

ESSAI SUR LA PHYSIOLOGIE DU SON LARYNGÉ

JEAN-CLAUDE LAFON

L'émission laryngée des sons a connu des fortunes diverses depuis une centaine d'années. Il semble qu'actuellement les enseignements officiels soient encore le reflet de deux conceptions qui ont marqué la physiologie laryngée, l'une c'est la vulgarisation du théorème de Fourier sur l'analyse des systèmes périodiques, l'autre l'idée de Raoul Husson de faire dépendre le rythme de l'émission d'une commande neurale.

Au lieu d'exposer dans ce rapport une synthèse de l'évolution des publications de ces dernières années ou de décrire des travaux personnels, nous avons estimé préférable de discourir, exemples à l'appui, sur les conceptions que l'on peut avoir de cette physiologie. Si l'on expérimente, on replace les faits observés dans le cadre d'une hypothèse qui à la fois en apporte l'explication et en reçoit la justification. Toute expérimentation part d'une hypothèse, son élaboration déjà en est marquée, elle est construite à partir d'une idée, sa valeur est de ce fait réduite au champ de l'hypothèse. Seule une anomalie constatée dans le déroulement des faits observés peut amener l'expérimentateur à critiquer l'organisation de l'expérimentation, à condition qu'il ait l'esprit ouvert à cette critique. Sinon, pourvu qu'une rigueur nécessaire ait présidé à l'expérience, les résultats ne peuvent que confirmer l'hypothèse de départ. Le principal défaut d'un chercheur consiste à ne pas sentir dans l'observation ce qui peut être interprété de façon toute différente de ce qu'il a prévu. Remettre en cause une doctrine admise, réexaminer les faits sous d'autres incidences sont deux actions nécessaires. Si dans la physiologie laryngée il est si difficile de le faire, c'est tout simplement que chacun sent que la part de ses connaissances est trop réduite pour qu'il puisse se permettre de contester des interprétations. Seul peut-être l'acousticien évoluant dans le domaine des sciences exactes se croit assuré de ses pas. Ni le phonéticien, ni le physiologiste ne peuvent l'être. Ici je parlerai en physiologiste décrivant des démarches qui devront être critiquées tant en phonétique qu'en acoustique mais qui, je l'espère, ouvriront au moins un débat.

M'occupant de la pathologie, je ne peux admettre des théories ou des hypothèses infirmées par la pratique quotidienne des désordres vocaux: le développement de mon exposé sera marqué par cette pathologie. Il est fort possible que, pour beaucoup d'auditeurs, je n'exprime que des faits évidents, je n'affirme que des assertions

incontestées, mais j'ai l'impression qu'en phonétique beaucoup d'expérimentations ont besoin d'une critique et que le développement de mon exposé ne recevra pas un accord unanime.

Commençons par le problème d'une commande neurale de l'émission vocale.

1. COMMANDE NEURALE DE LA VOIX

1.1. Si Raoul Husson a publié sa thèse en 1950, on ne doit pas oublier que l'idée de cette commande neurale date d'avant 1935. Elle est notée dans une communication de Tarneaud qui, parlant de Raoul Husson, signale qu'il expérimente cette idée. Travaillant en relation avec Lapique, père de la mesure chronaxique, il devait appeler son hypothèse "THÉORIE NEURO-CHRONAXIQUE" bien que la chronaxie n'ait pas grand chose à voir dans ces phénomènes. L'hypothèse étant faite il fallait la prouver. On a attendu jusqu'en 1950. Cette attente est importante car les expérimentations apportées à l'appui de la thèse datent toutes des mois qui ont précédé la soutenance et sont en général uniques, 'des expériences fondamentales'. Le fait d'être unique semblait donner plus de poids à la démonstration!

Le mérite de Husson est peut-être d'avoir déclenché une campagne expérimentale comme on n'en rencontre qu'à certaines époques pour la phonation, domaine peu exploré habituellement en physiologie. Malheureusement les résultats de ses expériences n'ont pas été retrouvés, les contre-expériences renouvelées n'ont jamais confirmé la théorie neuro-chronaxique. Mais le battage fait autour de cette hypothèse a été tel qu'il marque encore beaucoup d'enseignements. Si l'on enseigne d'autres principes également, on n'omet que rarement le principe de la commande neurale et pourtant l'incompatibilité physique est telle que celle-ci exclut pratiquement les autres, et réciproquement. Ou bien l'ouverture a des bords rigides, elle est insensible aux variations de pression de l'air glottique et la sirène peut fonctionner; ou bien les tissus ont quelque souplesse et ils sont soumis dans leurs mouvements à l'action physique des pressions aériennes, et le système ne peut plus alors fonctionner comme une sirène.

De nombreux travaux ont été consacrés à ce problème, des thèses, des rapports..., nous ne prendrons que ce que nous connaissons pour l'avoir expérimenté.

1.2. L'ÉLECTROMYOGRAPHIE DES CORDES VOCALES tant par Faaborg Andersen, Van den Berg que par nous-même à la même époque montre qu'il n'est pas possible de trouver de concordance entre l'activité électrique neuro-musculaire et le rythme de l'émission vocale. Par contre on relève qu'il existe des courants microphoniques tissulaires sans rapport avec une activité électrophysiologique neurale ou musculaire, mais dépendant uniquement de potentiels de membrane, qui sont synchrones de l'ouverture laryngée. Cette synchronisation est obligatoire car elle est la traduction du mouvement et non d'un potentiel de commande: le déplacement provoque une variation électrique de membrane. On la retrouve aussi dans l'oreille (microphonique

cochléaire) ou dans toute membrane vivante, chez l'homme par exemple dans les polypes du nez. Ce microphonique a été pris dans toutes les expérimentations de base de Husson pour un potentiel neural, l'artefact pour une réalité d'activité musculaire.

1.3. Il est intéressant également d'examiner la qualité des VOIX BITONALES. On trouve parfois des sons simultanés au nombre de deux, trois ou quatre dans des conditions vibratoires qui excluent qu'il puisse y avoir une commande aussi diversifiée passant par le nerf récurrent, quelle que soit la qualité des muscles de la corde vocale. Cette qualité a été un argument de choix pour Husson, expliquant par la singularité des fibres de la corde vocale, l'extraordinaire possibilité de rythme du mouvement des cordes.

1.4. Lorsqu'en pathologie on se trouve en présence d'une aphonie pithiatique, on tente une FARADISATION DES CORDES VOCALES. On envoie un courant qui provoque la contraction des muscles. A l'analyse acoustique on constate à chaque faradisation une variation de la hauteur émise sans rapport avec le rythme du courant et sans participation volontaire du sujet. En état de tétanisation avec un rythme rapide de courant faradique le larynx continue à émettre un son alors que la corde vocale est incapable de vibrer sous une influence neurogène.

1.5. Les variations de pression sous-glottique entraînent également une variation de hauteur du son in vivo ou in vitro comme l'a montré van den Berg.

1.6. Mais nous pensons que l'argument le plus démonstratif pour des phonéticiens reste celui de la VOIX ŒSOPHAGIENNE.

Lorsque on enlève le larynx d'un sujet pour un cancer, on coupe la trachée que l'on abouche à la peau. On fait l'ablation d'un ou deux anneaux trachéaux, de l'ensemble de la carcasse laryngée avec l'épiglotte. Les nerfs récurrents naturellement disparaissent dans l'intervention. L'ouverture béante laissée par le larynx dans la paroi antérieure du pharynx est suturée. On a ainsi un entonnoir pharyngé qui se continue par la bouche de l'œsophage. L'ensemble est soumis à la contraction des muscles pharyngés en particulier à une partie du muscle pharyngé inférieur qui constitue la bouche de l'œsophage.

On apprend à l'opéré à émettre à nouveau des sons en utilisant un air emmagasiné dans l'œsophage. Air gastrique d'abord par éruclation et rapidement air dégluti restant dans l'œsophage refoulé ensuite lentement à travers l'extrémité supérieure. Le sphincter constitué par la bouche de l'œsophage sert de lieu de formation des tourbillons rythmés. Or un sphincter ferme un conduit, un anneau musculaire ne peut jamais démasquer activement son ouverture, il ne le fait que par relâchement. Ce muscle est d'autre part un muscle très ordinaire dans sa texture. Malgré cela il se produit des séries d'impulsions très semblables aux impulsions laryngées. Naturellement leur qualité laisse à désirer, l'anche n'étant pas de forme parfaite, et leur rythme est assez lent. Mais on constate dans une phrase des variations de ce rythme du même ordre que celles que donne le larynx. On conçoit mal que deux productions vocales aussi semblables puissent être régies par des modes différents. Or la bouche

de l'œsophage ne peut fonctionner que comme un système d'anche à bourrelets, la commande d'ouverture ne peut en aucune façon être neurogène. La nouvelle voix permet de reproduire la parole, modulation par la cavité pharyngo-buccale des impulsions œsophagiennes.

1.7. Était-il nécessaire de rappeler ces points expérimentaux ? Nous l'avons fait car nous croyons qu'il y a encore des phonéticiens qui gardent un doute sur ce point.

Or LES CONSÉQUENCES PHONÉTIQUES sont très importantes. Si son rythme n'est pas d'origine neural, la voix devient une construction complexe périphérique. La fréquence n'est qu'une combinaison de données physiques indépendantes du système nerveux dans leur interaction. Encore plus la parole ne peut avoir pour origine une commande fréquentielle corticale. Et toutes les théories qui font intervenir dans le contrôle audiophonatoire une action rythmée reçue par l'oreille et transmise au larynx sont a priori erronées dans leur principe fondamental : la voix et la parole ont une genèse périphérique indépendante d'une activité neurale induisant les fréquences acoustiques.

2. L'ÉMISSION IMPULSIONNELLE

L'étude des voix œsophagiennes nous a conduit à envisager la physiologie acoustique laryngée avec d'autres hypothèses. Nous avons pu trouver des impulsions isolées, c'est-à-dire une ouverture simple de la bouche de l'œsophage. La voix alors est réduite à une impulsion.

2.1. Cette IMPULSION se compose de tourbillons complexes que Smith avait essayé de mettre en évidence par stroboscopie avec un larynx artificiel. On peut considérer d'une part le transitoire acoustique, d'autre part la décroissance exponentielle de l'impulsion. Le transitoire représente un spectre plus ou moins étendu vers l'aigu suivant son énergie et son temps de réalisation. Dans la décroissance on note par contre des zones de fréquence très bien marquées qui constituent de véritables résonances marquant et allongeant l'impulsion primitive lorsque celle-là a été captée à la bouche du sujet. On voit ici la réciprocité du temps et de l'intensité puisque les échelles se confondent : dure ce qui est intense, est intense ce qui dure.

2.2. Dans LA VOIX LARYNGÉE de telles impulsions sont très difficiles à faire apparaître tant le larynx est un bon oscillateur, mis en route il produit un train et non une impulsion isolée. Cependant dans des voix très graves on retrouve cette structure impulsionnelle que ce soit au sonograph, à l'oscillographe ou par tout autre moyen d'enregistrement graphique. Nous savons bien que la striation verticale des sonagrammes correspond à ces impulsions et permet d'en calculer le rythme.

Mais dans la voix normale la durée de la résonance est telle que les impulsions se recouvrent en partie faisant apparaître des zones acoustiques continues particulièrement dans les graves du fait de la texture même des impulsions. Au discontinu

de l'émission fait place un ensemble complexe d'impulsions dont on retrouve la marque mais aussi des sons continus.

AU NIVEAU DE L'OREILLE où cet ensemble est capté, nous n'arrivons pas, le plus souvent, à percevoir la sensation de l'élément discontinu. La rémanence cochléaire efface ce qui reste encore, malgré l'amortissement très rapide des ondes au niveau de l'oreille interne. Cette rémanence dépasse 60 millisecondes, et le pouvoir séparateur de l'oreille ne descend à 2 millisecondes que pour des impulsions très particulières isolées, de durée pratiquement nulle et à plus de 8 millisecondes en face de trains d'impulsions de ce type. L'oreille fait une intégration totale des impulsions laryngées.

2.3. En lisant un sonagramme ou toute analyse harmonique, on se trouve en face d'un SPECTRE À RAIES. N'étant pas physicien nous avons toujours été très perplexes devant cette image banale de l'analyse acoustique.

Nous sommes tellement habitués à cette forme d'étude que nous parlons 'DU SON LARYNGÉ ET DE SES HARMONIQUES'. En fait que représentent-ils ? Où se trouvent ces harmoniques dans la physiologie vocale ? Peut-être est-ce une question naïve, mais elle nous a si longtemps gêné que nous pensons que d'autres aussi peuvent l'être.

2.4. Si l'on pouvait prélever un son laryngé pas encore marqué par les résonances des cavités supralaryngées, on trouverait une suite parfaitement discontinuée d'impulsions. Nos yeux dans un graphe correspondant ne verraient que cette suite, chaque impulsion étant un système tourbillonnaire complexe isolé. La discontinuité ne permet pas de mettre en évidence une série harmonique. A l'oreille d'ailleurs si, artificiellement, on écarte les impulsions en augmentant la période, on prend parfaitement conscience de cette discontinuité. Nous avons aussi beaucoup de difficultés à essayer de distinguer les harmoniques à l'oreille alors que le son fondamental est éclatant d'évidence.

2.5. En oubliant ce que montre l'analyse harmonique nous allons reconsidérer l'enregistrement. Nous distinguons d'emblée une donnée qui s'impose. C'est LA PÉRIODE, c'est-à-dire le temps qui sépare deux impulsions successives. La deuxième donnée sera la forme de l'impulsion ainsi isolée : son front de montée et ses tourbillons d'intensité décroissante. On peut ainsi mesurer une autre qualité : L'ÉNERGIE de l'impulsion. Celle-ci est reflétée d'une part par le transitoire, d'autre part par la durée du phénomène tourbillonnaire. Le transitoire et les tourbillons donnent un timbre particulier à l'impulsion, timbre qui peut être décrit par le spectre acoustique. Ce spectre va traduire donc un aspect de la FORME DE L'IMPULSION.

2.6. L'étude du SON LARYNGÉ IMPULSIONNEL nous amène à décrire deux paramètres : LE RYTHME ET LA FORME DES IMPULSIONS.

On peut rechercher ce rythme dans le son émis par la bouche et faire ainsi une détection de la mélodie dans la voix et la parole. L'extraction acoustique en est complexe. En fait le rythme correspond à un mouvement d'ouvertures laryngées. Il se retrouve dans l'étude de ce mouvement tel que l'on peut le faire à l'aide d'un glottographe. Cet instrument doit donc être préféré pour rechercher la fréquence des

ouvertures laryngées. Une simple transformation chronométrique permet le passage sur n'importe quel système de dépouillement, en particulier un computer.

La forme de l'impulsion (dont dépend le timbre) par contre, ne peut pas être décelée à partir du mouvement des cordes vocales. Le glottographe n'est que d'une utilité extrêmement réduite ici, car l'ouverture glottique n'est qu'un facteur de la forme des tourbillons. Cette dernière est sous la dépendance d'abord de la différence de pression sous et sus-glottique, ensuite de la forme du bord des cordes vocales, de leur épaisseur, de la muqueuse qui les recouvre et de sa laxité, des cavités situées au-dessus... Il est donc impossible de détecter cette forme en étudiant le mouvement, bien qu'il y ait une relation évidente entre la rapidité d'ouverture et la qualité du transitoire.

Durant la traversée des cavités supralaryngées, la forme va être modifiée par filtrage, absorption d'énergie, résonance cavitaire..., alors que le rythme reste pratiquement inchangé. Dans l'impulsion remodelée apparaissent des impulsions secondaires, marque des résonateurs. Les physiciens ont remarquablement étudié ces aspects, Gunnar Fant en particulier. Pour nous, nous pouvons considérer cet ensemble comme une 'boîte noire' et grâce à l'impulsion recueillie à la sortie essayer de calculer l'équation du système traversé. C'est le principe de l'ANALYSE IMPULSIONNELLE.

3. LES DONNÉES INSTRUMENTALES

Lorsqu'on utilise un appareil dans l'étude de la phonation, on est tributaire de ses caractéristiques. On ne peut étudier que les paramètres qui sont captés par l'appareil. Tout instrument provoque donc déjà une réduction du phénomène à ce qu'il peut mesurer, la vue en reste partielle.

Le signe capté, entré dans la machine va être traité, c'est-à-dire modifié à un degré plus ou moins poussé. Ainsi en est-il de l'analyse harmonique de la voix. Suivant les constantes de temps de l'analyseur il y aura ou non connaissance par la machine de la série des impulsions. Le graphe est alors le reflet soit de la discontinuité soit d'une continuité où apparaissent le fondamental et ses harmoniques. Cette méthode nous apporte des renseignements essentiels. Mais il faut se garder de penser que l'analyse faite correspond forme pour forme au son qui a été capté. Nous obtenons un résultat analogique et non la description du phénomène physiologique acoustique. L'erreur est d'interpréter la physiologie de façon rigide et de dire qu'il existe un son laryngé fondamental et des harmoniques. Ce n'est qu'une potentialité mise en évidence par la machine et non une réalité. On devrait dire: tout se passe COMME SI l'émission vocale était constituée d'un son fondamental et de ses harmoniques.

LA PHYSIOLOGIE LARYNGÉE EST UNE PHYSIOLOGIE TEMPORELLE. LE LARYNX EST UN ÉMETTEUR D'IMPULSIONS SUIVANT LE RÉGIME DES OSCILLATIONS DE RELAXATION, LES PARAMÈTRES EN SONT LA PÉRIODE ET L'ÉNERGIE DISSIPÉE DANS LE TEMPS PAR CHAQUE IMPULSION.

L'analyse harmonique renseigne, en en faisant l'extraction, sur la fréquence du son laryngé, les harmoniques pouvant servir à son calcul. Par contre pour rechercher la forme des impulsions il faut saisir l'enveloppe de ces harmoniques. Plus le fondamental est aigu plus cette recherche est approximative.

4. LA RÉCEPTION DES IMPULSIONS LARYNGÉES

Cette conception de l'émission vocale trouve son application au niveau de la perception auditive. Incontestablement les données fondamentales de l'audition de la voix sont la hauteur et le timbre, c'est-à-dire en physique la fréquence et le spectre.

4.1. L'OREILLE AUSSI EST UN SYSTÈME TEMPOREL. Mais les méthodes d'explorations basées sur l'analyse fréquentielle induisent faussement une correspondance entre la méthode d'étude et le mécanisme physiologique. Or l'oreille ne fait pas d'analyse harmonique, ne réalise pas ce que montre l'audiogramme tonal. La cochlée reçoit une impulsion qui ébranle les liquides et qui se dissipe à certains niveaux de la membrane basilaire entraînant la sensation d'un éclat acoustique doué d'une qualité de timbre. Les mouvements liquidiens durent un moment et s'amortissent. Si une impulsion nouvelle survient après l'amortissement, c'est une nouvelle sensation, comme lorsqu'on espace les impulsions laryngées. L'audition est celle d'un rythme. Si une impulsion nouvelle survient pendant la vibration cochléaire il va se produire des interférences en un lieu de la cochlée déterminé par le temps qui sépare les impulsions, c'est-à-dire la période. La période induit le lieu, donc la localisation. Nous sommes en présence des mêmes paramètres qu'à l'émission vocale: perception de la période d'une part, de la forme d'autre part, fonction de l'énergie dissipée dans le temps.

4.2. Alors que la période reçue est le reflet du fonctionnement laryngé, celui des ouvertures glottiques, sur lesquelles les cavités supralaryngées n'ont pas de prise, la forme des impulsions transporte l'information des cavités traversées qui l'ont marquée de leurs formes propres. On peut schématiquement ramener la voix à la période donc à la hauteur, et la parole à la forme donc au timbre. Cependant les modifications apportées par le pharynx, la bouche... sont tributaires du contenu énergétique de l'impulsion laryngée, donc le timbre vocal est à la fois le reflet de la forme donnée par le bord des cordes, la muqueuse... et celle donnée par les cavités.

4.3. LE RÔLE DE LA VOIX DANS LA PAROLE apparaît ainsi fort complexe. Dans le contenu acoustique émis il ne peut exister que ce que le souffle vocal a créé. Si pour les consonnes ces rétrécissements producteurs de tourbillons acoustiques se situent en différents endroits du tractus vocal, pour l'émission vocalique par contre c'est le larynx qui est l'émetteur.

La périodicité des impulsions est tributaire des tensions laryngées et des pressions aériennes. Or pour parler il faut disposer de diverses potentialités de timbre, donc

il faut accommoder les tensions laryngées pour fournir une forme préférentielle aux structures phonétiques, aux syllabes ou aux phrases. Les tensions variant, la période va être aussi influencée. Il existe effectivement des relations à ces différents niveaux.

4.4. Cependant elles sont souvent très mal mises en évidence par les phonéticiens. Ceux-ci s'attachent à l'émission, donc à la réception primaire de la hauteur vocale. Or elle varie d'un individu à l'autre dans de telles proportions qu'il est fort difficile de comparer des émissions de parole entre elles. En fait la sensation de hauteur que nous pouvons avoir dans une phrase n'est pas que celle d'une hauteur. Le très jeune enfant entend et reproduit facilement ces mélodies. Avec l'âge et avec l'apprentissage de la préhension des ensembles acoustiques signifiants, la hauteur de la parole perd de son importance à l'avantage de ses variations relatives. L'exploitation phonétique du son laryngé ne doit donc pas être faite avec les données primaires, mais en interprétant l'intention mise par le locuteur, c'est-à-dire en recherchant les variations donc les rapports de fréquence. On peut les calculer en faisant le rapport de la période instantanée à la période moyenne utilisée par le sujet. Ou encore à l'aide des fréquences ce qui revient au même. On constate alors que la voix devient un élément véritablement signifiant dans la parole et que *les formes mélodiques* appartenant au domaine ethno-linguistique sont très régulières dans un groupe donné.

Cette étude de la mélodie au deuxième degré de la sensation permet également, par la quantification, une exploitation très intéressante grâce aux calculs qui deviennent alors possibles, en particulier aux calculs statistiques.

5. CONCLUSIONS

Les ébauches que nous venons de donner sont plus des interprétations théoriques du phénomène vocal que véritablement une description des données physiologiques et acoustiques. Mais elles peuvent servir de guide dans l'exploitation des données. Il ne faut jamais oublier lorsqu'on interprète des signes acoustiques, en particulier, physiologiques, que c'est l'oreille qui les perçoit, donc que ces données doivent être interprétées en fonction de la mécanique cochléaire et également en fonction de la forme des sensations perçues.

Des problèmes fort importants et actuels n'ont pas été abordés en particulier celui de la voix chuchotée qui représente un autre système de régime tourbillonnaire, ou celui des sons laryngés sifflés, ou encore celui de la relation entre les formes impulsionnelles et le nombre des harmoniques, etc.

Nous avons pensé qu'il était important en phonétique de connaître cette interprétation impulsionnelle de la fonction laryngée qui ouvre de nouveaux thèmes aux recherches du contenu significatif des traits acoustiques de la parole. Au niveau de l'oreille, elle nous fait comprendre que l'audiogramme est un reflet incomplet et

même trompeur du mécanisme cochléaire, dont le facteur principal, le temps, a été exclu.

*Université de Besançon et
Centre national de la recherche
scientifique, France*

DISCUSSION

ABRAMSON (Storrs, Conn.)

Frankly, I am perplexed. I do not know at whom Dr. Lafon has aimed this paper. Even if we accept all his factual assertions without quibbling over details, the paper seems to assume serious ignorance on the part of phoneticians of what is known today about the production and perception of speech. The teaching of phonetics is said to be marred by two concepts: Fourier analysis and the neurochronaxic theory of phonation.

Since its first full appearance in the public domain Husson's (1950) neuro-chronaxic theory of phonation has stimulated much productive research. But this very research has in fact led to the rejection of the theory as, for the most part, untenable. Indeed, the picture seemed quite clear by 1958 when van den Berg's well-known article on the myoelastic-aerodynamic theory appeared (van den Berg 1958). Of course, Dr. Lafon's own research helped clarify the matter, for example in his book of 1961. I wonder why he feels that he must devote one third of a major address to arguments against the theory in the year 1971!

While discussing the possibly confusing effect of Fourier analysis on phonetic research and teaching, Dr. Lafon implies that the phonetician is likely to believe in the physiological reality of the harmonics he sees in narrow-band spectrograms. Although I see little ground for his fear, let me hasten to say that we are all well advised to remember that an instrumental display is no more than a transform of a particular aspect of the speech event. I am more concerned over Dr. Lafon's conviction that a lecture on the effects of vocal tract transmission on glottal pulses, giving neither a survey of what is known nor any new information, is needed here. By 1960 we had a rather clear statement of the subject (Fant 1960), and other treatments soon followed (Stevens and House 1961, Fant 1960).

Dr. Lafon's concern over the phonetician's analysis of the voiced portions of speech signals into arrays of harmonics extends to questions of auditory perception. Viewing the speech signal as a dynamically changing spectrum has helped the investigators at the Haskins Laboratories and elsewhere make great strides in their hunt for the acoustic cues to speech intelligibility. It does not follow from this that we believe that the ear must perform a spectral analysis moment by moment. Whether in fact in the processing of complex sound waves the ear acts as a frequency or time analyzer has been the subject of psycho-acoustic research and debate for some time.

In a recent discussion of the problem, Nordmark (1970) sees the ear as a "temporal pattern analyzer".

Phonetics is an interdisciplinary field in which linguistic phoneticians, physiologists, acousticians and psychologists work together. It is to be regretted that this otherwise interesting paper may lead the unwary reader to think that these people operate at a much lower level than they actually do.

REFERENCES

- Berg, J. van den
1958 "Myoelastic-Aerodynamic Theory of Voice Production", *Journal of Speech and Hearing Research* 1:227-244.
- Fant, G.
1960 *Acoustic Theory of Speech Production* (The Hague, Mouton).
- Flanagan, J.L.
1965 *Speech Analysis, Synthesis and Perception* (Berlin, Springer).
- Husson, R.
1950 *Étude des phénomènes physiologiques et acoustiques fondamentaux de la voix chantée* (Paris, Thèse).
- Lafon, J.-C.
1961 *Message et phonétique* (Paris, Presses universitaires de France).
- Nordmark, J.O.
1970 "Time and Frequency Analysis" in *Foundations of Modern Auditory Theory*, Jerry V. Tobias, Ed., Vol. I (New York, Academic Press), pp. 57-83.
- Stevens, K.N. and A.S. House
1961 "An Acoustical Theory of Vowel Production and Some of its Implications", *Journal of Speech and Hearing Research* 4:303-320.

LAFON

Nous remercions M. Abramson de son intervention bien que nous devrions être humilié par ses considérations. Nous sommes heureux de constater combien depuis quelques années les données théoriques de la physiologie audiophonatoire sont bien connues des phonéticiens. Nous nous demandons cependant si la position de cette intervention n'est pas seulement celle d'un nombre limité de chercheurs.

Depuis quinze ans que nous avançons le principe de la nature temporelle de l'émission et de la perception vocale (publié en 1958), nous sommes heureux de constater qu'aujourd'hui ce principe est devenu une telle évidence qu'il n'est plus la peine d'en parler.

J'espère que l'ensemble des phonéticiens garderont l'esprit ouvert à la critique des résultats expérimentaux dans l'esprit de l'ensemble de la fonction audiophonatoire. Trop souvent en effet on considère plus volontiers le détail de l'analyse isolément.

LINDQVIST (Stockholm)

Since 1741, when the French scientist Ferrein made his experiment on excised larynges, it has been quite clear that the vocal folds vibrate because air is blown

through them. Ferrein's findings were later verified by Müller in 1843, Örtel in 1895 and by many others.

It is therefore amazing to learn that the neuro-chronaxic theory, put forward by Husson, has played such an important role in the study of phonetics.

Newer mathematical and technical tools have already been applied with great success to actually measure, for example, the DEGREE to which tension in the vocal cords and subglottal pressure together, determine periodicity. The fiberscope, techniques such as inverse filtering, electrical and optical glottography have already been used to give a detailed quantitative picture of the larynx as it functions in the articulation not only of vowels but also of stops, fricatives, ejectives and in the production of intonation patterns. Much has been learned recently about the role of these details of laryngeal function, which are related to the larger structure of language. The acoustic theories by Fant, the ideas of Chomsky, Halle, Stevens, Postal, Rothenberg, the findings of Abramson, Lisker, Kim, Sawashima, the models by Flanagan, the EMG studies by Ohala, Hiki and many others works can be cited in this connection.

Unfortunately Prof. Lafon's paper did not contain any comments on their findings.

The observations Professor Lafon has made are well known and many of them have been supported and made specific by detailed quantitative measurements. It is hoped that the success of these more recent developments can serve as an ideal for further work by phoneticians in the complex and interesting area of laryngeal functioning.

LAFON

Il n'est pas certain que la théorie neuro-chronaxique soit aussi délaissée que le dit l'intervention de J. Lindqvist surtout dans les conséquences de la fourniture fréquentielle et spectrale au niveau du larynx. L'historique de la phonation montre effectivement des périodes d'activité expérimentale; qu'on le veuille ou non les années 1950-1960 ont été une époque importante d'études.

Que ce que j'ai dit soit "archiconnu" j'en suis fort heureux, mais nous nous demandons si tous les faits expérimentaux récents sont effectivement critiqués en fonction de la physiologie auditive et nous ne croyons pas que le principe d'étude de la mélodie que nous préconisons soit connu, pas plus des phonéticiens que des expérimentateurs que cite M. Lindqvist, ou que d'autres chercheurs en informatique.

SMITH, S. (Hamburg)

I think we will have to take into account that the 'impulsion' with its difference in shape calls for variations in the harmonic spectrum, which can be registered by way of almost any modern electronic equipment and can be ascertained directly by ear.

LAFON

Je n'ai pas de commentaire à apporter à l'intervention très aimable de M. Smith que je remercie de la contribution très intéressante apportée aux problèmes de la fourniture des tourbillons au niveau du larynx et à celui de la composition spectrale de l'impulsion.