

Table des matières

1	Introduction	11
2	Codage de canal	17
2.1	Le canal binaire symétrique	17
2.2	Codes en bloc linéaires	20
2.2.1	Définition d'un code en bloc	20
2.2.2	Définition des codes en bloc linéaires	20
2.2.3	Détection des erreurs	20
2.2.4	Décodage	21
2.2.5	Pouvoir de détection d'erreur	22
2.2.6	Pouvoir de correction d'erreurs	22
2.3	Codes convolutifs	23
2.3.1	Définition	23
2.3.2	Représentations des codeurs convolutifs	24
2.3.3	Décodage des codes convolutifs	26
2.4	Exercices	30
2.4.1	Code de parité	30
2.4.2	Décodage d'un code en blocs linéaire	30
2.4.3	Borne de Hamming	31
2.4.4	Codes de Hamming	32
2.4.5	Transformation d'un code en code systématique	32
2.4.6	Un codeur $\mathcal{C}(3, 1, 3)$	33
2.4.7	Codeur catastrophique	34

2.5	Correction	34
2.5.1	Code de parité	34
2.5.2	Décodage d'un code en blocs linéaire	35
2.5.3	Borne de Hamming	36
2.5.4	Codes de Hamming	37
2.5.5	Transformation d'un code en code systématique	38
2.5.6	Un codeur $\mathcal{C}(3, 1, 3)$	39
2.5.7	Codeur catastrophique	40
3	Codage de source	41
3.1	Numérisation des données analogiques	42
3.1.1	Échantillonnage	42
3.1.2	Quantification	43
3.2	Compression avec perte	44
3.2.1	Quantification scalaire uniforme	44
3.2.2	Quantification scalaire non-uniforme	46
3.2.3	Codage audio perceptif	48
3.3	Codage sans perte	54
3.3.1	Notion d'information	55
3.3.2	Codage binaire entropique de la source	55
3.3.3	Le codage de Huffman	56
3.4	Conclusion	57
3.5	Exercices	58
3.5.1	Codage de Huffman	58
3.5.2	L'union fait l'efficacité	58
3.5.3	L'union fait l'efficacité (bis)	59
3.5.4	À 3 c'est mieux	59
3.5.5	Inégalité de Kraft	60
3.6	Correction	61
3.6.1	Codage de Huffman	61
3.6.2	L'union fait l'efficacité	61
3.6.3	L'union fait l'efficacité (bis)	62

3.6.4	À 3 c'est mieux	63
3.6.5	Inégalité de Kraft	64
3.7	Travaux pratiques	64
3.7.1	Codage par modélisation AR de la source	65
3.7.2	Codage perceptif	65
3.8	Correction	66
3.8.1	Codage par modélisation AR de la source	66
3.8.2	Codage perceptif	67
4	Transmission en bande de base	69
4.1	Émission : les différents codes en ligne	70
4.1.1	Codes binaires NRZ	70
4.1.2	Codes NRZ M-aire	70
4.1.3	Codes binaires RZ	70
4.1.4	Code biphasé (ou Manchester)	71
4.1.5	Quel code utiliser ?	71
4.2	Une première modélisation du canal	72
4.2.1	Du bruit sur la liaison	72
4.2.2	Modèle du canal bruité	72
4.3	Réception d'un message binaire	73
4.4	Exercices	78
4.4.1	Transmission de symboles NRZ binaires	78
4.4.2	Transmission de symboles NRZ M-aire	79
4.4.3	Détection d'un tatouage audio	80
4.5	Correction	83
4.5.1	Transmission de symboles NRZ binaires	83
4.5.2	Transmission de symboles NRZ M-aire	84
4.5.3	Détection d'un tatouage audio	86
5	Les canaux physiques de communication	89
5.1	Les câbles, des filtres passe-bas	90
5.1.1	Définition	90

5.1.2	Modélisation	90
5.1.3	Caractéristiques des câbles	91
5.2	Densité spectrale de puissance des signaux de communication	92
5.3	Transmission sur un canal à bande passante limitée	93
5.3.1	Interférence entre symboles	93
5.3.2	Annulation de l'IES	96
5.4	Le canal radio	100
5.4.1	Ondes radio	100
5.4.2	Propagation en espace libre	101
5.4.3	Effets de l'atmosphère	101
5.4.4	Effet des obstacles	102
5.4.5	Conclusion	103
5.5	Exercices	105
5.5.1	Filtrage	105
5.5.2	IES, débit et probabilité d'erreur	105
5.5.3	Relations débit - bande passante - nombre de symboles	106
5.5.4	Interférence entre symboles, débit et probabilité d'erreur	106
5.5.5	IES sans erreur	107
5.5.6	Ligne bifilaire	108
5.6	Correction	108
5.6.1	Filtrage	108
5.6.2	IES, débit et probabilité d'erreur	109
5.6.3	Relations débit - bande passante - nombre de symboles	110
5.6.4	Interférence entre symboles, débit et probabilité d'erreur	110
5.6.5	IES sans erreur	111
5.6.6	Ligne bifilaire	111
6	Transmission sur onde porteuse	113
6.1	Modulations à déplacement d'amplitude	113
6.1.1	Définition	113
6.1.2	Densité spectrale des signaux modulés	114
6.1.3	Transmission et réception d'un signal MDA	114

6.2	Modulation d'amplitude en quadrature	119
6.2.1	Définition	119
6.2.2	Spectre d'une MAQ	120
6.2.3	Transmission et réception d'une MAQ	120
6.3	Modulations à déplacement de phase (MDP/PSK)	123
6.4	Modulations à déplacement de fréquence	123
6.5	Exercices	125
6.5.1	Modulation d'amplitude de deux porteuses en quadrature (MAQ)	125
6.5.2	MDP-8, MDA-8 ou MAQ-8?	127
6.5.3	Comparaison de modulations	129
6.5.4	Réseaux de points	130
6.6	Correction	132
6.6.1	Modulation d'amplitude de deux porteuses en quadrature (MAQ)	132
6.6.2	MDP-8, MDA-8 ou MAQ-8?	134
6.6.3	Comparaison de modulations	136
6.6.4	Réseaux de points	137
7	Comment partager le canal ?	139
7.1	Multiplexage fréquentiel	139
7.2	Multiplexage temporel	140
7.3	Multiplexage par code	142
7.3.1	Séquences à longueur maximale (MLS)	142
7.3.2	Séquences de Gold	142
7.3.3	Codage à étalement de spectre	143
7.3.4	Détection des symboles	144
7.4	Multiplexage spatial	145
7.5	Exercice	147
7.6	Correction	148
8	Systèmes de communications mobiles	153
8.1	Partage du canal sur un réseau cellulaire	153

8.1.1	GSM	155
8.1.2	UMTS	156
8.2	Architecture des réseaux GSM et UMTS	159
8.2.1	GSM	159
8.2.2	UMTS	160
8.2.3	Handover	161
8.2.4	Soft-handover	163
8.3	Les contraintes du canal radio-mobile	164
8.3.1	Réflexions	164
8.3.2	Effet Doppler	164
8.3.3	Comment s'en tirer ?	165
8.4	Transmission de la voix	167
8.4.1	Codeur de parole	167
8.4.2	Codage de canal	169
8.4.3	Entrelacement	170
8.5	TP : Transmission de la voix sur une liaison GSM	173
8.5.1	Impact des erreurs selon la classe des bits	173
8.5.2	Codage de canal	174
8.5.3	Entrelacement	175
8.6	Correction	175
8.6.1	Impact des erreurs selon la classe des bits	175
8.6.2	Codage de canal	175
8.6.3	Entrelacement	177
Annexes		179
A Rappels de probabilités		181
A.1	Expériences aléatoires et événements	181
A.2	Probabilité d'un événement	181
A.2.1	Propriétés	182
A.2.2	Probabilités conditionnelles	182
A.2.3	Événements indépendants	182

A.3	Variables aléatoires	182
A.3.1	Définition	182
A.3.2	Densité de probabilité d'une variable aléatoire continue	183
A.4	Exercices	184
A.4.1	Communication binaire	184
A.4.2	Modulation MAQ-8	184
A.4.3	Modulation MAQ-16	186
A.4.4	Des erreurs en cascade	186
A.4.5	Contrôle de parité	186
A.5	Correction	187
A.5.1	Communication binaire	187
A.5.2	Modulation MAQ-8	187
A.5.3	Modulation MAQ-16	188
A.5.4	Des erreurs en cascade	188
A.5.5	Contrôle de parité	189
B	Représentation fréquentielle	191
B.1	Signaux périodiques	192
B.2	Signaux apériodiques d'énergie finie	193
C	Signaux aléatoires	195
C.1	Définition	195
C.2	Représentation fréquentielle	195
C.2.1	Densité spectrale de puissance d'un signal périodique	196
C.2.2	Densité spectrale de puissance d'un signal aléatoire	197
D	Filtres	199
	Table des figures	203
	Bibliographie	209
	Index	211