

J.S. Liénard

les processus de la communication parlée

Introduction à l'analyse et à la synthèse de la parole

BIBLIOTHEQUE DU CERIST



CH

+



A

≠



CHA

MASSON



LES PROCESSUS DE LA COMMUNICATION PARLÉE

INTRODUCTION A L'ANALYSE
ET LA
SYNTHÈSE DE LA PAROLE

par

Jean-Sylvain LIÉNARD

Ingénieur ENSAM, Docteur ès Sciences
chargé de recherche au CNRS



MASSON

Paris New York Barcelone Milan

1977



TABLE DES MATIÈRES

(Contents see p. X)

Avant-Propos	1
Notation phonétique	5
 CHAPITRE PREMIER. — Le signal acoustique 	
A. — Nature physique du signal acoustique	7
I. — Modèle unidimensionnel de vibration acoustique	7
<i>a</i>) Propagation d'un ébranlement simple (7). <i>b</i>) Réflexion d'un ébranlement simple (8). <i>c</i>) Propagation d'un ébranlement périodique (9). <i>d</i>) Onde stationnaire (9). <i>e</i>) Influence de l'amortissement (10).	
II. — Propagation du son dans un milieu réel	10
III. — Ondes planes et ondes sphériques	12
IV. — Tuyaux et résonateurs	14
<i>a</i>) Système oscillant (14). <i>b</i>) Résonateur de Helmholtz (15). <i>c</i>) Tuyau sonore (16).	
V. — Représentation électrique d'une onde acoustique	17
B. — Analyse du signal acoustique	18
I. — Quelques types de signaux	18
<i>a</i>) Signal sinusoïdal (18). <i>b</i>) Autres signaux périodiques (20). <i>c</i>) Signaux non-périodiques (20).	
II. — Analyse fréquentielle	22
<i>a</i>) Théorème de Fourier pour les signaux périodiques (22). <i>b</i>) Transformation de Fourier des signaux non-périodiques (23). <i>c</i>) Spectre instantané et représentation tridimensionnelle du son (25). <i>d</i>) Filtrage (27). <i>e</i>) Notions de corrélation et autocorrélation (28).	
C. — Représentation spectrographique du son	30
I. — Le spectrographe acoustique	30
II. — Lecture et interprétation des spectrogrammes	32
<i>a</i>) Spectrogrammes schématisés (32). <i>b</i>) Spectrogrammes réels (33).	
D. — Traitement numérique du signal acoustique	36
I. — Numérisation du signal	36
<i>a</i>) Théorème des échantillonnages (36). <i>b</i>) Conversion analogique-numérique et numérique-analogique (37).	
II. — Analyse des signaux numérisés	38
<i>a</i>) Transformation de Fourier pour les signaux échantillonnés (38). <i>b</i>) Spectrogramme numérique (39).	
III. — Avantages et inconvénients du traitement numérique du signal	40

CHAPITRE II. — Parole et information

A. — Bases physiques de la théorie de l'information	42
I. — Notions d'information et de codage	42
<i>a)</i> Notion d'information (42). <i>b)</i> Notion de codage (43).	
II. — Mesure de l'information	44
<i>a)</i> Éventualités équiprobables (44). <i>b)</i> Probabilités quelconques (45).	
<i>c)</i> Information associée à un message (45). <i>d)</i> Notion de redondance (46).	
<i>e)</i> Cas des messages continus (47).	
B. — Théorie de l'information et communication parlée	48
I. — Principales notions	48
<i>a)</i> Schéma de la communication (48). <i>b)</i> Information sémantique et information esthétique (49). <i>c)</i> Hiérarchie des niveaux d'information (50).	
<i>d)</i> Dialectique banal-original (51).	
II. — Divers niveaux du message parlé et débits associés	51
<i>a)</i> Niveau physique (52). <i>b)</i> Niveau perceptif (52). <i>c)</i> Niveau phonétique (53).	
<i>d)</i> Niveau lexical (53). <i>e)</i> Niveau des significations (54).	
III. — Structure du répertoire phonétique	55
<i>a)</i> Répartition statistique des symboles phonétiques (55). <i>b)</i> Répartition statistique des digrammes phonétiques (57). <i>c)</i> Répartition statistique des trigrammes phonétiques (59). <i>d)</i> Statistique phonétique sur les mots d'un lexique (60). <i>e)</i> Création de mots pseudo-français (60).	
IV. — Portée et limites de la théorie de l'information appliquée à la communication parlée	62
<i>a)</i> Conditions d'application (62). <i>b)</i> Classification des systèmes d'analyse et de synthèse de la parole (62). <i>c)</i> Principales limitations (64).	

CHAPITRE III. — Production de la parole

A. — Anatomie-physiologie de l'appareil vocal	66
I. — Les poumons et le conduit trachéo-bronchique	67
II. — Le larynx	67
<i>a)</i> Rôle du larynx dans les fonctions de respiration et nutrition (67).	
<i>b)</i> Structure interne du larynx (68). <i>c)</i> Le larynx dans la fonction de phonation (70).	
III. — Le conduit vocal	71
<i>a)</i> Description (71). <i>b)</i> Paramètres articulatoires (72).	
B. — Fonctionnement acoustique de l'appareil vocal	74
I. — Le premier mode : excitation glottique du conduit vocal	74
<i>a)</i> Le signal glottique (74). <i>b)</i> Le conduit vocal (76).	
II. — Le deuxième mode : excitation du conduit vocal en un point de constriction par un bruit d'écoulement	82
III. — Le troisième mode : excitation du conduit vocal par une impulsion acoustique	82
IV. — Formation des consonnes plosives et nasales	84
<i>a)</i> Les consonnes plosives non voisées (84). <i>b)</i> Les consonnes plosives voisées (86). <i>c)</i> Les consonnes nasales (88).	
V. — Formation des semi-voyelles et des consonnes liquides	89
VI. — Les transitions phonétiques	90
<i>a)</i> Enchaînement des voyelles successives (90). <i>b)</i> Enchaînement des voyelles avec les semi-voyelles et consonnes liquides (91). <i>c)</i> Enchaînement des consonnes fricatives avec les voyelles (92). <i>d)</i> Enchaînement des consonnes plosives et nasales avec les voyelles (92).	

VII. — Réactions du conduit vocal sur la source laryngée — Mélodie articuloaire	93
C. — <i>Variabilité du signal de parole</i>	94
I. — Variabilité intra-locuteur	94
<i>a) Rôle du soin apporté à l'articulation (94). b) Rôle de la vitesse d'élocution (95). c) Rôle de la force de parole. Types de voix (95). d) Les déformations volontaires (98). e) Rôle de la rétroaction audio-phonatoire (98).</i>	
II. — Variabilité inter-locuteur	99
<i>a) La hauteur mélodique moyenne (99). b) L'échelle formantique (99). c) Autres caractéristiques inter-individuelles (101).</i>	
CHAPITRE IV. — Synthèse et transmission de la parole	
A. — <i>Les machines parlantes</i>	103
I. — Les machines parlantes mécaniques	103
<i>a) Les essais infructueux (104). b) La machine de Kempelen (104). c) La machine de Faber (107).</i>	
II. — Les machines parlantes électriques — LE VODER	108
B. — <i>Les synthétiseurs</i>	109
I. — Synthétiseurs à canaux et relecteurs de spectrogrammes	109
<i>a) Le Pattern Playback (109). b) L'icophone à commande optique (110).</i>	
II. — Synthétiseurs à formants	111
III. — Synthétiseurs articuloaires	112
C. — <i>Codage de la parole en vue de sa transmission</i>	113
I. — Le Vocoder à canaux	113
II. — Les Vocoders à formants — Série, parallèle	115
III. — Le Vocoder à bande de base	116
IV. — Codage homomorphique de la parole — Cepstrum	116
V. — Codage prédictif de la parole	118
D. — <i>Synthèse à partir du texte</i>	120
I. — Synthèse à partir des symboles phonétiques	120
<i>a) Synthèse par diphonèmes (121). b) Synthèse par règles (123).</i>	
II. — Traduction phonétique et prosodique du texte littéral	125
<i>a) Recherches en langue anglaise (125). b) Recherches en langue française (126).</i>	
E. — <i>Les unités de réponse vocale</i>	127
I. — Les principes de fonctionnement	127
<i>a) Séquences isolées (127). b) Séquences assemblées selon des règles (128). c) Synthèse utilisant des segments élémentaires (128).</i>	
II. — Applications potentielles	128
<i>a) La machine à lire (128). b) Consultation téléphonique des fichiers automatisés (129). c) Contrôle auditif de tâches complexes (129). d) La voix normalisée (130). e) La machine à parler (130).</i>	
III. — Critères de définition d'une unité de réponse vocale	130
<i>a) Intelligibilité de la voix synthétique (130). b) Extension du vocabulaire (131). c) Temps de réponse (131). d) Qualité esthétique de la voix synthétique (131).</i>	

CHAPITRE V. — **Audition et perception**

A. — <i>L'appareil auditif</i>	132
I. — Description d'ensemble	132
II. — Oreille moyenne et adaptation ossiculaire	135
III. — Fonctionnement de la cochlée	137
<i>a) Le mouvement de la membrane basilaire (137). b) Conversion de la vibration basilaire en influx nerveux (139). c) Quelques remarques sur le traitement de l'information auditive (139).</i>	
B. — <i>Sensibilité de l'oreille dans les trois dimensions sonores</i>	140
I. — L'intensité	140
<i>a) Sensibilité différentielle et décibels (141). b) Sensibilité aux grandes différences d'intensité (141). c) Variation de l'intensité perçue en fonction de la fréquence (141). d) Intensité et timbre (142). e) Variation de l'intensité perçue en fonction de la durée (143).</i>	
II. — La fréquence	143
<i>a) Hauteur des sons sinusoïdaux (143). b) Hauteur des sons harmoniques (143). c) Hauteur formatique et timbre vocalique (144).</i>	
III. — Le temps	144
<i>a) La constante de temps de l'oreille (144). b) Perception de la succession (145). c) Perception de la durée (146). d) Le rythme (146).</i>	
C. — <i>Quelques aspects généraux de la perception</i>	147
I. — Capacité de la perception et catégorisation	147
<i>a) Le nombre magique sept plus ou moins deux (147). b) Cas de plusieurs dimensions simultanées (148). c) Structuration perceptive et mémoire immédiate (148).</i>	
II. — Propriétés formelles des objets	149
<i>a) Organisation perceptive (149). b) Transposition et Distorsion (150). c) Hiérarchie et cohésion (151). d) Figure et fond (51).</i>	
III. — Aspect fonctionnel de la perception	152

CHAPITRE VI. — **Décodage de la parole**

A. — <i>Décodage de la parole par le récepteur humain</i>	154
I. — Organisation des différents niveaux de décodage	154
II. — Le décodage phonétique	156
<i>a) La notion de phonème (157). b) Structuration perceptive des phonèmes stables isolés (158). c) Segmentation du squelette phonétique en éléments (158). d) Structuration perceptive des phonèmes dans la parole continue (160). e) Les traits distinctifs (160).</i>	
III. — Autres aspects du décodage de la parole	162
<i>a) Les informations prosodiques (163). b) Les informations diagnostiques relatives au locuteur (164). c) Les informations relatives aux conditions physiques de la communication parlée (164).</i>	
IV. — Mesure de l'efficacité de la communication parlée	165
<i>a) Les tests d'intelligibilité classiques (165). b) Le test de diagnostic par paires minimales (166).</i>	
B. — <i>Décodage automatique de la parole</i>	166
I. — La reconnaissance des formes	167
<i>a) Le problème général (167). b) La décision (168). c) Spécificité des problèmes de parole (168).</i>	

TABLE DES MATIÈRES

IX

II. – Reconnaissance phonétique continue	169
<i>a)</i> Analyse et prétraitement (169). <i>b)</i> Identification (170). <i>c)</i> Résultats et évolution actuelle (171).	
III. – Reconnaissance par mots	172
<i>a)</i> Détection des limites de séquence (172). <i>b)</i> La normalisation temporelle (173). <i>c)</i> Hiérarchisation de la recherche lexicale (174). <i>d)</i> Succès et limites de la reconnaissance vocale (174).	
IV. – Compréhension automatique de la parole	175
<i>a)</i> contraintes lexicales (175). <i>b)</i> Contraintes syntaxiques (176). <i>c)</i> Contraintes sémantiques (177). <i>d)</i> Stratégie de la compréhension automatique (178).	
V. – Reconnaissance automatique du locuteur	179
<i>a)</i> La question des « empreintes vocales » (179). <i>b)</i> Vérification du locuteur (179).	
C. – <i>Conclusion</i>	180
BIBLIOGRAPHIE	181
INDEX ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES	187

CONTENTS

CHAPTER 1. – <i>The acoustical signal</i>	7
A. – Physical nature of the acoustical signal	7
B. – Acoustical signal analysis	18
C. – Sound spectrographic representation	30
D. – Digital processing of the acoustical signal	36
CHAPTER 2. – <i>Speech and Information</i>	42
A. – Physical bases of the Information Theory	42
B. – Information Theory and Speech Communication	48
CHAPTER 3. – <i>Speech production</i>	66
A. – Vocal apparatus anatomy and physiology	66
B. – Acoustical functioning of the vocal apparatus	74
C. – Speech signal variability	94
CHAPTER 4. – <i>Speech synthesis and Transmission</i>	103
A. – Speaking machines	103
B. – Synthesizers	109
C. – Speech coding for transmission	113
D. – Synthesis from the text	120
E. – Vocal response units	127
CHAPTER 5. – <i>Hearing and Perception</i>	132
A. – Hearing apparatus	132
B. – Ear sensitivity in the three dimensions of sound	140
C. – Some general aspects of perception	147
CHAPTER 6. – <i>Speech Decoding</i>	154
A. – Speech decoding by the human receptor	154
B. – Speech automatic decoding	166
C. – Conclusion	180
BIBLIOGRAPHIE	181
INDEX	187