

Francis **Cottet**

**AIDE-MÉMOIRE**

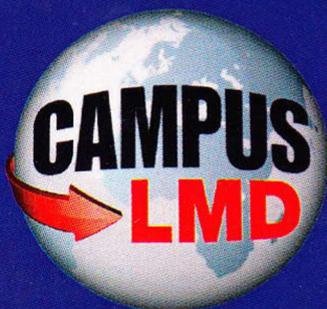
# Traitement du **signal**

IUT • Master • Écoles d'ingénieurs



- Bases et principes généraux
- Méthodes et effets associés
- Démonstrations des résultats induits

**3<sup>e</sup> édition**



**DUNOD**

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Avant-propos</b>	<b>IX</b>
<b>Notations et abréviations</b>	<b>XI</b>

## PARTIE 1

### LE TRAITEMENT DES SIGNAUX ANALOGIQUES

<b>Chapitre 1. Définitions et représentation des signaux</b>	<b>3</b>
1.1 Définitions	3
1.1.1 Définitions de base	3
1.1.2 Principales fonctions du traitement du signal	4
1.1.3 Les systèmes numériques	5
1.2 Représentation des signaux	6
1.2.1 Modélisation des signaux	6
1.2.2 Classification des signaux	8
<b>Chapitre 2. Transformations de Fourier</b>	<b>13</b>
2.1 Analyse spectrale des fonctions périodiques	13
2.1.1 Développement en série de Fourier	13
2.1.2 Représentations fréquentielles	15
2.1.3 Quelques propriétés	17
2.1.4 Exemples de développements en série de Fourier	18
2.2 Analyse spectrale des fonctions non périodiques	24
2.2.1 Transformée de Fourier	24
2.2.2 Propriétés de la transformée de Fourier	24
2.2.3 Exemples de transformées de Fourier	27

# Aide-mémoire de traitement du signal

<b>Chapitre 3. Systèmes de transmission. Filtrage</b>	<b>31</b>
3.1 Systèmes de transmission	31
3.1.1 Définitions et propriétés	31
3.1.2 La convolution	34
3.2 Filtrage	36
3.2.1 Fenêtrage temporel	36
3.2.2 Filtrage fréquentiel	39
3.3 Corrélation	50
3.3.1 Puissance et énergie des signaux	50
3.3.2 Corrélation et densité spectrale	52
3.3.3 Théorème de Parseval	56
<b>Chapitre 4. Modulation des signaux</b>	<b>57</b>
4.1 Introduction	57
4.1.1 Spectre d'un signal et bande passante d'un support	57
4.1.2 Types de transmission	58
4.1.3 Les différentes formes de modulation	59
4.2 Modulation d'amplitude	60
4.2.1 Principe de la modulation d'amplitude	60
4.2.2 Étude spectrale d'un signal modulé en amplitude	61
4.2.3 Puissance en modulation d'amplitude	63
4.2.4 Systèmes dérivés de la modulation d'amplitude	65
4.2.5 Procédés de la modulation d'amplitude	68
4.3 Modulation exponentielle	69
4.3.1 Principe	69
4.3.2 Modulation de fréquence	72
4.3.3 Modulation de phase	84
4.3.4 Modulation primaire/secondaire	87
<b>Chapitre 5. Signaux aléatoires Bruit</b>	<b>91</b>
5.1 Signaux aléatoires	91
5.1.1 Définitions	91
5.1.2 Caractérisations statistiques ( <i>cf.</i> annexes)	92
5.2 Le bruit	100
5.2.1 Définitions	100

5.2.2	Rapport signal sur bruit	103
5.2.3	Traitement des signaux noyés dans le bruit	104

## PARTIE 2

### LE TRAITEMENT DES SIGNAUX NUMÉRIQUES

<b>Chapitre 6. Numérisation des signaux</b>	<b>111</b>
6.1 Échantillonnage	111
6.1.1 Échantillonnage idéal : définition	111
6.1.2 Théorème de l'échantillonnage	113
6.1.3 Effet du repliement de spectre	119
6.1.4 Échantillonnage naturel et autres procédés	126
6.2 Quantification du signal échantillonné	131
6.2.1 Effet de la quantification	131
6.2.2 Lois de compression et expansion du signal	134
6.3 Restitution du signal	135
6.3.1 Problématique	135
6.3.2 Interpolation idéale	137
6.3.3 Interpolation linéaire	138
6.3.4 Restitution par bloqueur	140
6.3.5 Filtre de restitution	141
6.3.6 Restitution par sur-échantillonnage	143
<b>Chapitre 7. Analyse spectrale des signaux discrets</b>	<b>149</b>
7.1 Les différentes représentations fréquentielles	149
7.2 Transformée de Fourier discrète	150
7.2.1 Définition	150
7.2.2 Transformée de Fourier et TFD	153
7.3 Transformée de Fourier rapide	156
7.4 Convolution et corrélation numériques	163
7.4.1 Convolution discrète	163
7.4.2 Corrélation discrète	165
7.5 Les fenêtres de pondération	166
7.5.1 Effet du fenêtrage temporel	166
7.5.2 Transformée de Fourier à fenêtre glissante	172

## Aide-mémoire de traitement du signal

7.5.3	La transformée en ondelettes	173
<b>Chapitre 8. Filtrage numérique</b>		<b>179</b>
8.1	Introduction	179
8.1.1	Filtrage numérique : définition	179
8.1.2	Transformée en $z$	183
8.1.3	Filtrage numérique simple : lissage temporel	184
8.2	Synthèse des filtres numériques à réponse impulsionnelle infinie	186
8.2.1	Équation aux différences	187
8.2.2	Synthèse des filtres numériques par transformation de $H(p)$ en $H(z)$	188
8.3	Synthèse des filtres numériques à réponse impulsionnelle finie	201
8.4	Réalisation des filtres numériques	203
8.4.1	Filtres numériques synthétisés par $H(z)$	204
8.4.2	Filtres numériques basés sur la convolution	208
8.5	Techniques avancées de filtrage numérique	209
8.5.1	« Filtres » numériques non linéaires : valeur médiane	209
8.5.2	Filtres numériques multiscadence	211
<b>Chapitre 9. Les chaînes d'acquisition de données</b>		<b>213</b>
9.1	Généralités	213
9.1.1	Introduction	213
9.1.2	Les types de signaux d'entrées/sorties	214
9.1.3	Codage de l'information au niveau d'un ordinateur	217
9.2	Capteurs et actionneurs	218
9.2.1	Introduction	218
9.2.2	Les caractéristiques des capteurs	219
9.2.3	Les principaux types de capteurs	222
9.2.4	Les principaux types d'actionneurs	226
9.3	Le câblage	228
9.3.1	La nature du câble	229
9.3.2	Les différentes configurations du câblage	230
9.4	Le conditionnement de signaux	230

9.5	Les entrées/sorties numériques	231
9.6	Les entrées/sorties analogiques	233
9.6.1	La conversion numérique analogique	234
9.6.2	La conversion analogique numérique	235
9.6.3	Échantillonneur/bloqueur	236
9.7	La mise en œuvre d'une chaîne d'acquisition de données	236
9.7.1	Introduction	236
9.7.2	Architecture des cartes d'entrées/sorties analogiques	237
9.7.3	Caractéristiques des cartes d'entrées/sorties	238
9.7.4	Méthodologie de mise en œuvre d'une chaîne d'acquisition de données	240
<b>Chapitre 10. Les bases du traitement des images</b>		<b>243</b>
10.1	Introduction	243
10.2	Acquisition d'un signal « image »	245
10.2.1	Le contexte de l'acquisition	245
10.2.2	Le capteur de l'image	246
10.2.3	La numérisation de l'image	248
10.3	Traitement d'un signal « image »	251
10.3.1	Les méthodes d'élimination du bruit	251
10.3.2	Les transformations géométriques des images	254
10.4	Analyse d'un signal « image »	256
10.4.1	Les opérations sur les images	257
10.4.2	L'utilisation des histogrammes pour le traitement des images	258
10.4.3	La détection de contour	259
10.4.4	La détection d'éléments (la reconnaissance des formes)	262
10.5	Conclusion	265
<b>Annexe A. Annexes</b>		<b>267</b>
A.1	Impulsion de Dirac	267
A.1.1	Définitions	267

## Aide-mémoire de traitement du signal

A.1.2	Principales propriétés	268
A.2	Fonctions mathématiques utilisées en traitement du signal	270
A.2.1	Notations complexes	270
A.2.2	Formules trigonométriques	271
A.2.3	Fonctions sinus cardinal	271
A.2.4	Fonctions de Bessel	272
A.2.5	Probabilités et statistiques	272
A.3	Transformée de Laplace	278
A.3.1	Définitions	278
A.3.2	Propriétés	279
A.3.3	Exemples de transformées de Laplace	279
	<b>Bibliographie</b>	<b>281</b>
	<b>Lexique anglais-français</b>	<b>283</b>
	<b>Index</b>	<b>285</b>