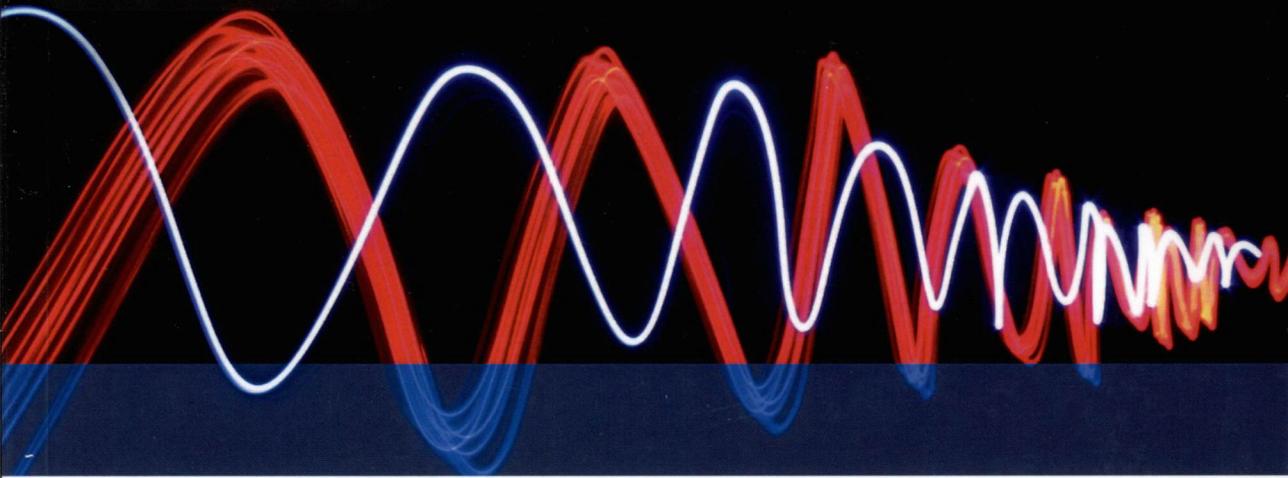


Francis Cottet



# Traitement des signaux et acquisition de données

Cours et exercices corrigés

4<sup>e</sup> édition

IUT  
Licence 3  
Master  
Écoles d'ingénieurs

DUNOD

مكتبة جامعة محمد بوقرة - بومرداس  
المكتبة الجامعية  
بومرداس - بومرداس



# Traitement des signaux et acquisition de données

المكتبة الجامعية  
جامعة محمد بوقرة - بومرداس  
بومرداس - بومرداس

جامعة محمد بوقرة - بومرداس  
Université M'Hamed Bougara - BOUMERDES  
المكتبة الجامعية  
6211.3.038/CAT

216499

جامعة محمد بوقرة - بومرداس  
Université M'Hamed Bougara - Boumerdes  
المكتبة الجامعية  
رقم الجرد: 0116499

# Table des matières

<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>PARTIE 1 • LE TRAITEMENT DES SIGNAUX ANALOGIQUES</b>	9
<b>CHAPITRE 1 • REPRÉSENTATION DES SIGNAUX</b>	11
1.1 Modélisation des signaux	11
1.2 Classification des signaux	12
1.2.1 Représentation temporelle des signaux	12
1.2.2 Classification énergétique	13
1.2.3 Classification spectrale	15
1.2.4 Les signaux numériques	16
<b>CHAPITRE 2 • TRANSFORMATION DE FOURIER</b>	19
2.1 Transformation de Fourier des fonctions périodiques. Série de Fourier	19
2.1.1 Définition. Théorème de Fourier	19
2.1.2 Distribution ou pic de Dirac	20
2.1.3 Représentations unilatérale et bilatérale	21
2.1.4 Exemples de signaux élémentaires	23
2.1.5 Propriétés du développement en série de Fourier	25
2.2 Transformée de Fourier des fonctions non périodiques	26
2.2.1 Définition	26
2.2.2 Conditions d'existence de la transformée de Fourier	27
2.2.3 Propriétés de la transformée de Fourier	27
2.2.4 Quelques signaux supplémentaires	31
Exercices d'application	34
<b>CHAPITRE 3 • SYSTÈMES DE TRANSMISSION</b>	45
3.1 Définition. Unité de comparaison. Bande passante	45
3.1.1 Définition et unité de comparaison	45
3.1.2 Bande passante	46

3.2	Propriétés des systèmes de transmission	47
3.2.1	Systèmes linéaires	47
3.2.2	Systèmes continus	48
3.2.3	Systèmes stationnaires	49
3.3	Filtres et convolution	49
3.3.1	Définition	49
3.3.2	Propriétés de la convolution	51
3.3.3	Calcul pratique de la convolution	51
3.3.4	Théorème de Plancherel	51
3.3.5	Convolution des signaux périodiques	54
3.4	Introduction à la notion de corrélation	54
3.4.1	Puissance et énergie des signaux	54
3.4.2	Corrélation et densité spectrale	55
3.4.3	Théorème de Parseval	60
	Exercices d'application	60
<b>CHAPITRE 4 • FILTRAGE DES SIGNAUX ANALOGIQUES</b>		<b>63</b>
4.1	Transformée de Laplace	63
4.1.1	Définition	63
4.1.2	Transformée de Fourier et transformée de Laplace	64
4.1.3	Propriétés de la transformée de Laplace	64
4.2	Filtrage ou fenêtrage temporel	66
4.2.1	Principes généraux	66
4.2.2	Le fenêtrage temporel	66
4.3	Filtrage fréquentiel	70
4.3.1	Théorème fondamental des filtres	70
4.3.2	Filtres réalisables	72
4.3.3	Les différents types de filtres	74
	Exercices d'application	77
<b>CHAPITRE 5 • LA MODULATION</b>		<b>85</b>
5.1	Introduction	85
5.1.1	Spectre d'un signal et bande passante d'un support	85
5.1.2	Types de transmission	87
5.1.3	Les différentes formes de modulation	87
5.2	Modulation d'amplitude	88
5.2.1	Principe de la modulation d'amplitude	88
5.2.2	Systèmes dérivés de la modulation d'amplitude	92
5.2.3	Procédés de modulation, l'émetteur	94
5.2.4	Procédés de démodulation, le récepteur	96
5.3	Modulation exponentielle	98
5.3.1	Principe de la modulation exponentielle	98
5.3.2	La modulation de fréquence	99
5.3.3	La modulation de phase	114
	Exercices d'application	117

<b>CHAPITRE 6 • SIGNAUX ALÉATOIRES. BRUIT</b>	<b>125</b>
6.1 Signaux aléatoires	125
6.1.1 Définitions	125
6.1.2 Caractérisations statistiques	126
6.2 Sources de bruit	128
6.2.1 Bruit externe et bruit interne	128
6.2.2 Bruit thermique	129
6.2.3 Bruit de grenaille et autres modèles	129
6.3 Rapport signal/bruit	130
6.4 Détection d'un signal noyé dans le bruit	131
6.4.1 Détection par corrélation d'un signal périodique noyé dans un bruit blanc	131
6.4.2 Détection synchrone par corrélation d'un signal périodique noyé dans du bruit	134
Exercices d'application	136
<b>PARTIE 2 • LE TRAITEMENT DES SIGNAUX NUMÉRIQUES</b>	<b>141</b>
<b>CHAPITRE 7 • NUMÉRISATION DES SIGNAUX</b>	<b>143</b>
7.1 Échantillonnage	143
7.1.1 Échantillonnage idéal	145
7.1.2 Effet de repliement du spectre	149
7.1.3 Échantillonnage naturel et autres procédés	152
7.2 Quantification du signal échantillonné	156
7.2.1 Quantification	156
7.2.2 Lois de compression-expansion du signal	158
7.3 Restitution du signal	159
7.3.1 Problématique	159
7.3.2 Interpolation idéale	160
7.3.3 Interpolation linéaire	161
7.3.4 Restitution par bloqueur	163
7.3.5 Filtre de restitution	164
Exercices d'application	165
<b>CHAPITRE 8 • ANALYSE SPECTRALE DES SIGNAUX DISCRETS</b>	<b>175</b>
8.1 Les différentes représentations fréquentielles	175
8.2 Transformée de Fourier discrète	176
8.2.1 Définition	176
8.2.2 Transformée de Fourier et TFD	178
8.3 Transformée de Fourier rapide	180
8.4 Convolution et corrélation numériques	188
8.4.1 Convolution discrète	188
8.4.2 Corrélation discrète	189
8.5 Effet du fenêtrage temporel	190
Exercice d'application	196

CHAPITRE 9 • NOTIONS DE FILTRAGE NUMÉRIQUE	203
9.1 Introduction	203
9.1.1 Définition du filtrage numérique	203
9.1.2 Transformée en $z$	206
9.1.3 Filtrage numérique simple : lissage temporel	207
9.2 Synthèse des filtres numériques à réponse impulsionnelle infinie	210
9.2.1 Équation aux différences	210
9.2.2 Synthèse des filtres numériques par transformation de $H(p)$ en $H(z)$	211
9.3 Synthèse des filtres numériques à réponse impulsionnelle finie	216
9.4 Réalisation des filtres numériques	216
9.4.1 Filtres numériques synthétisés par $H(z)$	217
9.4.2 Filtres numériques basés sur la convolution	220
9.5 Filtres numériques avancés	221
9.5.1 Filtres numériques de la valeur médiane	221
9.5.2 Filtres numériques multicadence	222
Exercices d'application	223
<b>PARTIE 3 • LES BASES DE L'ACQUISITION DE DONNÉES</b>	<b>233</b>
CHAPITRE 10 • LES CHAÎNES D'ACQUISITION DE DONNÉES	235
10.1 Généralités	235
10.1.1 Introduction	235
10.1.2 Les types de signaux d'entrées/sorties	237
10.1.3 Codage de l'information au niveau d'un calculateur	238
10.2 Capteurs et actionneurs	241
10.2.1 Introduction	241
10.2.2 Les caractéristiques des capteurs	241
10.2.3 Les principaux types de capteurs	243
10.2.4 Les principaux types d'actionneurs	253
10.3 Le câblage	254
10.3.1 La nature du câble	255
10.3.2 Les différentes configurations du câblage	260
10.4 Le conditionnement de signaux	263
10.5 Exemple d'une chaîne industrielle	265
CHAPITRE 11 • LES ENTRÉES/SORTIES NUMÉRIQUES	269
11.1 Structure d'une chaîne d'E/S numériques	269
11.1.1 Cas simples : signaux compatibles TTL	269
11.1.2 Cas général	270
11.2 Composants d'une chaîne d'E/S numériques	271
11.2.1 Adaptation	271
11.2.2 Isolement et filtrage	274
11.2.3 Étage tampon	277
11.3 Exemple d'une interface d'E/S numériques	277

CHAPITRE 12 • LES ENTRÉES/SORTIES ANALOGIQUES	281
12.1 Introduction	281
12.2 La conversion numérique/analogique	282
12.2.1 Introduction	282
12.2.2 Convertisseur à résistances pondérées	283
12.2.3 Convertisseur à réseau en échelle $R-2R$	285
12.2.4 Caractéristiques principales des CNA	286
12.2.5 Erreurs sur la courbe de transfert d'un CNA	287
12.2.6 Quelques applications des convertisseurs N/A	290
12.3 La conversion analogique/numérique	292
12.3.1 Introduction	292
12.3.2 CAN à intégration simple rampe	294
12.3.3 CAN à intégration double rampe	295
12.3.4 Convertisseur à comptage ou incrémental	297
12.3.5 Convertisseur à approximations successives	298
12.3.6 Convertisseur parallèle ( <i>flash converter</i> )	299
12.3.7 Convertisseur SIGMA-DELTA	301
12.3.8 Convertisseur A/N logarithmique	302
12.3.9 Caractéristiques et erreurs des convertisseurs A/N	303
12.3.10 Applications des convertisseurs A/N	303
12.4 Caractéristiques techniques des convertisseurs	305
12.4.1 Caractéristiques techniques des CNA	305
12.4.2 Caractéristiques techniques des CAN	305
12.4.3 Réalisation technologique des convertisseurs	305
12.5 Échantillonneur/bloqueur	306
12.5.1 Définition d'un échantillonneur/bloqueur	306
12.5.2 Caractéristiques d'un échantillonneur/bloqueur	307
12.5.3 Structure interne d'un échantillonneur/bloqueur	309
CHAPITRE 13 • LA MISE EN ŒUVRE D'UNE CHAÎNE D'ACQUISITION DE DONNÉES	311
13.1 Introduction	311
13.2 Fonctions supplémentaires	312
13.2.1 Multiplexage	312
13.2.2 Amplification programmable	314
13.2.3 Temporisation ou comptage	315
13.2.4 Bus	316
13.3 Caractéristiques générales des cartes d'entrées/sorties	317
13.3.1 Architectures matérielles des cartes d'acquisition de données analogiques	317
13.3.2 Caractéristiques des cartes d'entrées/sorties	319
13.4 Méthodologie de mise en œuvre d'une chaîne d'acquisition de données	323
13.4.1 Introduction	323
13.4.2 Caractérisation des signaux d'entrées/sorties	324
13.4.3 Méthodologie d'analyse	328
13.4.4 Les modes d'acquisition de données	329
Exercice d'application	331

<b>CHAPITRE 14 • EXEMPLE D'APPLICATIONS</b>	<b>335</b>
14.1 Pilotage d'une machine à compression rapide pour des essais de combustion	335
14.1.1 Présentation générale de l'application	335
14.1.2 Description de la partie mécanique	336
14.1.3 Description de la partie mesure et contrôle	337
14.1.4 Conclusion	339
14.2 Étude d'écoulements turbulents réactifs par vélocimétrie laser	340
14.2.1 Présentation générale de l'application	340
14.2.2 Cahier des charges et méthodologie expérimentale	340
14.2.3 Conclusion	342
14.3 Étude de la réponse vibratoire des cloches	343
14.3.1 Présentation générale de l'application	343
14.3.2 Application d'analyse vibratoire des cloches	343
14.3.3 Conclusion	345
14.4 Étude des interfaces dans les multimatériaux	345
14.4.1 Présentation générale de l'application	345
14.4.2 Banc expérimental de l'application	346
14.4.3 Acquisition et traitement de données des expériences	347
14.4.4 Conclusion	348
<b>CHAPITRE 15 • LES IMAGES ET LEURS TRAITEMENTS</b>	<b>351</b>
15.1 Introduction	351
15.2 Acquisition d'un signal « image »	353
15.2.1 Le contexte de l'acquisition	353
15.2.2 Le capteur de l'image	353
15.2.3 La numérisation de l'image	355
15.3 Traitement d'un signal « image »	357
15.3.1 Les méthodes d'élimination du bruit	357
15.3.2 Les transformations géométriques des images	360
15.4 Analyse d'un signal « image »	363
15.4.1 Les opérations sur les images	364
15.4.2 L'utilisation des histogrammes pour le traitement des images	364
15.4.3 La détection de contour	366
15.4.4 La détection d'éléments (la reconnaissance des formes)	369
15.5 Conclusion	372
<b>PARTIE 4 • ANNEXES</b>	<b>373</b>
<b>ANNEXE A • DISTRIBUTION DE DIRAC</b>	<b>375</b>
<b>ANNEXE B • DÉVELOPPEMENTS EN SÉRIE DE FOURIER</b>	<b>378</b>
<b>ANNEXE C • TRANSFORMÉES DE FOURIER</b>	<b>381</b>
<b>ANNEXE D • TRANSFORMÉES DE LAPLACE</b>	<b>384</b>
<b>ANNEXE E • FONCTIONS DE TRANSFERT</b>	<b>386</b>

---

ANNEXE F • TRANSFORMÉE EN $z$	387
ANNEXE G • PRINCIPAUX MONTAGES DE L'AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL	389
ANNEXE H • LE LOGICIEL D'INSTRUMENTATION LABVIEW™	393
ANNEXE I • RAPPELS MATHÉMATIQUES POUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL	402
LEXIQUE	405
NOTATIONS ET ABRÉVIATIONS	407
BIBLIOGRAPHIE	409
INDEX	410