

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
NOTATIONS ET ABREVIATIONS.....	5
 Chapitre I : ELEMENTS DE BASE DES CHAINES DE MARKOV ET DES DIFFERENTES METHODES DE PERTURBATIONS SINGULIERES	 13
I. Introduction	15
II. Processus stochastique.....	15
II.1. Chaînes de Markov : éléments de base	16
II.1.1. Vecteur des probabilités d'état (distribution des états)	17
II.1.2. Formule fondamentale d'une chaîne de Markov.....	17
II.1.3. Graphe associé à une chaîne de Markov finie	19
II.2. Processus de Markov à espace d'état discret : éléments de base	20
II.2.1. Fonction de transition	20
II.2.2. Formule fondamentale d'un processus de Markov	21
II.3. Classes d'états d'une chaîne de Markov finie	21
II.3.1. Equation de Chapman-Kolmogorov	21
II.3.2. Relation de communication entre les états d'une chaîne de Markov	22
II.3.5. Eléments d'algèbre des chaînes de Markov réductibles.....	25
II.3.6. Décomposition de la matrice de transition d'une chaîne de Markov réductible	26
II.3.7. Exemple numérique.....	28
II.4. Méthodes de résolution des chaînes de Markov irréductibles ergodiques	29
II.4.1. Méthode directe pour l'étude du régime permanent des chaînes de Markov ergodiques.....	30
II.4.2. Méthode indirecte pour l'étude du régime permanent des chaînes de Markov ergodiques	30
II.5. Méthode de calcul des probabilités d'absorption par les classes finales	32
III. Simplification des modèles d'état à l'aide des perturbations singulières	34
III.1. Perturbations singulières dans le cas des systèmes continus	34
III.1.1. Mise sous forme singulièrement perturbée	35
III.1.2. Découplage des dynamiques	35
III.2. Perturbations singulières dans le cas des systèmes discrets.....	36
III.2.1. Modélisation de Phillips	38
III.2.2. Modélisation d'El Moudni	40

III.2.3. Modélisation de Bennis	41
III.3. Utilisation des perturbations singulières en continu pour la simplification des systèmes discrets	42
III.3.1. Transformations homographiques.....	43
III.3.2. Utilisation conjointe des perturbations singulières en continu et des transformations homographiques pour l'étude des systèmes discrets à double échelle de temps.....	44
IV. Conclusion	47
 Chapitre II : ADAPTATION DES DIFFERENTES MODELISATIONS SOUS FORME SINGULIEREMENT PERTURBEE POUR LA SIMPLIFICATION DES CHAINES DE MARKOV	49
I. Introduction.....	51
II. Utilisation des perturbations singulières pour la simplification des chaînes de Markov	51
II.1. Distribution des probabilités d'une chaîne de Markov ergodique irréductible	51
II.1.1. Cas général - écriture de la matrice de transition à l'aide de la forme de Jordan.....	52
II.1.2. Cas particulier - matrice de transition diagonalisable	54
II.2. Définition de la double échelle de temps des chaînes de Markov ergodiques.....	55
II.3. Méthodes pratiques de mise en évidence des dynamiques d'une chaîne de Markov irréductible ergodique.....	56
II.3.1. Méthodes géométriques de mise en évidence des dynamiques d'une chaîne de Markov irréductible ergodique.....	56
III. Application des perturbations singulières pour la simplification des chaînes de Markov à double échelle de temps	59
III.1. Définition des systèmes étudiés.....	59
III.2. Utilisation de la modélisation de Phillips.....	60
III.2.1. Forme singulièrement perturbée	60
III.2.2. Découplage des variables par bloc diagonalisation	60
III.2.3. Analyse des systèmes découplés obtenus.....	61
III.3. Simplification des chaînes de Markov en utilisant la modélisation d'El Moudni	63
III.3.1. Forme singulièrement perturbée	63
III.3.2. Découplage des dynamiques	63
III.3.3. Analyse des systèmes découplés	64
III.4. Application de la méthode de découplage de Bennis	64
III.4.1. Forme singulièrement perturbée	64
III.4.2. Découplage des dynamiques	65
III.4.3. Analyse des systèmes découplés	66

III.5. Utilisation des perturbations singulières en continu pour la simplification des chaînes de Markov ergodiques.....	67
III.5.1. Etude de la transformation homographique appliquée aux chaînes de Markov	67
III.5.2. Utilisation conjointe des transformations homographiques et des perturbations singulières en continu pour le découplage des chaînes de Markov à double échelle de temps.....	73
III.6. Résolution des systèmes découplés obtenus par les différentes méthodes	76
III.6.1. Technique de résolution dans le cas où le système lent découplé représente une chaîne de Markov.....	77
III.6.2. Méthode de résolution dans le cas où la matrice de transition du système lent n'est pas une matrice stochastique	78
IV. Comparaison des différentes méthodes de perturbations singulières appliquées aux chaînes de Markov	81
IV.1. Etude de la structure des chaînes de Markov à double échelle de temps	81
IV.2. Interprétation des résultats obtenus	83
V. Calcul des probabilités de la chaîne de Markov réductible initiale.....	84
VI. Conclusion.....	86
 Chapitre III : UTILISATION DE L'ECHELLE DE PONDERATION POUR LA SIMPLIFICATION ET LA REDUCTION DES CHAINES DE MARKOV	 87
I. Introduction.....	89
II. Résultats concernant la distribution limite d'une chaîne de Markov ergodique	89
III. Définition de la propriété de double échelle de pondération d'une chaîne de Markov ergodique	92
IV. Utilisation de la double échelle de pondération pour la simplification des chaînes de Markov ergodiques	93
IV.1. Mise en évidence des pondérations d'une chaîne de Markov	93
IV.2. Méthode de découplage des chaînes de Markov à double échelle de pondération	94
IV.2.1. Découplage du système en régime permanent	94
IV.2.2. Analyse des sous-systèmes découplés	96
IV.2.3. Résolution des sous-systèmes par la méthode directe	99
IV.2.4. Interprétation des résultats obtenus.....	101
V. Utilisation conjointe de la double échelle de temps et de la double échelle de pondération dans l'étude des chaînes de Markov ergodiques	102

V.1. Mise en évidence de la double échelle de temps dans la matrice modale	103
V.2. Calcul de la dimension du système réduit	104
V.3. Réduction de la chaîne de Markov	105
VI. Exemple d'application. Etude de la fiabilité opérationnelle.....	107
VI.1. Cas où le système présente la double échelle de temps.....	109
VI.2. Cas où le système présente la double échelle de pondération	116
VI.3. Cas où le système présente la double échelle de temps et la double échelle de pondération	119
VII. Conclusion	123
Chapitre IV : UTILISATION DES METHODES DE PERTURBATIONS SINGULIERES ET DU DECOUPLAGE EN REGIME PERMANENT POUR LA SIMPLIFICATION DES CHAINES DE MARKOV A COMMANDE	125
I. Introduction.....	127
II. Généralités sur les chaînes de Markov à commande	127
II.1. Eléments de base des chaînes de Markov à commande.....	127
II.2. Classification des problèmes de commande	129
II.2.1. Problèmes terminaux.....	129
II.2.2. Problèmes avec cible	132
III. Application des perturbations singulières pour la simplification des chaînes de Markov à commande	134
III.1. Systèmes étudiés	134
III.2. Définition de la double échelle de temps des chaînes de Markov à commande	136
III.3. Découplage des dynamiques.....	137
III.4. Propriétés des matrices \ddagger_l et \ddagger_r	138
III.5. Bilinearisation du sous-système lent	140
III.6. Aspects de la mise en évidence des dynamiques des chaînes de Markov bilinéaires	141
III.6.1. Niveau global	141
III.6.2. Niveau local	142
III.7. Utilisation des perturbations singulières pour la simplification du calcul de la commande optimale	145
III.7.1. Position du problème	145
III.7.2. Décomposition du système	146
III.7.3. Détermination de la commande quasi-optimale du système initial	148
III.8. Exemple numérique	148

IV. Simplification de la commande des chaînes de Markov à double échelle de pondération ..	153
IV.1. Double échelle de pondération dans les chaînes de Markov à commande	153
IV.2. Découplage des pondérations différentes dans la chaîne de Markov à commande	154
IV.3. Bilinearisation des sous-systèmes	155
IV.4. Calcul de la commande optimale par découplage en régime permanent.....	156
IV.4.1. Position du problème	156
IV.4.2. Commande optimale des sous-systèmes	157
IV.4.3. Détermination de la commande quasi-optimale du système initial	158
IV.5. Exemple numérique.....	158
V. Conclusion.....	162
 Chapitre V : IDENTIFICATION ET MODELISATION D'UN SYSTEME HYDRO- ENERGETIQUE DU DOUBS. APPLICATION A LA SIMPLIFICATION DE LA GESTION DES RESSOURCES D'EAU	163
I. Introduction	165
II. Généralités sur la production hydro-énergétique en France.....	165
III. Description du système hydro-énergétique étudié.....	168
IV. Modélisation du système	170
IV.1. Identification du processus	170
IV.1.1. Description des éléments d'un aménagement hydro-énergétique	170
IV.1.2. Modélisation de l'aménagement hydro-énergétique.....	170
IV.1.3. Description du système hydro-énergétique étudié	171
IV.1.4. Modélisation du système hydro-énergétique	172
IV.2. Modèle mathématique discret.....	173
IV.3. Changement de variables.....	176
IV.4. Commande du système	177
IV.5. Modélisation de la gestion des ressources d'eau à l'aide des chaînes de Markov	178
IV.5.1. Définition des états du système.....	178
IV.5.2. Calcul des probabilités de transition du modèle	179
V. Commande optimale locale des barrages étudiés	187
V.1. Barrage de Chatelot	188
V.2. Barrage du Refrain.....	189
V.3. Barrage de Vaufrey	190

VI. Etude globale du système.....	192
VI.1. Réduction des chaînes de Markov élémentaires selon la double échelle de pondération.....	193
VI.1.1. Etude de la chaîne de Markov correspondant au barrage du Chatelot.....	193
VI.1.2. Réduction de la chaîne de Markov correspondant au barrage du Refrain	193
VI.1.3. Réduction de la chaîne de Markov correspondant au barrage de Vaufrey.....	194
VI.2. Chaîne de Markov correspondant au processus global de gestion de l'eau.....	195
VI.3. Simplification du système à l'aide des perturbations singulières	195
VI.4. Commande quasi-optimale du système global.....	198
VII. Conclusion.....	202
CONCLUSION GENERALE	203
ANNEXES	207
Annexe 1 - Etude de la puissance n du bloc de Jordan.....	209
Annexe 2 - Norme matricielle induite.....	211
Annexe 3 - Propriété des chaînes de Markov à double échelle de temps	213
Annexe 4 - Présentation du système de barrages	215
A4.1. Aménagement du Chatelot	215
A4.2. Aménagement du Refrain.....	216
A4.3. Aménagement de Vaufrey	217
A4.4. Aménagement de Grosbois.....	218
A4.5. Aménagement de Liebvillers.....	219
A4.6. Aménagement de Dampjoux	220
A4.7. Aménagement de la Prétière.....	221
Annexe 5 - Analyse statistique des apports d'eau	223
Annexe 6 - Commande optimale du système global.....	225
Annexe 7 - Commande optimale des sous-systèmes lent et rapide du système global.....	231
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	237