

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
D.E.R. DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE  
SPECIALITE: AUTOMATIQUE

## THESE

Présentée Par : M. Yazid M'hamed YEDDOU  
Ingénieur d'Etat en Automatique à l'Ecole Nationale Polytechnique

Pour l'Obtention du Diplôme de Magister en Automatique à l'Ecole  
Nationale Polytechnique

*Thème*

Etude de Synthèse sur les  
Réseaux de Neurones et leurs  
Applications

Soutenue le 09/06/1998 devant le jury composé de :

M. D. Berkani (Maitre de Conférence à l'ENP)  
M. M.S. Boucherit (Maitre de Conférence à l'ENP)  
M. M. Attari (Maitre de Conférence à l'USTHB)  
M. F. Boudjema (Maitre de Conférence à l'ENP)  
M. H. Chekireb (Chargé de Cours à l'ENP)

Président du jury.  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur  
Examineur

Juin 98

**ملخص-** كانت الشبكات العصبية تشكل، عند ظهورها، محاولة لتجسيد خصائص العقل البشري بغرض الإستفادة منها. حالياً، أصبحت هذه الأخيرة تمثل مجموعة من العوامل الغير خطية. تجميع هذه العوامل في شكل شبكات يعطي لها فعالية عند استعمالها في مختلف الميادين. نذكر على سبيل المثال ميدان معالجة الإشارات، التصميم، والتحكم الآلي للجمل.

هذا العمل يمثل دراسة شاملة لمختلف الشبكات العصبية، والخوارزميات المتعلقة بتمرينها، من جهة. ومن جهة أخرى تطبيقات متعلقة بعملية التعرف على الأشكال (الأحرف اللاتينية، الأعداد العربية)، والتصميم والتحكم الآلي في الجمل المتمثلة في مفاعل كيميائي، ويد آلية. استعمالنا للشبكات العصبية، ذات تمرن بدون إشراف للتعرف على الأشكال، سمح لنا بالكشف عن إمكانياتها في ترشيح الشوائب، وإتمام الإشارات. أثناء عملية تصميم، تمكنا من مقارنة ومناقشة مختلف النتائج المتحصل عليها من خلال استعمالنا لمختلف الشبكات العصبية ذات التمرن المشرف عليه، كوسيلة لتقريب الدوال الغير خطية. في عملية التحكم الآلي اقترحنا عدة هياكل تحتوي على شبكات عصبية ذات تمرن مشرف عليه، و غير مشرف عليه. تمثل النتائج المتحصل عليها في مختلف التطبيقات التي قمنا بها، سمح لنا باستنتاج مدى قدرات مختلف الشبكات العصبية المستعملة وحدودها.

**كلمات مفتاحية -** الشبكات العصبية، تصميم الأنظمة، التحكم الآلي، الترشيح، الإتمام والتعرف.

**Abstract-** Neural networks constituted, at first, a tentative aiming to mimic the biologic brain in order to benefit of its very interesting features. Currently, These ones designates a whole of no linear operators, who gathered in networks, could be effectively used in several operation of different disciplines. Among these disciplines, we can find signal processing, identification control of systems.

In this work, an extended study of Artificial neural networks and their training algorithms, with their application in different fields according to the model used is presented. Our applications are done in recognition of shapes (Latin characters and Arab numbers), and in identification and command of systems, where a chemical reactor and a robot arm are used. Our use of the unsupervised learning neural networks for the recognition of shapes, allowed us to insist on their faculties of noise filtering and signal completion. In identification, the results obtained by the different types of supervised training neural networks, as approximators of no linear functions, are discussed and compared. In control, some structures, containing supervised training networks and unsupervised training ones are proposed. The presentation of the different results obtained in every application and their discussion allowed us to conclude on the faculties of the different neural networks used and their limits.

**Key words-** Neural Networks, System Identification and Control, Filtring, Completion and Recognition.

**Résumé** –Les réseaux de neurones constituaient, lors de leur création, une tentative visant à mimer le cerveau biologique dans son fonctionnement afin de bénéficier de ses caractéristiques très intéressantes. Actuellement, Ces derniers désignent un ensemble d'opérateurs non-linéaires, qui rassemblés en réseaux, peuvent être efficacement utilisés dans plusieurs opérations relevant de différentes disciplines. Nous citons le traitement de signal, la modélisation et la commande de systèmes.

Ce travail porte une étude détaillée sur les réseaux de neurones et leurs algorithmes d'apprentissage. Nos applications se sont effectuées en reconnaissance de formes (caractère latin et chiffres arabes) et en identification et commande de systèmes, à savoir un réacteur chimique et un bras de robot. Notre utilisation des réseaux de neurones à apprentissage non-supervisé pour la reconnaissance de formes, nous a permis de mettre l'accent sur leurs aptitudes en filtrage de bruits et en complétion des signaux. En identification les résultats obtenus par les différents types de réseaux à apprentissage supervisé, en tant qu'approximateurs de fonctions non-linéaires, sont discutés et comparés. En commande, des structures, contenant les réseaux à apprentissage supervisé et ceux à apprentissage non-supervisé, sont proposées. La présentation des différents résultats obtenus dans chaque application et leur discussion nous ont permis de conclure sur les aptitudes des différents réseaux utilisés et leurs limites.

**Mots-clés-** Réseaux de Neurones, Identification et commande des Systèmes, Reconnaissance, Filtrage et Complétion.

# TABLE DES MATIERES

|  |          |
|--|----------|
| <b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>  | <b>1</b> |
| <b>I. INTRODUCTION AUX RESEAUX DE NEURONES</b>                                 |          |
| Introduction.....  | 4        |
| I.1 Neurone biologique.....  | 6        |
| I.2 Neurone forme.....   | 17       |
| I.3 Champs de neurones.....  | 10       |
| I.4 Classification des réseaux de neurones.....                                | 10       |
| I.5 Architecture des réseaux de neurones.....                                  | 11       |
| I.5 Stabilité des réseaux de neurones.....                                     | 12       |
| I.6 Apprentissage des réseaux de neurones.....                                 | 13       |
| Conclusion.....  | 15       |
| <b>II. RESEAUX DE NEURONES A APPRENTISSAGE NON-SUPERVISE.</b>                  |          |
| Introduction.....  | 16       |
| II.1 fondement de l'apprentissage non-supervisé.....                           | 17       |
| II.2 Mémoires associatives   |          |
| II.2.1 Notions fondamentales.....  | 17       |
| II.2.2 Réseau de Hopfield.....   | 19       |
| II.2.3 Mémoire Associative Bidirectionnelles BAM.....                          | 22       |
| II.2.4 Analyse du fonctionnement des BAM et du réseau de Hopfield.....         | 23       |
| II.2.5 Mémoire Associatives Linéaires Optimisées OLAM.....                     | 24       |
| II.2.6 Réseau de Hamming.....  | 25       |
| II.3 Réseaux compétitif.....   | 28       |
| II.3.1 adaptive resonance Theory ART.....                                      | 30       |
| II.3.2 Self Organization Map de Kohonen.....                                   | 33       |
| Conclusion.....  | 36       |
| <b>III. RECONNAISSANCE DE FORMES PAR RESEAUX DE NEURONES</b>                   |          |
| Introduction.....  | 37       |
| III.1 Traitement d'image et reconnaissance de formes.....                      | 38       |
| III.2 Reconnaissance de caractères et de chiffres par réseaux de neurones..... | 39       |
| III.2.1 Reconnaissance de caractères par réseaux de neurones.....              | 39       |
| III.2.2 Reconnaissance de chiffres par réseaux de neurones.....                | 46       |
| Conclusion .....   | 51       |

**IV. RESEAUX DE NEURONES A APPRENTISSAGE SUPERVISE**

|   |    |
|---|----|
| Introduction .....  | 52 |
| IV.1 Apprentissage supervisé.....   | 52 |
| VI.2 Réseaux de neurones basés sur la décision DBNN.....                                  | 53 |
| VI.3 ADALINE, MADALINE.....   | 56 |
| IV.3.1 Apprentissage.....   | 56 |
| IV.3.1.1 Méthode des moindres carrés (LMS) .....  | 56 |
| IV.3.1.2 Méthode de descente de gradient.....   | 58 |
| IV.4 Réseaux multicouches statiques.....  | 59 |
| IV.4.1. Architecture des réseaux.....   | 59 |
| IV.4.2. Réseaux à fonction de base linéaire LBF.....                                      | 60 |
| IV.4.2.1 Apprentissage des réseaux LBF.....   | 61 |
| 1. Backpropagation.....   | 62 |
| 2. Variantes de la Backpropagation.....   | 64 |
| 3. Méthodes d'optimisation de second ordre.....   | 67 |
| 4. Méthodes d'optimisation aléatoires.....  | 71 |
| IV.4.2.2 Réseaux LBF et approximation de fonctions.....                                   | 72 |
| IV.4.2.3 Dimension du réseau, entraînement et le dilemme précision<br>généralisation..... | 73 |
| IV.4.3 Réseaux de neurones à fonction de base radiale.....                                | 75 |
| IV.4.3.1 Architecture et fonctionnement du réseau.....                                    | 75 |
| IV.4.3.2 principes de base et architecture du réseau.....                                 | 75 |
| IV.4.3.3 Apprentissage des réseaux RBF.....   | 77 |
| 1. Méthode de centrage adaptatif.....   | 78 |
| 2. Méthode basée sur l'algorithme de regroupement.....                                    | 79 |
| 3. Algorithme d'apprentissage supervisé de regroupement hiérarchique..                    | 80 |
| IV.4.3.3 Réseaux RBF et approximation de fonction.....                                    | 81 |
| IV.5 Réseaux dynamiques.....  | 82 |
| IV.5.1 Réseaux de neurones entièrement interconnectés.....                                | 83 |
| IV.5.2 Réseaux de neurones à couche caché dynamique.....                                  | 87 |
| IV.5.2.1 Réseaux à une couche cachée entièrement interconnectée.....                      | 87 |
| IV.5.2.2 Réseaux diagonalement récurrents.....  | 89 |
| IV.5.3 Réseaux récurrent et approximation de fonction.....                                | 91 |

**V. IDENTIFICATION DES SYSTEMES PAR RESEAUX DE NEURONES**

|  |     |
|--|-----|
| Introduction.....  | 93  |
| VI.1 Etude de l'identification par réseaux de neurones.....                              | 94  |
| V.1.2 Structure d'identification par réseaux de neurones.....                            | 95  |
| V.1.3 Identification des systèmes dynamiques par réseaux récurrents.....                 | 96  |
| V.2 Application sur l'Identification de systèmes par différents réseaux de neurones..... | 97  |
| V.3 Identification d'un réacteur chimique.....   | 103 |
| Conclusion .....   | 107 |

**VI. COMMANDE DE SYSTEMES PAR RESEAUX DE NEURONES**

|   |            |
|---|------------|
| Introduction.....   | 108        |
| VI.1 Etude de la commande par réseaux de neurones.....                            | 109        |
| VI.1.1 Stratégies de commande neurale.....  | 109        |
| VI.1.2 Commande adaptative par réseaux de neurones.....                           | 114        |
| VI.1.3 Apprentissage des réseaux de neurones contrôleurs.....                     | 117        |
| VI.2 Commande basée sur la classification par région de fonctionnement.....       | 119        |
| VI.3 Commande d'un bras de robot.....   | 121        |
| VI.3.1 Commande neurale par retour linéarisant.....                               | 122        |
| VI.3.2 Commande neurale linéarisante auto-ajustable.....                          | 127        |
| VI.4 Commande d'un réacteur chimique CSTR par sa température.....                 | 133        |
| VI.4.1 Modélisation du système.....   | 133        |
| VI.4.2 Etude du système en boucle ouverte.....                                    | 134        |
| VI.4.3 Commande du système avec compensation de l'effet de la température.....    | 138        |
| VI.4.4 Commande du réacteur avec classification par région de fonctionnement..... | 147        |
| VI.4.5 Commande avec modèle de référence.....                                     | 157        |
| Conclusion.....   | 159        |
| <b>CONCLUSION GENERALE.....</b>   | <b>160</b> |
| <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>   | <b>163</b> |
| <b>ANNEXES</b>  |            |
| A. Algorithme d'apprentissage HSOL de S.Lee et M.Kill.....                        | 167        |
| B. Le réacteur chimique CSTR.....   | 170        |
| C. Recurrent Backpropagation de F.J.peneda.....                                   | 171        |
| D. L'algorithme du forced-Teached Real time Learning de Williams & Zipser.....    | 173        |