
Table des matières

Avant-propos	13
Introduction	19
PREMIÈRE PARTIE. SIMULATION	29
Chapitre 1. Introduction à la simulation	31
1.1. Présentation	31
1.2. Principe de la simulation à événements discrets	33
1.2.1. Description de l'évolution d'un système	33
1.2.2. Réalisation informatique	35
1.3. Relation avec la modélisation mathématique	36
Chapitre 2. Modélisation de comportements stochastiques	39
2.1. Introduction	39
2.2. Identification de lois	41
2.3. Génération des variables aléatoires	42
2.4. Génération des v.a. $U(0, 1)$	43
2.4.1. Importance des v.a. uniformes sur $(0, 1)$	43
2.4.2. Le générateur de Von Neumann	44
2.4.3. Les générateurs LCG	46
2.4.4. Les générateurs avancés	50
2.4.5. Précaution et règles pratiques	51
2.5. Génération des v.a. d'une loi connue	54
2.5.1. Méthode d'inversion	54

- 2.5.2. Méthode de rejet 54
- 2.5.3. Génération de v.a. discrètes 56
- 2.5.4. Cas particuliers 57
- 2.6. Quelques lois usuelles et leur génération 58
 - 2.6.1. Loi uniforme 58
 - 2.6.2. Loi triangle 59
 - 2.6.3. Loi exponentielle 60
 - 2.6.4. Loi de Pareto 61
 - 2.6.5. Loi normale 62
 - 2.6.6. Loi log-normale 62
 - 2.6.7. Loi de Bernoulli 63
 - 2.6.8. Loi binomiale 63
 - 2.6.9. Loi géométrique 64
 - 2.6.10. Loi de Poisson 65
- 2.7. Application aux réseaux informatiques 66

Chapitre 3. Réalisation informatique 69

- 3.1. Les langages de simulation 69
 - 3.1.1. Présentation 69
 - 3.1.2. Fonctionnalités informatiques principales 70
 - 3.1.3. Choix d'un langage de simulation 70
- 3.2. Echancier 72
- 3.3. Générateurs de variables aléatoires 73
- 3.4. Collecte des statistiques 74
- 3.5. Programmation orientée objet 74
- 3.6. Langage de description et langage de contrôle 75
- 3.7. Validation 76
 - 3.7.1. Généralités 76
 - 3.7.2. Quelques erreurs spécifiques et typiques 76
 - 3.7.3. Vérification des prédictions 77
 - 3.7.4. Tests divers 78

Chapitre 4. Conduite de simulation et analyse de données 79

- 4.1. Introduction 79
- 4.2. Déroulement d'une simulation 80
 - 4.2.1. Nature des données produites 80
 - 4.2.2. Stationnarité 80

4.2.3. Illustration	82
4.2.4. Période transitoire	83
4.2.5. Durée d’une simulation	85
4.3. Estimation des valeurs moyennes	86
4.3.1. Moyenne des variables discrètes	86
4.3.2. Moyenne des variables continues	88
4.3.3. Calcul de taux	88
4.3.4. Intervalle de confiance	88
4.4. Méthodes de simulation	89
4.4.1. Méthode de réplifications	89
4.4.2. Méthode de blocs	90
4.4.3. Méthode de régénération	92
4.5. Réduction de variance	93
4.5.1. Séquence commune des RNG	93
4.5.2. V.A. antithétique	95
4.6. Conclusion	95
Chapitre 5. OMNeT++	97
5.1. Présentation sommaire	97
5.2. Installation	98
5.2.1. Préparation	98
5.2.2. Installation	99
5.3. Architecture de OMNeT++	99
5.3.1. Modules simples	100
5.3.2. Canal	101
5.3.3. Modules composés	101
5.3.4. Topologie globale	101
5.4. Le langage NED	101
5.5. Environnement IDE	102
5.6. Les project	102
5.6.1. <i>Workspace</i> et projets	103
5.6.2. Création d’un projet	103
5.6.3. Ouverture et fermeture d’un projet	103
5.6.4. Importation d’un projet	104
5.7. Un premier exemple	104
5.7.1. Création des modules	104
5.7.2. Compilation	108
5.7.3. Initialisation	108

5.7.4. Lancement de simulation	109
5.8. La prise de mesures	109
5.8.1. Statistiques <i>via</i> le mécanisme <code>Signal</code>	110
5.8.2. Les collecteurs	111
5.8.3. Réalisation	112
5.8.4. Exploitation des données	114
5.9. Une file FIFO	114
5.9.1. Construction de la file d'attente	115
5.9.2. Extension de <code>MySource</code>	118
5.9.3. Configuration	119
5.10. Un système distribué élémentaire	121
5.10.1. Présentation	121
5.10.2. Réalisation	123
5.10.3. Construction modulaire d'une structure plus large	129
5.10.4. Le système	130
5.10.5. Configuration de simulation et exploitations possibles	131
Chapitre 6. OPNET IT Guru	133
6.1. Introduction	133
6.2. Prise en main	134
6.2.1. Construction d'un modèle	134
6.2.2. Définition des applications et configuration des profils	136
6.2.3. Définir et collecter les statistiques	138
6.2.4. Simulation et analyse des statistiques	139
6.3. Etude de cas	141
6.3.1. Présentation du laboratoire	141
6.3.2. Modélisation	141
6.3.3. Objectif et statistiques	146
6.3.4. Simulation et résultats	147
6.4. Comparaison entre OPNET et OMNeT++	150
6.4.1. Comparaison générale	151
6.4.2. Observations particulières	152
DEUXIÈME PARTIE. FILES D'ATTENTE	153
Chapitre 7. Introduction à la théorie des files d'attente	155
7.1. Présentation	155
7.2. Modélisation des réseaux informatiques	157

7.3. Description d'une file d'attente	158
7.4. Paramètres principaux	159
7.5. Mesures de performances	160
7.5.1. Les paramètres usuels	160
7.5.2. Performances à l'état d'équilibre	161
7.6. Loi de Little	162
7.6.1. Présentation	162
7.6.2. Applications	163
Chapitre 8. Processus de Poisson	165
8.1. Définition	165
8.1.1. Définition	165
8.1.2. Distribution d'un processus de Poisson	166
8.2. Intervalle interarrivée	169
8.2.1. Définition	169
8.2.2. Loi de l'intervalle interarrivée Δ	169
8.2.3. Relation entre $N(t)$ et Δ	170
8.3. Loi d'Erlang	171
8.4. Superposition des processus de Poisson indépendants	171
8.5. Décomposition d'un processus de Poisson	173
8.6. Distribution des instants d'arrivée sur un intervalle donné	175
8.7. La propriété PASTA	176
Chapitre 9. Systèmes markoviens	177
9.1. Processus de naissance et de mort	177
9.1.1. Définition	177
9.1.2. Equations d'états	178
9.1.3. Processus de naissance pur	180
9.1.4. Solution stationnaire	180
9.2. La file $M/M/1$	182
9.3. La file $M/M/\infty$	184
9.4. La file $M/M/m$	185
9.5. La file $M/M/1/K$	187
9.6. La file $M/M/m/m$	188
9.7. Exemples	189
9.7.1. Deux serveurs identiques à seuils de déclenchements différents	189
9.7.2. Un cybercafé	191

Chapitre 10. La file $M/G/1$	193
10.1. Introduction	193
10.2. Chaîne de Markov incluse	194
10.3. Longueur de la file	197
10.4. Temps de séjour	203
10.5. Période d'activité	204
10.6. Formule P-K de la valeur moyenne	205
10.7. Files $M/G/1$ avec vacance de serveur	207
10.8. Files avec priorités	210
Chapitre 11. Réseaux de files d'attente	213
11.1. Généralités	213
11.2. Réseau de Jackson	215
11.3. Réseau fermé	221
TROISIÈME PARTIE. PROBABILITÉS ET STATISTIQUE	223
Chapitre 12. Une introduction à la théorie des probabilités	225
12.1. Base axiomatique	225
12.1.1. Introduction	225
12.1.2. Espace probabilisé	227
12.1.3. Expressions ensemblistes et probabilistes	228
12.2. Probabilité conditionnelle	229
12.2.1. Définition	229
12.2.2. Loi des probabilités totales	229
12.3. Indépendance	229
12.4. Les variables aléatoires	230
12.4.1. Définition	230
12.4.2. Fonction de répartition	231
12.4.3. Variables aléatoires discrètes	231
12.4.4. Variables aléatoires continues	233
12.4.5. Fonction caractéristique	234
12.5. Exemples de quelques lois usuelles	234
12.5.1. Loi de Bernoulli	235
12.5.2. Loi binomiale	235
12.5.3. Loi géométrique	235
12.5.4. Loi de Poisson	236

12.5.5. Loi uniforme	236
12.5.6. Loi triangle	237
12.5.7. Loi exponentielle	238
12.5.8. Loi normale	239
12.5.9. Loi log-normale	240
12.5.10. Loi de Pareto	241
12.6. Loi jointe d'un vecteur aléatoire	241
12.6.1. Définition	241
12.6.2. Indépendance et covariance	242
12.6.3. Espérance mathématique	243
12.7. Changement de variable	243
12.8. Inégalités intéressantes	244
12.8.1. Inégalité de Markov	244
12.8.2. Inégalité de Tchebychev	244
12.9. Convergences	244
12.9.1. Position du problème	244
12.9.2. Les modes de convergences	245
12.9.3. Loi des grands nombres	247
12.9.4. Théorème central limite	248
Chapitre 13. Une introduction à la statistique	249
13.1. Position du problème	249
13.2. Description d'un échantillon	250
13.2.1. Représentation graphique	251
13.2.2. Médiane	251
13.2.3. Moyenne arithmétique et variance de l'échantillon	251
13.2.4. Description de la dispersion	252
13.2.5. Mode et symétrie	252
13.2.6. Fonction de répartition empirique et histogramme	253
13.3. Estimation de paramètres	256
13.3.1. Position du problème	256
13.3.2. Moyenne et variance empiriques	256
13.3.3. Estimateur du maximum de vraisemblance	257
13.3.4. Méthode des moments	259
13.3.5. Intervalle de confiance	260
13.4. Tests d'hypothèse	260
13.4.1. Introduction	260
13.4.2. Le test χ^2	261

13.4.3. Test de Kolmogorov-Smirnov	263
13.4.4. Comparaison entre les tests χ^2 et $K - S$	265
Chapitre 14. Processus de Markov	267
14.1. Processus stochastique	267
14.2. Chaînes de Markov	269
14.2.1. Définitions	269
14.2.2. Propriétés	271
14.2.3. Diagramme de transition	273
14.2.4. Classification des états	274
14.2.5. Temps d'arrêt et visite à un état	276
14.2.6. Stationnarité	279
14.2.7. Chaînes de Markov avec états absorbants	282
14.2.8. Applications	282
14.3. Processus markoviens de sauts	286
14.3.1. Définitions	286
14.3.2. Propriétés	288
14.3.3. Structure d'un processus de Markov	290
14.3.4. Générateurs	295
14.3.5. Stationnarité	297
14.3.6. Diagramme de transition	301
14.3.7. Applications	303
Liste des tableaux	305
Liste des figures	307
Liste des listings	311
Bibliographie	313
Index	315