



HAL
open science

Résonance sonore et cavités supralaryngées

Alain Ghio, Serge Pinto

► **To cite this version:**

Alain Ghio, Serge Pinto. Résonance sonore et cavités supralaryngées. Auzou P.; Rolland V.; Pinto S.; Ozsancak C. Les dysarthries, Solal, 2007. hal-01616691

HAL Id: hal-01616691

<https://hal.science/hal-01616691v1>

Submitted on 19 Oct 2017

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.

Résonance sonore et cavités supralaryngées

A. Ghio - Ingénieur de recherche
S. Pinto - Chargé de recherche

Laboratoire Parole et Langage, CNRS UMR 6057
Université de Provence
29, avenue Robert Schuman
13621 Aix-en-Provence, Cedex 1

Courriels : alain.ghio@jpl.univ-aix.fr
serge.pinto@jpl.univ-aix.fr

Du larynx vers les lèvres, l'air expiré passe dans le tractus vocal. Celui-ci, mesurant en moyenne entre 17 et 18 cm chez l'adulte, comprend plusieurs cavités supraglottiques (supralaryngées) reliées entre elles et qui participent à la structuration des sons de la parole. L'effet de ces cavités est de modifier le signal produit par le larynx en affaiblissant ou amplifiant certaines fréquences en fonction de leur propre fréquence de résonance : ainsi, elles jouent un rôle de filtre acoustique. Ces phénomènes de résonance, bien connus en acoustique depuis les travaux de Helmholtz, permettent de comprendre et expliquer le résultat sonore en fonction des configurations articulatoires du locuteur, notamment pour la production des voyelles pour lesquelles les zones fréquentielles privilégiées, appelées formants, revêtent une importance primordiale.

I. Le phénomène physique de la résonance

1. Les notions de fréquence et courbe de résonance

La résonance est un phénomène physique assez répandu qui peut se manifester en mécanique, en électricité, en physique nucléaire... Elle se définit comme l'augmentation de l'amplitude d'une oscillation lorsque la fréquence des pulsations imposées par une source à un système oscillant devient égale ou proche de la fréquence propre du système. Cette fréquence propre, appelée aussi fréquence de résonance (F_r), est liée aux caractéristiques du système.

L'exemple de la balançoire illustre parfaitement ce phénomène. Quand une personne se balance, elle démarre généralement son mouvement en s'écartant de la position de repos. Si personne ne la pousse et si elle ne fournit pas de mouvement, la personne va se balancer à une fréquence naturelle appelée fréquence propre. Les frottements vont progressivement atténuer l'amplitude du balancement et l'oscillation finira par s'arrêter. Si au contraire la personne fournit de l'énergie en agitant ses jambes par exemple et que cette excitation est répétée à un rythme proche de la fréquence propre du balancier, non seulement le mouvement va se perpétuer mais il va en plus s'amplifier : c'est le phénomène de résonance. En revanche, une excitation effectuée à une vitesse plus grande ou plus petite que la fréquence propre aura un moindre effet.

Si l'on mesure l'amplitude de l'oscillation en fonction de la fréquence d'excitation, on obtient la courbe de résonance (Fig. 1). Par convention, la bande passante représente l'intervalle de fréquences comprises entre des fréquences basse (F_b) et haute (F_h) pour lesquelles l'amplitude est supérieure à $A_{\max}/\sqrt{2}$, A_{\max} étant l'amplitude à la résonance (Fig. 1). On peut montrer que bande passante et amortissement sont liés : plus l'amortissement est important (frottements dans le cas du balancier), plus large sera la bande passante mais plus faible sera l'amplitude à la résonance. Inversement, si l'amortissement est faible, la bande passante sera étroite et l'amplitude importante : le résonateur est déclaré « sélectif ».

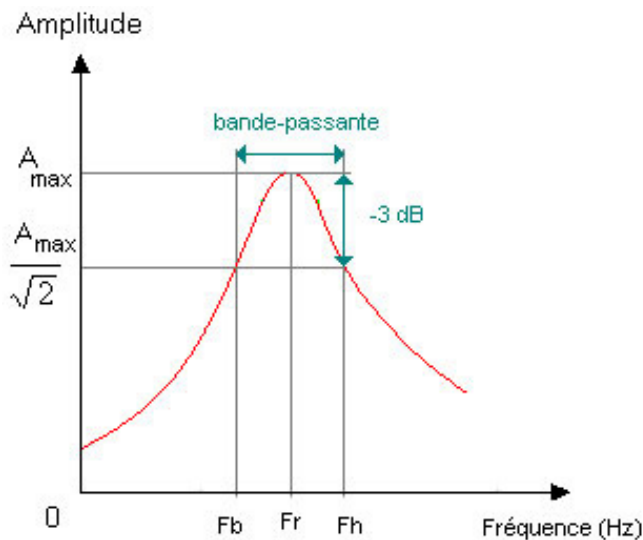


Fig. 1. Courbe de résonance : variation de l'amplitude des oscillations du résonateur en fonction de la fréquence qui lui est imposée par l'excitateur.

A_{\max} : amplitude maximale, à la résonance ; F_b : fréquence basse ; F_r : fréquence de résonance ; F_h : fréquence haute. Il faut rappeler que $A_{\max}/\sqrt{2}$ est équivalent à $A_{\max} - 3$ dB.

2. La résonance sonore

Dans le domaine de l'acoustique, le physicien allemand Helmholtz (1821-1894) est l'auteur incontournable de travaux sur la résonance sonore, à tel point que le concept de résonateur d'Helmholtz reste le modèle théorique et expérimental fondamental en la matière.

Les résonateurs d'Helmholtz (Fig. 2) sont formés d'un petit tube de longueur L et de section A , débouchant sur un volume clos V . Si on souffle dans un tel récipient, il est possible de produire un son à une fréquence F_r proportionnelle à la racine carrée du rapport A/LV : c'est-à-dire que la fréquence sera d'autant plus grave que le volume sera grand, le tuyau long et/ou étroit (Fant, 1960, p. 282). Cette fréquence F_r est la fréquence de résonance, la fréquence propre du système oscillant considéré ici et représenté par la cavité. De la même façon, si on produit des sons à proximité de l'embouchure, seule une vibration proche de la fréquence F_r sera amplifiée par la cavité.

Exploitant ce principe, Helmholtz disposait d'une série de cavités de dimensions variables (Fig. 2), donc de fréquences différentes, lui permettant d'effectuer une sorte d'analyse de Fourier rudimentaire (cf. chapitre 6) pour connaître les composantes spectrales entrant dans la composition d'un son complexe produit, par exemple, par un instrument de musique. En connectant deux résonateurs de Helmholtz en cascade, il est possible de montrer que deux fréquences de résonance apparaissent, dont les valeurs dépendent chacune des deux cavités par effet de couplage.

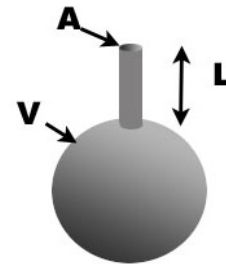


Fig. 2. Résonateurs de Helmholtz (Source photo : INRP) et caractéristiques géométriques.

II. Résonances et parole

La modélisation du conduit vocal par un double résonateur d'Helmholtz est séduisante car, même simpliste, elle peut rendre compte des phénomènes d'articulation des voyelles en associant une cavité avant et une autre arrière. Cependant, un ensemble de restrictions associées à ce modèle, dont notamment des dimensions inadaptées, ont poussé les spécialistes du domaine à se tourner vers des modèles de tubes à sections variables qui permettent de mieux rendre compte des phénomènes observés, tenant compte des dimensions réelles des cavités.

1. Cavités du tractus vocal

Elles sont organisées en 3 cavités principales (Le Huche et Allali, 1984 ; Levelt, 1989 ; Seikel *et al.*, 2000) : pharyngale, orale et nasale (Fig. 3). La cavité orale peut elle-même être séparée en deux volumes : la cavité orale à proprement parler (la partie située entre la langue et le palais) et la cavité buccale (la partie la plus latérale de la cavité orale, située entre les joues et les dents). Une cavité labiale (plus antérieure) peut aussi être individualisée, lorsque les lèvres sont projetées vers l'avant.

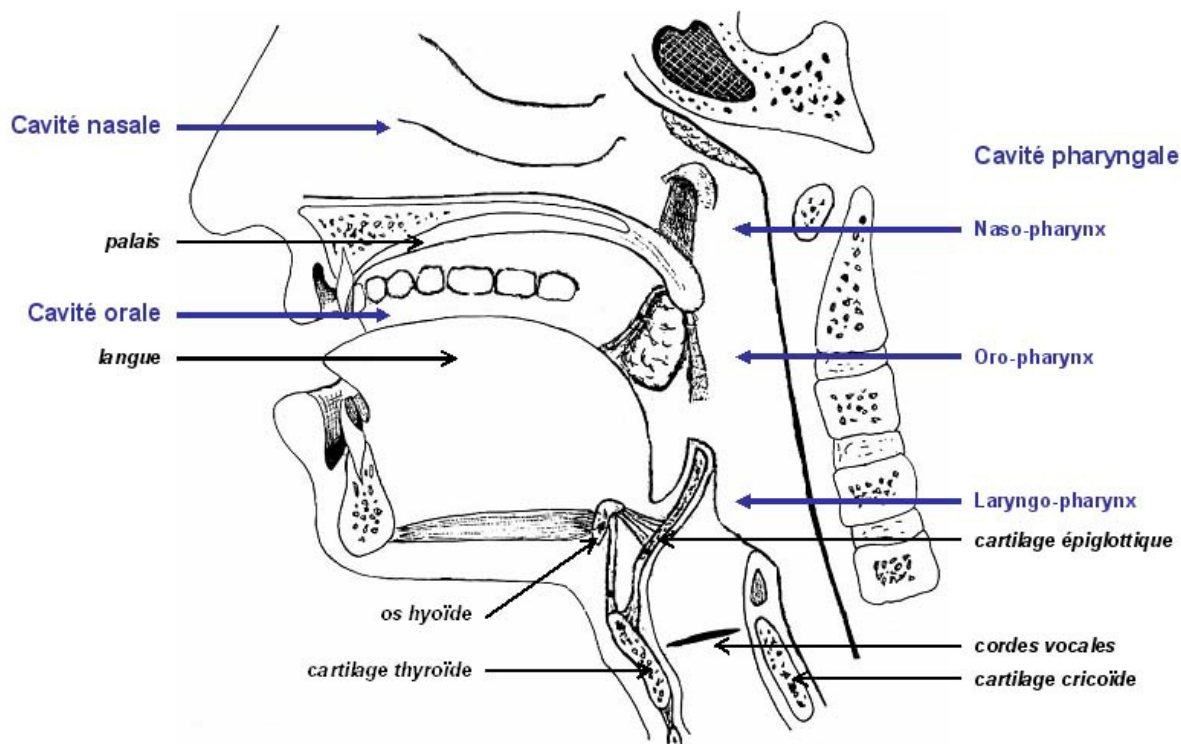


Fig. 3. Les cavités supralaryngées du tractus vocal (vue en coupe sagittale) : support anatomique de la résonance.

En provenance du larynx et en direction de la bouche, on dénombre 3 cavités : pharyngale, orale (à l'intérieur de laquelle peuvent être individualisées les cavités buccale et labiale) et nasale. Concernant la cavité pharyngale, trois individualisations topographiques peuvent être distinguées de bas en haut : le laryngo-pharynx, l'oro-pharynx et le naso-pharynx. Les cavités sont indiquées en bleu ; l'environnement osseux et cartilagineux est décrit en noir et italique.

a. La cavité pharyngale

La cavité pharyngale a une longueur d'environ 8 cm ; elle est verticale et est située au-dessus du larynx. Le pharynx est le conduit musculo-tendino-membraneux qui relie le larynx aux fosses nasales et à la cavité buccale, et c'est donc le premier résonateur que rencontrent les sons générés au niveau du larynx. Il peut être décomposé en trois sous-parties et l'on trouve de bas en haut : la *laryngo-pharynx*, qui se situe en arrière de l'épiglotte et descend jusqu'à l'œsophage ; l'*oro-pharynx*, qui s'étend de l'épiglotte à la cavité buccale ; et le *naso-pharynx* (ou rhino-pharynx), qui s'étend du voile du palais jusqu'aux fosses nasales (Fig. 3).

b. La cavité orale

La longueur de la cavité orale est d'environ 8 cm. Elle représente la partie du tractus vocal qui est délimitée par les lèvres en avant, la cavité pharyngale en arrière (avec la luette), la langue vers le bas, le palais et le voile du palais vers le haut, les arcades gingivo-dentaires et les joues de manière latérale. Dans cette cavité orale, de multiples articulateurs supralaryngés (cf.

chapitre 9), fixes et mobiles, en modifient la longueur et la conformation. La configuration de cette cavité est importante car elle contribue à l'articulation de presque tous les phonèmes.

Lorsqu'elle est individualisée, la cavité buccale représente alors la partie la plus latérale de la cavité orale, définissant l'espace situé entre les dents médialement, les joues latéralement, les lèvres antérieurement et les troisièmes molaires postérieurement. Cet espace joue un rôle important dans la résonance lorsque la mâchoire est ouverte, ainsi que dans la production de certaines consonnes comme, par exemple, les latérales (/l, j/). Elle est comprise dans la cavité orale, plus grande, essentielle dans la production de parole du fait de ses nombreux changements de configuration induits par les mouvements de la langue et de la mâchoire.

Une cavité labiale peut aussi être distinguée et constitue alors l'extrémité antérieure du tractus vocal. Elle est formée par la protrusion (projection vers l'avant) des lèvres, dont l'arrondissement forme un dernier résonateur le long de la chaîne formée par les cavités pharyngale et orale.

c. La cavité nasale

Elle regroupe les fosses nasales (Fig. 4A), deux cavités séparées par le septum nasal. Les fosses nasales sont enchâssées dans un ensemble osseux formé principalement par les os maxillaire supérieur, ethmoïde, sphénoïde (dont les apophyses ptérygoïdes), palatin, unguis, cornet inférieur, propre du nez et vomer. Deux orifices assurent les ouvertures des fosses nasales : un orifice antérieur, délimité vers le haut par les os propres du nez et vers le bas, par l'os maxillaire supérieur (Fig. 4B) ; deux orifices postérieurs (les choanes), délimités par les os sphénoïde (le corps en haut, et les apophyses ptérygoïdes en dehors), vomer (en dedans) et palatin (en bas), font communiquer les fosses nasales avec le rhino-pharynx (Fig. 4C). Par ailleurs, les fosses nasales sont en relation avec les sinus de la face via de petits orifices.

Pendant la génération des sons laryngés, si le voile du palais s'abaisse, les cavités pharyngale, orale et nasale

entrent en connexion : l'air expiré passe non seulement par la cavité orale, mais aussi par la cavité nasale. Il se produit alors un son nasal (/m, n, ã, ã̃, ã̄/).

Les sinus sont des cavités de la face qui prolongent (et communiquent avec) les fosses nasales. Quatre paires de sinus peuvent être décrites : maxillaires, ethmoïdaux, frontaux et sphénoïdaux (tirant leurs noms des os du crâne et de la face dans lesquels ils se trouvent). Dans la phonation, ils ne font pas directement partie des cavités de résonance, mais contribuent toutefois à la coloration sonore : ils peuvent être à l'origine d'une sensation de vibration et jouer le rôle d'isolateur phonique vis-à-vis de la cochlée (Le Huche et Allali, 1984).

2. Modélisation de la résonance dans le conduit vocal

Sans rentrer dans les détails, nous considérerons le concept qui lie fréquence de résonance et dimensions

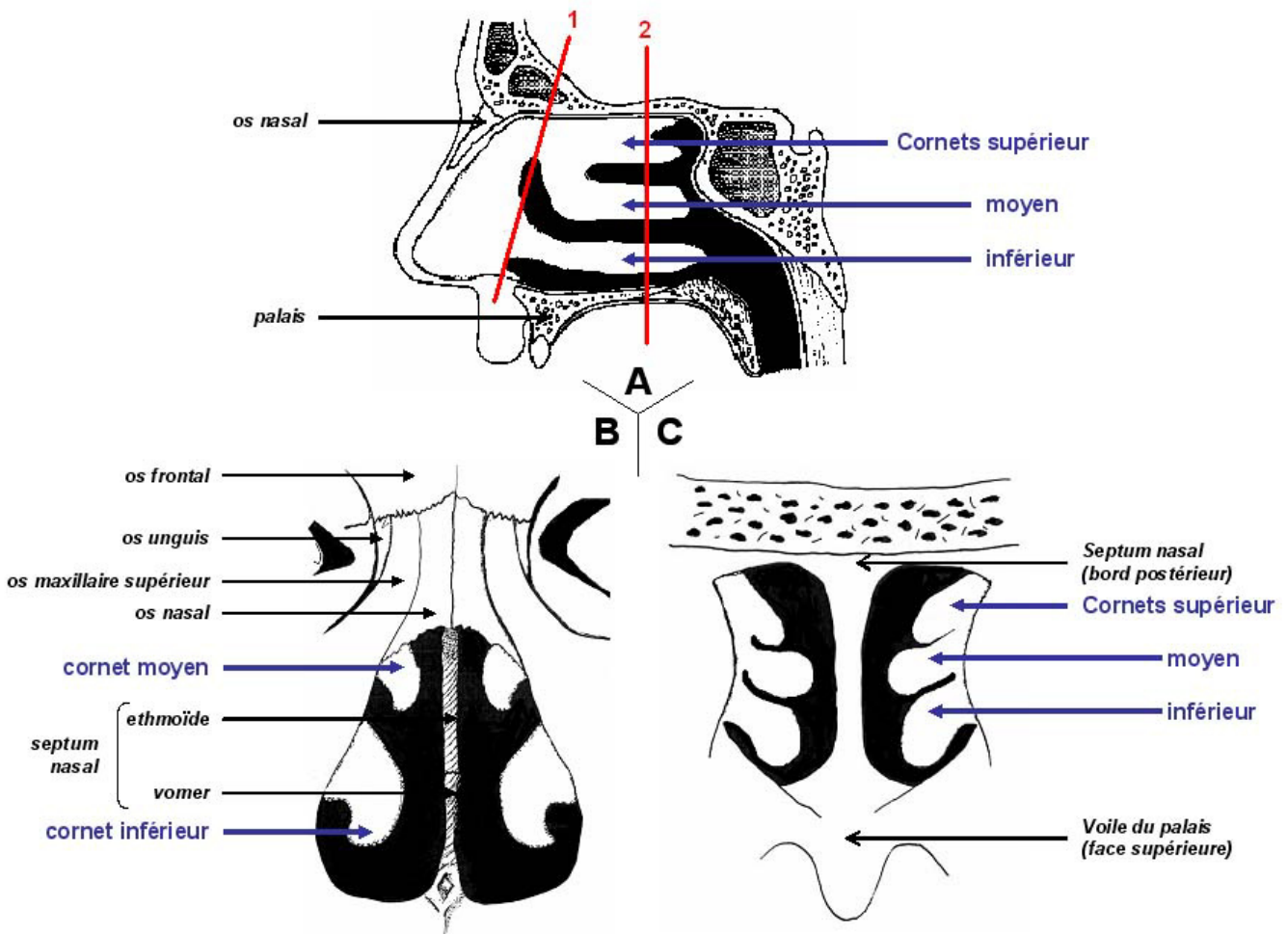


Fig. 4. Les fosses nasales.

A : Présentation anatomique succincte des fosses nasales (vue en coupe sagittale) ; les plans de coupes 1 et 2, indiqués en rouge, correspondent respectivement aux vues en coupe frontale des parties B et C. B : Orifice antérieur des fosses nasales (coupe frontale). C : Orifices postérieurs, ou choanes, des fosses nasales (coupe frontale). Les cornets des fosses nasales sont indiqués en bleu ; l'environnement osseux et cartilagineux est décrit en noir et italique.

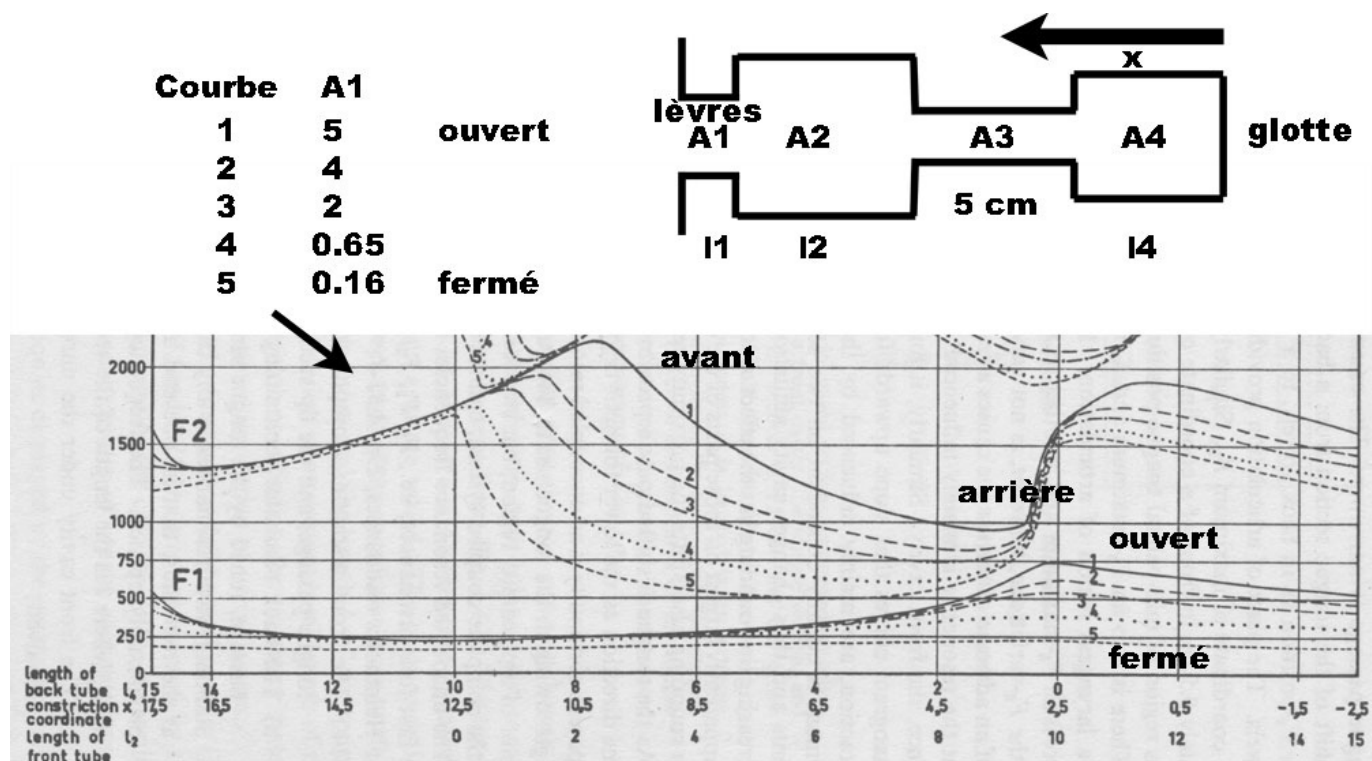


Fig. 5. Modèle de Fant (1960) à quatre tubes simulant la section des lèvres (A1), une cavité frontale (A2), l'articulation linguale (A3) et une cavité arrière (A4). Au-dessous, nomogramme du modèle et effet sur les formants en faisant varier A1 (courbes 1 à 5) et X, la position de l'articulation/constriction linguale.

géométriques particulières. A la suite de travaux de Chiba et Kajiyama (1941), Fant (1960) a proposé un modèle de conduit à 4 tubes (Fig. 5). Ce modèle a le mérite de prédire et expliquer les relations entre dimensions des cavités et fréquences de résonance observées dans la production des voyelles. Par convention, ces fréquences sont appelées « formants ». Nous verrons que ces valeurs changent d'une voyelle à l'autre et que ces différences sont dues à des variations géométriques des cavités, changements eux-mêmes liés à des points d'articulation et des degrés d'ouverture variables. Ainsi, /i/ est produit avec une articulation antérieure et une faible ouverture, /u/ est produit avec une articulation postérieure et une faible ouverture, /ø/ est produit avec une articulation médiane et une ouverture moyenne, /a/ est produit avec une grande ouverture.

La modélisation de Fant (1960) a permis de connaître les relations géométriques sur le résultat acoustique, particularité présentée dans ses nomogrammes (Fig. 5). Un nomogramme est un graphique qui présente la relation qui existe entre plusieurs indices mesurables (dans notre cas : A1, la section aux lèvres et X, la position de l'articulation) afin d'obtenir un résultat synthétisant l'impact de cette relation (dans notre cas : F1 et F2). En figure 5, on peut observer des résultats à présent connus (Carré et Mrayati, 1990), comme le fait que le degré d'ouverture

favorise l'élévation du 1^{er} formant F1 : F1 est plus important en courbe 1 (A1 = 5 cm²) qu'en courbe 5 (A1 = 0.16 cm²). Dans la partie médiane (coordonnée de la constriction X entre 10.5 et 3), F2 augmente avec l'antériorisation de l'articulation. Intuitivement, on peut déduire que l'arrondissement des lèvres pour les voyelles /y/ ou /ø/ entraîne un allongement du conduit par effet de protrusion. La conséquence est qu'à lieu d'articulation équivalent (/y/≈/i/+arrondissement, /ø/≈/e/+arrondissement), la position relative de l'articulation se retrouve reculée, d'où une conséquence acoustique d'abaissement du 2^e formant.

Il est important de signaler que la relation entre configurations articulatoires et résultat acoustique n'est pas bijective mais surjective. En effet, à toute réalisation acoustique préexiste une forme articulatoire mais ce contour n'est pas unique, rendant la relation non injective et donc non biunivoque. En effet, il existe des phénomènes de compensation qui, malgré des modifications articulatoires multiples, permettent d'obtenir un même résultat acoustique (cf. chapitre 10). Par exemple, un arrondissement des lèvres (baisse du F2) peut être compensé par une avancée du lieu d'articulation (augmentation du F2). De ce phénomène de compensation, nous pouvons tirer deux conséquences. Tout d'abord, il convient de rester prudent sur l'interprétation articulatoire de l'analyse

acoustique (cf. chapitre 24). D'autre part, dans les problèmes de dysfonctionnement de la production de parole, ces phénomènes peuvent être pleinement utilisés par le locuteur qui doit alors mettre en place ces stratégies de compensation en mobilisant au mieux ses articulateurs les plus efficaces.

Pour finir, nous mentionnerons la théorie quantique de Stevens (1989) qui montre l'existence de régions du conduit vocal pour lesquelles un changement ou une imprécision de configuration articuloire n'entraîne pas de conséquence acoustique déterminante. On parle alors de région de stabilité. En revanche, d'autres parties du conduit, appelées régions d'instabilité, entraînent un profond changement acoustique pour de petites variations articuloires. D'après l'auteur et comme mentionné par Maeda et Carré (1996), les voyelles seraient produites plutôt dans les régions stables ne nécessitant pas un contrôle précis tandis que les consonnes privilégieraient les zones instables permettant de grandes variations acoustiques pour de faibles mouvements articuloires, en vertu d'un principe d'économie. Cette propriété n'est pas sans conséquence sur les dysarthries car elle a un pouvoir explicatif des troubles non homogènes de l'intelligibilité, c'est-à-dire que la perte d'intelligibilité ne se répartit pas uniformément sur tous les phonèmes mais probablement sur ceux qui sont liés à des régions sensibles.

3. Modifications élémentaires de la configuration des cavités

Les sons de la parole nécessitent la coordination de multiples mouvements articuloires précis, pouvant être décrits en termes de mouvements élémentaires des articulateurs, et modifient la conformation des cavités de résonance.

a. Modification de la longueur du tractus

Le raccourcissement du tractus vocal est possible via l'élévation du pharynx et/ou la rétraction des lèvres. Ce raccourcissement favorise les fréquences aiguës ; il est à l'origine d'articulations non labialisées ou non arrondies. A l'inverse, l'élongation du tractus peut être obtenue par la projection des lèvres vers l'avant (pour des articulations labialisées ou arrondies) et/ou l'abaissement du pharynx. Ce mouvement favorise quant à lui les fréquences graves.

b. Modification localisée du diamètre du tractus

Le diamètre du tractus peut être modifié en des endroits spécifiques, localisés mais n'affectant pas par ailleurs la totalité du conduit. La cavité pharyngale peut

voir son diamètre diminué par l'action des muscles constricteurs du pharynx. Au niveau de la cavité orale, la langue peut reculer ou avancer (mobilisation antéro-postérieure) et/ou s'élever ou s'abaisser (mobilisation dorso-ventrale) : ces deux principaux mouvements participent à la modification multidimensionnelle de la cavité orale. La fermeture totale du conduit vocal peut se produire par l'action des lèvres, de la langue et de la mâchoire. Le degré d'ouverture de la mâchoire contribue à la configuration du tractus en augmentant globalement le volume de la cavité orale. Il faut noter que la base de la langue étant fixée sur la mandibule, les mouvements de la mâchoire ont un effet sur la position de la langue.

c. Nasalisation des sons

C'est l'abaissement du voile du palais qui va mettre en relation les cavités orale et nasale et permettre la nasalisation des sons.

III. Résonances et phonétique articuloire

Les multiples possibilités de coordination de ces mouvements sont à l'origine des sons que l'on peut alors décrire et classer.

1. Les formants des voyelles

Les cavités pharyngo-buccales agissent comme des résonateurs qui modifient la composition spectrale du signal laryngé en renforçant les harmoniques proches de leurs fréquences de résonance. On parle de modèle source-filtre, la source étant le larynx pour les sons voisés, le filtre étant le conduit vocal (Fig. 6). Ces zones fréquentielles renforcées sont les formants qui sont parfaitement perçus par l'auditeur en terme de timbre (cf. chapitre 6) et qui, au niveau de la communication parlée, constituent la signature distinctive de chaque voyelle.

La figure 7a propose des coupes sagittales typiques du conduit vocal dans la production des voyelles orales du français. Les coupes ont été disposées de façon à refléter le lieu d'articulation (/i/ voyelle fermée antérieure, /u/ voyelle fermée postérieure, /a/ voyelle ouverte). La figure 7b indique les valeurs des deux premiers formants pour les mêmes voyelles. Les échelles sont volontairement atypiques (F1 est réparti sur l'axe vertical de haut en bas, F2 est distribué de façon logarithmique sur l'axe horizontal de droite à gauche). Une telle représentation permet ainsi de

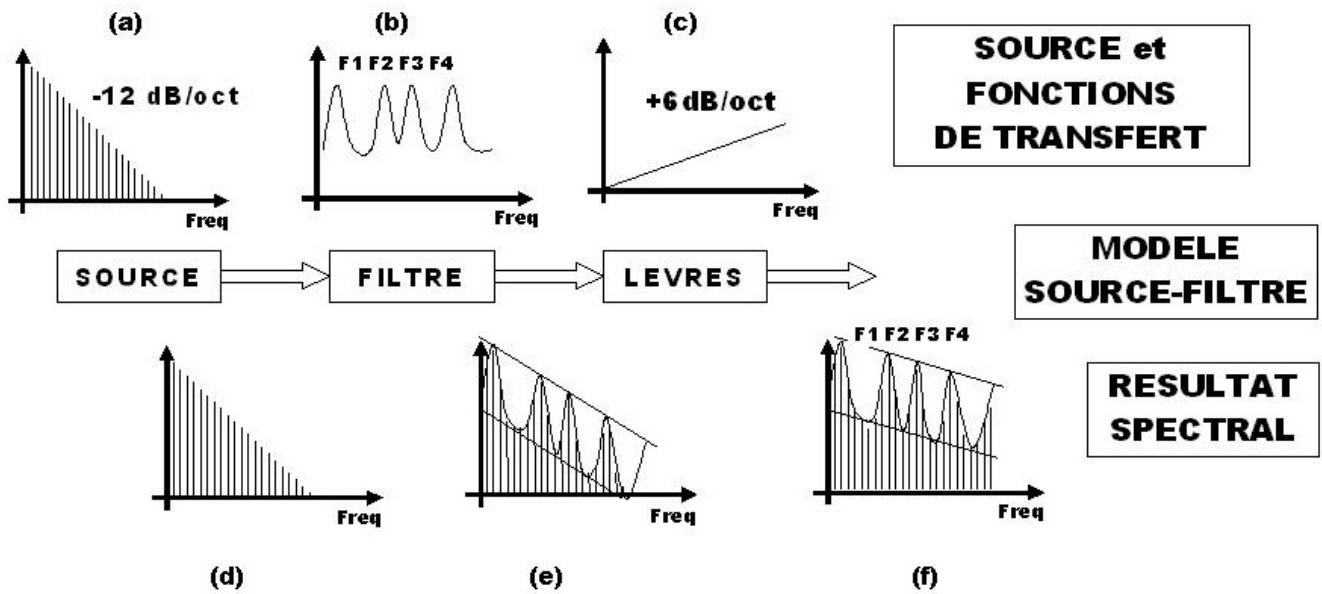


Fig. 6. Le modèle source-filtre de la production des voyelles. (a) représente la composition spectrale de la source laryngée avec sa structure harmonique en forme de peigne (cf. chapitre 6). (b) indique la fonction de transfert du conduit vu comme un filtre acoustique à caractéristiques variables. (c) illustre l'effet radiatif des lèvres. (d, e, f) décrivent le résultat spectral à chaque étape de la production, notamment (e) représente le renforcement des harmoniques dans les bandes de formants du fait des phénomènes de résonance sélective. (f) est quasi identique à (e) si ce n'est le redressement de la pente du spectre par effet radiatif des lèvres.

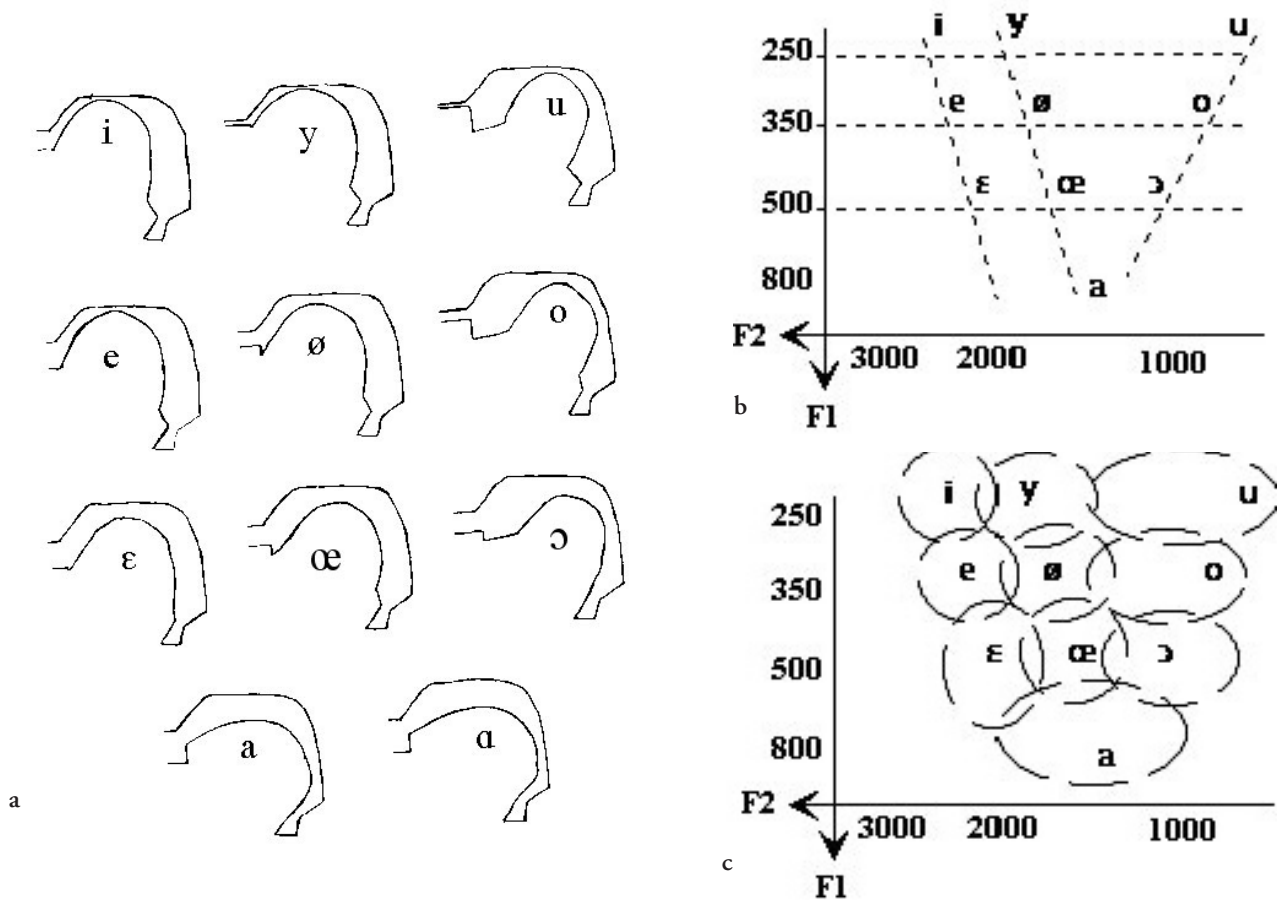


Fig. 7. Formants des voyelles. (a) Coupes sagittales typiques du conduit vocal (d'après Tubach, 1989). (b) Valeurs typiques des formants. (c) Ellipses de dispersion. On remarque la corrélation entre F1 et degré d'ouverture ainsi que F2 et antériorité du lieu d'articulation.

disposer d'un point de vue acoustique les voyelles avec les mêmes critères articulatoires qu'en figure 7a. Il faut signaler la particularité des voyelles arrondies /y/, /ø/, /œ/ dont le F2 est abaissé par rapport à leur équivalent non arrondi, phénomène que nous avons décrit dans le paragraphe précédent. Enfin, la figure 8c illustre la dispersion des valeurs autour d'un centre « idéal », cette dispersion rendant compte de la variabilité importante comme l'avaient déjà montré Peterson et Barney (1952).

Nous avons jusqu'à présent abordé les propriétés de résonance de façon statique. Or, la chaîne de communication parlée est un phénomène éminemment dynamique. On observe donc une évolution permanente des caractéristiques de résonance liées aux mouvements des organes articulatoires. Les transitions formantiques sont le reflet de cette dynamique qui correspond à la modification de conformation des résonateurs pendant le passage de la consonne à la voyelle (Fig. 8). D'un point de vue perceptif, les travaux de Delattre (1958) ont permis de mettre en évidence l'importance de ces transitions en tant qu'indice fort pour la distinction du lieu d'articulation et donc du phonème. Concernant la production, ces transitions sont de bons indicateurs de la « motricité » des organes articulatoires. Ainsi, de nombreux auteurs rapportent une durée réduite des transitions formantiques dans la dysarthrie hypokinétique parkinsonienne (Connor *et al.*, 1989), cette diminution de durée indiquant une baisse de l'amplitude des mouvements articulatoires.

2. Cavités et consonnes

Nous ne passerons pas en revue les phénomènes de résonance pour toutes les consonnes. Des détails sont disponibles dans plusieurs ouvrages de référence dont ceux de Fant (1960) et Tubach (1989). En guise d'exemple, nous mentionnerons ce phénomène pour les fricatives /f/, /v/, /s/, /z/, /ʃ/, /ʒ/, appelées aussi constrictives. Ces phonèmes sont produits avec un rétrécissement important en un point du conduit vocal, donnant ainsi naissance à un bruit de turbulence aérodynamique caractéristique de ces consonnes. La différence entre les fricatives sourdes /f, s, ʃ/ et les équivalentes sonores /v, z, ʒ/ réside dans la vibration des cordes vocales pour la production des sonores, d'où leur appellation de fricatives voisées. Dans ce dernier cas, il existe deux sources de signal : le son périodique laryngé et le bruit de friction. Pour les fricatives sourdes, le bruit de friction est l'unique générateur sonore. Au niveau articulatoire, il n'existe pas de différence majeure entre la fricative sourde et son équivalente sonore. /s, z/ sont produites au niveau alvéolaire, /ʃ, ʒ/ sont postalvéolaires (ou prépalatales) et /f, v/ sont labio-dentales. Dans le cadre de la résonance, le cas des labiales /f, v/ sort du contexte car pour ces consonnes, la génération du son a lieu directement en bout de conduit vocal, au niveau des lèvres, c'est-à-dire sans implication des cavités. Pour les dentales /s, z/, le volume de la cavité devant la constriction est très réduit, ce qui entraîne un résultat acoustique aigu avec un bruit de turbulence de 4 à 8 kHz. En revanche, pour /ʃ, ʒ/, « le volume de la cavité antérieure est plus grand, d'autant que les lèvres sont projetées en avant (arrondissement) » (Tubach,

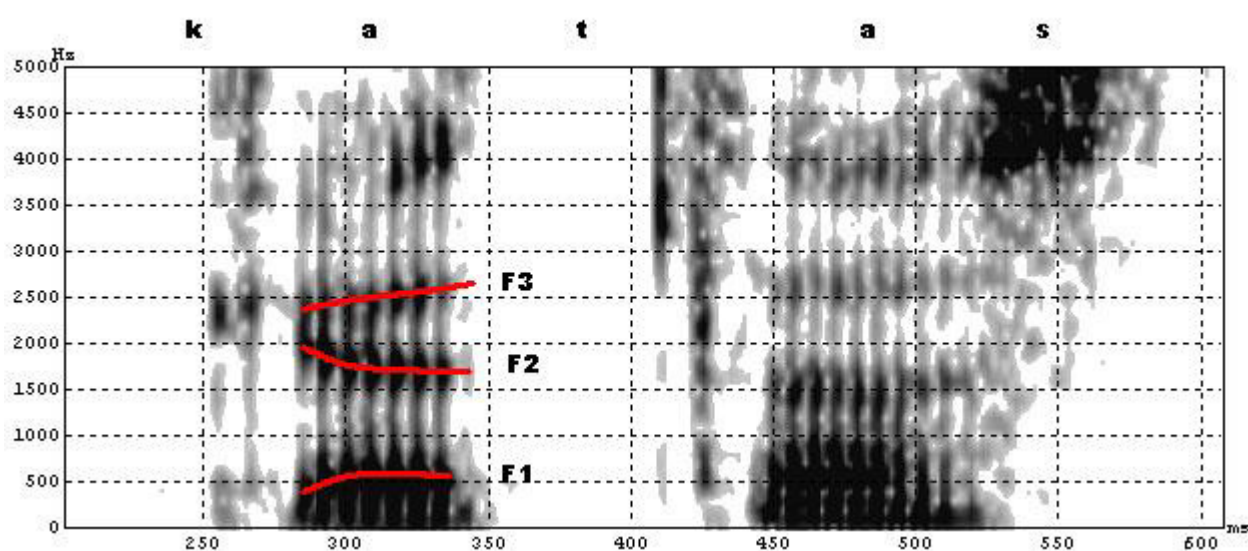


Fig. 8. Spectrogramme (cf. chapitre 6) sur l'énoncé « catastrophique ». On peut remarquer les transitions formantiques très nettes sur le premier /a/ (augmentation de F1 et F3, abaissement de F2). D'autre part, on peut observer la variabilité contextuelle entre les deux /a/ (F2 plus haut sur le /a/ de /ka/ que sur celui de /a/).

1989). On observe alors un bruit de turbulence plus grave dès 2 kHz. On retrouve ainsi les caractéristiques de la résonance où un volume important favorise les basses fréquences.

Pour nuancer ce propos, il faut signaler que par effet de coarticulation, ces phonèmes sont facilement colorés par les voyelles environnantes. Ainsi, le /ʃ/ de « chichi » sera beaucoup plus aigu que celui de « chouchou » car la production de la voyelle est anticipée au moment de la réalisation de la consonne. On observe alors une nette différence de configuration articuloire entre les deux productions de la même consonne, ce qui entraîne ainsi une différence acoustique.

3. Résonance nasale

De par la complexité anatomique des cavités nasales, la modélisation des phénomènes de résonance dans le conduit nasal reste un sujet difficile. D'une part, elle réclame la caractérisation spécifique du conduit nasal en termes de courbe de résonance. D'autre part, elle nécessite l'étude des effets de couplage avec le conduit oral, ces deux pseudo-tubes fonctionnant en parallèle quand le voile du palais est abaissé pour laisser passer l'air dans le conduit nasal.

Le premier point a été étudié par Lindqvist et Sundberg (1972) à partir de données expérimentales (Fig. 9). Leurs travaux mentionnent l'existence d'une zone fréquentielle privilégiée entre 450 et 650 Hz due essentiellement aux caractéristiques volumiques des sinus (Stevens, 1998, p. 190). Une résonance autour de 2000 Hz a aussi été identifiée, ainsi qu'une antirésonance entre 1000 et 1500 Hz, sans que les auteurs ne donnent une explication anatomique de ces résultats. La courbe de résonance présentée en figure 9 pourrait s'apparenter à celle de la figure 6b qui est relative aux voyelles orales. La différence fondamentale entre les deux caractéristiques est que dans le cas de la résonance des cavités orales, le processus est dynamique et variable en fonction des configurations articuloires. En revanche, pour la résonance nasale, le processus est complètement statique si ce n'est le mouvement du voile qui active ou inhibe le procédé de façon binaire.

La question du couplage entre le tractus oral et le conduit nasal, ainsi que des effets acoustiques qui en découlent, relève du formalisme de Laplace fondé sur l'analyse des pôles et des zéros des systèmes couplés. Le degré de couplage est lié à la surface de la section d'entrée du conduit nasal et donc au degré d'abaissement du voile du palais. Cette surface est un paramètre important dans le résultat acoustique.

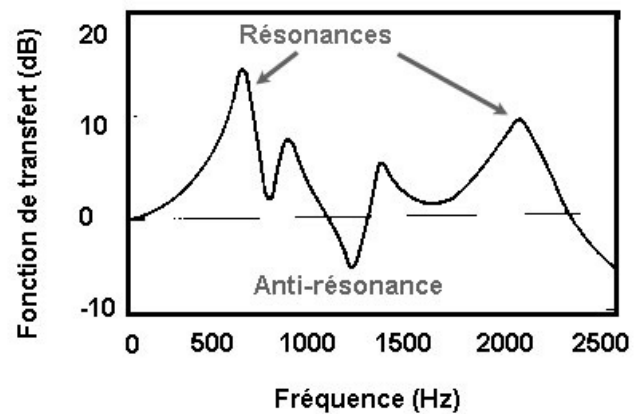


Fig. 9. Fonction de transfert acoustique de la cavité nasale (d'après les travaux de Lindqvist et Sundberg, 1972, dans Stevens, 1998) : mise en évidence de résonances et d'anti-résonances. D'importantes variabilités interindividuelles sont attendues dans cette courbe de résonance.

Globalement, d'après les résultats de Stevens (1998, p. 314) et de Tubach (1989, p. 89), la présence des résonances et antirésonances nasales entraîne un affaiblissement de l'amplitude du 1^{er} formant des voyelles nasales par rapport à leur équivalente orale, ainsi qu'un élargissement de leur bande passante, synonyme d'amortissement. En revanche, les résultats relatifs à la modification en fréquence des formants semblent controversés selon les mêmes auteurs. Dans tous les cas, les indices acoustiques liés à la nasalité sont difficiles à observer sur des représentations spectrographiques ; les procédés aérodynamiques demeurent les outils privilégiés pour étudier les phénomènes de nasalité, notamment dans les dysfonctionnements du voile du palais.

IV. Conclusion

Le phénomène de résonance est un moteur essentiel dans la production de la parole. Il est intimement lié aux cavités du conduit vocal. La forme de ces cavités résulte de mouvements particuliers des organes articuloires. Le résultat acoustique est l'apparition de zones fréquentielles privilégiées dans le signal vocal. Ces régions amplifiées sont appelées formants dans le cas des voyelles et restent aussi visibles pour les consonnes. L'analyse acoustique peut apparaître comme un bon moyen de mesurer les caractéristiques de ces cavités et donc des organes articuloires. Cependant, l'existence de phénomènes de compensation ne doit pas faire oublier qu'un tel raisonnement peut se révéler erroné car, si une configuration articuloire entraîne un résultat sonore déterminé, un résultat vocal peut être produit de différentes façons au niveau articuloire.

Références

1. Carré R, Mrayati M. Articulatory-acoustic-phonetic relations and modeling regions and modes. In Hardcastle WJ, Marchal A (eds). *Speech Production and Speech Modelling*. Coll. NATO ASI, Series D, vol 55. Academic Press Inc. Cambridge, GB 1990, pp 211-240.
2. Chiba T, Kajiyama M. (1941). *The Vowel : its Nature and Structure*. Tokyo-Kaseidan Pub. Tokyo.
3. Connor NP, Ludlow CL, Schulz GM. Stop Consonant production in isolated and repeated syllables in Parkinson's disease. *Neuropsychologia* 1989, 27 : 829-838.
4. Delattre PC. *Les indices acoustiques de la parole*. *Phonetica* 1958, 2, 1/2 :108-118, 3/4 : 226-251.
5. Fant G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production*. Mouton & Co. La Haye.
6. Le Huche F, Allali A. (1984) *La voix. Anatomie et physiologie des organes de la voix et de la parole*. Masson. Paris.
7. Levelt WJM. *Articulating*. In Levelt WJM (ed). *Speaking. From intention to articulation*. MIT Press. Cambridge Massachusetts. 1989, pp 413-457.
8. Lindqvist J, Sundberg J. *Acoustic properties of the nasal track*. In: *Speech Transmission Laboratory - Quarterly Progress and Status Report 1*. Royal Institute of Technology, Stockholm. 1972, pp 13-17.
9. Maeda S, Carré R. *Modèles de production*. In Meloni H (ed). *Fondements et Perspectives en traitement automatique de la parole*. Coll. Universités Francophones. AUPELF-UREF Paris 1996, pp 31-53.
10. Peterson GE, Barney HL. *Control methods used in a study of the vowels*. *J Acoust Soc Am* 1952, 24 : 175-184.
11. Seikel JA, King DW, Drumright DG. (2000). *Anatomy and physiology for speech, language and hearing*. Singular Publishing Group. San Diego, California.
12. Stevens KN. *On the quantal nature of speech*. *J Phonetics* 1989, 17: 3-45.
13. Stevens KN. (1998). *Acoustic Phonetics*. MIT Press. Cambridge, Massachusetts.
14. Tubach JP. (1989). *La parole et son traitement automatique*, Calliope. Masson. Paris.