 x 135
 x 135
 x 132
 x 129
 x 129
 x 125
 x 124
 x 124
 x 123
 x 125
 x 123
 x 124
 x 126
 x 123
 x 123
 x 121
 x 122
 x 122
 x 120
 x 121
 x 120
 x 123
 x 120
 x 120
 x 121
 x 123
 x 118
 x 119
 x 120
 x 116
 x 115
 NV
 NV
 NV

Document Annexe 5