UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES - FES
Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur

N° d'ordre 20 /2014

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mr Youssef HAMI

Spécialité : Recherche Opérationnelle et Informatique

Optimisation combinatoire et réseaux de neurones artificiels -Applications aux problèmes réels

Thèse présentée et soutenue le 13/06/2014 devant le jury composé de

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
MASRAR Mohamed	PES	Faculté des Sciences et Techniques - Fès	Président
EZZAKI Fatima	PES	Faculté des Sciences et Techniques - Fès	Rapporteur
SABBANE Mohammed	PES	Faculté des sciences- Meknès	Rapporteur
El Afia Abdellatif	PH	ENSIAS- Rabat	Rapporteur
NAJIB Khalid	PES	ENIM- Rabat	Examinateur
ETTAOUIL Mohamed	PES	Faculté des Sciences et Techniques - Fès	Directeur de thèse
LOQMAN Chakir	Ecole Supérieur de Technologie- Meknès		Invité

Laboratoire d'accueil : **Modélisation et Calcul Scientifique**

Etablissement : **Faculté des Sciences et Techniques - Fès**

Table des matières

Remerciements iii
Avant Propos iv
Table des matières v
Table des figures ix
Liste des tableaux x
Notations xii
Introduction 1

I Optimisation combinatoire et réseaux de neurones artificiels 5

1 Optimisation combinatoire et méthodes de résolution d'un problème quadratique 6

1.1 Introduction 6
1.2 Problème d'optimisation combinatoire 7
1.2.1 Définition d'un problème d'optimisation combinatoire . . 9
1.2.2 Programmation quadratique 10
1.3 Problème d'affectation quadratique 11
1.3.1 Principe 11
1.3.2 Exemple d'implantation d'usines 12
1.4 Les méthodes de résolution 15
1.4.1 Méthodes de résolutions exactes 15
1.4.2 Méthodes approchées 16
1.5 Domaines d'applications du problème d'affectation quadratique 17
1.6 Problème de satisfaction de contraintes 18

1.6.1 Définition d'un problème de satisfaction de contraintes . 18
1.6.2 Solution d'un problème de satisfaction de contraintes . . 19
1.7 Programmation convexe 20
1.7.1 Ensembles et fonctions convexes 20
1.7.2 Programme convexe 22
1.7.3 Existence et unicité d'un minimum 22
1.8 Relaxation Lagrangienne 24
1.9 Programmation semi-définie 27
1.9.1 Relaxation SDP 27
1.9.2 Complément de Schur 28
1.9.3 Exemples d'application en optimisation combinatoire . . 29
1.10 Conclusion 33

2 Réseaux de neurones artificiels et aléatoires 35
2.1 Introduction 35
2.2 Analogie biologique et principe du neurone artificiel 36
2.3 Architectures des réseaux de neurones 39
2.3.1 Réseaux Multicouches 39
2.3.2 Réseaux récurrents 42
2.4 Réseaux de neurones aléatoires 44
2.4.1 Neurone aléatoire élémentaire 45
2.4.2 Architecture des réseaux de neurones aléatoires 46
2.5 Apprentissage des réseaux de neurones 47
2.5.1 Apprentissage supervisé 47
2.5.2 Apprentissage non supervisé 48
2.5.3 Apprentissage par renforcement 48
2.5.4 Apprentissage par compétition 48
2.5.5 Apprentissage statistique 49
2.5.6 Apprentissage Bayesien 57
2.6 Réseaux de Hopfield continus (CHN) 59
2.6.1 Architecture des réseaux de Hopfield continus 59
2.6.2 Energie et point d'équilibre d'un réseau de Hopfield continu 62
2.6.3 Programmation quadratique et réseaux de Hopfield continus 64
2.7 Conclusion 67

II Applications aux problèmes réels **69**

3 Nouveau modèle d'optimisation pour le problème de gestion du personnel **70**

3.1 Introduction 70

3.2 Description et modélisation d'un problème de gestion du personnel 72

3.2.1 Description du problème 73

3.2.2 Modélisation du problème 73

3.3 Résolution exacte du programme quadratique 76

3.3.1 Reformulation quadratique convexe du problème via la méthode de la plus petite valeur propre 77

3.3.2 Reformulation quadratique du problème via la programmation semi-définie positive 79

3.3.3 Exemple 82

3.3.4 Résultats expérimentaux 83

3.3.5 Génération des instances satisfaites 84

3.3.6 Résultats numériques 84

3.4 Conclusion 86

4 Problème d'allocation de tâches et le réseau de Hopfield continu **87**

4.1 Introduction 87

4.2 Méthodes de résolution du problème d'allocation de tâches . . . 89

4.3 Formulation du problème d'allocation de tâches 90

4.3.1 Description du problème 90

4.3.2 Les contraintes 91

4.3.3 Modélisation du problème 92

4.4 Problème d'allocation de tâches résolu via le réseau de Hopfield continu 94

4.4.1 Réseau de Hopfield continu (CHN) 95

4.4.2 Paramètres de contrôle du réseau de Hopfield 95

4.5 Résultats Expérimentaux 100

4.6 Conclusion 102

5 Problème de satisfaction maximale de contraintes et réseaux de Hopfield **103**

5.1 Introduction 103

5.2 Modélisation du Max-CSP 104

5.3 Max-CSP et réseaux de Hopfield continus 110
5.4 Résultats numériques 115
5.4.1 Description de l'algorithme proposé pour résoudre le problème Max-CSP 115
5.4.2 Résultats numériques 116
5.5 Conclusion 119

6 Mémoires associatives et réseaux de neurones artificiels 121
6.1 Introduction 121
6.2 Règle de Hebb 123
6.2.1 Apprentissage et valeurs propres 125
6.3 Règle de Widrow-Hoff et optimisation 126
6.3.1 Apprentissage et valeurs propres 128
6.4 Réseaux de Hopfield discret 130
6.4.1 Nature des neurones 130
6.4.2 Fonction d'énergie 133
6.4.3 Profondeur des bassins d'attraction 134
6.4.4 Machine de Boltzmann et recuit simulé 135
6.5 Résultats expérimentaux 137
6.6 Mémoire associative bidirectionnelle (BAM) 140
6.7 Conclusion 142

7 Conclusion générale et perspectives 143

Bibliographie 147