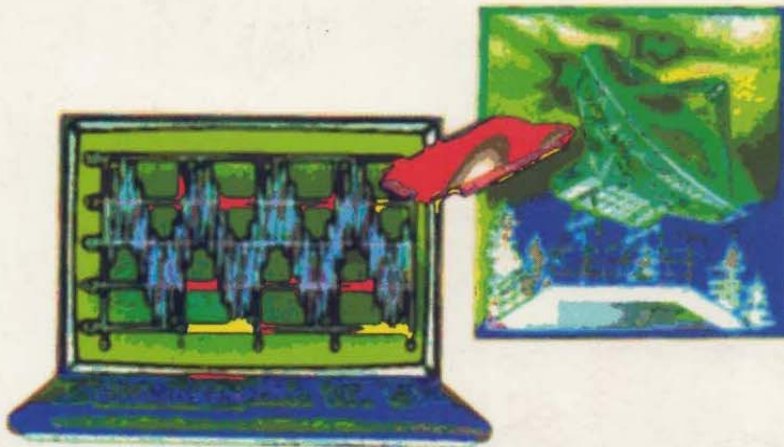


**Francis Cottet**

*DEUG • IUT • Licence EEA • Écoles d'ingénieurs*

# **Traitement des signaux et acquisition de données**

Cours et exercices résolus



**DUNOD**

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
Quelques définitions	1
La chaîne de communication	2
Principales fonctions du traitement du signal	4
Les systèmes numériques	5
Organisation générale du livre	6

## **Partie A - Le traitement des signaux analogiques**

<b>1. Représentation des signaux</b>	<b>11</b>
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>2. Transformation de Fourier</b>	<b>19</b>
2.1 Transformation de Fourier des fonctions périodiques	19
2.1.1 Définition. Théorème de Fourier	19
2.1.2 Représentations unilatérale et bilatérale	20
2.1.3 Exemples de signaux élémentaires	22
2.2 Transformée de Fourier	24
2.2.1 Définition	24
2.2.2 Conditions d'existence de la transformée de Fourier	25
2.2.3 Propriétés de la transformée de Fourier	25

2.2.4 Quelques signaux supplémentaires	28
Exercices d'application	31
1. Synthèse des signaux carré et triangulaire	31
2. Analyse spectrale d'un signal sinusoïdal redressé simple ou double alternance	34
3. Spectre d'une suite périodique d'impulsions	38
<b>3. Systèmes de transmission</b>	<b>43</b>
3.1 Définition. Unité de comparaison. Bande passante	43
3.1.1 Définition et unité de comparaison	43
3.1.2 Bande passante	44
3.2 Propriétés des systèmes de transmission	45
3.3 Filtres et convolution	47
3.3.1 Définition	47
3.3.2 Propriétés de la convolution	48
3.3.3 Calcul pratique de la convolution	49
3.3.4 Théorème de Plancherel	50
3.3.5 Convolution des signaux périodiques	51
3.4 Introduction à la notion de corrélation	51
3.4.1 Puissance et énergie des signaux	51
3.4.2 Corrélation et densité spectrale	53
3.4.3 Théorème de Parseval	56
Exercice d'application	57
Utilisation du théorème de Plancherel	57
<b>4. Filtrage des signaux analogiques</b>	<b>59</b>
4.1 Transformée de Laplace	59
4.1.1 Définition	59
4.1.2 Transformée de Fourier et transformée de Laplace	60
4.1.3 Propriétés de la transformée de Laplace	60
4.2 Filtrage ou fenêtrage temporel	61
4.2.1 Principes généraux	61
4.2.2 Le fenêtrage temporel	63
4.3 Filtrage fréquentiel	65
4.3.1 Théorème fondamental des filtres	66
4.3.2 Filtres réalisables	67
Exercices d'application	69
1. Filtre passe-bas du premier ordre	69
2. Filtre passe-haut du premier ordre	73
<b>5. La modulation</b>	<b>79</b>
5.1 Introduction	79
5.1.1 Spectre d'un signal et bande passante d'un support	79
5.1.2 Types de transmission	80
5.1.3 Les différentes formes de modulation	81

5.2 Modulation d'amplitude	81
5.2.1 Modulation d'amplitude à porteuse conservée	81
5.2.2 Systèmes dérivés de la modulation d'amplitude	86
5.2.3 Procédés de modulation, l'émetteur	88
5.2.4 Procédés de démodulation, le récepteur	90
5.3 Modulation exponentielle	92
5.3.1 Principe de la modulation exponentielle	92
5.3.2 La modulation de fréquence	94
5.3.3 La modulation de phase	109
Exercices d'application	112
1. Réalisation de la modulation d'amplitude	112
2. Étude d'une modulation avec sous-porteuse	116
<b>6. Le bruit</b>	<b>121</b>
6.1 Sources de bruit	121
6.1.1 Bruit externe et bruit interne	122
6.1.2 Bruit thermique	122
6.1.3 Bruit de grenaille	123
6.2 Rapport signal sur bruit	123
6.3 Détection d'un signal noyé dans le bruit	124
6.3.1 Détection par autocorrélation	124
6.3.2 Détection par corrélation	127
Exercice d'application	128
Identification d'un processus à l'aide d'un bruit blanc	128

## Partie B - Le traitement des signaux numériques

<b>7. Numérisation des signaux</b>	<b>133</b>
7.1 Échantillonnage	133
7.1.1 Échantillonnage idéal	135
7.1.2 Effet de repliement du spectre	139
7.1.3 Échantillonnage naturel et autres procédés	141
7.2 Quantification du signal échantillonné	146
7.3 Lois de compression-expansion du signal	148
7.4 Restitution du signal	149
Exercices d'application	154
1. Échantillonnage de signaux à bande étroite	154
2. Restitution par sur-échantillonnage	158
<b>8. Transformée de Fourier discrète</b>	<b>165</b>
8.1 Rappel sur la représentation fréquentielle	165
8.2 Transformée de Fourier discrète	167
8.2.1 Définition	167

8.2.2 Transformée de Fourier et TFD	168
8.3 Convolution et corrélation numériques	170
8.3.1 Convolution discrète	170
8.3.2 Corrélation discrète	171
8.4 Transformée de Fourier rapide	173
8.5 Interprétation du résultat d'une TFD	180
8.6 Effet du fenêtrage temporel	182
Exercice d'application	186
Représentation réelle des TFD	186
<b>9. Notions de filtrage numérique</b>	<b>195</b>
9.1 Introduction	195
9.2 Transformée en z	198
9.3 Synthèse des filtres numériques par la fonction de transfert	199
9.3.1 Équation aux différences	199
9.3.2 Synthèse des filtres numériques	200
9.4 Utilisation de la réponse impulsionnelle	206
9.5 Réalisation des filtres numériques	206
9.5.1 Filtres numériques synthétisés à partir de $H(z)$	206
9.5.2 Structure des filtres numériques à convolution	209
Exercices d'application	210
1. Filtre passe-bas du premier ordre	210
2. Filtre passe-bas du deuxième ordre	213

## Partie C - Les bases de l'acquisition de données

<b>10. Les chaînes d'acquisition</b>	<b>221</b>
10.1 Généralités	221
10.1.1 Introduction	221
10.1.2 Les types de signaux d'entrées/sorties	223
10.1.3 Codage de l'information au niveau d'un ordinateur	225
10.2 Capteurs et actionneurs	227
10.2.1 Introduction	227
10.2.2 Les caractéristiques des capteurs	227
10.2.3 Les principaux types de capteurs	229
10.2.4 Les principaux types d'actionneurs	239
10.3 Le câblage	241
10.3.1 La nature du câble	241
10.3.2 Les différentes configurations du câblage	245
10.4 Le conditionnement de signaux	249
10.5 Exemple d'une chaîne industrielle	251

<b>11. Les entrées/sorties numériques</b>	<b>255</b>
11.1 Structure d'une chaîne d'E/S numériques	255
11.1.1 Cas simples : signaux compatibles TTL	255
11.1.2 Cas général	256
11.2 Composants d'une chaîne d'E/S numériques	258
11.2.1 Adaptation	258
11.2.2 Isolement et filtrage	260
11.2.3 Étage tampon	263
11.3 Exemple d'une interface d'E/S numériques	263
<b>12. Les entrées/sorties analogiques</b>	<b>267</b>
12.1 Introduction	267
12.2 La conversion numérique analogique	268
12.2.1 Introduction	268
12.2.2 Convertisseur à résistances pondérées	269
12.2.3 Convertisseur à réseau en échelle R-2R	271
12.2.4 Caractéristiques principales des CNA	272
12.2.5 Erreurs sur la courbe de transfert d'un CNA	273
12.2.6 Quelques applications des convertisseurs N/A	276
12.3 La conversion analogique numérique	278
12.3.1 Introduction	278
12.3.2 CAN à intégration simple rampe	279
12.3.3 CAN à intégration double rampe	281
12.3.4 Convertisseur à comptage ou incrémental	283
12.3.5 Convertisseur à approximations successives	284
12.3.6 Convertisseur parallèle	285
12.3.7 Convertisseur SIGMA-DELTA	287
12.3.8 Convertisseur A/N logarithmique	288
12.3.9 Caractéristiques et erreurs des convertisseurs A/N	289
12.3.10 Applications des convertisseurs A/N	289
12.4 Caractéristiques techniques des convertisseurs	291
12.4.1 Caractéristiques techniques des CNA	291
12.4.2 Caractéristiques techniques des CAN	291
12.4.3 Réalisation technologique des convertisseurs	291
12.5 Échantillonneur/bloqueur	291
12.5.1 Définition d'un échantillonneur/bloqueur	291
12.5.2 Caractéristiques d'un échantillonneur/bloqueur	293
12.5.3 Structure interne d'un échantillonneur/bloqueur	294
<b>13. La mise en œuvre</b>	<b>297</b>
13.1 Introduction	297
13.2 Fonctions supplémentaires	298
13.2.1 Multiplexage	298
13.2.2 Amplification programmable	300
13.2.3 Temporisation ou comptage	301

## Traitement des signaux et acquisition de données

13.2.4 Bus	302
13.3 Caractéristiques générales	303
13.3.1 Architectures matérielles des cartes d'acquisition	303
13.3.2 Caractéristiques des cartes d'entrées/sorties	305
13.4 Méthodologie de mise en œuvre	307
Exercice d'application	314
Choix d'une carte d'acquisition et de restitution de données	314
<b>Bibliographie</b>	<b>317</b>
<b>Annexes</b>	<b>319</b>
Annexe 1 : Distribution de Dirac	322
Annexe 2 : Développements en série de Fourier	322
Annexe 3 : Transformées de Fourier	323
Annexe 4 : Transformées de Laplace	324
Annexe 5 : Fonctions de Transfert	325
Annexe 6 : Transformée en Z	326
Annexe 7 : Principaux montages	327
Annexe 8 : Le logiciel d'instrumentation LabVIEW™	330
<b>Lexique</b>	<b>335</b>
<b>Notations et abréviations</b>	<b>337</b>
<b>Index</b>	<b>339</b>