

SUR L'INTENSITE SONORE SUBJECTIVE DES VOCALES SOUTENUES AYANT LES SIGNIFICATIONS PHONEMIQUE ET VOCALIQUE

YOSHIYUKI OCHIAI et MORIYA ODA*

Section Electrotechnique

(Reçu le 31 octobre, 1959)

Sommaire—Nous présentons ici l'étude sur la formation et le comportement de l'intensité sonore subjective des voyelles (en décibel expression), en caractérisant celle-ci par comparaison avec le niveau de volume des voyelles (en VU-indication), et en même temps en révélant la différence essentielle entre la qualité primaire, telle l'intensité sonore subjective, et la qualité secondaire du timbre des voyelles, par exemple la qualité phonémique (netteté) ou la qualité vocalique (naturalité). En raison de cette étude, nous pouvons mettre en lumière la signification indiscutable de ce qu'on appelle les «formants» des voyelles.

Il y a déjà eu beaucoup de recherches qui mettent en question l'intensité sonore subjective ou psychologique (loudness en anglais) des sons purs ou des sons complexes qui n'ont ni signification phonétique ni signification musicale. L'un de ces problèmes est ce qu'on appelle la fonction de l'intensité sonore psychologique (en sones) envers le niveau d'intensité sonore (en phones). Ce dont il s'agit ici chez nous, ce n'est pas d'intensité sonore psychologique des sons sans signification, mais c'est d'intensité sonore psychologique des sons avec sens, c'est-à-dire des sons qui ont des qualités très significatives et marquantes. C'est le problème de l'intensité sonore psychologique des voyelles soutenues.

Ainsi que nous l'avons déjà démontré, les sons vocaux ont deux qualités très frappantes, qualité phonémique et qualité vocalique, comme qualités essentielles et fondamentales. En dehors de ces qualités fondamentales, il y a en outre certaines qualités, par exemple: qualité de hauteur et qualité d'intensité sonore psychologique, qui sont aussi inhérentes aux voyelles naturelles ayant ce qu'on appelle "tonalité" et "sonorité". Limitons-nous ici à la qualité de l'intensité sonore seulement, comme qualité auxiliaire que nous mettons en question. Observons notre problème de près et considérons-le plus concrètement. Comme tout le monde le sait, la voyelle prononcée d'une manière soutenue et sans *vibrato* est habituellement composée d'une suite de composants harmoniques dont les amplitudes sont caractéristiquement différentes selon les positions de fréquences des harmoniques. Tout l'ensemble de telle et telle structure spectrale formée par des composants harmoniques, structure qui est unique et inhérente à la voyelle considérée, est vraiment le siège, non seulement des qualités fondamentales, phonémique et vocalique, mais aussi de l'intensité sonore psychologique. C'est là que nous posons la question concrètement. En d'autres termes: comme réponse au stimulus du signal de timbre des voyelles soutenues, nous pouvons avoir au moins trois

* Actuellement à la Faculté du Génie de l'Université de Gifu.

qualités différentes: les qualités fondamentales, phonémique et vocalique des voyelles, et la qualité auxiliaire concernant l'intensité sonore psychologique des voyelles. Il s'ensuit qu'à propos de la seule et unique structure de fréquence du timbre physique des voyelles, il y a, comme réponse au stimulus de cette structure spectrale, au moins trois différents modes de distribution (en fréquence) de la qualité. H. Fletcher et ses collaborateurs ont, les premiers, constaté que, relativement aux sons de la parole en général, la distribution de la qualité d'articulation en dimension de fréquence est toute différente de la distribution d'énergie. Ce que nous voulons vérifier ici, c'est que la distribution de l'intensité sonore psychologique en fréquence est fort différente de celle de la qualité phonémique d'une part, et aussi toute différente de celle de la qualité vocalique d'autre part. Dans ce but, il convient d'utiliser la distorsion de bande-éliminatoire. C'est parce que, lors de découpages successifs et systématiques des patrons du timbre des voyelles, on peut obtenir différemment les caractéristiques de la perte des qualités, selon leurs variations.

En comparaison avec la mesure des qualités, vocalique et phonémique, la mesure de l'intensité sonore psychologique des voyelles n'est pas censée être très difficile même dans la distorsion de bandes-éliminatoires. Mais, pour la facilité de mesurage de l'auditeur qui n'est pas encore suffisamment habitué à la mesure de l'intensité sonore des voyelles, nous choisissons, comme son référentiel de la comparaison de l'intensité sonore des voyelles déformées par bandes-coupages, des voyelles originales sans distorsion et sans déformation. En utilisant cette méthode, nous pouvons limiter la fluctuation des valeurs d'observation de l'intensité sonore à un domaine relativement petit. La Fig. 1 montre le degré de la déviation d'une audition dans une suite de cinq observations au sujet de l'intensité sonore des voyelles "A" et "E" émises par la voix "K". En prenant la courbe moyenne, nous présentons actuellement la caractéristique de l'intensité sonore des voyelles correspondantes.

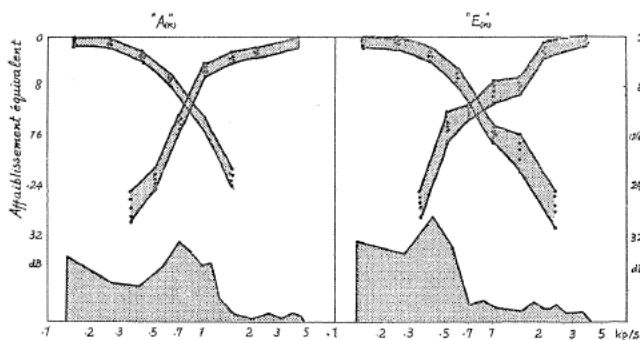


FIG. 1. Déviation des valeurs de l'intensité sonore psychologique des voyelles "A" et "E" prononcées par la voix "K", valeurs obtenues par une suite de cinq observations d'un auditeur.

D'abord nous considérons les voyelles synthétisées en général (voyelles tenues comme moyennes des quatre voix de quatre sujets parlants masculins, émises sur une hauteur de 140 p/s, au niveau de *mezzo-forte*), en négligeant pour le moment la différence détaillée de la même voyelle causée par la variation des voix. Dans

la Fig. 2, nous montrons les caractéristiques des trois qualités des voyelles japonaises "I", "E", "A", "O", "U", lorsque ces voyelles sont soumises à la distorsion des deux sortes de bandes-éliminatoires successives et systématiques (de haut en bas et de bas en haut): les courbes en traits pleins indiquent les caractéristiques de l'intensité sonore psychologique, caractéristiques qui sont mesurées par affaiblissement équivalent; les courbes en chaîne indiquent les caractéristiques de la qualité vocalique (naturalité) en pour-cent; les courbes en traits coupés indiquent les caractéristiques de la qualité phonémique (netteté) en pour-cent. En dehors de ces trois qualités, nous ajoutons ici les courbes en pointillés comme indiquant les caractéristiques de niveaux de volume des vocales. Dans le bas de la Fig. 2, nous présentons, pour référence, le patron du timbre de chacune de ces cinq voyelles.

Il est très intéressant et important de noter qu'il y a de grandes différences entre les trois caractéristiques des qualités individuelles. Par exemples: 1° la forme des caractéristiques est différente suivant la différence des qualités; 2° le point d'intersection des caractéristiques de la même qualité, c'est-à-dire le point de balance diffère selon la variation des qualités. Nous décrivons plus concrètement: pour la voyelle à formant simple et unique comme la voyelle "A", le centre de distribution de l'intensité sonore semble se situer dans la région de 0.7 kp/s, c'est-à-dire qu'il semble correspondre exactement au sommet du pic du formant principal; le centre de distribution de la qualité phonémique semble coïncider avec le point de 1.0 kp/s; le point de balance de la qualité vocalique se trouve dans la région de 1.7 kp/s, c'est-à-dire dans la zone du vallon vocalique. La voyelle "O" est du même genre que cette voyelle "A". Au contraire, pour les voyelles à formant double mais non-balancé, comme la voyelle "E", le point de balance de la qualité phonémique semble se situer au voisinage du deuxième formant (seulement un peu plus bas); le point de balance de l'intensité sonore semble se trouver presque à mi-chemin entre les deux formants. Cela veut dire que les deux formants apparents du patron du timbre de la voyelle "E" sont presque en balance à propos de l'intensité sonore, mais ces mêmes deux formants ne sont pas en balance au sujet de la qualité phonémique. La voyelle "I" appartient au même genre que la voyelle "E". Quant à la voyelle japonaise "U", c'est-à-dire [u], la relation est un peu différente, parce que cette voyelle peut être considérée comme appartenant à celle qui a, au moins, deux formants quelque peu séparés et assez balancés. En d'autres termes, les deux formants qui constituent principalement le patron de cette voyelle, sont presque en balance tant au sujet de la qualité phonémique qu'au sujet de l'intensité sonore. Par conséquent, le point de balance

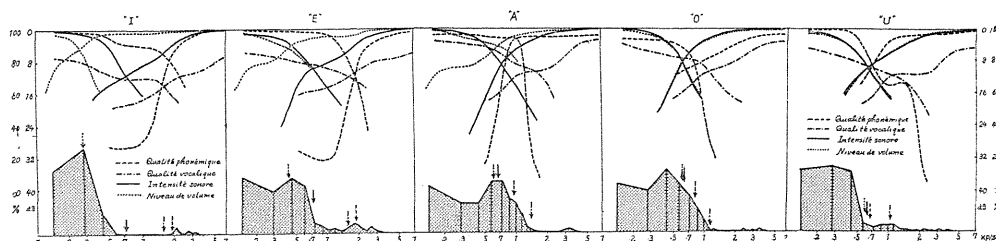


FIG. 2. Représentation des caractéristiques des trois qualités et d'un niveau de volume, observés pour chacune des cinq voyelles, prise moyennement pour les quatre voix,

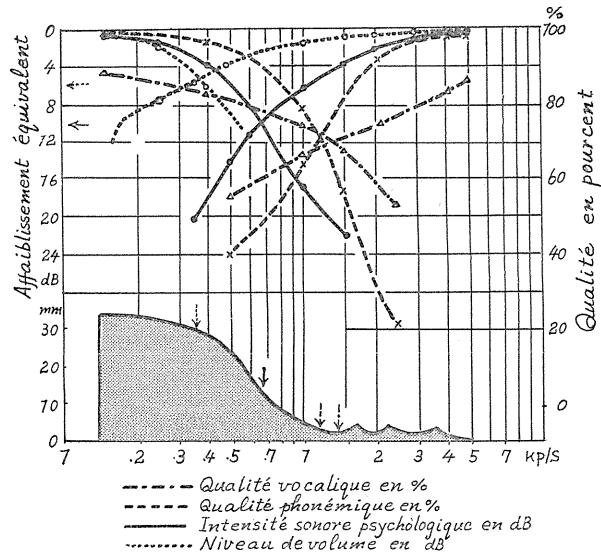


FIG. 3. · Représentation synthétisée des caractéristiques moyennes pour la voyelle moyenne.

de la caractéristique de l'intensité sonore psychologique est près de celui de la qualité phonémique, se situant seulement un peu plus bas. Les caractéristiques de qualité phonémique des voyelles à deux formants, sont un peu complexes, ne montrant pas des courbes d'une décroissance monotone. Les caractéristiques de l'intensité sonore des voyelles à deux formants semblent montrer aussi cette tendance, mais dans une mesure peu frappante. En gros, nous pouvons dire, sur les points de balance des trois qualités, ce qui suit: entre les trois qualités, le point de balance le plus haut en dimension de fréquence correspond à la qualité vocalique; la qualité phonémique a habituellement le point de balance qui est en position intermédiaire; le point de balance le plus bas appartient à la qualité de l'intensité sonore.

Le fait que nous avons exprimé ci-dessus est montré d'une façon plus évidente dans la Fig. 3 où est donnée la caractéristique des qualités individuelles, chaque caractéristique étant prise en moyenne pour les cinq voyelles japonaises. Nous présentons, dans cette même figure, la caractéristique de volume (en unité dB), balancée par VU-indication, en comparaison avec la caractéristique de l'intensité sonore. Il va sans dire qu'il y a une grande différence entre ces deux caractéristiques: la caractéristique du volume des voyelles est toute différente de celle de leur intensité sonore psychologique. La première donne plutôt leur distribution d'énergie. Le centre de cette distribution d'énergie est dans la région de 300-400 p/s comme le montre le point de balance des caractéristiques du volume. Quand on compare plus en détail les caractéristiques de l'intensité sonore et les caractéristiques du niveau de volume, on peut constater très évidemment et très facilement qu'en moyenne les premières sont relativement convergeantes et les dernières sont relativement divergeantes. Mais, quand on les examine plus minutieusement par exemple concernant leurs points de balance, on peut apercevoir, comme un fait intéressant et significatif, ce qui suit: les cinq caractéristiques de l'intensité

sonore pour les voyelles individuelles ont, d'une manière correspondante, les cinq points de balance qui, habituellement, sont convergents au sujet de leurs positions en fréquence, mais un peu divergents à propos de leurs niveaux en décibels; au contraire, les cinq caractéristiques du niveau de volume pour les voyelles individuelles ont leurs cinq points de balance, habituellement, très divergents en position sur l'abscisse, mais extrêmement convergents au niveau sur l'ordonnée. Ce sont en effet les deux antipodes. Ce fait révèle les caractères propres de leurs caractéristiques, en indiquant la différence essentielle entre elles.

Quand on observe séparément la caractéristique de l'intensité sonore psychologique dans la distorsion de bas en haut et celle dans la distorsion de haut en bas, on peut constater un fait significatif: la première, c'est-à-dire la caractéristique de l'intensité sonore dans la distorsion de coupage de bas en haut, se situe entre la caractéristique du volume et celle de la qualité phonémique; et la seconde, c'est-à-dire la caractéristique de l'intensité sonore dans la distorsion de coupage de haut en bas, se trouve aussi entre les deux caractéristiques, du volume et de la qualité phonémique. Ce fait nous semble signifier que le mode de distribution de l'intensité sonore est presque intermédiaire entre celui de la qualité phonémique et celui du volume.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, dans la Fig. 2, les trois caractéristiques des trois qualités ont été montrées toutes ensemble, relativement à chacune des cinq voyelles. Quand on montre maintenant les cinq caractéristiques pour les cinq voyelles, relativement à chacune des trois qualités, on obtient la Fig. 4. Dans la Fig. 4 (a), nous présentons les caractéristiques de chaque qualité du point de vue de la variation des voyelles, et dans la Fig. 4 (b), nous donnons les caractéristiques de chaque qualité du point de vue de la variation des voix. Il va sans dire que la caractéristique de la qualité phonémique subit la fluctuation la plus grande selon la variation des voyelles, et la caractéristique de la qualité vocalique subit la déviation la plus grande suivant la variation des voix. La fluctuation de la qualité vocalique causée par la variation des voyelles n'est pas aussi grande que celle de la qualité phonémique causée par la variation de ces mêmes voyelles; elle est plutôt petite, constante et presque convergente, en dépit de l'agrandissement de la distorsion. De même, la fluctuation de la qualité phonémique causée par la variation des voix est assez petite et convergente. Il est intéressant de noter que grosso modo et en moyenne la fluctuation de l'intensité sonore, due à la variation des voyelles, est presque du même ordre que celle de la qualité vocalique due à cette même variation et la fluctuation de l'intensité sonore, due à la variation des voix, est du même ordre que celle de la qualité phonémique due à cette même variation. A parler rigoureusement, cette méthode de mesurage de l'intensité sonore psychologique des vocales a divers points déficients: 1° il est presque impossible de déterminer la différence d'intensité sonore entre voyelles différentes; 2° puisque l'unité d'ordonnée des qualités fondamentales (en pour-cent) n'est pas identique à l'unité de l'intensité sonore (en dB d'affaiblissement équivalent), on ne peut effectuer la comparaison de la forme de leurs caractéristiques au sens le plus exact et le plus précis. Naturellement, nous avons pu perfectionner, plus tard, le mesurage de l'intensité sonore des voyelles, en choisissant, comme son référentiel de comparaison, un son artificiel quelconque, à peu près identique à la structure moyenne des cinq voyelles japonaises. De plus nous avons pu parfaire la représentation des qualités fondamentales, en employant les affaiblissements équivalents

pour la qualité phonémique ainsi que pour la qualité vocalique (*voir* Tableau). L'examen comparatif de la forme des caractéristiques est ainsi possible au sens strict. Mais la conclusion amenée par cette méthode perfectionnée est presque la même que celle atteinte par la méthode préliminaire et approximative décrite exclusivement ici.

Revenons sommairement à nos principales conclusions :

1° En jugeant par les caractéristiques des qualités des voyelles dans la distorsion de bandes-éliminatoires, l'intensité sonore psychologique est toute différente de la qualité phonémique et de la qualité vocalique d'une part, et d'autre part l'intensité sonore psychologique est aussi fort différente de ce qui est donné par le niveau du volume. De ce fait, on peut déduire ce qui suit: en considérant tous les constituants qui établissent un ensemble de spectres des voyelles, leur effet synthétique sur la formation de l'intensité sonore psychologique est différent, non seulement de l'effet sur la qualité phonémique, mais aussi sur la qualité vocalique.

2° Pour discuter la différence entre les quatre caractéristiques, nous prenons, par exemple, le point de balance des caractéristiques qui signifie le point de division bisectionnaire du patron du timbre. En général, les points de balance des caractéristiques s'arrangent, de haut en bas, dans l'ordre suivant: la qualité vocalique, la qualité phonémique, l'intensité sonore psychologique et le niveau de volume.

3° Le point de balance de l'intensité sonore psychologique se situe entre le point de balance de la qualité phonémique et le point de balance des caractéristiques du volume. Ce dernier se trouve ordinairement dans la région de 300-400 p/s. Le premier se situe habituellement dans la région de 1,200-1,600 p/s. Le point de balance de l'intensité sonore psychologique se situe, dans notre présente expérience, au point d'environ 700 p/s. Mais ce point peut se mouvoir en dimension de fréquence au fur et à mesure de la variation en forme de la moyenne des voyelles.

4° Les affaiblissements équivalents correspondant aux points de balance de l'intensité sonore psychologique et du niveau de volume sont d'environ 10 et 6 dB respectivement. Ces valeurs signifient que le point de bisectionnement du niveau de volume correspond au point en-dessous d'environ 6 dB du point original, et que le point de bipartition de l'intensité sonore psychologique correspond au point en-dessous d'environ 10 dB du point original.

5° Pour étudier conjecturalement mais assez raisonnablement, par la forme de leurs caractéristiques, le mode de distribution des qualités différentes, il nous est nécessaire de rendre identique l'unité de leurs valeurs sur l'ordonnée. Mais la conjecture approximative est possible par l'examen même des caractéristiques ici présentées. Quant au mode de distribution de l'intensité sonore, il semble se trouver entre celui de l'énergie et celui de la netteté. Quand on considère le mode de distribution de la netteté comme référence, cette netteté semble se trouver à mi-chemin entre l'intensité sonore et la qualité vocalique.

6° La paire des caractéristiques de l'intensité sonore peut se prolonger plus haut en dimension de fréquence, par suite de l'allongement des patrons des voyelles. Par suite de la même cause, la paire des caractéristiques de netteté, au contraire, ne change que peu. Conséquemment les caractéristiques de l'intensité sonore peuvent s'approcher des caractéristiques de netteté. C'est seulement dans un cas très pratique et dans une circonstance très limitée que l'intensité sonore peut se

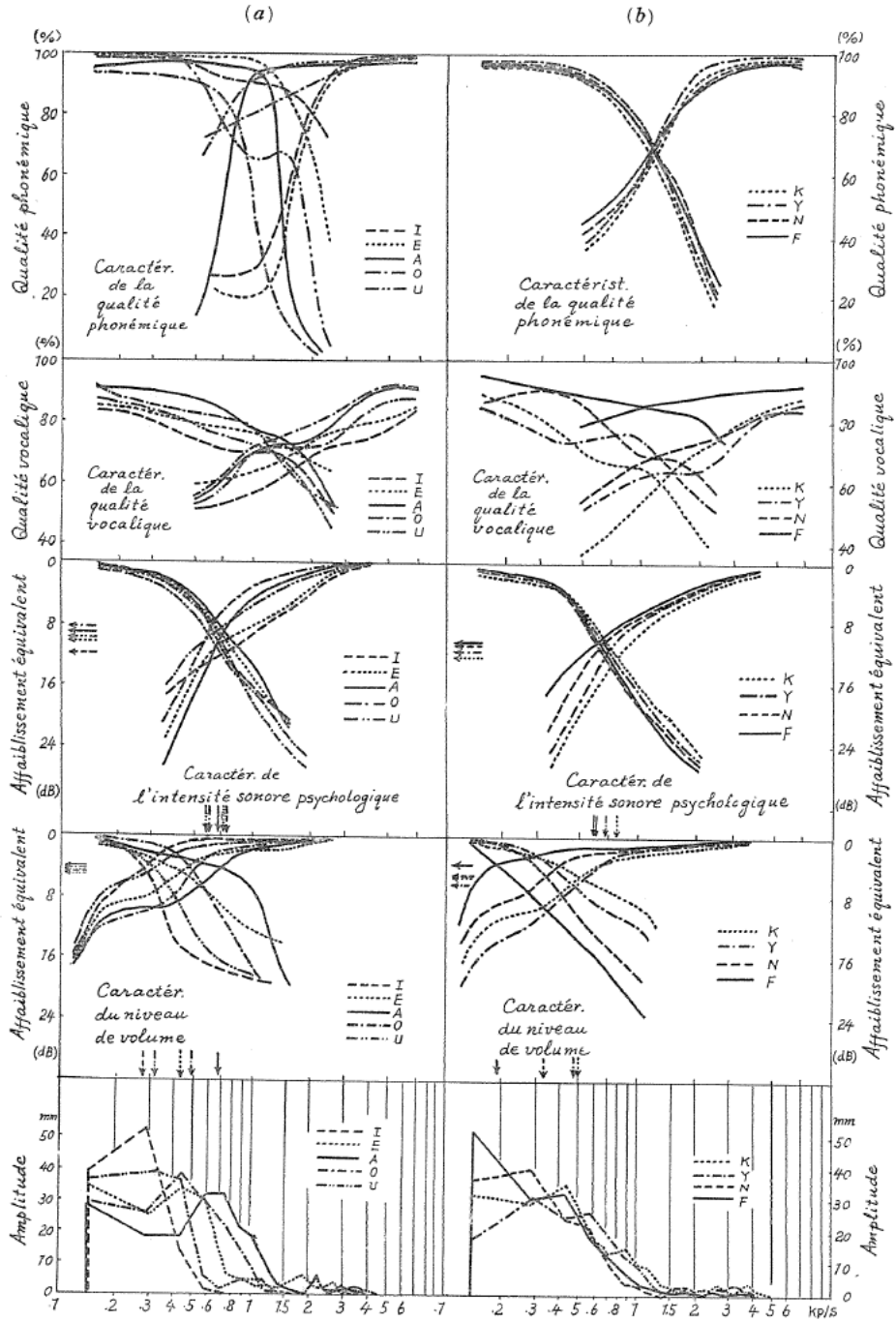


FIG. 4. Représentation des caractéristiques des trois qualités et d'un niveau de volume, du point de vue de la différence des cinq phonèmes (a) et du point de vue de la différence des quatre voix (b).

TABLEAU : Liste des Expériences sur l'Intensité sonore psychologique des Vocales soutenues ou des Paroles continues, exécutées dans notre Laboratoire pendant plusieurs Années.

Numéro des expériences	Année des expériences	Voyelles ou paroles utilisées	Voix utilisées	Hautleurs (en p/s)	Intensité vocale	Auditeurs	Méthode de mesurage				Nombre d'observations	Expériences exécutées par
							Ruban sonore	Reproduits par	Son référentiel	Méthode		
I	1956	5 voyelles soutenues I, E, A, O, U	4 (♂)	140	Mezzo-forte	1	Montage sans fin	Haut-parleur	Chaque voyelle originale	AAA*	100	M. Oda
II	1957	5 voyelles soutenues I, E, A, O, U	4 (2 : ♂ 2 : ♀)	220	Mezzo-forte	2	Montage sans fin	Haut-parleur	Chaque voyelle originale	AAA	120	H. Harada et T. Ito
III	1958	5 voyelles soutenues I, E, A, O, U	4 (♂)	150	Mezzo-forte	4	Montage normal	Récepteurs	Chaque voyelle originale	AAA	240	M. Oda et F. Ishino
IV	1959	5 voyelles soutenues I, E, A, O, U	3 (♂)	250	Mezzo-forte	3	Montage normal	Récepteurs	Son artificiellement composé	AAO*	72	T. Kumazaki
V	1958	Paroles continues	4 (♂)			4	Montage normal	Récepteurs		AAO	56	M. Oda et F. Ishino
VI	1960	3 voyelles A, E, U	1 (♂)	200	Forte Mezzo-forte Piano	2	Montage sans fin	Récepteurs	Son artificiellement composé	AAA	16	J. Kawai et K. Matsuura

* AAA : Atténuateur Ajusté directement par Auditeur.

AAO : Atténuateur Ajusté indirectement par un autre Opérateur que les auditeurs.

substituer à la netteté, parce que le mode de distribution de l'intensité sonore est essentiellement différent de celui de la netteté.

Cette étude a été faite grâce aux Fonds pour l'Encouragement aux Etudes Scientifiques donnés par le Ministère de l'Instruction Publique du Japon.

Références

- 1) Y. Ochiai: Fondamentales des qualités phonémique et vocalique des paroles par rapport au timbre, obtenues en employant des voyelles japonaises vocalisées par des sujets japonais. *Memoirs of the Faculty of Engineering (MFE), Nagoya University*, Vol. 10, No. 2, Nov., 1958.
- 2) M. Oda: Onsei no Onryo-Denso ni kansuru Kenkyu (en japonais)—Quelques recherches sur la transmission de l'intensité sonore psychologique des voyelles en télécommunication. *Dissertation pour Maître du Génie de l'Université de Nagoya* (1958).
- 3) T. Ito et H. Harada: Onsei no Onryo ni kansuru Kenkyu (en japonais)—Sur la formation de l'intensité sonore psychologique des voyelles. *Thèse pour Licencié du Génie de l'Université de Nagoya* (1957).
- 4) F. Ishino: Jizoku-Boin ni yoru Hinshitsu-Keisei ni kansuru Kenkyu (en japonais)—Etude sur le mécanisme de la formation des qualités diverses des voyelles soutenues. *Thèse pour Licencié du Génie de l'Université de Nagoya* (1958).
- 5) T. Kumazaki: Boin no Onryo-Keisei-Kiko ni kansuru Kenkyu (en japonais)—Sur le mécanisme de l'établissement de l'intensité sonore psychologique des voyelles naturelles et des sons artificiellement composés. *Thèse pour Licencié du Génie de l'Université de Nagoya* (1959).
- 6) T. Fukumura and Y. Ochiai: Loudness comparison between vowels within voices. *MFE, Nagoya University*, Vol. 7, No. 1, May, 1955.
- 7) K. Braun: Theoretische und experimentelle Untersuchungen der Bezugsdämpfung und der Lautstärke. *TFT*, Bd. 29, Ht. 2, 1940.
- 8) K. Braun: Die Bezugsdämpfung und ihre Berechnung aus der Restdämpfungskurve (Frequenzkurve) eines Übertragungssystems. *TFT*, Bd. 28, Ht. 8, 1939.
- 9) Y. Ochiai and S. Saito: On loudness matching. *MFE, Nagoya University*, Vol. 4, No. 1, July, 1952 and Vol. 4, No. 2, Nov., 1952.
- 10) S. S. Stevens: Calculation of the loudness of complex noises. *JASA*, 28, 1956.
- 11) D. W. Robinson: The subjective loudness scale. *Acustica*, Vol. 7, No. 4, 1957.
- 12) P. W. Blye, O. H. Coolidge and H. R. Huntley: A revised telephone transmission rating plan. *BSTJ*, Vol. XXXIV, No. 3, May, 1955.
- 13) W. R. Garner: Technique and scale for loudness measurement. *JASA*, 26, 1954.
- 14) G. Quietzsch: Objektive und subjektive Lautstärkemessungen. *Acustica, Akustische Beihefte*, 3, 1952.
- 15) I. Pollack: On the measurement of the loudness of speech. *JASA*, 24, 1952.
- 16) E. Zwicker und R. Feldtkeller: Über die Lautstärke von gleichförmigen Geräuschen. *Acustica*, Vol. 5, No. 6, 1955.
- 17) E. Zwicker: Die Verdeckung von Schmalbandgeräuschen durch Sinustöne. *Acustica, Akustische Beihefte*, Ht. 1, 1954.
- 18) E. Zwicker: Der ungewöhnliche Amplitudengang der nichtlinearen Verzerrungen des Ohres. *Acustica, Akustische Beihefte*, Ht. 1, 1955.
- 19) G. Sacerdote: Misure statistiche di intensità vocali. *Atti del Congresso Internazionale per il Cinquantenario della scoperta Marconiana della Radio, Roma, 28 settembre—5 ottobre, 1947.*
- 20) С. Г. Корсунский: К вопросу об акустическом Исследовании Громкости певческого Голоса. *Проблемы Физиологической Акустики. Том II, 1950.*