



*Cours et exercices corrigés*

**IUT • BTS • Licence**

# **AUTOMATIQUE**

## **Systemes linéaires et continus**

2<sup>e</sup> édition

***Sandrine Le Ballois  
Pascal Codron***

**DUNOD**

ECT 20

35809  
②

# AUTOMATIQUE

## Systemes linéaires et continus

### Table des matières Cours et exercices corrigés

**Sandrine Le Ballois**

Ingénieur Supélec et docteur en automatique  
et traitement du signal

Maître de conférences à l'université de Cergy-Pontoise

**Pascal Codron**

Docteur en automatique  
et traitement du signal



2<sup>e</sup> édition

DUNOD

# Table des matières

AVANT-PROPOS	IX
ACRONYMES	XI
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 • OUTILS MATHÉMATIQUES	
1.1 Équations différentielles	8
1.1.1 Définitions	8
1.1.2 Résolution	8
1.2 Produit de convolution	11
1.2.1 Définition	11
1.2.2 Existence	11
1.2.3 Propriétés du produit de convolution	11
1.3 Fonctions de la variable complexe	12
1.3.1 Définition	12
1.4 Transformée de Laplace	13
1.4.1 Définition	14
1.4.2 Existence	15
1.4.3 Propriétés de la transformation de Laplace	18
1.5 Transformation de Laplace inverse	20
1.5.1 Les racines du dénominateur sont réelles et simples	20
1.5.2 Les racines du dénominateur sont réelles et multiples	22
1.5.3 L'une des racines au moins du dénominateur n'est pas réelle	22
1.6 Résolution d'équations différentielles par Laplace	23
Résumé	25
Exercices	26

<b>CHAPITRE 2 • REPRÉSENTATION DES SYSTÈMES</b>	35
2.1 Systèmes continus, linéaires, invariants	36
2.1.1 Définitions	36
2.1.2 Représentation des systèmes	37
Résumé	45
Exercices	45
<b>CHAPITRE 3 • ÉTUDE DE SYSTÈMES STANDARD</b>	49
3.1 Réponses temporelles	50
3.1.1 Définitions préliminaires	50
3.1.2 Signaux tests	51
3.1.3 Réponse indicielle : données caractéristiques	52
3.1.4 Systèmes du 1 <sup>er</sup> ordre	54
3.1.5 Systèmes du 2 <sup>nd</sup> ordre	58
3.2 Réponses harmoniques	71
3.2.1 Introduction	71
3.2.2 Définitions préliminaires (ou qu'est-ce-que la réponse harmonique ?)	71
3.2.3 Les représentations graphiques usuelles	72
3.2.4 Propriétés fréquentielles – Définitions	73
3.2.5 Systèmes du 1 <sup>er</sup> ordre	75
3.2.6 Systèmes du 2 <sup>nd</sup> ordre	81
3.3 Systèmes instables	94
3.4 Systèmes avec zéros	97
3.4.1 Système du 1 <sup>er</sup> ordre + zéro	99
3.4.2 Système du 2 <sup>nd</sup> ordre + zéro	103
3.5 Cas de l'intégrateur et du dérivateur	108
3.5.1 Intégrateur	108
3.5.2 Dérivateur	110
Résumé	111
Exercices	112
<b>CHAPITRE 4 • ANALYSE DE SYSTÈMES</b>	123
4.1 Exemple de cahier des charges	124
4.2 Définition des objectifs	126
4.3 Nécessité de bouclage	128
4.3.1 Rejet de perturbation	129
4.3.2 Sensibilité paramétrique	130
4.3.3 Stabilisation d'un système instable	132
4.3.4 Amélioration des performances	132
4.4 Structure d'une boucle fermée – définitions	133
4.5 Stabilité	137

4.5.1	Domaine temporel	138
4.5.2	Domaine fréquentiel	139
4.5.3	Carte des pôles et des zéros	142
4.5.4	Exemples récapitulatifs	142
4.5.5	Critères de stabilité	146
4.5.6	Marges de stabilité	161
4.6	Précision	171
4.6.1	Erreur due à une modification de consigne	172
4.6.2	Erreur due à une perturbation	173
Résumé		175
Exercices		176
<b>CHAPITRE 5 • LA CORRECTION</b>		183
5.1	Structures de correction	184
5.2	Choix du domaine de synthèse	187
5.3	Quelques clefs pour un bon réglage	188
5.4	Les correcteurs classiques	191
5.4.1	Correcteur Proportionnel Dérivé	192
5.4.2	Correcteur Proportionnel Intégral	200
5.4.3	Correcteur Proportionnel Intégral Dérivé	208
5.4.4	Correcteur à Avance de Phase	219
5.4.5	Correcteur à Retard de Phase	231
5.4.6	Correcteur à actions combinées : Retard/Avance – Avance/Retard	237
5.4.7	Correction tachymétrique	237
Résumé		242
Exercices		242
<b>CHAPITRE 6 • NOTIONS D'IDENTIFICATION</b>		263
6.1	Identification en boucle ouverte	264
6.2	Identification par réponse indicielle	264
6.2.1	Modèle à deux constantes de temps	264
6.2.2	Modèle de Broida	269
6.2.3	Modèle de Strejc	270
6.3	Identification par réponse harmonique	273
Résumé		274
<b>CHAPITRE 7 • PROBLÈME DE SYNTHÈSE</b>		275
7.1	Énoncé	276
7.2	Correction	281
Résumé		288

ANNEXES	
ANNEXE 1 • TRANSFORMÉES DE LAPLACE	
ANNEXE 2 • SYSTÈMES DU SECOND ORDRE	
A2.1 Introduction	291
A2.2 Comportement temporel : réponse indicielle	291
A2.3 Comportement fréquentiel : réponse harmonique	292
INDEX	299



2<sup>e</sup> édition

Sandrine Le Ballois • Pascal Codron

## AUTOMATIQUE

### Systèmes linéaires et continus

Ce cours d'automatique présente les « outils » de base nécessaires à l'étude des systèmes asservis, linéaires, invariants, continus et monovariables.

L'ouvrage s'articule autour de trois grands thèmes : les prérequis mathématiques, l'analyse de systèmes en terme de stabilité et de performances et, enfin, la synthèse de correcteurs assurant de bonnes propriétés aux asservissements.

Cette nouvelle édition a été enrichie de nombreux exercices et d'extraits d'Annales de concours avec corrigés détaillés. Tous les exemples sont traités à l'aide des outils modernes de l'automatique, largement utilisés tant dans le monde de l'enseignement que dans celui de l'industrie : Matlab/Simulink (version 6.5) ou Maple V.

Ce manuel est destiné en priorité aux étudiants de 1<sup>er</sup> cycle qui abordent l'automatique (IUT Génie Électrique ou Mesures Physiques, BTS Électrotechnique ou Automatique, Licence L1, L2 et L3), aux élèves de classes préparatoires PSI, aux enseignants qui veulent disposer d'un support de cours et aux ingénieurs désireux de mettre à jour leurs connaissances.

SANDRINE LE BALLOIS

Ingénieur Supélec et docteur en automatique et traitement du signal, est maître de conférences à l'université de Cergy-Pontoise.

PASCAL CODRON

Docteur en automatique et traitement du signal.

MATHÉMATIQUES

PHYSIQUE

CHIMIE

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

INFORMATIQUE

SCIENCES DE LA VIE

SCIENCES DE LA TERRE



9 782100 497324

