

AMAR AISSANI

# Modélisation et Simulation

*Office des Publications Universitaires*



# Modélisation et Simulation

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Table des matières.....                                          | 3  |
| Avant-propos.....                                                | 5  |
| <b>Chapitre 1.</b> Modélisation des Systèmes.....                | 9  |
| 1.1 Introduction.....                                            | 9  |
| 1.2. Terminologie.....                                           | 13 |
| 1.3. Types de modèles (et systèmes).....                         | 14 |
| 1.4. But de la simulation.....                                   | 16 |
| 1.5. Outils de modélisation.....                                 | 17 |
| 1.6. Avantages et Inconvénients de la simulation.....            | 21 |
| 1.7. Logiciels et Langages de Simulation.....                    | 22 |
| 1.8. Domaines d'application de la simulation.....                | 24 |
| 1.9. Exercices.....                                              | 25 |
| <b>Chapitre 2.</b> Techniques d'évaluation des performances..... | 41 |
| 2.1. Les mesures.....                                            | 41 |
| 2.2. Les techniques analytiques.....                             | 41 |
| 2.3. Les techniques de simulation.....                           | 42 |
| 2.4. Notion de complexité algorithmique.....                     | 44 |
| 2.5. Compromis complexité-efficacité.....                        | 46 |
| 2.6. Notion de Processus aléatoire.....                          | 47 |
| 2.7. Classes particulières de Processus aléatoires.....          | 49 |
| 2.8. Exercices.....                                              | 55 |
| <b>Chapitre 3</b> Suites aléatoires et Chaînes de Markov.....    | 57 |
| 3.1. Introduction.....                                           | 57 |
| 3.2. Chaînes de Markov à temps discret.....                      | 57 |
| 3.3. Chaînes de Markov à temps continu.....                      | 71 |
| 3.4. Exercices.....                                              | 76 |
| <b>Chapitre 4</b> Modèles de files d'attente.....                | 91 |
| 4.1. Introduction.....                                           | 91 |
| 4.2. Classification de kendall.....                              | 92 |
| 4.3. Types de problèmes.....                                     | 95 |
| 4.4. Modèles markoviens.....                                     | 96 |

|      |                                 |     |
|------|---------------------------------|-----|
| 4.5. | Exercices.....                  | 101 |
| 4.6. | Réseaux de files d'attente..... | 112 |
| 4.7. | Modèles non markoviens.....     | 116 |
| 4.8. | Modèles avec priorités.....     | 118 |
| 4.9. | Exercices.....                  | 124 |

## Chapitre 5 Méthodes de simulation.....129

|      |                                         |     |
|------|-----------------------------------------|-----|
| 5.1. | "Principe de la simulation.....         | 129 |
| 5.2. | Nombres aléatoires.....                 | 138 |
| 5.3. | Génération de variables aléatoires..... | 150 |
| 5.4. | Génération de vecteurs aléatoires.....  | 163 |
| 5.5. | Génération de processus aléatoires..... | 165 |
| 5.6. | Compléments et applications.....        | 174 |
| 5.7. | Exercices .....                         | 190 |

## Chapitre 6 Analyse et Validation de la simulation.....205

|      |                               |     |
|------|-------------------------------|-----|
| 6.1. | "Introduction.....            | 205 |
| 6.2. | Réduction de la variance..... | 205 |
| 6.3. | Problèmes tactiques.....      | 215 |
| 6.4. | Exercices.....                | 222 |

## Chapitre 7 Les outils de la simulation..... 223

## Chapitre 8 Solutions des exercices..... 235

## Annexe A Lois de probabilités usuelles..... 275

## Annexe B Estimation et statistique Inférentielle..... 289

## Annexe C Codes de calcul..... 305

## Annexe D Tables ..... 311

## Annexe E Bibliographie..... 323



La décision de cette seconde édition de cet ouvrage « Modélisation et Simulation » nous conforte dans l'idée qu'il a été bien accueilli de la part des étudiants et pas forcément ceux qui étaient principalement visés. Pour des raisons de temps, les seules modifications concernent certaines coquilles typographiques.

Dans la préface à la première édition, nous évoquions les changements structurels à venir dans l'architecture des enseignements avec notamment l'extinction de l'ingéniorat tout au moins dans les universités. Les étudiants des masters d'informatique retrouveront dans ce document matière à travers les chapitres 3 et 4 pour des modules (semestriels) de type « Méthodes d'Evaluation des Performances ». Le chapitre 3 concerne la modélisation markovienne et le chapitre 4 leur application aux problèmes de files d'attente (évaluation du débit, temps d'attente, probabilité de perte, charge (load)...). Il est décrit sur des exemples simples les problèmes de contrôle et d'optimisation (dimensionnement, priorités optimales...). Les deux visions sont abordées : chaînes à temps discret conduisant à des systèmes linéaires algébriques, et chaînes à temps continu décrites par des équations différentielles ordinaires. Les deux points de vue se rejoignent. Il est discuté le lien avec la théorie des graphes (chapitre 3) et les réseaux de Petri (chapitre 1(iii)) , (exercice 10, chapitre 3).

La partie simulation a été prévue pour le M2, et ce document les aborde dans les chapitres 5 et 6. Il y est montré les fondements théoriques des techniques de « recherche aléatoire » utilisés dans de nombreux problèmes d'intelligence artificielle (recherche aléatoire, heuristiques, recuit simulé,...) Certains outils de simulation sont décrits dans le chapitre 7. Le chapitre 8 donne les solutions des exercices sous forme de TD/TP.

Ce document peut être utile à ceux qui s'intéressent aux processus aléatoires ou stochastiques et leurs applications. Notons enfin que les étudiants qui souhaitent approfondir ces questions trouveront dans un practicum<sup>(\*)</sup> à paraître aux mêmes éditions. Il y est détaillé notamment la partie théorique générale, les méthodes algorithmiques et numériques, ainsi que les questions relatives à la simulation sur les exemples de systèmes et réseaux de files d'attente.

