

Guy Binet

# Traitement numérique du signal

Signaux et systèmes discrets



ellipses

# Table des matières

## Notations

ix

## 1 Modélisation des signaux

1

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1.1 GÉNÉRALITÉS.....               | 1  |
| 1.2 MODÉLISATION DES SIGNAUX.....  | 2  |
| 1.3 ANALYSE SPECTRALE .....        | 14 |
| 1.4 SPECTRE D'UN SIGNAL RÉEL ..... | 24 |

## 2 La transformée de Fourier discrète

27

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 2.1 DÉFINITION MATHÉMATIQUE.....              | 27 |
| 2.2 TRANSFORMÉE DE FOURIER - ESTIMATION ..... | 28 |
| 2.3 SIGNAUX PÉRIODIQUES.....                  | 31 |
| 2.4 INTERPOLATIONS.....                       | 34 |
| 2.5 ANALYSEUR DE SPECTRE - FENÊTRES.....      | 40 |

## 3 La transformée en Z

49

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 3.1 LA TRANSFORMÉE DE LAPLACE DES SIGNAUX ..... | 49 |
| 3.2 LA TRANSFORMATION EN Z .....                | 54 |
| 3.3 PROPRIÉTÉS DE LA TRANSFORMÉE EN Z.....      | 59 |
| 3.4 INVERSION DE LA TRANSFORMÉE EN Z .....      | 67 |
| 3.5 MODES.....                                  | 75 |
| 3.6 LIEN AVEC LA TRANSFORMÉE DE FOURIER .....   | 80 |
| 3.7 TL ET TZ USUELLES .....                     | 81 |

## 4 Les systèmes discrets

83

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| 4.1 SYSTÈMES DISCRETS, FILTRES.....              | 83 |
| 4.2 SYSTÈMES DISCRETS LINÉAIRES INVARIANTS.....  | 84 |
| 4.3 ANALYSE TEMPORELLE.....                      | 87 |
| 4.4 SYSTÈME CAUSAL - FONCTION DE TRANSFERT ..... | 87 |
| 4.5 ANALYSE FRÉQUENTIELLE.....                   | 93 |
| 4.6 FILTRES ÉLÉMENTAIRES .....                   | 97 |

|                |                                                       |            |
|----------------|-------------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b>       | <b>Filtres à réponse impulsionnelle finie : RIF</b>   | <b>103</b> |
| 5.1            | PRINCIPE DE LA SYNTHÈSE D'UN FILTRE.....              | 103        |
| 5.2            | PROPRIÉTÉS D'UN FILTRE RIF .....                      | 104        |
| 5.3            | FILTRES À PHASE LINÉAIRE .....                        | 105        |
| 5.4            | SYNTHÈSE PAR LA MÉTHODE DES FENÊTRES.....             | 110        |
| 5.5            | AUTRES FILTRES .....                                  | 120        |
| 5.6            | MÉTHODE DE REMEZ.....                                 | 123        |
| <b>6</b>       | <b>Filtres à réponse impulsionnelle infinie : RII</b> | <b>127</b> |
| 6.1            | TRANSPPOSITION .....                                  | 127        |
| 6.2            | APPROXIMATION DE LA DÉRIVÉE .....                     | 132        |
| 6.3            | INVARIANCE IMPULSIONNELLE.....                        | 134        |
| 6.4            | TRANSPPOSITION PAR BLOQUEUR.....                      | 136        |
| 6.5            | TRANSPPOSITION PAR PÔLES ET ZÉROS .....               | 139        |
| 6.6            | TRANSFORMATION BILINÉAIRE .....                       | 141        |
| <b>7</b>       | <b>Énergie - Puissance - Corrélation</b>              | <b>147</b> |
| 7.1            | ÉNERGIE ET PUISSANCE DES SIGNAUX .....                | 147        |
| 7.2            | AUTOCORRÉLATION ET INTERCORRÉLATION.....              | 151        |
| 7.3            | CAS DES SIGNAUX PÉRIODIQUES.....                      | 155        |
| 7.4            | PROPRIÉTÉS DES FONCTIONS DE CORRÉLATION .....         | 156        |
| 7.5            | SIGNAUX INDÉPENDANTS .....                            | 161        |
| 7.6            | APPLICATIONS .....                                    | 163        |
| 7.7            | APPLICATION AU FILTRAGE .....                         | 168        |
| <b>8</b>       | <b>Signal aléatoire discret</b>                       | <b>175</b> |
| 8.1            | NOTION DE SIGNAL ALÉATOIRE .....                      | 175        |
| 8.2            | HYPOTHÈSES FONDAMENTALES.....                         | 178        |
| 8.3            | THÉORÈME DE WIENER KINTCHINE .....                    | 183        |
| 8.4            | LE BRUIT BLANC .....                                  | 184        |
| 8.5            | FILTRAGE D'UN SIGNAL ALÉATOIRE.....                   | 185        |
| 8.6            | GÉNÉRATION DE SIGNAUX PSEUDO-ALÉATOIRES .....         | 191        |
| <b>Annexes</b> |                                                       | <b>199</b> |
| <b>A</b>       | <b>Choix d'une période d'échantillonnage</b>          | <b>199</b> |
| A.1            | PRINCIPE DU CHOIX.....                                | 199        |
| A.2            | COMPORTEMENT DOMINANT.....                            | 200        |
| <b>B</b>       | <b>La FFT</b>                                         | <b>203</b> |
| B.1            | PRINCIPE DE LA FFT .....                              | 203        |
| B.2            | LA PERMUTATION $\sigma$ OU BIT REVERSAL .....         | 208        |
| B.3            | L'ALGORITHME DE FFT.....                              | 211        |