

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE  
EL-HARRACH - ALGER  
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة  
الحراش – الجزائر

THESE

Présentée En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences  
Agronomiques

Spécialité : Science du sol

THEME

**Modélisation de la rétention en eau des sols par les fonctions de  
pédo-transfert dans la plaine du Haut Chéiff– Application des  
réseaux de neurones artificiels**

Présentée par: Zemouri Samia

**Devant le jury**

Président du jury :	M.Hartani.T	Professeur	ENSA
Directeur de thèse :	M. Douaoui. A	Professeur	Centre universitaire de Tipaza
Co Directeur de thèse :	M.Hadj Miloud S.	MCA	ENSA
Examineur :	M.Toumi. M	Professeur	Université d'Alger1
Examineur :	M.Ould Rebai. K	MCA	Centre universitaire de Tipaza

*Année universités :2025-2026*

## SOMMAIRE

<b>Introduction générale</b> .....	1
------------------------------------	---

### **Partie I : Synthèse bibliographique**

#### **Chapitre I : L'eau dans le sol**

1. L'eau dans le sol .....	6
2. Le Potentiel de l'eau dans le sol .....	7
3. Les humidités caractéristiques du sol .....	8
3.1. La capacité de rétention $\theta_{cr}$ : .....	8
3.2. La teneur en eau à saturation $\theta_s$ : .....	9
3.3. Le point de flétrissement permanent $\theta_f$ : .....	9
3.4. La réserve utile (RU) : .....	9
3.5. Le taux d'hygroscopicité $\theta_h$ : .....	9
4. La courbe de rétention en eau .....	10
5. Les facteurs influençant la rétention de l'eau dans le sol.....	11
5.1. La texture et la porosité.....	11
5.2. La structure et la densité apparente .....	13
5.3. La fraction organique .....	14
5.4. La couverture végétale et le climat .....	16
5.5. La Capacité d'échange cationique .....	17
5.6. La lithologie.....	18
6. Les techniques de mesure de la teneur en eau des sols .....	18
7. Les besoins en eau des cultures.....	19

#### **Chapitre II: Les fonctions de pédotransfert**

1. Importances des fonctions de pédotransfert.....	21
2. Les types de fonctions de pédotransfert.....	22
2.1. Les fonctions de pédotransfert ponctuelles (FPTP) .....	22
2.2. Les fonctions de pédotransfert continues (FPTC).....	24
3. Les classes de fonctions de pédotransfert (CFPT) .....	25
4. Développement des FPTs et caractéristiques des sols .....	26
5. Développement mathématiques des fonctions de pédotransfert .....	26
6. L'Évaluation et la validation des fonctions de pédotransfert .....	27
6.1. L'erreur moyenne de prédiction (EMP ou EM) .....	27

6.2.	L'écart type de prédiction.....	27
6.3.	L'écart quadratique moyen ou Root Mean Square Error (RMSE) .....	28
6.4.	Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) .....	28

### **Chapitre III: Réseau des neurones artificiels**

1.	Historique.....	29
2.	Le neurone Biologique .....	30
3.	Le réseau de neurone artificiel (RNA) .....	31
4.	Le perceptron multicouches « PMC ».....	32
5.	L'Architecture des réseaux de neurones .....	34
6.	La fonction d'activation .....	36
7.	Les Réseaux à fonction radiale « RBF » .....	37
8.	L'Apprentissage des réseaux de neurones (Training) .....	37
8.1.	Apprentissage supervisé .....	38
8.2.	L'apprentissage non supervisé .....	39
8.3.	L'apprentissage hybride .....	40
9.	L'application des réseaux de neurones artificiels dans la modélisation.....	40

## **Partie II Matériels et Méthodes**

### **Chapitre I: Cadre d'étude**

1.	Présentation de la région d'étude.....	42
2.	Réseau hydrographique .....	43
3.	Eaux souterraines.....	43
4.	La pédologie.....	44
5.	La géologie.....	45
6.	Occupation du sol .....	46
7.	Contexte climatique.....	47
7.1.	Précipitation .....	47
7.2.	Température .....	48
7.3.	Evaporation .....	49
7.4.	Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls. ....	50

### **Chapitre II: Méthodologie et Techniques**

1.	Application des fonctions de pédotransfert à quelques sols de la plaine du Haut Cheliff	51
1.1	Méthodologie .....	51

1.2. Origine des sols ayant servi à établir les FPT .....	52
1.3. Etablissement des fonctions de pédotransfert .....	53
1.4. La Validation des fonctions de pédotransfert .....	54
1.4.1. Méthodes d'analyse au laboratoire .....	55
1.4.2. Les critères de validation .....	56
1.4.3. Analyses statistiques .....	57
2. Elaboration des modèles de prédiction par les réseaux de neurones artificiels (RNA)... ..	57
2.1. Méthodologie.....	57

### **Partie III Résultats et Discussions**

#### **Chapitre I: Application des fonctions de pédotransfert aux sols de la plaine du Haut Cheliff**

1. Statistiques descriptives des constituants des sols étudiés.....	64
2. Stratification des horizons des sols étudiés.....	66
2.1. Stratification texturale .....	66
2.2. Stratification structurale .....	68
2.3. Stratification texturo– structurale .....	70
3. Relations entre les caractéristiques du sol et la rétention en eau à différents potentiels ....	72
4. Etablissement des fonctions de pédotransfert.....	79
4.1. Stratification texturale .....	81
4.2. Stratification structurale .....	84
4.3. Stratification texturo – structurale .....	86
5. La validation des classes de pédotransfert établis .....	88
5.1. Principales caractéristiques des sols .....	88
5.2. Validation des fonctions de pédotransfert établis.....	90
6. Discussion des résultats .....	94

#### **Chapitre II: Application des réseaux de neurones aux sols de la plaine du Haut Cheliff**

1. Application de la méthode de réseaux de neurones.....	99
1.1. Stratification texturale.....	100
1.2. Construction du modèle neuronale après stratification structurale.....	102
1.3. Après stratification texturo-structurale .....	103
2. Evaluation de la performance des modèles développés .....	104
2.1. Après stratification texturale .....	105

2.2. Après stratification structurale .....	107
2.3. Après stratification texturo -structurale .....	109
3. Qualité de la prédiction des modèles (validation) .....	111
3. 1. Validation du modèle après stratification texturale.....	111
3.2. Validation du modèle après stratification structurale.....	113
3.3. Validation du modèle après stratification texturo- structurale.....	115
4. Discussion des résultats.....	117
<b>Discussion générale</b> .....	120
<b>Conclusion générale</b> .....	122
Références Bibliographiques	

Je remercie M. Toumi M. et M. Ould Rebai.  
K pour avoir examiné ce travail et fait  
partie du jury.

Enfin, je ne saurais terminer sans  
exprimer ma profonde gratitude ma famille  
et pour leur soutien indéfectible, leurs  
encouragements et leur aide précieuse  
tout au long de ce parcours.

J'exprime toute ma gratitude à mon amie  
Degui.N pour sa présence, et son aide  
précieuse et son indéfectible soutien."

### **Résumé**

La connaissance des propriétés de rétention d'eau du sol est nécessaire pour évaluer leur potentiel et pour une meilleure gestion. Cependant afin de répondre au déficit de données relatives aux propriétés de rétention en eau des sols, la mesure des propriétés de rétention en eau étant particulièrement lourde, de nombreux chercheurs ont très tôt cherché à prédire ces propriétés à partir de caractéristiques du sol beaucoup plus aisément mesurables. C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail, dont l'objectif est de rechercher des méthodes susceptibles d'apporter une contribution à l'estimation de la rétention en eau et par conséquent l'amélioration de la gestion de la ressource en eau qui accuse un déficit dans les apports .Il s'agit d'une modélisation basée sur deux approches ,celles des Réseaux de Neurones Artificiels "RNA" de type PMC (Perceptrons multicouches), et les fonctions de pédotransfert "FPT" appliquée à quelques sols de la plaine du Haut Cheliff. Le recours à ces approches a été motivé par le besoin d'utiliser un moyen plus efficace et fiable pour estimer la rétention eau des sols. Ces techniques ont conduit à des prédictions à partir d'une base de données contenant 493 horizons, issus de l'étude agro-pédologique de la plaine du Haut Cheliff. Après avoir établis une stratification qui tient en compte, la texture, la densité apparente, et la texture et densité apparente simultanément. Les résultats de modélisation et les tests de validation des fonctions

de pédotransfert, montre que la stratification texturo- structurale, apporte une amélioration significative à la qualité de prédiction, confirmée par  $R^2$  de 0.90 lors de la validation, pour les horizons limon-argilo-fin de Da ( $1.4 \text{ g/cm}^3$ ) et à potentiels (-10 kPa), avec une légère tendance à la surestimation (EMP=0,06 %). Par ailleurs la stratification structurale accuse des prédictions médiocres avec des ETP qui varient entre 1.09% et 1.95 %, et sous-estime la rétention en eau (EMP (-2.08 %) et (-1.32%). Cependant les modèles de RNAs ont démontré une capacité d'apprentissage et de prédiction importante pour la rétention d'eau, le modèle RNA produit a été évalué à travers les résultats de la phase de validation., par ailleurs la combinaison des variables argile limons fin, et la matière organique, expliquent une grande part de la rétention en eau notamment au bas potentiel (-1 600 kPa) pour les sols horizons Limon-argileux avec (RMSE=0.46) et (MAE = 0.26).

**Mots clé :** Potentiel hydrique, réseaux de neurones RNA, fonctions de pédotransfert FPT, Modélisation, la plaine du Haut Cheliff, stratification, prédiction, rétention en eau, PMC Perceptrons multicouches.

## Summary

Knowledge of soil water retention properties is necessary for assessing their potential and for better management. In order to address the lack of data on soil water retention properties, and given that measuring these properties is particularly difficult, many researchers sought early on to predict these properties based on soil characteristics that are much easier to measure. This is the context for the present work, the objective of which is to seek methods that can contribute to the estimation of water retention and thereby improve the management of water resources, which are in short supply. This modelling is based on two approaches: Artificial Neural Networks (ANNs) of the PMC (multi-layer perceptron) type, and applied pedotransfer functions (PTFs) for soils in the Haut Cheliff plain. The use of these approaches was motivated by the need for a more effective and reliable means of estimating soil water retention. These techniques led to the prediction of soil water retention based on a database containing 493 horizons from the agro-pedological study of the Haut Cheliff plain. After establishing a stratification that takes into account texture, bulk density, texture and bulk density simultaneously. The modelling results and validation tests of the pedotransfer functions show that textural-structural stratification significantly improves prediction quality, confirmed by an  $R^2$  of 0.90 during validation for fine clay-loam horizons of Da ( $1.4 \text{ g/cm}^3$ ) and potential (-10

kPa), with a slight tendency to overestimate (EMP = 0.06%). Furthermore, structural stratification shows poor predictions with ETPs varying between 1.09% and 1.95% and underestimates water retention (EMP (-2.08%) and (-1.32%). However, the RNA models demonstrated significant learning and prediction capabilities for water retention, and the RNA model produced was evaluated through the results of the validation phase. Furthermore, the combination of fine silt clay and organic matter variables explains a large part of water retention, particularly at low potential (-1,600 kPa) for silt-clay soils with (RMSE=0.46) and (MAE = 0.26).

**Key words:** Water potential, RNA neural networks, FPT pedotransfer functions, modelling, the Haut Cheliff Plain, stratification, prediction, water retention, PMC Multilayer perceptrons.

## ملخص

إن معرفة خصائص احتباس المياه في التربة أمر ضروري لتقييم إمكاناتها ولإدارة أفضل. من أجل سد النقص في البيانات المتعلقة بخصائص احتباس المياه في التربة؛ ونظراً لأن قياس خصائص احتباس المياه أمر صعب للغاية، فقد سعى العديد من الباحثين منذ وقت مبكر إلى التنبؤ بهذه الخصائص استناداً إلى خصائص التربة التي يسهل قياسها. في هذا السياق، يأتي هذا العمل الذي يهدف إلى البحث عن طرق يمكن أن تساهم في تقدير احتباس المياه، وبالتالي تحسين إدارة موارد المياه التي تعاني من نقص في الإمدادات. يتعلق الأمر بنمذجة تستند إلى نهجين هما شبكات الخلايا العصبية الاصطناعية "RNA من نوع (Perceptrons multicouches) PMC ، ووظائف نقل التربة" FPT "المطبقة على تربة سهل Cheliff. وقد تم اللجوء إلى هذين النهجين بسبب الحاجة إلى استخدام وسيلة أكثر فعالية وموثوقية لتقدير احتباس المياه في التربة. وقد أدت هذه التقنيات إلى توقع احتباس المياه في التربة انطلاقاً من قاعدة بيانات تحتوي على 493 أفقاً، مستمدة من الدراسة الزراعية والتربة لسهل شليف العالي. بعد إنشاء طبقات تأخذ في الاعتبار الملمس والكثافة الظاهرية والملمس والكثافة الظاهرية في آن واحد، أظهرت نتائج النمذجة واختبارات التحقق من وظائف نقل التربة أن الطبقات النسيجية والهيكلية تحسن بشكل كبير من جودة التنبؤ، وهو ما أكدته قيمة  $R^2$  البالغة 0.90 عند التحقق، بالنسبة للأفق الطيني-الطيني-الرقيق لـ  $Da (1.4 \text{ g/cm}^3)$  والإمكانات (-10 kPa) ، مع ميل طفيف إلى المبالغة في التقدير (EMP=0,06%). من ناحية أخرى، يُظهر التقسيم الهيكلي تنبؤات متواضعة مع ETP تتراوح بين 1.09% و 1.95%، ويقلل من تقدير احتباس الماء (-2.08 EMP) (و (-1.32%). ومع ذلك، أظهر نموذج RNAs قدرة كبيرة على التعلم والتنبؤ باحتباس الماء، وقد تم تقييم نموذج RNA المنتج من خلال نتائج مرحلة التحقق. علاوة على ذلك، تفسر مجموعة متغيرات الطين والطيني الناعم والمواد العضوية جزءاً كبيراً من احتباس الماء، لا سيما عند الجهد المنخفض (-1600 كيلو باسكال) للتربة الطينية (RMSE=0.46) و (MAE = 0.26).

## الكلمات المفتاحية

الإمكانات المائية، شبكات الخلايا العصبية RNA ، ووظائف نقل التربة FPT ، النمذجة، التصنيف النسيجي، التنبؤ، الاحتفاظ بالماء، PMC Perceptrons متعدد الطبقات، سهل الشلف العلوي.