

SUR LA NETTETE ET LA NATURALITE DE LA VOIX HUMAINE REFLECHIES DU POINT DE VUE DE LA QUALITE DE TRANSMISSION

YOSHIYUKI OCHIAI et HIDEO KATO*

Section Electrotechnique

(Reçu le 31 octobre 1949)

Avant-propos

Il faut nous intéresser à craindre que la naturalité de la voix humaine ne dégénère quand on la transmet dans les circuits radiophoniques; ce qui nous soulève autant d'intérêt que la netteté de la voix transférée dans les circuits téléphoniques, cette clarté qu'on y observe toujours avec soin. Bien entendu que nous avons besoin, en cas des communications téléphoniques, de nous arrêter pour parler de la netteté de la voix, et pourtant, en radiophonie, nous devons tenir compte de la naturalité de la voix, comme une mesure qui montre la nuance de la qualité de transmission. Au point de vue économique, il convient d'amoindrir, autant qu'on le pourra, l'étendue transmise de fréquence. D'autre part, on peut rendre la qualité de transmission meilleure en élargissant l'étendue de fréquence du système. En entrant à la fois dans une sérieuse considération sur les circonstances de l'économie et de la qualité de transmission, nous devons déterminer le point raisonnable au sujet du degré de cette étendue de fréquence. Voici des recherches sur les relations mutuelles entre l'étendue de fréquence et la qualité de transmission.

Ce que veut dire la Qualité

En ce qui concerne la science de télécommunication, le concept général de transmission se serait développé par degrés; nous pourrions le prouver en évidence en réfléchissant sur les mots scientifiques, qui ont des rapports avec cette idée et qui ont adopté d'autres tournures selon du temps et des circonstances. Le mot « efficacité de transmission », par exemple, nous le trouvons fréquemment dans nos mémoires. Bien que nous n'ayons rien à démontrer la défaveur de ce terme et que nous avouions l'avoir parfois sous nos yeux, il nous est impossible de nier l'apparition d'un nouveau mot « qualité de transmission » qui exerce, comme un concept moderne, une influence de plus en plus forte sur ces cercles. C'est ainsi que nous en avons pour le moment deux indices: l'un est la « netteté »,** l'autre la « naturalité »*** Celle-

* H. Kato, collaborateur de cette thèse, a étudié ce problème quand il était un étudiant à l'Université de Nagoya; il est à présent, dans ce district, au service du Bureau Central des Communications à l'Onde Porteuse.

** la netteté signifie clarté ou articulation; "Verständlichkeit" en allemand, "Articulation" en anglais.

*** la naturalité porte sur la reproduction dans l'état natif; "Natürlichkeit" en allemand, "Naturalness" en anglais.

ci porte sur la nature propre (ou la propriété naturelle) du ton de la voix humaine, et celle-là, sur l'exactitude des syllabes reproduites en télécommunication. En outre, il y a aussi plusieurs indices à propos de la netteté suivant les espèces des sons dont on se sert; c'est-à-dire: la netteté des sons simples, des sons syllabiques, des mots et des phrases ou l'intelligibilité. Dans ce cas, nous nous servons de la netteté des sons des syllabes, lesquelles sont étrangères à ce que veulent dire les mots. Nous n'avons qu'un projet proposé par M. K. Küpfmüller,¹⁾ savant allemand, pour mesurer la nuance de la naturalité; le projet que M. E. Schäfer²⁾ a réalisé plus tard en l'éprouvant par expérience (voir Fig. 1). Nous allons donner, pour cette raison, la définition que le pourcentage de la naturalité est du rapport des nombres d'étage trouvés dans l'étendue de fréquence. C'est pour cette manière de penser que nous savons obtenir la figure 2, qui nous montre directement les relations entre le pourcentage de la natu-

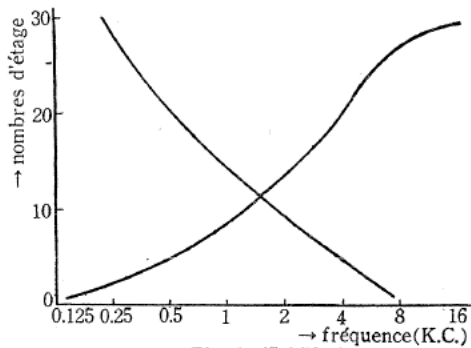


Fig. 1. (Schäfer)

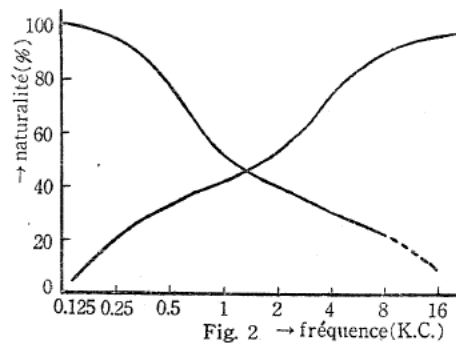


Fig. 2 → fréquence(K.C.)

ralité et l'étendue de fréquence. Quant à la netteté, nous pouvons consulter la caractéristique de Fletcher³⁾ (Fig. 3), laquelle est bien connue des ingénieurs. Nous allons donc commencer à faire des recherches sur les allures de ces lignes courbes qui sont fondées sur ladite expérience où l'on a amputé l'étendue en se servant des appareils du réseau filtrant passe-haut ou passe-bas. Les valeurs obtenues de la qualité nous montrent respectivement que ces courbes ont eu les aspects qui se trouvent sous les conditions où l'étendue de fréquence a été supprimée toujours unilatéralement; avoir amputé de haut en bas d'un côté, et de bas en haut d'un autre côté.

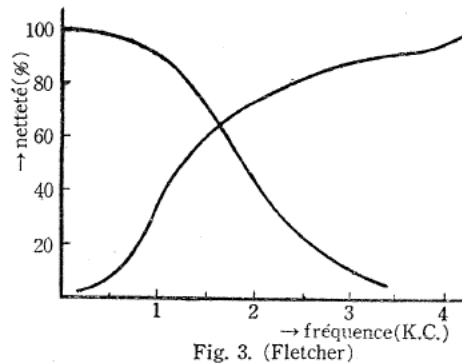


Fig. 3. (Fletcher)

Les valeurs de la qualité sont, pour ainsi dire, une sorte de volume psychologique; nous ne croyons pas, en conséquence, que sa caractéristique elle-même puisse être éclaircie avec facilité, et que la représentation par une fonction mathématique bien

1) F. Lüschen und K. Küpfmüller: *Jahrbuch elektr. Fernmeldewesens*, 13ff., 1938.

2) E. Schäfer: *Über die Hörbarkeit von Frequenzbandänderung von Sprache*, E.N.T., Aug. 1938.

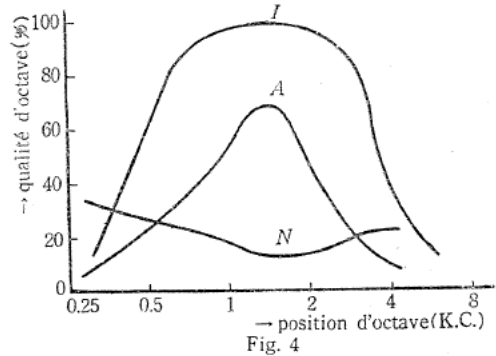
3) H. Fletcher: *Nature of Speech and its Interpretation*, B.S.T.J., July 1922.

simple puisse être espérée plus aisément. Voilà ce que tout le monde sait pertinemment. Cependant, nous n'aimons pas à laisser les choses en cet état, et nous allons donc essayer de trouver un nouveau moyen de l'exprimer avec une grande simplicité.

Qualité d'Octave

Les caractéristiques que nous venons d'exprimer sont essentiellement de la nature qui s'accumule. Nous savons donc chercher à avoir ses formes différentielles pour base. Comme les deux lignes courbes dans les figures 2 et 3 se croisent l'une l'autre près de 1.5 K.C., nous pouvons considérer cette fréquence de croisement comme « fréquence centrale » de bande, au point de vue de la qualité de transmission. Et de plus, nous prenons la « Qualité d'Octave », qui représente la qualité de bande par octave, pour mesurer une sorte de la qualité différentielle. Chaque octave de l'étendue n'a pas de qualité égale: c'est-à-dire, sa valeur de qualité dépend de sa position.

D'après les graphiques déjà indiqués, nous sommes capables de dresser la figure 4, expliquant la caractéristique de naturalité d'octave et celle de la netteté. Dans la figure, *N* représente la naturalité, *A* la netteté, et *I* l'intelligibilité. Les qualités d'octave à l'égard de *A* et de *N* peuvent se calculer suivant les tableaux I et II. Quant à l'intelligibilité, nous avons compté en profitant des résultats donnés par M. J.



Collard,⁴⁾ dont le tableau est omis d'être présenté ici.

Tableau I
netteté d'octave

bande de fréquence (K.C.)	perte de netteté (%)	netteté (%)
0.5-1	63	37
1-2	36	64
2-4	70	30
4-8	100	0

Tableau II
naturalité d'octave

bande de fréquence (K.C.)	perte d'étage (nombre)	perte de naturalité	naturalité (%)
0.25-0.5	1+24=25	70	30
0.5-1.0	7+21=28	77	23
1-2.0	15+16=31	86	14
2-4.0	21+9=30	84	16
4-8.0	25+3=28	77	23

Fonction de Qualité

Nous savons exprimer sous la forme la plus simple, la relation qui existe entre la qualité et la bande, quand nous profitons du concept de la « bande centrale » et que nous comptons l'étendue de bande transmise au moyen des nombres d'octave qui y sont compris. Si la bande est augmentée presque symétriquement en ayant son origine de 1.5 K.C., on peut obtenir les caractéristiques très simples que se présentent

4) J. Collard: *A theoretical Study of the Articulation and Intelligibility of a Telephone Circuit*, El. Comm., Jan. 1929.

dans les graphiques 5 et 6. Les valeurs des caractéristiques sont marquées dans les tableaux III et IV.

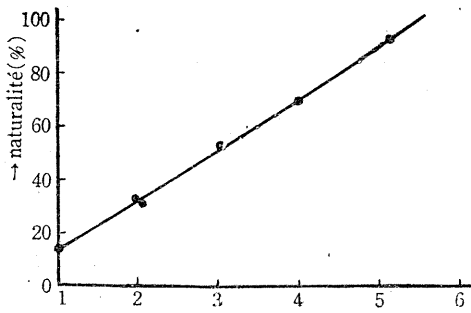


Fig. 5 → nombres d'octave

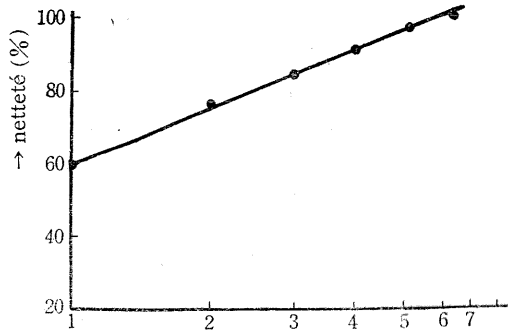


Fig. 6 → nombres d'octave

Tableau III
naturalité accumulée à partir du central

bande de fréquence (K.C.)	indice de bande	perte d'étage	perte de naturalité (%)	naturalité (%)
1-2	1	15+16=31	86	14
1-4	2	15+9=24	68	32
0.5-2	2	7+16=23	65	35
0.5-4	3	7+9=16	45	55
0.25-4	4	1+9=10	28	72
0.5-8	4	7+3=10	28	72
0.25-8	5	1+3=4	11	89

Tableau IV
netteté accumulée à partir du central

bande de fréquence (K.C.)	indice de bande	perte de netteté (%)	netteté (%)
0.35-5.6	4	7.5	92.5
0.5-4.0	3	13	87
0.7-2.8	2	22	78
1-2	1	37	63
1.1-1.9	0.8	42	58
1.25-1.75	0.48	50	50
1.3-1.7	0.38	54	46
1.4-1.6	0.22	61	39

Ce que veulent dire ces caractéristiques, c'est que la naturalité reste directement en proportion des nombres d'octave de bande, et que la netteté du logarithme des nombres d'octave. Soit n le nombre d'octave:

$$N \propto n,$$

$$A \propto \log n.$$

Toutefois on peut établir une expression comme suit:

$$n = \log f / f_0,$$

où f_0 signifie la fréquence d'étalon convenable, donc on aura de nouveau une autre;

$$N \propto \log f,$$

$$A \propto \log \cdot \log f.$$

C'est ainsi que nous pouvons avoir une nouvelle expression que voici, en reconnaissant que l'intelligibilité elle-même reste approximativement en proportion du logarithme multiple de fréquence.

$$I \propto \log \cdot \log n,$$

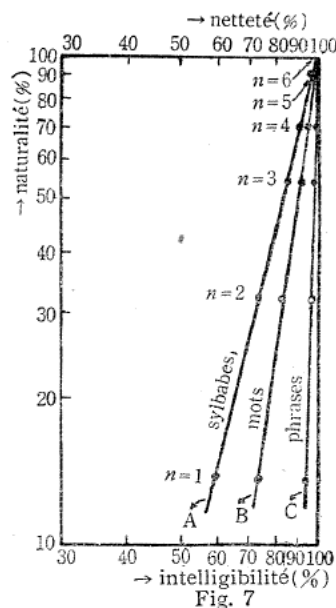
$$I \propto \log \cdot \log \cdot \log f,$$

et, sa figure⁵⁾ sera laissée de côté pour sa simplicité dans ce cas.

5) Y. Ochiai and H. Kato: *On the Relation between the Transmission Frequency Band and the Speech Quality*, Denkitushin Gakkai Zasshi, Dec. 1948.

Caractéristique d'Établissement

Quand on donne l'étendue de bande, on peut chercher la caractéristique d'établissement de la qualité, en pensant que les valeurs de qualité (naturalité et netteté) peuvent être exprimées comme fonctions des nombres d'octave. En prenant n pour paramètre, on obtient la figure 7. Si les valeurs de l'abscisse et de l'ordonnée sont exprimées en échelles logarithmiques, leurs allures changeront tout à fait en lignes droites. Dans la figure, *A* montre la naturalité qui a la relation avec la netteté des syllabes, *B* et *C* indiquent aussi la même relation; celui-là avec la netteté des mots et celui-ci avec l'intelligibilité. Regardons, par exemple, la caractéristique *A*. Plus l'indice d'octave s'accroît de 1 à 6, plus la naturalité se change avec rapidité en s'augmentant à peu près de 15 % à 100 %; et cependant, la netteté elle-même varie bien lentement environ de 60 % à 100 %. Cela revient à dire que l'on n'en tire qu'un peu de bénéfice pour rendre meilleur la clarté du son de la voix, même si l'on augmente la bande transmise. Au contraire, on peut apporter un résultat bien remarquable pour sa naturalité.



Conclusion et Discussion

Les résultats auxquels nous sommes arrivés au sujet de la netteté de la voix et de sa naturalité, proviennent, pour ainsi dire, de deux langues qui sont de nature différente, parce que la caractéristique exprimée par Fletcher est reposée sur des syllabes de la langue américaine et que celle de Schäfer reposée sur l'allemand. La vraie raison est que ce n'est pas grand'chose. Voici pourquoi; en ce qui concerne la naturalité de la voix, on a tort de croire que la différence entre des langues peut exercer une grande influence sur les résultats de cette étude. Il nous semble que c'est plutôt hors de la question.

Notre sens de l'ouïe est fini et limité, mais très complexe: c'est un fait bien connu dans le monde. C'est ainsi que l'on a raison de ne pas savoir montrer avec simplicité les magnitudes psychologiques sur le compte de ce sens. Ceci s'exprime clairement dans la caractéristique fondamentale sur des sensations différentielles pour les sons purs. Par conséquent, il est difficile probablement de trouver quelques autres moyens qui sont plus simples pour exprimer la qualité de la voix, qui correspond à la magnitude subjective plus élevée; mais cela nous reste possible. On peut exprimer les qualités, magnitudes psychologiques supérieures, d'une façon relativement simple, même sans perdre gravement son rigorisme. En nous servant de la manière de compter la bande de fréquence et de celle de l'additionner, nous pouvons arriver à notre fin. On dirait que cette manière est un peu artificielle; et cependant, en y ré-

fléchissant mûrement, il est évident qu'elle est plutôt naturelle en signification psychologique.

Il est bien connu de tous qu'une magnitude subjective élémentaire du son pur peut être exprimée par une règle logarithmique, appelée loi de Weber et Fechner. Cela va sans dire que même la magnitude subjective supérieure est capable de s'exprimer par la règle logarithmique qui doit être élargie et généralisée; et, nous allons la nommer en passant « la règle logarithmique multiple d'octave », au point de vue de la qualité de transmission.

Nous allons maintenant ajouter quelques remarques: les caractéristiques fournies par MM. Fletcher et Schäfer sont considérées dignes de hautes confiances, mais sans rien n'y laisser à désirer, puisqu'elles se basent sur la nature expérimentale et psychologique. Si ces allures seront, à l'avenir, obtenues plus précisément, notre expression trouvera même alors sa conformité la plus complète.

Nous devons ensuite réfléchir sur des domaines qui font établir correctement cette règle. Même la loi de Weber et Fechner ne s'établissant exactement que dans une domaine limitée de sensation, cela va de soi que l'on voit se restreindre la domaine où la règle logarithmique supérieure sera établie. Cette règle s'établit dans l'étendue assez large, excepté les voisinages de ses deux extrémités; mais cependant, nous nous contentons de l'admettre avec retenue comme une règle approximative pour le moment.

Résumé

En télécommunication, il est bien important et nécessaire de prendre le point de vue de la qualité dont la conception y est en effet propre et essentielle. Pour une magnitude de mesurer ce point, nous pouvons mettre à notre service la « naturalité » et la « netteté », conformément au but de transmission.

Bien qu'il soit évident que les magnitudes de qualité sont des fonctions de la bande transmise, nous sommes convaincus que plus les magnitudes subjectives deviennent élevées et complexes, plus les expressions en forme claire se trouvent difficiles. Les caractéristiques de Fletcher et de Schäfer correspondent au cas où l'on coupe la bande d'un bout. En une autre tournure renversée, ce sont à peu près les caractéristiques de qualité accumulée unilatéralement d'un bout de la bande. Au lieu de « d'un bout », en accumulant bilatéralement la qualité à partir « du centre », nous pouvons les exprimer nettement comme fonctions logarithmiques multiples de fréquence. Cette règle est bien conforme à la naturalité de la voix et à la netteté des syllabes. Quant à l'intelligibilité, nous savons aussi la reconnaître dans une domaine restreinte de bande. Nous tenons momentanément cette règle pour approximative et expérimentale.

Pour terminer, c'est de la plus grande importance qu'il faut suggérer l'utilité de l'application de la logarithme multiple pour établir et développer la « fonction de qualité ». Nous allons croire donc que cette fonction de la qualité pourrait ainsi prendre pour base une nouvelle quantité qui doit être de psycho-technologique.

Remarque: Bien que la « naturalité » voudrait dire « état naturel », ce terme signifie au propre « état de celui qui est né dans le pays qu'il habite ou qui s'y est fait naturaliser »: par conséquent, il est plutôt préférable d'adopter, comme un neuf mot technologique, « naturelesse » pour bien exprimer la signification pure de l'état naturel. Comme on obtient la « finesse » d'un adjectif « fine », on pourrait déduire ledit nom abstraitif d'un adjectif « naturel », qui correspondra peut-être à la « naturalezza » en italien.