



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة حسيبة بن بوعلي الشلف

Université de Hassiba Benbouali de Chlef

Institut des Sciences Agronomiques

Filière : Hydraulique Agricole.

Option : Irrigation & Gestion de l'Eau



Mémoire de Magistère

**Elaboration et utilisation de fonctions de pédotransfert pour la
prédiction des propriétés de la rétention en eau
des sols du bas Cheliff. Algérie**

Par Sami Touil

Le jury :

Mr. BOUTHIBA. A	MCA, ISA Chlef	Président
Mr. SAIDI Djamel	Professeur, ISA Chlef	Promoteur
Mr. REGUIEG YASSAD. H	MCA, Univ. Mostaganem	Examineur
Mr. BENZERGA. N	MAA, ISA Chlef	Examineur

Année universitaire 2011/2012

Thème : Elaboration et utilisation de fonctions de pédotransfert pour la prédiction des propriétés de la rétention en eau des sols du bas Cheliff. Algérie

Résumé :

Deux types de FPT: point et paramétriques ont été élaborées et validées pour prédire la rétention d'eau à la capacité au champ et au point de flétrissement de quelques sols algériens. Le constat est que l'origine géographique des ensembles de données utilisées et les formalismes mathématiques adoptés dans le développement des FPT peuvent influencer leur performance en estimation. Les discussions se sont poursuivies au cours du travail sur le plan de la précision et du biais des estimations auxquelles elles conduisaient à évaluer huit (08) FPT proposées dans la littérature. Les résultats confirment que les FPT ont un fort caractère régional et montrent pour la plupart, leurs limites lorsqu'elles sont appliquées hors de leur contexte agropédoclimatiques d'origine.

Mots clés : fonction de pédotransfert, la rétention en eau, la capacité au champ, le point de flétrissement, Evaluation.

Title: Elaboration and Use of Pedotransfer Functions for Predicting Properties of Water Retention of Soils of Low Cheliff. Algeria.

Abstract:

Two types of PTF: Parametric and point have been developed and validated for predicting water retention at field capacity and wilting point for some Algerian soils. The fact is that the geographical origin of the data sets used and the mathematical formalisms adopted in the development of PTF may influence their performance to estimates. The discussions continued during study in terms of precision and bias estimates that they led to evaluate eight (08) PTF proposed in the literature. The results confirm that the PTF have a regional character and show for the most part, their limitations when applied outside of their original agropedoclimatic context.

Keywords: Pedotransfer Function, Water Retention, field capacity, wilting point, Evaluation.

العنوان : تطوير و استعمال الدوال الانتقالية للتربة للتنبؤ بخصائص القدرة على الاحتفاظ بالماء لتربة الشلف الأدنى .

الملخص :

نوعين من الدوال الانتقالية للتربة قد تم تطويرهما والتحقق من صحتها للتنبؤ بقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء في نقطة السعة الحقلية ونقطة الذبول لبعض عينات من التربة الجزائرية. خلال البحث تبين أن الأصل الجغرافي لمجموعات البيانات المستخدمة وكذا الطرق الرياضية التي اعتمدت في تطوير هته الدوال قد أثروا في أدائها التقديري. استمرار المناقشات التي جرت خلال هذا العمل من حيث دقة التقديرات أدت إلى تقييم ثمانية (08) دوال انتقالية للتربة المقترحة في الأبحاث السابقة. تؤكد النتائج أن الدوال الانتقالية للتربة لها طابع إقليمي قوي جدا كما تظهر في معظم الأحيان محدوديتها عندما تطبق خارج مجالها الجيومناخي الأصلي.

مفاتيح البحث: الدوال الانتقالية للتربة، الاحتفاظ بالماء، السعة الحقلية، نقطة الذبول، التقييم.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement mon promoteur, Professeur SAIDI Djamel, pour son encadrement de qualité (avec lui, il ne faut pas mettre les deux pieds sur un même sabot). Merci pour ses précieux conseils et encouragements au quotidien et pour la confiance qu'il m'a accordé depuis l'année théorique jusqu'à la fin de ce mémoire.

J'adresse mes remerciements aux membres du jury de Mémoire, qui ont accepté d'évaluer mon travail : Monsieur BOUTHIBA Abdelkader, Maitre de Conférences Catégorie « A », qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider ce jury, Monsieur REGUIEG YASSAD. H, Maitre de Conférences Catégorie « A » à l'université de Mostaganem, pour avoir accepté de prendre part à ce jury. Monsieur BENZERGA Nour Eddine, Maitre Assistant catégorie « A », pour sa participation à ce jury en tant que examinateur de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants qui ont participé à ma formation.

Enfin, je remercie mes parents et mes proches, mes collègues qui ont été présents et m'ont soutenue tout au long de mes études.

Sami TOUIL

SOMMAIRE

Introduction générale.

Chapitre I : Prediction des proprietes de retention en eau des sols synthese bibliographique

Chapitre II : Materiels et methodes.

Chapitre III. Resultats & discussions.

III .1. Elaboration des FPT spécifiques aux sols Algériens pour prédire les propriétés de la rétention en eau.

III.2 : Etude de La sensibilité des estimations des FPT spécifiques à la contribution de L'état structural dans la variation des retentions en eau des sols.

III.2 : : Evaluation des fonctions de pédotransfert pour prédire les rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement des sols.

Chapitre VI : Conclusion générale.

Introduction générale

Introduction Générale

Depuis plusieurs décennies et notamment en lien avec la perspective du changement climatique, l'eau est considérée comme une ressource rare dans de nombreuses régions du monde du fait de la concurrence entre ses différents usages (agriculture irriguée, industrie, utilisation domestique et loisirs). L'agriculture représente environ 70 % des prélèvements d'eau douce, chiffre pouvant atteindre 95 % dans certains pays en voie de développement (source FAO). De ce fait, l'amélioration de l'utilisation de l'eau en agriculture irriguée est devenue une préoccupation majeure. Il convient à la fois de tirer le meilleur parti de l'eau disponible pour des raisons économiques et de préserver l'environnement en adoptant des pratiques qui sauvegardent la qualité de la ressource en eau. Une idée répandue est que si une chose donnée en petite quantité est bénéfique, il est souhaitable d'en donner plus. En irrigation, le mieux est de donner juste ce qu'il faut, c'est-à-dire une quantité d'eau calculée de façon à satisfaire les besoins des cultures et prévenir l'accumulation de sels dans le sol, ni plus ni moins.

La prédiction des propriétés de rétention en eau des sols a fortement mobilisé la communauté des physiciens du sol au cours des trois dernières décennies. La raison en est simple : la connaissance de ces propriétés est nécessaire à l'appréciation des potentialités d'un sol à supporter telle ou telle culture. De très nombreux travaux ont par conséquent été conduits dans ce domaine. S'il ne s'agissait dans les années 70 que d'estimer la « réserve utile » d'un sol, c'est l'ensemble de la courbe représentant la quantité d'eau présente dans un sol en fonction de l'énergie avec laquelle elle est retenue par ce sol qu'il est nécessaire aujourd'hui de connaître. Il ne s'agit plus seulement d'apprécier globalement l'aptitude d'un sol à mettre en réserve de l'eau. L'enjeu, c'est la connaissance fine des transferts couplés d'eau et de solutés vers la plante mais aussi vers les eaux superficielles et souterraines.

Du point de vue global, la connaissance du fonctionnement hydrique des sols est devenue indispensable pour l'agriculture, l'hydrologie, la météorologie et en général pour

toutes les applications nécessitant un suivi de l'environnement. Pour mieux gérer et comprendre le fonctionnement hydrique de la couverture pédologique, il est nécessaire de connaître les propriétés hydriques (rétention hydrique, conductivité hydraulique) des horizons qui la composent. Ces propriétés ne sont généralement connues que pour un nombre restreint de sols en raison de la lourdeur des protocoles utilisés pour leur détermination. C'est pourquoi des outils de prédiction ont été développés. Ces outils, dénommés « fonctions de pédotransfert » (FPT), relient les propriétés hydriques à des propriétés du sol beaucoup plus aisément accessibles comme la teneur en argile, la teneur en carbone organique ou encore la densité apparente (Bouma, 1989 ; van Genuchten et Leij, 1992).

Cette étude est focalisée dans un premier plan de ce mémoire les travaux réalisés depuis plus une trentaine d'années sur les conceptions des FPT. En second plan, l'établissement des FPT pour la prédiction des propriétés de la rétention en eau des sols du Bas Cheliff est mis en évidence.

Chapitre 1

Prédiction des propriétés de rétention en eau des sols Synthèse bibliographique

Chapitre I : Prédiction des propriétés de rétention en eau des sols
Synthèse bibliographique

Dans ce chapitre nous nous concentrerons à la prédiction des propriétés de rétention en eau et nous adopterons une présentation adaptée à l'objectif du travail effectué dans ce mémoire. Ainsi, après avoir fait quelques rappels concernant l'expression de la teneur en eau et de l'état de l'eau dans les sols, nous présenterons les différents types de relations qui ont été proposées pour prédire la quantité d'eau retenue par le sol à une valeur de potentiel hydrique en fonction des caractéristiques du sol, puis aborderons la nature des sols qui ont constitué les jeux d'échantillons utilisés pour établir des fonctions de pédotransfert, et enfin nous discuterons des travaux ayant concerné la validation et l'évaluation des fonctions de pédotransfert.

I. RAPPELS CONCERNANT L'ÉTAT DE L'EAU DANS LE SOL

A. L'expression de la teneur en eau du sol

La teneur en eau du sol peut s'exprimer de différentes façons : la teneur en eau massique (W , g d'eau par g de sol séché à 105°C) et la teneur en eau volumique (θ , cm³ d'eau par cm³ de sol). La teneur en eau massique et la teneur en volumique sont reliées par l'expression suivante :

$$\theta = W \times \rho_a / \rho_w$$

Avec ρ_a , la masse volumique sèche apparente du sol (en g de sol séché à 105°C par cm³ de sol au maximum de gonflement), et ρ_w , la masse volumique de l'eau (en g d'eau par cm³ d'eau).

La teneur en eau peut aussi s'exprimer à l'aide de l'indice d'eau (e , cm³ d'eau par cm³ de phase solide) donné par l'expression suivante :

$$e = W \times \rho_r / \rho_w$$

Avec ρ_r , masse volumique de la phase solide à déshydraté à 105°C et généralement proche de 2,65 g.cm⁻³ pour de nombreux sols (excepté pour les sols riches en matière organique et ceux riches en minéraux à teneur élevée en fer).

B. Potentiel de l'eau dans le sol

Le potentiel total de l'eau (h_t) dans les sols définit l'état énergétique de l'eau dans le sol. Il correspond à l'énergie avec laquelle l'eau est retenue dans le sol (Bruand et Coquet, 2005). Ce potentiel est la somme de plusieurs potentiels, chacun d'eux pouvant s'exprimer par un potentiel particulier. Ainsi, dans un sol non saturé, on peut écrire :

$$h_t = h_g + h_m + h_o$$

Où h_g est le potentiel gravitaire dû à la gravité, h_m est le potentiel matriciel correspondant aux forces de capillarité exercées par la matrice poreuse solide, h_o est le potentiel osmotique qui est lié à la présence de solutés car l'eau du sol est en réalité une solution. Le potentiel peut s'exprimer de plusieurs façons : en énergie par unité de masse (J/kg), en énergie par unité de volume (Pa), ou encore en énergie par unité de poids, c'est-à-dire en charge hydraulique (cm de hauteur d'eau). Dans la suite du texte, on exprimera le plus souvent le potentiel de l'eau en pascal parce qu'il s'agit de l'unité de pression du système international, et le plus fréquemment en hPa pour des raisons de commodité.

Dans un sol, on considère fréquemment que les variations de potentiel gravitaire sont faibles devant celles de potentiel matriciel lorsque la teneur en eau varie. Lorsqu'on étudie les propriétés de rétention en eau d'échantillons de sols dont les dimensions sont généralement d'ordre centimétrique à décimétrique, on peut considérer que les variations de potentiel gravitaire au sein de l'échantillon (i.e. entre la base et le sommet) sont faibles, voire négligeables devant les valeurs de potentiel matriciel qui sont celles de l'eau au sein de l'échantillon. Il faut cependant les prendre en compte aux valeurs de potentiel matriciel élevées, c'est-à-dire lorsqu'elles sont proches de 0 hPa. On peut aussi considérer que la concentration en soluté est la même en tous points de l'échantillon lorsqu'on en détermine les propriétés de rétention en eau. De la sorte, on peut considérer que les variations de potentiel de l'eau dans un échantillon de sol se ramènent aux seules variations de potentiel matriciel.

In situ, le suivi de la rétention de l'eau peut être effectué par l'utilisation conjuguée de tensiomètres et par des mesures en continu de la teneur en eau. Quelle que soit la méthode utilisée, la courbe de teneur en eau en fonction du potentiel de l'eau résulte de l'importance respective des différentes composantes du potentiel de l'eau.

C. La courbe de rétention en eau

La courbe de rétention en eau relie la teneur en eau (W ou θ) au potentiel de l'eau qui est exprimé le plus souvent soit en unité de pression (Pascal), soit en hauteur de colonne d'eau (cm). A chaque valeur de potentiel correspond alors une teneur en eau. A chaque valeur de potentiel on peut aussi faire correspondre une taille maximale de pore occupé par l'eau grâce à la loi de Jurin (Rowelle, 1994). Des modèles de courbes dont on ajuste les paramètres (généralement 3 ou 4 paramètres) ont été proposés dans la littérature (Brooks et Corey, 1964 ; Campbell, 1974 ; van Genuchten, 1980 ; De Jong, 1983 ; Saxton *et al.* 1986 ; Sala et Tessier, 1994 et Dexter et Bird, 2001). Le modèle de van Genuchten (1980) est le plus couramment utilisé de part de sa

simplicité (Figure 1.1)

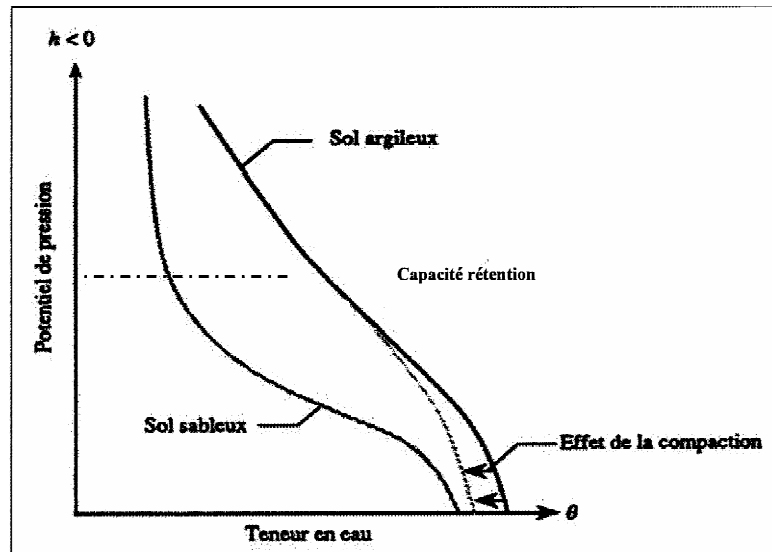


Figure1.1 : Courbe de rétention en eau d'un sol de texture (sableux et argileux) selon Musy et Soutter (1991).

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha |h|)^n]^m$$

Où θ_r est la teneur en eau résiduelle, θ_s la teneur en eau à saturation, h pression relative avec α (cm^{-1}) et h (cm), n et m deux paramètres de forme de la courbe.

Pour obtenir la courbe de rétention d'eau au laboratoire, l'échantillon analysé est amené à un potentiel de l'eau fixé à l'avance et sa teneur en eau est mesurée.

Pour des potentiels de 0 à -1600 kPa, les dispositifs utilisés pour appliquer la contrainte hydrique au sol sont dérivés de la presse à membrane de Richards (1948). A des pressions d'eau inférieures à -1600kPa le potentiel de l'eau est fixé par contrôle de la tension de vapeur du milieu avec des solutions salines saturées (Tessier, 1975). Le potentiel mesuré inclut alors les composantes matricielles et osmotiques du potentiel de l'eau.

Les résultats des mesures obtenues au laboratoire ont été souvent critiqués. Ratliff et al (1983) ont montré que suivant la texture des sols, les mesures obtenues à des potentiels de -33kPa et de -1500 kPa, supposées correspondre respectivement à la capacité au champ et au point

de flétrissement permanent, surestimaient ou sous-estimaient la teneur en eau. Longtemps, les courbes de rétention ont été obtenues sur des échantillons tamisés, séchés à l'air et réhydratés. On sait que le tamisage et le séchage entraînent des modifications importantes de la structure du sol qu'il faut compenser en associant la capacité au champ à des valeurs de potentiel de l'eau variables suivant la texture du sol. Ce sont les travaux de Hall et al. (1977) et Bruand et al. (1996) qui ont montré que la capacité au champ est équivalente à une succion de -5kPa , soit $pF=1,7-1,8$ (pour des sols non salés et non fortement gonflants). Ces auteurs ont conclu que la mesure au laboratoire, sur des échantillons non perturbés, prélevés à une humidité proche de la capacité au champ permet d'éviter une grande partie des erreurs liées à l'utilisation d'échantillons séchés et remaniés

II. LES GRANDS TYPES DE FONCTIONS DE PÉDOTRANSFERT :

Dès les années 60 (Box et Taylor, 1962 ; Combeau et Quantin, 1963 ; Hill et Sumner, 1967 ; Petersen *et al.* 1968), les chercheurs ont conduit des travaux afin d'établir des relations entre les propriétés de rétention en eau des sols et leur composition. C'est ainsi que des relations ont été établies entre la composition des sols et les quantités d'eau retenue à des valeurs de potentiel correspondant à la capacité au champ ou au point de flétrissement. Ces relations, qui n'étaient au départ que de simples relations statistiques entre une teneur en eau à une valeur de potentiel et une caractéristique de la composition du sol, se sont complexifiées au cours des années par leur forme mathématique et la nature des caractéristiques prises en compte.

A la fin des années 80, Bouma et van Lanen (1987) proposèrent de nommer de telles relations « fonctions de pédotransfert (FPT) » parce qu'elle permettent de lier des caractéristiques du sol aisément accessibles à des propriétés du sol difficilement accessibles.

Les FPT ont généralement la forme d'une relation mathématique entre une teneur en eau volumique (θ) ou une teneur en eau massique (W) à une valeur de potentiel donnée et des caractéristiques du sol. De telles caractéristiques sont le plus souvent la composition granulométrique, la teneur en carbone organique et la densité apparente du sol. Les FPT étant le plus souvent établies par régression multilinéaire, elles correspondent à autant de modèles empiriques de la relation pouvant exister entre la composition d'un sol et ses propriétés de rétention en eau. Comme nous le verrons, de nombreux types de FPT ont été développés.

A côté de ces relations statistiques qui sont des FPT au sens strict, d'autres types d'outils ont aussi été développés. Il s'agit des classes de fonction de pédotransfert (CFPT). Dans ce cas, des propriétés de rétention en eau sont proposées par classe, après avoir regroupé et classé les sols selon leur composition (Wösten *et al.* 1999 ; Bruand *et al.* 2002 & 2004 ; Almajou *et al.* 2008). Les CFPT sont souvent présentées comme conduisant à une estimation de moins bonne qualité par rapport à celle obtenue avec des FPT.

Il existe par ailleurs des FPT basées sur l'utilisation des réseaux neuronaux (ou réseaux neuromimétiques) plutôt que sur des équations de régression. Un réseau neuronal artificiel (ANN : *artificial neural network*) consiste en un ensemble de beaucoup d'éléments de calcul simples appelés nœuds ou neurones dont la structure caractérise les relations « entrées – sorties ». Des fonctions de pédotransfert ont ainsi été établies (Schaap, 1996 ; Schaap et Leij, 1998 et 2000 ; Schaap *et al.* 2002 ; L. Baker *et al.* 2008).

A. Les fonctions de pédotransfert continues (FPTC)

Dans ce premier ensemble, les FPT se répartissent une nouvelle fois en deux sous ensembles, celui qui rassemble des FPTC qui donnent accès à θ à des valeurs particulières de h , et celui qui rassemble des FPTC qui donnent accès aux paramètres d'un modèle de courbe décrivant la relation $\theta(h)$.

1. Des régressions linéaires établies pour les teneurs en eau à différentes valeurs de potentiel (FPTC point)

Ce premier sous-ensemble concerne des FPTC établies par régression multilinéaire entre les caractéristiques du sol (composition granulométrique, teneur en carbone organique ou matière organique et la densité apparente) et des teneurs en eau à différentes valeurs de potentiel. Les premières études ont cherché à établir des FPTC pour la teneur en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement afin de déduire, par différence, des relations entre les caractéristiques de constitution du sol et la réserve utile de ce sol (RU) définie comme

$$RU = 330 - 15000.$$

avec 330, teneur en eau volumique au potentiel de -330 cm et 15000, teneur en eau volumique au potentiel de -15000 cm. Des relations ont ainsi été établies très tôt entre 330,15000 d'une part et les caractéristiques de constitution d'autre part comme l'ont proposé Petersen *et al.* (1968):

$$330 = a + (b \times Ar) + (c \times Li) + (d \times CO) + (e \times Da)$$

$$15000 = a' + (b' \times Ar) + (c' \times Li) + (d' \times CO) + (e' \times Da)$$

Avec *Ar*, teneur en argile en %, *Li*, teneur en limon en %, *CO*, teneur en carbone organique en % et *Da*, densité apparente du sol en g/cm³. Les coefficients *a*, *b*, *c*, *d* et *e*, ainsi que *a'*, *b'*, *c'*, *d'* et *e'*, sont des coefficients déterminés par régression multilinéaire. Des relations furent aussi établies directement entre la RU et les caractéristiques de constitution des sols. C'est le cas de la relation établie par Salter et Williams (1965) :

$$RU = 1,5 - 0,012 \times Sag + 0,0123 \times Saf + 0,302 \times CO$$

Avec *Sag*, teneur en sable grossier, *Saf*, teneur en sable fin. Par la suite, de nombreux travaux analogues ont été effectués et on conduit la proposition de relation entre la teneur en eau une valeur de potentiel et des caractéristiques de constitution du sol (Tableau 1.1).

2. Des régressions linéaires permettant la prédiction des paramètres d'un modèle de courbe $\theta(h)$

a) Les modèles de la courbe la rétention en eau des sols $\theta(h)$

Les modèles de Van Genuchten (1980), De Jong (1983), Brooks et Corey (1964), Saxton et al. (1986), Campbell (1974), Sala et Tessier (1994) associent la courbe de rétention d'eau à une courbe mathématique par ajustement de 3 ou 4 paramètres. La courbe de rétention d'eau prend généralement la forme d'une sigmoïde, dont les paramètres de forme évoluent en fonction de la texture et de la structure du sol.

1. le modèle Brooks et Corey (1964)

Brooks et Corey (1964) ont proposé de scinder la courbe en deux parties. De la saturation jusqu'au point d'entrée d'air, la teneur en eau est supposée constante. Au-delà du point d'entrée d'air, la teneur en eau est donnée par une fonction puissance.

$$\begin{aligned} \theta(h) &= \theta_s & h_a/h < 1 \\ (\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r) &= (h_a/h)^\lambda = S_e & h_a/h \geq 1 \end{aligned}$$

θ_s = teneur en eau au point d'entrée d'air.

θ_r = teneur en eau où les déplacements d'eau par capillarité sont négligeables.

h_a = potentiel au point d'entrée d'air.

S_e = taux de saturation effectif.

Le caractère λ varie selon la texture et permet de rendre compte de la distribution de taille des pores.

2. le modèle de Campbell (1974)

Campbell (1974) a proposé une équation A partir de fonctions de pédotransfert établies sur 1400 échantillons provenant des Etats Unis. Pour décrire la courbe de rétention en eau, Campbell (1974) a proposé une équation puissance du type :

$$\Theta = \theta_s (h/h_a)^{-1/b}$$

Où h_a est le potentiel au point d'entrée d'air b , un paramètre empirique. Notons que l'équation proposée par Campbell (1974) présente les mêmes inconvénients que celle proposée par Brooks et Corey (1964) et qui s'écrit :

$$(\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = (h/h_a)^\lambda$$

Lorsque $h < h_a$, et :

$$\theta(h) = \theta_s$$

Lorsque $h \geq h_a$, avec λ , index de distribution de la taille des pores (grandeur sans dimension). On observe aussi que l'équation de Campbell ne fait pas apparaître le terme θ_r et qu'il y a une rupture de la pente lorsque $h = h_a$.

3. le modèle de Saxton et al. (1986)

Saxton et al. (1986) ont subdivisé la courbe de rétention d'eau en trois domaines distincts :

$$\begin{array}{ll} \theta(h) = \theta_s & h_a/h < 1 \\ \theta = [(100-h)(\theta_s - \theta_{100})] + \theta_{100} & h_a \geq h \geq -100hPa \\ \theta = (h/A)^{1/B} & -100hPa \geq h \geq -15.10^3hPa \end{array}$$

4. le modèle de De Jong (1983)

De Jong (1983) a défini la courbe par deux fonctions logarithmiques de même équation mais dont le coefficient directeur diffère.

$$\begin{aligned} \theta &= a + b_1[\log(h)-t] & h_a/h < 1 \\ \theta &= a + b_2[\log(h)-t] & h_a \geq h \geq -100hPa \end{aligned}$$

Ces deux segments de droite se rejoignent pour une valeur de h fonction de la teneur en argile des sols :

$$t = -1.12 + 0.029 Ar$$

La valeur de h varie de -200 hPa pour les textures grossières à -1200hPa pour les textures fines. Le paramètre b_1 est dépendant du taux d'argile, le paramètre " b_2 " dépend des limons, des argiles et du taux de matières organiques. Le paramètre "a" dépend des teneurs en argile et en matières organiques (relations établies au moyen de FPT sur 64 échantillons remaniés).

5. Le modèle de Van Genuchten

Le modèle de Van Genuchten est le plus couramment utilisé de part sa simplicité et la possibilité de dériver l'équation pour le calcul de la conductivité hydraulique. Ce modèle est de la forme :

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha|h|)^n]^m$$

Pour $h < 0$ et :

$$\theta(h) = \theta_s$$

Pour $h \geq 0$ avec $\theta(h)$, teneur en eau volumique du sol au potentiel h , θ_s , la teneur en eau volumique du sol à saturation, θ_r , teneur en eau volumique résiduelle, n , paramètre de forme avec $m = 1 - 1/n$. Le modèle de van Genuchten est très utilisé en raison principalement de sa simplicité et de la possibilité de dériver l'équation pour calculer la conductivité Hydraulique.

b. Fonctions de pédotransfert continues (FPTC paramétrique) permettant la prédiction des paramètres d'un modèle de courbe $\theta(h)$

1. Fonctions de pédotransfert continues (FPTC) établies pour le modèle de Campbell

Concernant la relation proposée par Campbell (1974), des FPTC ont été établies par Cosby *et al.* (1984) à partir de mesures effectuées sur 1400 échantillons provenant de sols des Etats-Unis.

Chapitre II

Matériels et méthodes

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Dans ce chapitre, nous présentons les sols étudiés et les méthodes utilisées pour mesurer les propriétés de rétention en eau, ainsi que celles utilisées pour le développement et la validation des fonctions de pédotransfert.

I. PRESENTATION DES SOLS ETUDIÉS

A. Prélèvement Des Echantillons

Les campagnes d'échantillonnage se sont déroulées en période hivernale lorsque les sols étaient en conditions hydriques proches de la capacité au champ, c'est-à-dire la plupart du temps environ 48 heures après une période pluvieuse. Les échantillons ont été prélevés à partir de profils pédologiques sous la forme de volumes non perturbés (blocs ou mottes) de dimensions décimétriques. Ils ont été conservés dans des boîtes hermétiques à la teneur en eau correspondant à leur état lors du prélèvement, en chambre froide ou au réfrigérateur à une température de l'ordre de 4 à 5 °C de telle façon à limiter l'activité biologique (Bruand *et al.*, 1996 ; Bruand *et al.*, 2002). Pour chaque échantillon prélevé, les analyses ont été réalisées au laboratoire d'analyse des sols de l'ANRH.

B. La Base De Données :

Le jeu d'échantillons utilisé est constitué en plusieurs étapes en fonction du déroulement de travail et de l'objectif souhaité :

Dans le troisième chapitre, les FPT spécifiques aux sols algériens seront développées en utilisant un ensemble de 189 échantillons pris au hasard dans quelques régions de l'Algérie (54 échantillons prélevés dans La plaine de Kherba El Abadia, le haut Cheliff, 13 échantillons prélevés dans La plaine côtière de Annaba, 42 échantillons prélevés dans La plaine de Beni Slimane MEDIA et 80 échantillons sélectionnés aléatoirement dans le Bas Cheliff).

Pour vérifier et valider les PTF établies dans le contexte de cette étude, un sous ensemble 54 échantillons prélevés aléatoirement du Bas Cheliff. Les propriétés de la rétention en eau des échantillons utilisés pour le développement et pour la validation ont été déterminées en utilisant les mêmes méthodes expérimentales.

Suivant l'objectif recherché dans le cinquième (05) chapitre ; d'évaluer les fonctions de pédotransfert internationales et de tester leurs l'efficacité en les appliquant dans le contexte du Bas Cheliff, seuls les échantillons issus des sols du Bas Cheliff qui ont été sélectionnés Parmi les échantillons présentés dans le premier groupe (189 et 54 échantillons). En effet l'ensemble de 134 prélevés aléatoirement, issus pour la plupart dans l'est la Merdja de sidi Abed et la plaine de boukadir entre les périmètres du Bas Cheliff et du moyen Cheliff, extension de Guerouaou nord de l'oued de Cheliff, une portion nord ouest de la plaine et la Sebkhha de Benziane sud-ouest du périmètre du Bas Cheliff. Les propriétés de rétention en eau ont été déterminées a -330 hPa et -15000 hPa.

II. METHODES DE MESURE UTILISÉES

A. Détermination De La Densité Apparente

Pour pratiquement tous les échantillons, des mesures de densité apparente (D_a) ont été déterminée sur le terrain à l'aide de la méthode au cylindre en utilisant des cylindres de 500 ou 1000 cm³ selon les cas. Elle a été calculée après séchage à 105°C pendant 24 h à l'aide de la relation suivante :

$$D_a = \frac{M_s}{V_c}$$

Avec M_s : masse de sol séché à 105°C contenu dans le cylindre, V_c : volume du cylindre. Trois mesures ont été effectuées pour chaque horizon.

B. La Rétention En Eau

Les déterminations ont porté sur des mottes de dimensions le plus souvent centimétriques (5 à 20 cm³) obtenues par fragmentation à la main à partir des échantillons non perturbés prélevés qui

étaient eux de dimensions décimétriques (300 à 1000 cm³). Les analyses ont par conséquent été effectuées sur des échantillons à structure interne intacte et n'ayant jamais été séchées. Deux teneurs en eau massiques (W) ont été déterminées pour des valeurs de potentiel de -330 hPa (W2.5), et -15000 hPa (W4.2). Les déterminations ont été réalisées en utilisant des dispositifs pneumatiques. Les mottes ont été disposées sur une pâte de kaolinite préalablement ressuyée à -10² hPa de façon à établir une continuité satisfaisante entre l'eau de l'échantillon et la membrane ou la plaque poreuse du dispositif (Bruand *et al.* 1996). Ce dispositif s'apparente à celui qui a été utilisé par Tessier et Berrier (1979) mais il permet, selon le dispositif utilisé, de mettre à l'équilibre de 20 à 40 mottes dans une même cellule de pression. La teneur en eau est mesurée après sept jours de mise sous pression (de telle façon à avoir atteint l'équilibre quelle que soit la texture des échantillons et leur taille) par passage à l'étuve à 105°C pendant 24h. Pour chaque détermination, la teneur en eau correspond à la moyenne donnée par 10 à 15 mottes.

Les teneurs en eau volumique ont été calculées en multipliant les teneurs en eau massiques par la densité apparente de l'échantillon (D_a). Comme pour les teneurs en eau massiques, les teneurs en eau volumique ont donc été obtenues pour deux valeurs de potentiel variant de -330 hPa (0330) à -15000 hPa (015000).

C. Analyses Physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au Laboratoire d'Analyse des Sol de l'ANRH. Pour chaque échantillon, il a été procédé à une analyse granulométrique en cinq fractions sans décarbonatation par sédimentation (AFNOR; AFNOR NF X 31-107). La méthode consiste en la dispersion des particules minérales d'un échantillon de sol et en la stabilisation de cet état dispersé dans des conditions bien définies. Après destruction de la matière organique par l'eau oxygénée (H₂O₂) sur une prise d'essai d'environ 10 g par ajout d'hexamétaphosphate de sodium et de NaOH 1N, les différentes classes de particules ont été séparées par sédimentation pour les fractions fines (< 50µm) et par tamisage pour les fractions de taille supérieure. La détermination des fractions les plus fines (< 50 µm) s'effectue au moyen de 3 prélèvements successifs (à la pipette dite de Robinson) dans une suspension de sol en cours de sédimentation. La fraction des sables fins est séparée par passage sur tamis de 50 µm et sous courant d'eau de la suspension après prélèvement des fractions fines.

La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée en milieu tamponné à pH = 7

(Méthode Metson). la méthode Metson consiste à détermination la CEC par trois étapes : (i) l'échantillon est d'abord saturé en ions ammonium (NH^+) par percolations successives d'une solution d'acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{NH}_4$) à 1 mol/L, (ii) le pouvoir tampon de cette dernière permet de ramener le pH du milieu aux environs de 7, ce qui constitue une des caractéristiques essentielles de la méthode, (iii) après avoir éliminé l'excès d'ions ammonium par percolations d'alcool éthylique, on procède ensuite à leur échange par une solution de chlorure de sodium à 1 mol/L. Les ions ammonium déplacés sont dosés par spectrophotométrie sur la solution précédente, une fois filtrée. Les concentrations trouvées sont converties en $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ (centimoles de charges positives par kilogramme de sol sec).

III. CRITERES DE VALIDATION

Les FPT sont régulièrement évaluées en effectuant une comparaison des valeurs qu'elles prédisent aux valeurs mesurées (Pachepsky et Rawls, 1999). Pour discuter la validité des FPTs développées, nous avons utilisé plusieurs types de critères.

A. L'erreur moyenne (ME)

L'erreur moyenne de prédiction (ME) renseigne sur le biais de l'estimation. Elle est calculée à l'aide de la relation suivante :

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_p - \theta_m)$$

Avec n , nombre d'horizons, θ_p , la teneur en eau volumique prédite et θ_m , la teneur en eau volumique mesurée. L'estimation est d'autant moins biaisée que ME est proche de 0. Lorsque ME est positif, les FPT testées surestiment θ_m et lorsqu'il est négatif, les FPT testées sous estiment θ .

B. Le coefficient de détermination (R2) :

Le R2 ou coefficient de détermination mesure la qualité de l'ajustement des estimations de l'équation de régression :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_p - \bar{\theta})^2}{\sum_{i=1}^n (\theta_m - \bar{\theta})^2}$$

Un R^2 proche de 1 est suffisant pour dire que l'ajustement est bon.

C. L'erreur moyenne quadratique (RMSE)

Bien qu'elle ne permette pas de séparer biais et précision, l'erreur quadratique moyenne (*RMSE*) est un estimateur de qualité de la prédiction qui a été très fréquemment utilisé dans la littérature sur les fonctions de pédotransfert. Il se calcule à l'aide de la relation suivante :

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_p - \theta_m)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Ainsi, plus l'erreur moyenne quadratique (RMSE) est faible, meilleure est l'estimation.

D. Le Degré d'accord (d) :

$$d = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_p - \theta_m)^2}{\sum_{i=1}^n [|(\theta_p - \bar{\theta}_m)| + |(\theta_m - \bar{\theta}_m)|]^2}$$

Avec $\bar{\theta}_m$ la moyenne de la teneur en eau volumique mesurée $\bar{\theta}_m$. L'indice d'accord (d) élaboré par Willmott (1981) comme un module standardisée de la mesure d'erreur de prédiction du modèle, varie entre 0 et 1. proche de 1 indique une correspondance meilleure entre les valeurs mesurées et les prédites, 0 indique l'absence d'accord du tout (Willmott, 1981).

E. Le critère d'information d'Akaike (AIC) :

$$AIC = n \ln \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\theta_p - \theta_m)^2 \right] + 2k$$

Avec k , le nombre des inputs du modèle. Les plus petites valeurs de AIC (le plus négatif), est le meilleur modèle.

F. L'erreur moyenne géométrique (GMER) :

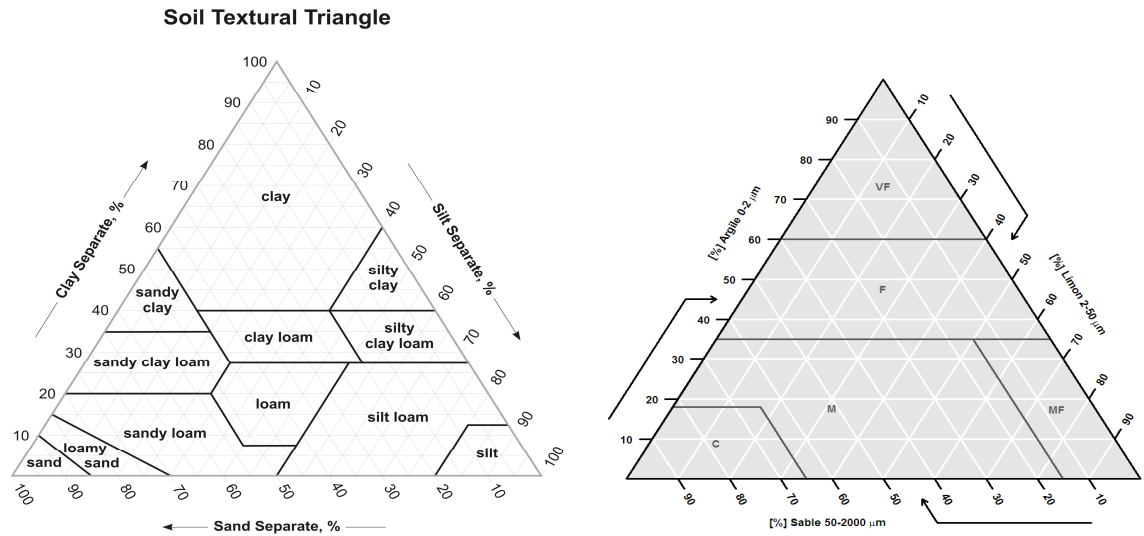
Le GMER indique la symétrie ou l'appariement entre les données mesurées et prédites :

$$GMER = \exp \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{\theta_p}{\theta_m} \right) \right]$$

La valeur GMER moins et plus de 1 indique le sous-estime et surestime du modèle.

IV. LA STRATIFICATION TEXTURALE

Les premières études ou l'application agronomique des stratifications basées sur la texture ont été effectuée en France (Jamagne *et al.* 1977). Dans ce travail, la stratification texturale a été utilisée dans le troisième chapitre quant à l'approche du développement des FPT spécifiques en utilisant les classes texturales suivant le triangle USDA. Dans le quatrième chapitre dans le but d'étudier l'influence de la taille des Particules sur la variation de la rétention en eau des sols, nous avons regroupé les échantillons en trois classes de particules en fonction de leurs tailles selon une variante texturale proposé par FOA (FOA, 1990) transposée sur le triangle texturale USDA (figure 2.1).



Le triangle texturale USDA (1951)

le triangle texturale proposé par FOA (1990)

Figure 2.1. La variante texturale utilisée dans la stratification

Chapitre III

RESULTATS & DISCUSSIONS

**III .1. Elaboration des FPT spécifiques aux sols
Algériens pour prédire les propriétés de la
rétention en eau**

III.1. Elaboration des FPT spécifiques aux sols Algériens pour prédire les propriétés de la rétention en eau

I. INTRODUCTION

L'Algérie, comme de nombreux autres pays, n'a pas suffisamment de données sur les propriétés hydrauliques du sol pour dériver des FPT locales. Les Hydrologues souvent confrontés à des situations où un ou plusieurs paramètres d'entrée de la FPT ne sont pas disponibles. Le développement des nouvelles FPT spécifiques pourrait être utile pour pouvoir répondre aux exigences de la modélisation agricoles avec une précision raisonnable.

Dans un premier essai nous allons élaborer des FPT spécifiques point et paramétriques et les comparées par rapport à l'application de l'un des modèles le plus répandu dans les études des FPT ; Le modèle de Van Genuchten (1980) de la courbe de rétention d'eau et, qui Permet une meilleure description de l'évolution conjointe de θ (teneur en eau volumique) et de h (potentiel de pression) à proximité de la saturation. Le modèle de Van Genuchten (1980) est celui qui favorise le mieux une simplicité de l'expression analytique ainsi une capacité à donner des expressions dérivées (ex : estimation de la conductivité hydraulique). Vereecken et al. (1989) puis Wösten et al. (1985, 1995) ont établi des fonctions de pédotransfert sur les paramètres de l'équation de Van Genuchten (1980). Schaap et al. (2002) a élaboré le paquet de Rosetta basé sur la méthode du réseau de neurones artificiels, qui met en œuvre cinq FPT hiérarchiques pour prédire ces paramètres à l'aide des limites bien déterminées (les classes de texture du sol seulement) et des données d'entrée les plus réponsus (la texture, la densité, et un ou deux points de la rétention d'eau). Cela a rendu Rosetta très utile pour les pays ayant des limitations des données. Dans le premier chapitre, dans la section de validation, il a été clair que utilisation des données d'une gamme différente de celles des données usées dans le développement des FPT, a conduit à des mauvaise prévisions. Dériver des FPT basées sur des sols algériens pour permettre

de prédire des paramètres de calibrage du modèle de Van Genuchten (1980) serait vivement recommandé.

II. LA BASE DE DONNEES

Les FPT spécifiques seront développées en utilisant un ensemble de 189 échantillons pris au hasard dans quelques régions de l'Algérie (tableau 2.1), comprenant horizons de terre arable (de 0 à 30 cm de profondeur) et horizons du sous-sol (30 cm de profondeur). Un ensemble de 54 horizons a été sélectionné afin de vérifier les FPT établies (tableau 3.1). Ces données recueillies dans le bas Cheliff. Les paramètres de Van Genuchten pour les trois modèles de Rosetta seront calculés pour chaque échantillon du sol en utilisant le programme RETC (tableau 3.2).

Tableau 3.1 : Caractéristiques des sols utilisés pour le développement et la validation

	Granulométrie				Θ volumique (cm ³ /cm ³)		
	S %	L%	A%	DA (g/cm ³)	Mo (g/100g)	$\Theta_{2,5}$	$\Theta_{4,2}$
Echantillons utilisés pour élaborer les FPT (n=189)							
Moyenne	17,81	39,23	42,97	1,71	0,95	0,44	0,27
Ecart-type	10,32	10,76	13,90	0,20	0,93	0,09	0,08
Minimum	1,00	9,20	4,00	0,60	0,08	0,13	0,03
Maximum	50,00	67,00	84,30	2,10	8,40	0,73	0,56
CV (écart-type/moyenne)	0,58	0,27	0,32	0,12	0,98	0,21	0,31
Echantillons utilisé pour tester les FPT (n=54)							
Moyenne	13,44	41,28	45,29	1,49	0,88	0,39	0,21
Ecart-type	16,08	7,81	15,35	0,13	0,49	0,10	0,07
Minimum	-	25,00	9,00	1,15	0,20	0,14	0,07
Maximum	63,00	58,00	70,00	1,73	2,74	0,57	0,45
CV (écart-type/moyenne)	1,21	0,19	0,34	0,09	0,56	0,26	0,36

Tableau 3.2 : Paramètres de la courbe de Van Genuchten après stratification texturale

Echantillons utilisés pour élaborer les FPT (n=189)	Θ_r	Θ_s	α	n	m
Argileux (n=73)	0,0982	0,4588	0,015	1,2529	0,2019
Limon-Argileux (n=29)	0,0792	0,4418	0,0158	1,4145	0,2930
Limon (n=13)	0,0609	0,3991	0,0111	1,4737	0,3214
Limon fin (n=11)	0,0645	0,4387	0,0051	1,6626	0,3985
Argileux-limoneuse (n=38)	0,1108	0,4808	0,0162	1,3207	0,2428
Limon argilo-sableuse (n=25)	0,0901	0,482	0,0084	1,5202	0,3422

III. APPROCHES D'ELABORATION DES FPT SPECIFIQUES

Dans la modélisation hydrologique deux grandes catégories peuvent être utilisées: les techniques de régression statistique (modèles linéaires et non linéaires) et les données techniques d'extraction et d'exploration (les réseaux de neurones artificiels et les méthodes du groupe de traitement des données). Dans cette étude le travail déroulera suivant deux approches (figure 3.1):

1. Première approche : deux types des FPT spécifiques (FPTs) seront dérivés

A. **FPTs point**: qui permettent d'estimer la teneur en eau pour des points particuliers de potentiel h. ces FPTs point seront générées par des équations de régression multiple linéaire (RML) suivant le premier modèle de Rawls et al. (1982).

B. **FPTs paramétriques** : ces modèles seront générés par des équations de régression multiples non linéaire (RMNL) permettent de prédire des paramètres d'ajustement de modèles de Van Genuchten. Ces FPT ont également été établis en calculant une moyenne arithmétique de chacun des paramètres de Van Genuchten Θ_r , Θ_s , α , n en utilisant le programme RETC* (van Genuchten et al. 1991) pour chaque classe de texture, la classification USDA de texture du sol est adopté (Soil Survey Laboratoire Personnel 1992), comme précédemment par Wösten et al. (1999). Le paramètre « m » a été calculé comme suit : $M = 1 - 1/n$ (Tableau 3.2)

2. **Deuxième approche :** Les règles de l'élaboration des FPT sont présentées comme suit :

1. Le nombre des inputs doit rester faible. Schaap et al. (2004) ont testé 11 (onze) modèles de FPT et a conclu que les FPT ayant un grand nombre de paramètre de calibrage ne sont pas nécessairement meilleures que les modèles plus simples. Ungaro et Calzolari (2001) en comparant (9) neuf FPT, ont conclu que la fiabilité de La fonction n'est pas nécessairement liée au nombre de paramètre et que l'excès de paramètre n'améliore pas le modèle par hasard. En utilisant moins de paramètre permettrait de faciliter leur applications et interprétations. A cet effet nous allons sélectionner que la texture et la densité apparente et la matière organique comme inputs.
2. Un nombre important de FPT rencontrées dans la littérature ont des restrictions sur le choix des prédicteurs, dont ils donnent des résultats acceptables. Les prédicteurs ont été sélectionnés après une étude de corrélation entre la variable explicative (prédicteurs) et la variable expliquée (prédite), et voir la signification à trois niveau de confiance 0.1% et 1% et 5% (Tableau 3.4). Corrélation hautement significatif (à 5%) veut dire fortement liée au variable expliquée.

La qualité de prédiction des FPT point et FPTs paramétriques développées à partir d'un ensemble de 189 des sols algériens sera par la suite testée sur les sols du bas Cheliff et comparée avec les trois FPT de Rosetta (H1, H2, H3). Nous avons choisi à examiner les FPT de Rosetta dans cette étude, principalement parce qu'il est calibré et validé par une grande base de données contenant des données multinationales du sol à partir d'un large éventail de types de sol. Rosetta constitue l'un des plus PTF récente qui a donné des prévisions raisonnables dans plusieurs des études d'évaluation (Frédéric et al. (2004) et Nemes et al. (2003)). Les trois FPT sur cinq FPT de Rosetta, ont été sélectionnées pour effectuer une comparaison logique parce qu'ils exigent que la texture et la densité apparente comme input.

Les cinq FPT hiérarchiques de Rosetta (Schaap et al. 2002), sont distinctes en fonction des données d'entrée comme suit :

1. les classes texturales (USDA classification)
2. Sable, de limon, et la fraction d'argile (SLA)
3. (SLA) et de la densité apparente D_a
4. (SLA) et de la densité apparente D_a et la capacité au champ (CC)
5. (SLA) et de la densité apparente D_a et la capacité au champ (CC) et le point de flétrissement permanent pF 4.2

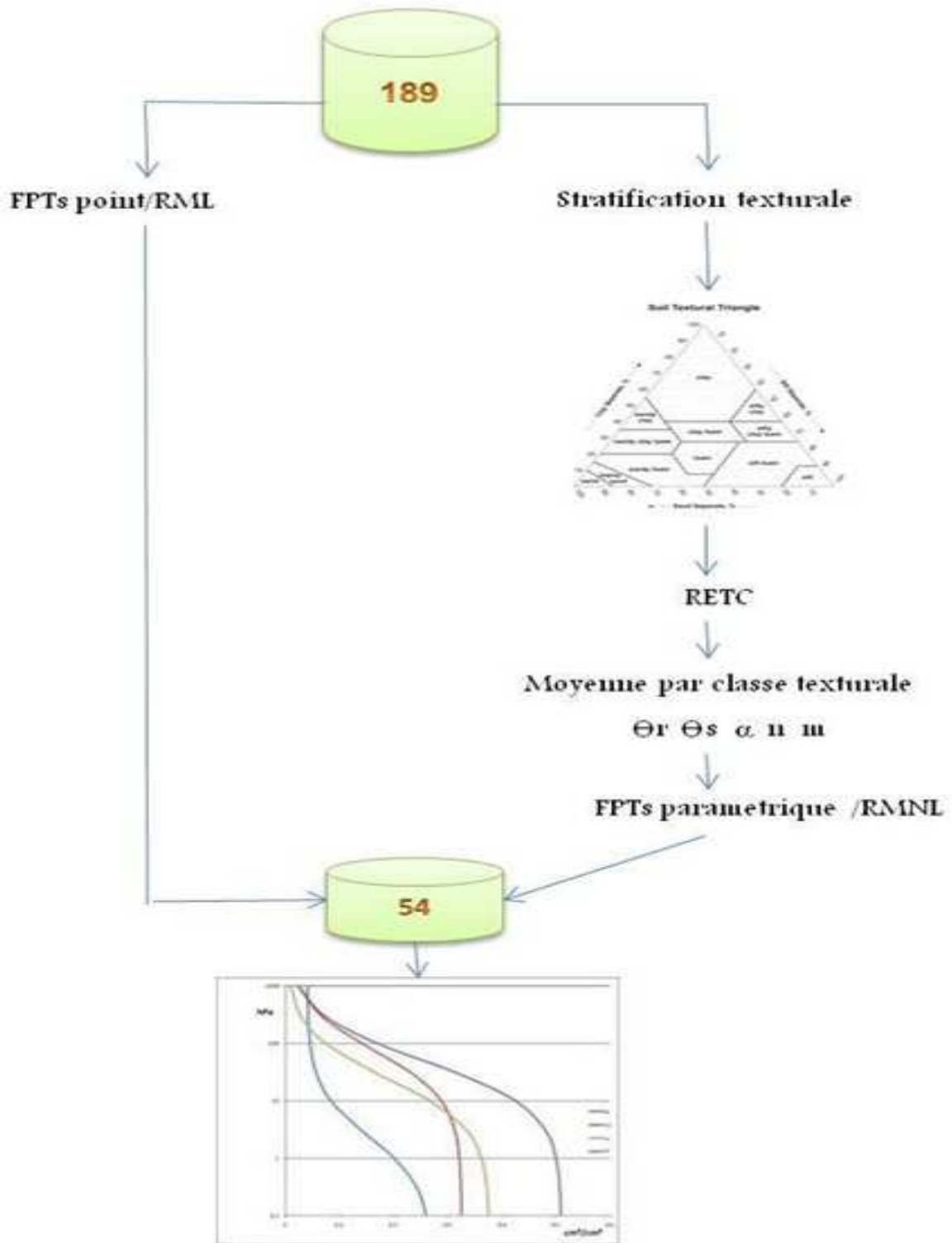


Figure 3.1 : Présentation générale de la démarche suivie dans l'élaboration des FPTs pour estimer les propriétés de rétention d'eau.

Tableau 3.3 : coefficients des régressions multiples et les valeurs de R^2 correspondant aux FPT développées dans cette étude.

FPT	Coefficient	FPT points		FPT paramétriques			
		Potentiel matriciel		Paramètres de Van Genuchten			
		-330 hpa	-15000 hpa	Θ_r	Θ_s	α	n
FPTs point : (RML)	R^2 multiple	0.74	0.66		0.62		
	A	0,0246	-0,0627		0,4136		
	B	-0,0040	-0,0029		-0,0013		
	C	0,0012	0,00165		0,0002		
	D	0,2554	0,1837		0,0177		
	E	0,0067			-0,0018		
FPTs paramétriques. (RMNL : modelé Cubique)	R^2 multiple			0.67		0.60	0.66
	A			$9,00 \times 10^{-02}$		$3,00 \times 10^{-03}$	2,90
	B			$7,78 \times 10^{-04}$		$-1,00 \times 10^{-04}$	$-2,77 \times 10^{-03}$
	C			$3,20 \times 10^{-04}$		$8,90 \times 10^{-05}$	$-9,48 \times 10^{-02}$
	D			$-6,36 \times 10^{-05}$		$5,40 \times 10^{-06}$	$-3,66 \times 10^{-04}$
	E			$1,20 \times 10^{-05}$		$-4,50 \times 10^{-06}$	$2,03 \times 10^{-03}$
	F			$9,30 \times 10^{-07}$		$-7,30 \times 10^{-08}$	$2,49 \times 10^{-06}$
	G			$-1,00 \times 10^{-07}$		$4,50 \times 10^{-08}$	$-1,50 \times 10^{-05}$
	H			$9,00 \times 10^{-02}$		$7,70 \times 10^{-06}$	$2,84 \times 10^{-04}$
	I			$7,78 \times 10^{-04}$		$-3,10 \times 10^{-08}$	$4,91 \times 10^{-06}$
	j			$3,20 \times 10^{-04}$		$-3,10 \times 10^{-08}$	$-5,32 \times 10^{-06}$

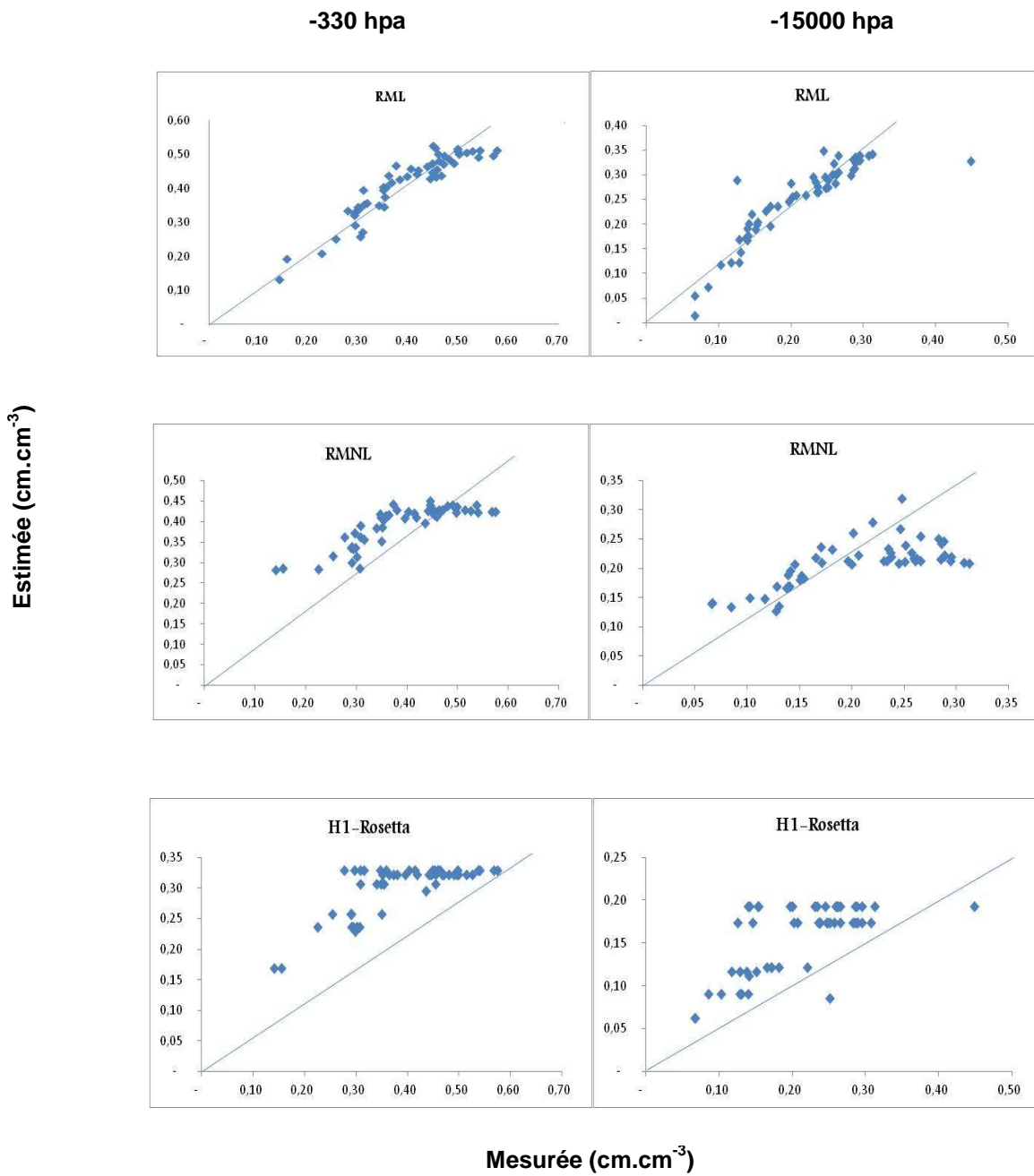


Figure 3.2. Prédications des rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPTs Elaborées dans cette étude.

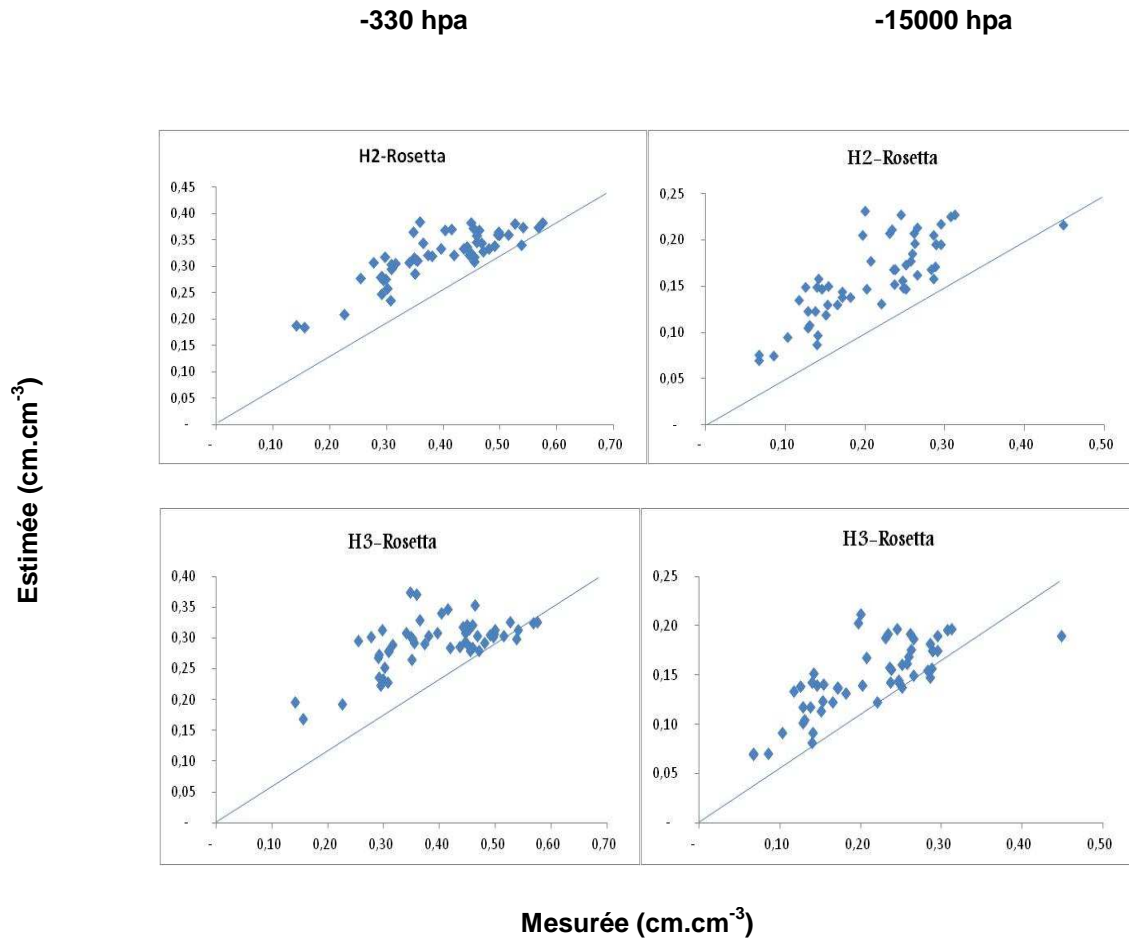


Figure 3.2. (Suite) Prédications des rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPTs Elaborées dans cette étude.

IV. DISCUSSIONS

L'analyse de la statistique descriptive des échantillons de sol a indiqué (Tableau 3.1) que 111 des 189 échantillons ont une texture argileuse et Limono-Argileuse selon la classification de l'USDA, Les 78 échantillons qui restent appartenaient à deux différentes classes texturales on distingue 54 échantillons de texture fine (Argileux-limoneuse (n=38) et Limon argilo-sableuse (n=25)) et 24 autres de texture moyenne (Limon fin (n=11) et Limon (n=13)). La texture argileuse est nettement dominante avec un écart type d'erreur relativement constant de l'ordre de 0,32 et 0,34 pour les données du développement et de validation respectivement. Comme indiqué sur le tableau 3.1, les distributions de la taille des autres constituants du sol à savoir le limon et le sable, dans les deux ensembles d'échantillon, ont proportionnellement la même tendance texturale mais le contenu du sable variées pour une plus grande valeur dans les sols utilisés pour la validation des FPTs.

Tableau 3.4 : Matrice de corrélation (test de Pearson) a un seul de 5%

						Θ volumique		Paramètres de Van Genuchten				
	S %	L%	A%	DA	Mo	pF 4,2	pF 2,5	Θ _r	Θ _s	α	n	m
S %												
L%												
A%	-0,641	-0,677										
DA		0,264	-0,260									
Mo		0,176	-0,162	0,285								
Θ pF 4,2	-0,505		0,392	0,337								
Θ pF 2,5	-0,506		0,301	0,478	0,176	0,759						
Θ _r	-0,645	-0,183	0,621			0,484	0,424					
Θ _s	-0,694		0,405			0,459	0,433	0,828				
α		-0,490	0,442			0,176		0,587				
n	0,261	0,620	-0,674			-0,312	-0,215	-0,707	-0,241	-0,840		
m	0,278	0,625	-0,690			-0,321	-0,226	-0,701	-0,239	-0,805	0,997	

Le comportement hydraulique dans les différentes classes texturales nettement distinct, avec des valeurs de rétention plus élevées dans les sols argileux et des rétentions plus faible dans les sols plus grossiers. Dans la matrice de corrélation (Tableau 3.4), indépendamment, la teneur en eau volumique dans les deux niveaux de pression (-33 Kpa et -1500 Kpa) était positivement corrélée avec la fraction d'argile et la densité apparente. En revanche une corrélation négative d'une forte valeur signifiante enregistrée entre la teneur en eau volumique et le sable .ce qui décrit

exactement la contribution de chaque constituant du sol notamment la densité apparente dans l'augmentation ou la diminution de la rétention en eau dans les sols.

On ne peut ; en constatant les valeurs des coefficients significativement corrélés à un seuil d'erreur de 5% (test de Pearson) qu'à signaler la présence de l'effet de la matière organique sur la rétention en eau marqué à une pression de 33 Kpa avec corrélation positive, et absence de la signification à 1500 Kpa. Cela peut être expliqué par la présence d'un nombre considérable des horizons de surface (A et L) dans la base de données.

Quant aux paramètres de Van Genuchten, les résultats présentés sur la matrice ne prouve que la capacité de ce modelé à décrire d'une manière détaillée les différentes contraintes de la teneur en eau a chaque pression (h) en déterminant les deux bords; la teneur en eau à saturation Θ_s et la teneur en eau résiduelle Θ_r .

Le Tableau 3.5 : Les paramètres d'entrées nécessaire pour le développement des FPTs.

Type de FPTs développées	Méthode utilisée	FPT	Les variables d'entrées				
			A (%)	L (%)	S (%)	Da	Mo (g/100g)
FPTs point	RML	-330 hpa	+		+	+	+
		-15000 hpa	+		+	+	
		Θ_s	+		+	+	+
FPTs paramétriques	RMNL	Θ_r	+		+		
		α		+	+		
		n	+	+			

+ : présence dans le modèle.

A. Les FPTs Dérivées :

1. Identifier la FPTs pour l'estimation de La rétention d'eau à capacité au champ et au point de flétrissement :

Pour montrer que le modèle à sur ou sous estime les rétentions en eau prévus, le ME a été calculée dans le tableau 1.6. Concernant les rétentions en eau prédites, sont inférieures aux mesurées dans les deux points de succion ($ME < 0$) sauf après l'application des FPTs paramétriques à 33Kpa qui a indiquée une surestimation légère ($ME > 0$ trop faible). Toutefois, cette tendance diminue avec l'augmentation de la pression jusqu'à $pF_{2,5}$ pour les FPTs point et les FPTs paramétriques développées, ainsi cette relation devient inverse dans les prédictions des trois modèles H1, H2, H3 de Rosetta dont ils présentent des ME les plus élevées. Le modèle hiérarchie H2 qui ne considère que la texture comme entrée, a donné une plus petit valeur de ME par rapport aux autres hiérarchies H1 et H3.

Les faibles valeurs de ME indiquent la précisions des estimations des FPT ; ces dernières ont été reçues après l'application des FPTs paramétriques suivie par les FPTs point.

Parmi les cinq fonctions testées dans les sols du Bas Cheliff, Les FPTs point dérivées à partir d'une base de données provienne des sols Algériens, avaient les plus faibles valeurs de RMSE (0.041, 0.052 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$). Les modèles non linières des FPTs paramétriques également réussissaient aussi bien que les trois modèles de Rosetta basé sur le réseau des neurones artificiels dans l'estimation des paramètres du modèle de Van Genuchten. En outre, les valeurs de RMSE des trois modèles de Rosetta indiquées sur le Tableau 3.6 variaient parallèlement avec les valeurs de ME ce qui accorde que le H2 est meilleur que le H1 et H3.

En matière de choix des prédicteurs, il y ait nettement clair, que les résultats des deux critères précédents, agrémentent le principe que introduction de la matière organique comme input améliore la qualité d'estimation.

Autres indice d'évaluation noté le degré d'accord a également jugé que la FPTs point est la plus adaptée au sol du Bas Cheliff que celle des FPTs paramétriques avec des valeurs de d (0.9975, 0.9988). Une comparaison similaire dans différentes régions a été faite par Minasny et al. (1999) et Tomasella et al. (2003) et Ghorbani Dashtaki et al. (2010), qui ont tous rapporté des différences similaires entre ces deux types de PTFs.

Ces analyses statistiques peuvent s'interpréter physiquement par le fait que la rétention en eau est contrôlée par des différentes propriétés du sol selon le niveau de succion. Les FPTs point établies pour être appliquée sur un point de pression, permettent tout simplement d'intégrer les

variables indépendantes pour décrire la variation de l'eau dans le sol. Dans les FPTs paramétriques de Van Genuchten, la partie humide de la courbe de rétention proche de saturation (Θ_s) est davantage liée à la structure des propriétés du sol et au carbone organique, alors que dans la partie de sèche (Θ_r), elle dépend beaucoup plus de la distribution granulométrique. En effet, plus de la texture et la densité apparente, l'inclusion de la matière organique des sols du Bas Cheliff comme variable explicative, dans estimation de la teneur en eau volumique à saturation (Θ_s) a rendu les FPTs paramétriques plus performantes, que les FPT de Rosetta (figure 3.1).

Tableau 3.6 : les critères d'évaluation d'estimation de la rétention en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPTs.

			pF 2.5	pF4.2
ME (cm ³ cm ⁻³)	FPTs Point	RML	- 0,0188	-0,0374
	FPTs Paramétriques	RMNL	0,0007	-0,0006
	Rosetta	H1	- 0,0902	-0,0458
		H2	- 0,0709	-0,0426
		H3	-0,0991	-0,0552
RMSE (cm ³ cm ⁻³)	FPTs Point	RML	0,0414	0,0526
	FPTs Paramétriques	RMNL	0,0638	0,0613
	Rosetta	H1	0,1170	0,0738
		H2	0,0962	0,0631
		H3	0,1280	0,0749
d (cm ³ cm ⁻³)	FPTs Point	RML	0,9975	0,9984
	FPTs Paramétriques	RMNL	0,9934	0,9771
	Rosetta	H1	0,9623	0,9427
		H2	0,9775	0,9599
		H3	0,9519	0,9331

En outre le modèle de van Genuchten, qui décrit le comportement de la rétention d'eau en une courbe bornée par une partie sèche et autre humide ; Les relations entre les paramètres de rétention d'eau (les paramètres de Van Genuchten) et les propriétés de base du sol sont très complexes, par conséquent, la performance des FPTs point est meilleure que celle des FPTs paramétriques.

2. Rétention d'eau estimations par le réseau neuronal artificiel du module Rosetta

La tendance d'amélioration de la qualité de prédiction avec l'augmentation du nombre de prédicteurs est présente dans le module de Rosetta. Une simple comparaison des valeurs des critères statistiques des modèles H2 et H3 par rapport au H1 montre une augmentation de la précision d'estimation avec plus de caractérisations des sols qu'ont donné les variables en input. Des résultats similaires d'amélioration avec une augmentation du nombre de prédicteurs ont été signalés précédemment (Nemes et al. 2003; Rawls et al. 2001; Wösten et al. 2001). Mais ce principe n'est pas uniforme, car les estimations à partir du modèle H2 avec trois niveaux d'entrée (texture) ont été meilleures que ceux de H3 avec quatre Niveau d'entrée (texture et la Densité apparente).

Les mauvaises estimations des paramètres de Van Genuchten par le réseau de neurones artificiels (RNA) de Rosetta peuvent également être vues dans (Figure 3.2) où les valeurs mesurées et prédites de la rétention en eau sont plus dispersées à la capacité au champ et au point de flétrissement.

Toutefois, cette différence entre RNA et les régressions multiples non linéaires développées peut être justifiée par deux aspects : le premier concerne la gamme des sols du Bas Cheliff qui ne faisaient pas partie dont celle que le réseau de neurones artificiels de Rosetta est construit, l'exemple du troisième modèle H3 qui exige la densité apparente comme variable d'entrée de plus que le modèle H2, sa formation a enregistré des valeurs de *ME* et *RMSE* et *d* les plus élevées, ceci peut s'expliquer par le fait que les sols utilisés dans l'élaboration du modèle Rosetta sont des sols riches en matière organique ainsi que la densité apparente est relativement faible par rapport aux sols du Bas Cheliff qui présentent des conditions agropédologiques tout à fait l'inverse. le second aspect relatif au choix des variables d'entrée pour améliorer la qualité de prédictions notamment dans les trois modèles du Rosetta. Utilisation du carbone organique comme input, s'avère primordiale dans les caractérisations des sols et amélioration de la précision de la prédiction des propriétés hydrauliques des sols (Schaap et al, 1998;. Schaap et Leij, 1998; Minasny et al, 1999, Koekkoek et Booltink, 1999).

Même si les erreurs de prédiction des trois modèles de Rosetta sont relativement importantes dans cette étude, les résultats peuvent être assez précis pour la plupart des

applications de prédiction des propriétés hydrauliques des sols dans d'autres contextes agropédoclimatiques. Les FPTs paramétriques dérivées pour prédire les paramètres de Van Genuchten, sont meilleures dans la description des variations de la rétention en eau à différents potentiels est cela est dû le fait que ce sont des modèles spécifiques aux sols algériens. Même si la performance du réseau de neurones artificiels est légèrement mauvaise que celle de la régression, ses avantages tels que la grande quantité de données d'entrée et de sortie à la fois, et le gain de temps et d'énergie, devrait motiver les chercheurs à travailler dessus plus loin.

**III .2.Etude de La sensibilité des estimations des
FPT spécifiques à la contribution de L'état
structural dans la variation des retentions en eau
des sols**

III.2. Etude de La sensibilité des estimations des FPT spécifiques à la contribution de L'état structural dans la variation des retentions en eau des sols

I. INTRODUCTION

Le facteur le plus important qui contrôle le rendement dans la plupart des sols algériens est la disponibilité de l'eau. L'information prédictive sur la distribution spatiale de l'eau du sol, et sur sa disponibilité pour les plantes, permettra aux producteurs de prendre des décisions efficaces afin de maximiser la rentabilité (par exemple la gestion des éléments nutritifs et de couvert végétal). L'équilibre sol-eau est au cœur de bon nombre des processus qui influencent la croissance des plantes et la dégradation des sols et des ressources en eau.

Le sol dans sa partie non saturée apparaît comme un complexe dynamique à trois phases : liquide, solide et gazeuse. La variabilité temporelle et spatiale de la phase liquide d'un sol se manifeste aussi bien sur le plan quantitatif que qualitatif. L'évolution de la quantité (volume) et de la qualité (composition de l'eau) découle d'une dynamique de transferts liée aux propriétés même de l'eau et aux caractéristiques du sol.

La description quantitative de la phase liquide repose sur les notions de la conductivité hydraulique et de la rétention en eau, cette dernière varie principalement en fonction de la structure du sol et de sa porosité.

Dans le chapitre précédent, Trois méthodes de modélisation ont été adoptées pour générer les fonctions de pédotransfert (PTFs) qui sont utilisés pour la prédiction de la rétention en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement de 54 échantillons de sol recueillis dans le bas Cheliff ; la régression linéaire multiple (RML) ; la régression multiple non linéaire (RMNL) et le réseau de neurones artificiels (RNA) de Rosetta (RNA; Pachepsky et al 2002) qui sont utilisées pour prédire les paramètres de la courbe de van Genuchten (van Genuchten 1980).

Dans cette partie de notre travail, nous avons pour objectif de poursuivre la discussion sur la performance des modèles développées, avec une analyse fonctionnelle de la sensibilité d'estimation des FPTs à L'état structural des sols.

II. LA COURBE MOYENNE DE LA RETENTION EN EAU DES SOLS DU BAS CHELIFF

D'abord, on suppose que le comportement hydrodynamique dans un sol non saturé est caractérisé par deux fonctions : la courbe de rétention en eau $h(\theta)$ et la courbe de conductivité hydraulique $K(\theta)$. La courbe de rétention contient au minimum trois(3) paramètres inconnus : deux paramètres de forme et un paramètre de normalisation. Les paramètres de forme des courbes de rétention sont m et n dans l'équation de van Genuchten, et sont principalement liés à la texture, alors que les paramètres de normalisation (θ_s) dépendent de la structure. Les relations de dépendance des paramètres de forme avec les propriétés texturales et des paramètres de normalisation avec les propriétés structurales sont vérifiées après l'application sur les sols du Bas Cheliff par la matrice de corrélation (Tableau 4.1).

La courbe moyenne issue des PTFs paramétriques présente des valeurs comparables à celles des valeurs mesurées entre pF 2.5 et pF 4.2, et cela a favorisé une bonne calibration des points mesurés et estimés à la capacité au champ et au point de flétrissement (Figure 4.1), affirme que le modèle de Van Genuchten 1980 convient le mieux pour décrire l'évolution de la rétention en eau des sols du Bas Cheliff en fonction du potentiel matriciel. La calibration des deux valeurs moyennes (pF2.5 et pF4.2) prédites par FPTs point est un peu moins acceptable par rapport aux résultats de la régression non linéaire. Tandis que la courbe estimée par le réseau neuronale artificiel de H3-Rosetta est inférieure aux données mesurées celui-ci dépend de plusieurs facteurs tels que : la ressemblance entre la région d'application et la région source de la base de données, le climat, la géologie. (Wagner et al. 2001 ; Wösten, et al. 2001, Ghorbani et al.2011).

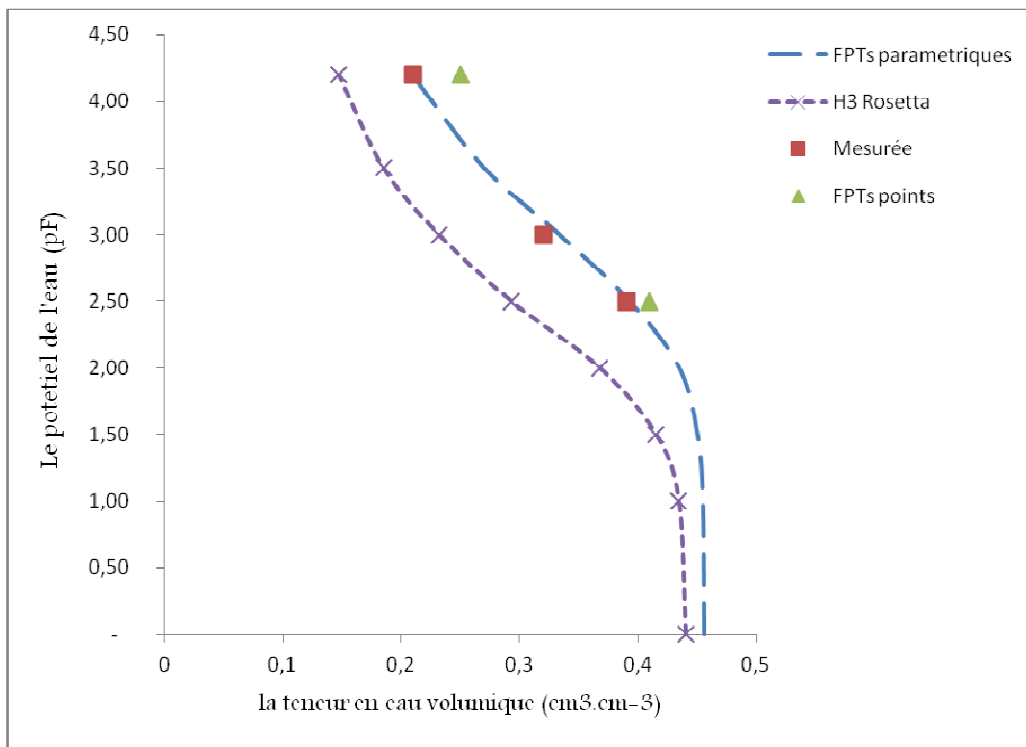


Figure 4.1 : la courbe moyenne de la rétention en eau des sols du Bas Cheliff

Or, il est raisonnable de considérer que les paramètres de forme, liés à la texture du sol, sont assez stables. En effet, la texture du sol présente beaucoup moins de variabilité au cours du temps et de l'espace que la structure [Zammit, 1999]. Par ailleurs, il est évident que l'introduction d'un nombre réduit de paramètres dans les FPT donne des estimations plus précises. De ce fait, seules les estimations via des FPT des paramètres liés à la texture seront plus stables et précises.

III. L'ORIGINE DE LA VARIATION DE L'ESTIMATION DE LA RETENTION EN EAU DES SOLS :

Dans le développement des fonctions de pédotransfert l'utilisation de la distribution des tailles des particules du sol (DTP) comme input est l'approche la plus commune, son apport est le plus fondamental dans la compréhension du processus de la rétention en eau à différents couples de succion. Bien que, de divers paramètres physiques et chimiques sont utilisés pour décrire la courbe de la rétention en termes de potentiel matriciel en fonction de la teneur en eau volumétrique tel que la densité apparente et la matière organique. Dans les sols du Bas Cheliff il est clair que la formation des FPTs point (RML) produit des variations d'estimation dans les deux niveaux du potentiel matriciel pF 2.5 et pF 4.2 contrôlées par l'état structural avec une bonne corrélation négative avec le sable (-0.94 -0.95) et la porosité (-0.49 -0.44) et

positivement avec l'argile (0.86 0.89) . Alors que la parfaite corrélation identique est enregistrée dans les estimations des FPTs paramétriques (RMNL) et de réseau neuronale artificiel, qui évolue positivement avec le teneur en argile (0.90 0.99). Quant à la capacité d'échange cationique (CEC) et les rétentions en eau mesurées et estimées, les coefficients de corrélation sont hautement significatifs. (Tableau 4.1).

Les propriétés physiques des sols sont fortement liés à la teneur en argile et aux caractéristiques de l'argile et la capacité d'échange cationique_ (Tessier et Pédro, 1987 ; Quirk, 1994). Plus de 90% des 54 échantillons de la base de données d'application sont de texture argileuse et argilo-limoneuse, dont il a été constaté que à chaque valeur de potentiel, la variation de la quantité d'eau retenue par le sol s'explique en premier lieu par la variation de teneur en argile (fraction $< 2\mu\text{m}$) et la proportion de variance expliquée augmente lorsque le potentiel décroît (Figure 4.2) . Ainsi, il a été montré que la rétention en eau des sols de texture argileuse est liée à la capacité d'échange cationique (Tessier *et al.* 1992) et la porosité.

Un grand nombre d'études publiées ces vingt dernières années sur les argiles ont montré qu'il existait une relation étroite entre les propriétés de rétention en eau et des caractéristiques des particules d'argile (Tessier, 1984 ; Tessier et Pédro, 1984 ; Bruand et Zimmer., 1992 ; Tessier *et al.*, 1999, Al madjou *et al.*, 2008). Dans le sol, les particules finement divisées comme les argiles ont la particularité de développer une grande surface spécifique au contact avec l'eau et de posséder une charge électrique superficielle importante. Ces fractions argileuses, grâce à leur fine taille ($< 2\mu\text{m}$), jouent un rôle privilégié dans la rétention en eau, la structuration des sols, mais aussi dans la rétention et la biodisponibilité des éléments chimiques indispensables aux plantes.

En complément de l'étude de la sensibilité d'estimation des FPTs par l'état structurale, la discussion de la variation des propriétés de rétention en eau des sols en relation avec la CEC du sol est nécessaire.

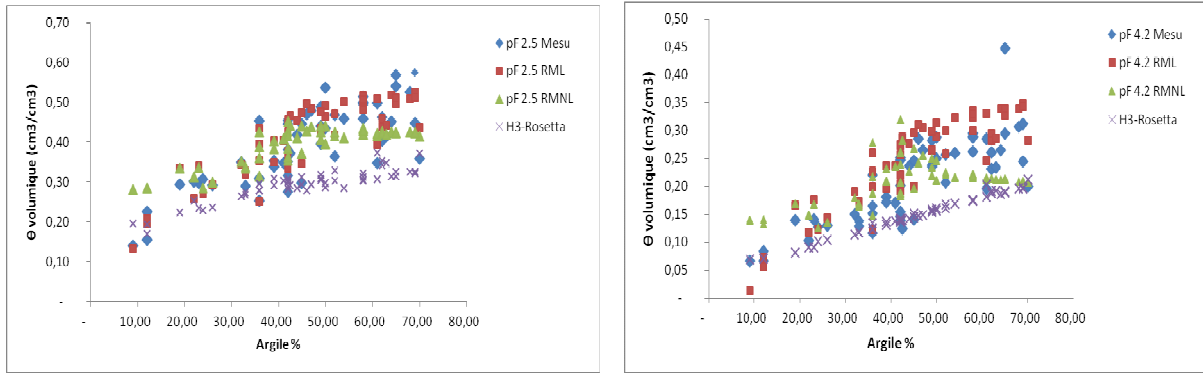


Figure 4.2 : les teneurs en volumiques mesurées et estimées en fonction de la teneur en argile des sols étudiés.

Tableau 4.1 : Matrice de corrélation (test de Pearson) a un seul de 5%

	Mesurée			Estimée															
				RML		RMNL								H3- Rosetta					
	pF2.5	pF3	pF4.2	pF2.5	pF4.2	pF1	pF1.5	pF2	pF2.5	pF3	pF3.5	pF4.2	pF1	pF1.5	pF2	pF2.5	pF3	pF3.5	pF4.2
Sans stratification (n=54)																			
S %	-0,853	-0,856	-0,808	-0,940	-0,950	-0,994	-0,993	-0,988	-0,976	-0,949	-0,897	-0,815	-0,479	-0,553	-0,718	-0,862	-0,879	-0,866	-0,858
A%	0,796	0,808	0,803	0,857	0,894	0,892	0,886	0,862	0,808	0,728	0,624	0,498	0,503	0,544	0,691	0,895	0,969	0,988	0,993
L%	0,191	0,174	0,084	0,251	0,198	0,293	0,303	0,339	0,421	0,523	0,622	0,699	-0,003	0,070	0,119	0,014	-0,097	-0,160	-0,187
DA	0,510	0,495	0,450	0,491	0,440	0,272	0,270	0,260	0,249	0,243	0,232	0,215	-0,758	-0,704	-0,528	-0,262	-0,101	-0,018	0,024
Q	-0,510	-0,495	-0,450	-0,491	-0,440	-0,272	-0,270	-0,260	-0,249	-0,243	-0,232	-0,215	0,758	0,704	0,528	0,262	0,101	0,018	-0,024
Mo(g/100g)	-0,013	0,032	0,062	0,138	0,132	0,126	0,130	0,131	0,112	0,077	0,039	0,002	0,314	0,300	0,297	0,307	0,301	0,292	0,284
CEC	0,711	0,728	0,712	0,773	0,791	0,811	0,812	0,808	0,787	0,744	0,676	0,586	0,452	0,492	0,613	0,762	0,805	0,809	0,807
Avec stratifications																			
Très fine (n=18)																			
S %	-0,738	-0,779	-0,692	-0,818	-0,853	-0,973	-0,978	-0,985	-0,979	-0,948	-0,887	-0,780	-0,082	-0,090	-0,236	-0,599	-0,795	-0,861	-0,881
A%	0,619	0,650	0,611	0,748	0,804	0,891	0,887	0,870	0,821	0,740	0,631	0,480	0,126	0,134	0,287	0,666	0,871	0,944	0,970
L%	-0,045	-0,037	-0,112	-0,192	-0,255	-0,231	-0,212	-0,159	-0,055	0,073	0,211	0,360	-0,138	-0,142	-0,220	-0,416	-0,523	-0,565	-0,589
DA	0,652	0,619	0,531	0,707	0,652	0,391	0,373	0,336	0,301	0,299	0,318	0,343	-0,964	-0,962	-0,910	-0,651	-0,365	-0,187	-0,086
Q	-0,652	-0,619	-0,531	-0,707	-0,652	-0,391	-0,373	-0,336	-0,301	-0,299	-0,318	-0,343	0,964	0,962	0,910	0,651	0,365	0,187	0,086
Mo(g/100g)	-0,095	-0,041	-0,065	0,143	0,135	0,208	0,221	0,246	0,258	0,236	0,191	0,128	0,388	0,389	0,437	0,512	0,501	0,467	0,438

CEC	0,436	0,470	0,411	0,519	0,533	0,626	0,635	0,649	0,654	0,632	0,585	0,504	0,168	0,174	0,273	0,500	0,604	0,628	0,628
Fine (n=28)																			
S %	-0,854	-0,840	-0,798	-0,929	-0,935	-0,992	-0,995	-0,997	-0,987	-0,951	-0,882	-0,792	-0,068	-0,082	-0,263	-0,656	-0,753	-0,757	-0,749
A%	0,792	0,810	0,803	0,776	0,828	0,805	0,791	0,751	0,670	0,554	0,412	0,269	0,134	0,123	0,300	0,790	0,952	0,985	0,993
L%	0,174	0,127	0,071	0,310	0,244	0,365	0,390	0,451	0,551	0,661	0,759	0,825	-0,087	-0,051	-0,026	-0,126	-0,209	-0,250	-0,273
DA	0,678	0,653	0,617	0,747	0,708	0,558	0,545	0,520	0,489	0,447	0,386	0,313	-0,841	-0,837	-0,721	-0,248	0,067	0,191	0,236
Q	-0,678	-0,653	-0,617	-0,747	-0,708	-0,558	-0,545	-0,520	-0,489	-0,447	-0,386	-0,313	0,841	0,837	0,721	0,248	-0,067	-0,191	-0,236
Mo(g/100g)	-0,298	-0,231	-0,108	-0,210	-0,229	-0,234	-0,226	-0,212	-0,214	-0,224	-0,224	-0,213	0,233	0,232	0,198	0,063	-0,024	-0,058	-0,071
CEC	0,624	0,621	0,633	0,644	0,667	0,680	0,676	0,662	0,628	0,566	0,480	0,387	0,160	0,165	0,311	0,635	0,711	0,715	0,714
Moyenne (n=8)																			
S %	-0,853	-0,856	-0,808	-0,940	-0,950	-0,994	-0,993	-0,988	-0,976	-0,949	-0,897	-0,815	-0,479	-0,553	-0,718	-0,862	-0,879	-0,866	-0,858
A%	0,796	0,808	0,803	0,857	0,894	0,892	0,886	0,862	0,808	0,728	0,624	0,498	0,503	0,544	0,691	0,895	0,969	0,988	0,993
L%	0,191	0,174	0,084	0,251	0,198	0,293	0,303	0,339	0,421	0,523	0,622	0,699	-0,003	0,070	0,119	0,014	-0,097	-0,160	-0,187
DA	0,510	0,495	0,450	0,491	0,440	0,272	0,270	0,260	0,249	0,243	0,232	0,215	-0,758	-0,704	-0,528	-0,262	-0,101	-0,018	0,024
Q	-0,510	-0,495	-0,450	-0,491	-0,440	-0,272	-0,270	-0,260	-0,249	-0,243	-0,232	-0,215	0,758	0,704	0,528	0,262	0,101	0,018	-0,024
Mo(g/100g)	-0,013	0,032	0,062	0,138	0,132	0,126	0,130	0,131	0,112	0,077	0,039	0,002	0,314	0,300	0,297	0,307	0,301	0,292	0,284
CEC	0,711	0,728	0,712	0,773	0,791	0,811	0,812	0,808	0,787	0,744	0,676	0,586	0,452	0,492	0,613	0,762	0,805	0,809	0,807

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

1. La texture

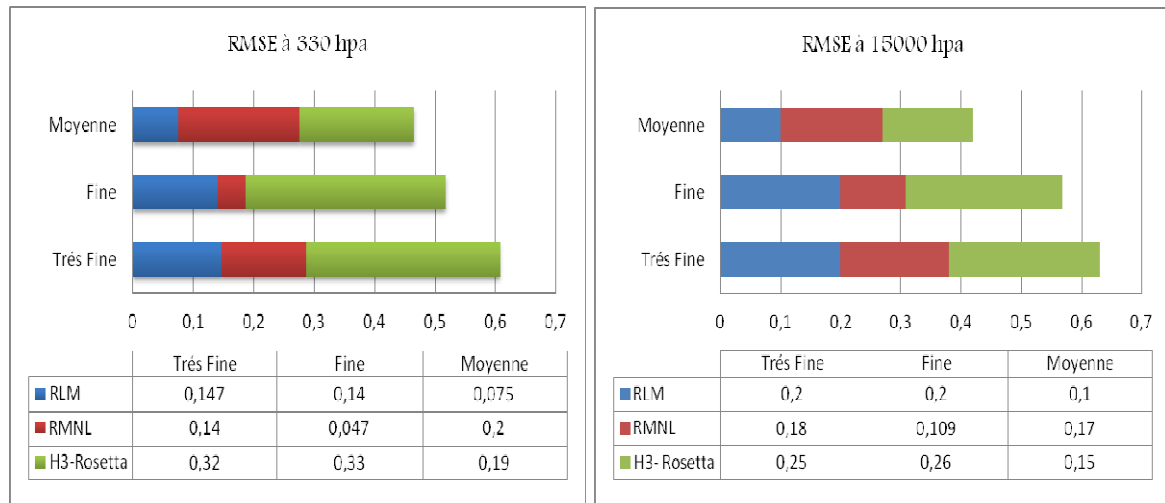
La distribution de la taille des particules a une très grande importance dans le comportement hydrique et physique des sols. Dans le temps, les observations des agriculteurs ont révélé qu'avec les mêmes caractéristiques climatiques, les rendements variaient en fonction du travail du sol. Les modifications physiques observées résultent de la réorganisation structurale et porale du matériau, conséquence des variations de la teneur en humidité. Les travaux de Tessier (1984) et Bruand (1985) ont montré qu'à un pF donné, la rétention en eau d'un échantillon de sol augmente avec la diminution de la taille des Particules.

Dans le but d'étudier l'influence de la taille des Particules, nous avons regroupé les échantillons en trois classes de particules en fonction de leurs tailles selon une variante texturale proposé par FOA (FOA, 1990) transposée sur le triangle texturale USDA (Figure 4.3), donne une classe très fine (N=18) et fine (N= 28) et moyenne (N=8) et cela tel qu'on peut étudier la sensibilité d'estimation des FPTs par la forme de la courbe de rétention en eau des sols résulte pour chaque classe.

Les Classes texturales établie ont conduit à une certaine explication de la sensibilité dans les estimations des FPTs à la taille des Particules (Figure 4.3). Le biais de la prédiction des points estimés via les FPTs paramétriques (les paramètres du modèle de Van Genuchten) est meilleur dans les deux classes Très fine et fine, le calibrage des points de la courbe de rétention d'eau en fonction des deux couples de pression à -330 et -15000 hpa est parfait. En revanche l'estimation des FPTs point est légèrement améliorée lorsqu'on passe de la classe très fine à la classe fine, mais le calibrage est bon face à une chute de qualité de prédiction des FPTs paramétriques dans la classe des particules de tailles moyennes (Figure 4.4).

Concernant la prise en compte couplée de la structure par l'intermédiaire de la densité apparente et la composition granulométrique dans la régression multiple linéaire, les résultats obtenus de l'application montrent une amélioration de la prédiction ; une stabilité de biais d'estimation des FPTs point dans les deux classes très fine et fine (Figure 4.3) en revanche la précision s'accroît dans la classe moyenne ($RMSE = 0,075 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ à -330 hpa). Cela peut s'expliquer sans doute en partie la conséquence des difficultés qu'il y a pour mettre en relation les propriétés de rétention en eau des échantillons avec leur composition granulométrique tant

que leur état structural peut être variable, ainsi que la conséquence des difficultés qu'il y a pour rendre compte de cet état structural et de ce que cela implique pour la géométrie de l'espace poral à l'aide de la densité apparente (Richard *et al.*, 2001).



La Figure 4.3: le critère *RMSE* calculé dans les trois classes

L'analyse de sensibilité de l'estimation est d'étudier comment les variables de sortie de la FPT réagissent à des perturbations de ses entrées, les résultats de la validation RMNL ont montré que une bonne qualité de prédiction est notée aussi bien dans la classe fine avec le biais le plus élevé ($RMSE = 0.047 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ à -330 hpa) que dans la classe très fine.

La courbe qui présente les écarts les plus faibles entre les valeurs mesurées est celle issue de l'application des fonctions de pédotransfert FPTs paramétriques (RMNL) et ceci peut s'expliquer que la relation entre les paramètres du modèle (θ_r , θ_s , α , m , n) et les propriétés physiques du sol n'est pas linéaire (Minasny et al. 1999). La prédiction de ces paramètres est sensiblement touchée par la variation de la quantité d'argile contenue dans chaque classe.

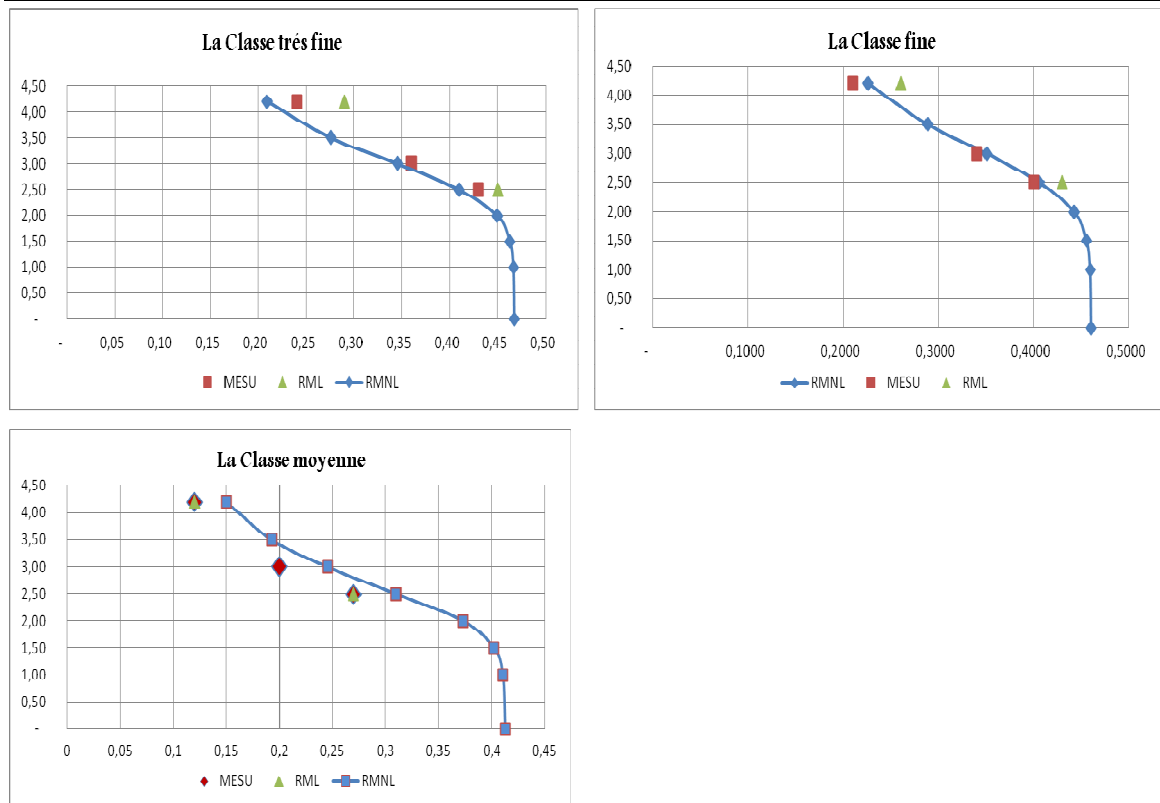


Figure 4.4 : les courbe moyenne de la rétention ne eau des sols étudiés par classe.

2. Influence du volume poral:

Si les variations des propriétés de rétention en eau sont en premier lieu liées à la texture, nous avons aussi montré que leur prédiction était sensiblement améliorée dès lors que l'on prenait aussi en compte l'état structural à l'aide de la stratification en fonction de la taille des particules. Ainsi, non seulement la nature des constituants (distribution de taille) est importante mais aussi le mode d'assemblage des constituants.

Les particules de la classe très fine et la classe fine ont une rétention en eau plus forte que celles de la classe moyenne, car drainant plus rapidement l'eau retenue initialement. En effet la qualité de prédiction de la régression multiple linéaire (FPTs point) en appliquant sur les particules de taille moyenne justifiée par le fait que le modèle est bien adaptée avec l'état structurale dans cette classe en présence de la densité apparente et le sable comme prédicateurs (Figure 4.5, c), explique la présence des macrospores. Alors qu'on observe qu'à contrainte égale, la teneur en eau est plus élevée dans la classe très fine et fine car constitués essentiellement de micropores fixant énergiquement l'eau.

Pour avancer dans cette idée, nous avons choisi de nous focaliser sur les sols de texture argileuse, et argilo-limoneuse et limono-argileuse. Un sous ensemble de 46 échantillons parmi les 54 sols étudiés, a été constitué pour lequel on peut faire des hypothèses simplificatrices quant à l'assemblage élémentaire.

La teneur en eau rapportée à la masse d'argile (W_{arg} en $g.g^{-1}$) a été calculée à partir de la teneur en eau de l'échantillon déterminée aux différentes valeurs de potentiel de la façon suivante :

$$W_{arg} = W / T_{arg}$$

Avec W_{arg} , teneur en gramme par gramme d'argile ($g.g^{-1}$).

T_{arg} , teneur en argile granulométrique ($g.g^{-1}$).

Le volume poral développé par la fraction argileuse dans ces sols (V_{arg} , en cm^3 par g d'argile) a été estimé lorsque le sol se trouve dans état d'hydratation proche de la capacité au champ (gonflement maximal) à partir du volume massique (V_t^{pr} , en cm^3 par gramme d'échantillon) :

$$V_t^{pr} = V_p + V_s$$

$$V_{arg} = V_p / T_{arg}$$

Avec V_t^{pr} volume massique de l'échantillon ($cm^3.g^{-1}$), V_{arg} , volume poral développé par la fraction argileuse (cm^3 par g d'argile), V_s , volume massique de la phase solide.

Il a été montré par Bruand et Tessier (2000) que l'arrangement des particules argileuses tel que l'on peut le caractériser à l'aide de V_{arg} est une grandeur explicatrice des propriétés de rétention en eau des sols. C'est effectivement le cas pour les 46 échantillons, aussi bien à 330 hPa mesurées qu'à -15000 hPa mesurées (Figure 4.5, a). La relation à -15000 hPa s'explique aisément par la taille des pores responsables de la rétention de l'eau à -15000 hPa et l'origine de tels pores est liée à l'assemblage des particules d'argile. La même qualité du biais entre le volume poral d'argile et la quantité d'eau retenue en graduation ascendante en fonction de la taille des particules en validant les trois méthodes de la modélisation utilisées dans le développement des FPTs dans cette étude (RML, RMNL, Réseau de neurone de Rosetta). Cependant, la relation étroite entre la quantité d'eau retenue issue des prédictions des FPTs paramétriques (RMNL) à -10hPa et V_{arg} est plus surprenante (Figure 4.5, b). Elle s'explique sans doute par le fait que la contribution de la porosité liée à l'assemblage des

particules d'argile représente l'essentiel du volume poral d'un échantillon de sol que les pores de grande taille liée à l'activité biologique ou structurale ne représentent en fait qu'une très faible proportion de la porosité totale.

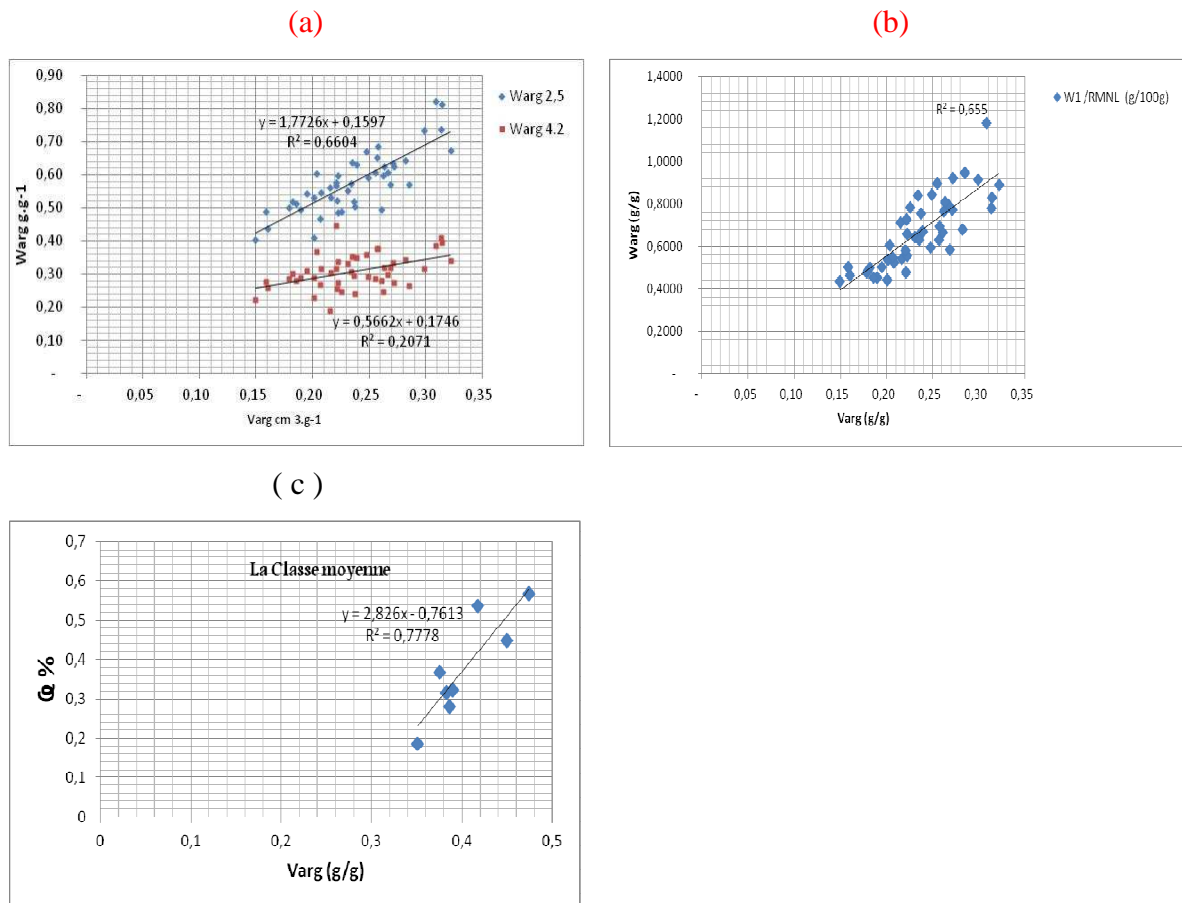


Figure 4.5 : (a) la quantité d'eau retenue en fonction du volume poral développé par la fraction argileuse à un pf 2.5 et pF 4.2, (b) la quantité d'eau retenue en fonction du volume poral développé par la fraction argileuse à un pf 1 , (c) la porosité en fonction du volume poral développé par la fraction argileuse dans la classe moyenne.

3. La capacité d'échange cationique du sol :

Dans la base de données de validation, la capacité d'échange cationique (CEC) du sol est apparente être une fonction linéaire de contenu de l'argile et de la rétention en eau aux différents potentiels (Figure 4.6, a). Les résultats montrent que dans la classe très fine, présentent une capacité d'échange cationique élevée avec une bonne rétention d'eau (Figure 4.6, b). Ce constat est valable quant aux estimations des FPTs développées dans cette étude.

Aux différents potentiels, la rétention en eau mesurée est fortement corrélée avec la CEC du sol à un seuil de 5 % (0.711 et 0.72 et 0.71 au pF 2.5, pF 3 et pF 4.2 respectivement). La même tendance du niveau de corrélation à été enregistrée pour les estimations de FPTs point, paramétriques et de H3-Rosetta. Cette relation indiquerait que CEC du sol peut être considérée comme un bon estimateur.

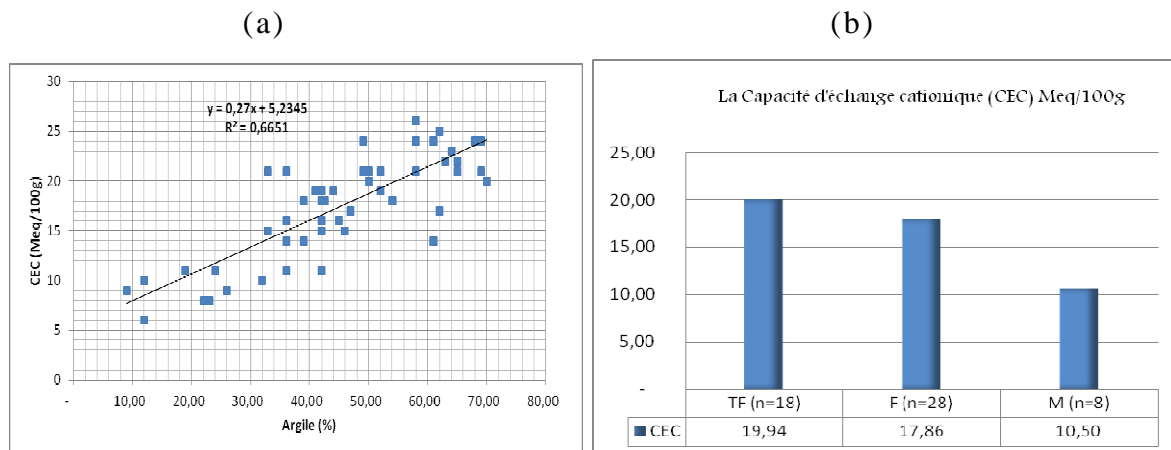


Figure 4.6 : (a) la CEC du sol en fonction de la quantité d'argile, (b) la CEC dans les trois classes d'agrégats.

. Aucune signification n'a été notée entre la CEC sol et limon cela peut être expliqué par la faiblesse de la contribution de cette fraction dans la variation de la rétention ne eau des sols du Bas Cheliff par rapport aux influences de la densité apparente et du sable. Une signification de ($r=0.33$) à un seuil de 5% à été noté, entre la matière organique est la CEC, évaluée d'une manière statistique en la faiblesse du taux de la matière organique dans nos sols et confirme que l'argile est un facteur déterminant des propriétés de la rétention en eau des sols du Bas Cheliff.

**III.3.EVALUATION DES FONCTIONS DE
PEDOTRANSFERT POUR PREDIRE LES RETENTIONS
EN EAU A LA CAPACITE AU CHAMP ET AU POINT DE
FLETRISSEMENT DES SOLS**

III. Evaluation des fonctions de pédotransfert pour prédire les rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement des sols

I. INTRODUCTION

Malgré le nombre très élevé des FPT proposées dans la littérature, peu d'études ont eu pour objet de discuter leurs évaluations dans des contextes agropédoclimatiques différents à celles de leurs développements. En revanche les recherches ont concentrés sur la discussion de leurs capacités à estimer avec plus ou moins de justesse les teneurs en eau mesurées pour des échantillon qui ont relativement la même nature des constituants du sol (Williams *et al.*, 1992 ; Tietje et Tapkenhinrichs, 1993 ; Kern, 1995 ; Pachepsky *et al.*, 1998 ; Bastet *et al.*, 1998 et 1999 ; Schaap *et al.*, 2001 ; Cornelis *et al.*, 2001 et 2005 ; Wösten *et al.*, 2001 ; Donatelli *et al.*, 2004). Or, Nemes *et al.*, (2003) ont montré que l'utilisation de FPT établies à une échelle donnée conduisent à des prédictions de qualité dégradée quand elles sont appliquées à une plus petite échelle, c'est-à-dire pour des sols correspondant à une gamme de variabilité plus grande. Tomasella *et al.* (2003) a aussi montré que lorsque des FPT établies à une échelle donnée sont appliquées à des sols de nature différente, la qualité des prédictions est inférieure à celle enregistrée lorsqu'elles sont appliquées à des sols de nature proche.

On peut alors s'interroger sur la pertinence de FPT établies à partir des sols localisés dans un contexte agropédoclimatique déférent lorsqu'elles sont utilisées pour prédire les propriétés de la rétention en eau des sols du territoire algérien.

Dans ce chapitre nous allons discuter l'efficacité de transposer des FPT sur les sols du Bas Cheliff pour estimer les rétentions en eau (la capacité au champ $\theta_{2.5}$ (à -330 hPa) et au point de flétrissement $\theta_{4.2}$ (à -15000 hPa).

II. LA BASE DE DONNEES D'EVALUATION:

La base de données rassemble 134 échantillons prélevés aléatoirement à partir des sols du Bas Cheliff, la composition granulométrique, la densité apparente, la teneur en carbone organique ainsi que les teneurs en eau volumiques aux deux valeurs de potentiel -330 hPa ($2,5$ à $pF = 2,5$), et -15000 hPa ($4,2$ à $pF = 4,2$), sont connues. Cet ensemble comprend 58 horizons de surface A ou L (de 0 à 30 cm de profondeur) et 76 horizons de subsurface E, B et C (> 30 cm de profondeur). Les paramètres du modèle de Van Genuchten calculés par le programme RETC avec $m = 1 - 1/n$ (Tableau 5.1 et 3.2).

Tableau 5.1 : Caractéristiques des sols sélectionnés.

	Granulométrie (%)			DA (g/cm ³)	Mo (g/100g)	Teneur en eau volumique (cm ³ .cm ⁻³)	
	S %	L%	A%			2,5	4,2
Moyenne	17,88	41,65	40,47	1,63	0,98	0,40	0,22
Écart-type	14,59	9,27	14,24	0,21	0,62	0,10	0,08
Minimum	0,0	17,00	4,00	0,60	0,20	0,13	0,05
Maximum	63,00	67,00	70,00	2,00	6,10	0,61	0,45

Tableau 5.2 : Les paramètres du modèle Van Genuchten des sols sélectionnés.

Paramètres de Van Genuchten					
	θ_r	θ_s	α	n	m
Moyenne	0,0696	0,4333	0,0060	1,5175	0,3285
Écart-type	0,0178	0,0498	0,0111	0,2287	0,0852
Minimum	0,0290	0,3078	0,0002	1,1078	0,0973
Maximum	0,1191	0,6141	0,0842	2,3856	0,5808

III. DESCRIPTION DES FPT SELECTIONNEES

L'étude portait sur l'évaluation des Huit (08) FPT, considérées parmi les plus citées dans la littérature, qui ne prennent en compte que des caractéristiques de constitution des sols.

Les FPT sélectionnées permettaient soit d'estimer la rétention en eau des sols à des valeurs particulières de potentiel (estimation ponctuelle), soit d'estimer de façon continue la rétention en eau des sols à l'aide d'une fonction paramétrée; étaient pour l'essentiel Des FPT point; Rawls et al. (1982), Ghorbani Dashtak Homae (2004) Type1 et celles des FPT paramétriques de : Saxton et al. (1986), Rosetta (Schaap et al. 2002), Ghorbani Dashtak Homae (2004) type3, Vereecken et al. (1989), Rawls and Brakensiek (1989), Campbell (1974). Les FPT à fondement physique n'ont pas été retenues dans l'évaluation effectuée dans ce travail parce qu'elles nécessitent une connaissance de la distribution de taille de particules détaillée, donnée qui n'est généralement pas disponible,

Le Tableau 5.3 donne un aperçu des données d'entrée nécessaires pour les différentes FPT utilisées dans ce travail.

A. Origine des sols utilisés pour établir des FPT sélectionnées

Les sols utilisés pour développer les FPT ont des origines qui peuvent être très variables mais d'une façon générale, les chercheurs ont généralement développé des FPT pour les sols des pays où ils conduisaient leurs recherches. Ainsi Rawls *et al.* (1982), Cosby *et al.* (1984) et Gupta et Larson (1979) ont établi des FPT pour les sols du continent Nord- américain alors Hall *et al.* (1977) en ont développé pour la Grande Bretagne, ou encore Vereecken *et al.* (1989) pour les sols de Belgique et récemment par Bruand *et al.* (1996 et 2003) portait sur un jeu d'échantillons issus de sols de France et Ghorbani Dashtak Homae (2004) sur les sols iraniens,

En Algérie il n'y a pas eu d'étude réalisée à l'échelle des sols du territoire national ni régional jusqu'à présent, en raison de l'absence d'un jeu de données que l'on puisse considérer comme représentatif. Il y a eu en revanche un certain nombre de travaux portent sur l'étude des propriétés hydrodynamiques réalisées sur des sols représentatifs de certaines régions.

Plus généralement, l'établissement de FPT nécessite la connaissance des propriétés de rétention en eau et de caractéristiques de constitution (composition granulométrique, teneur en carbone organique, densité apparente, etc.) d'un ensemble suffisant d'échantillons pour que cela ait un sens statistiquement (robustesse des relations établies) et pédologiquement (représentativité par rapport à une variabilité pédologiques). Un certain nombre de bases de données de sols, ou parfois plus modestement d'ensembles de sols limités à plusieurs d'horizons, ont été utilisés pour établir des FPT. De nombreux travaux ont ainsi utilisé la base de l'USDA aux Etats-Unis. En particulier aux Etats-

Unis (USDA Natural Resource Conservation Service, 1994 ; Williams *et al.* 1992 ; Tietje et Tapkenhirichs, 1993 ; Kern, 1995 ; Leij *et al.* 1996 et 1999).

Tableau 5.3: Les paramètres d'entrées nécessaire pour le développement des FPT évaluées.

Auteurs	Nombre d'Echant	Origine des sols	Variables prises en compte					
			<i>pF</i> 2.5	<i>Sa</i>	<i>Li</i>	<i>Ar</i>	<i>MO</i>	<i>Da</i>
Rawls et al. (1982)	2541	Etats-Unis	<i>pF</i> 2.5	+		+	+	
			<i>pF</i> 4.2			+	+	
Rawls et Brakensiek (1985)	5320	Etats-Unis	<i>pF</i> 2.5	+		+		+
			<i>pF</i> 4.2	+		+		+
Vereecken et al(1989)	182	Belgique	<i>pF</i> 2.5	+	+	+	+	+
			<i>pF</i> 4.2	+	+	+	+	+
Saxton et al. (1986)	<i>np</i>	USA	<i>pF</i> 2.5	+		+		
			<i>pF</i> 4.2	+		+		
Rosetta-H3 (Schaap et al. 2002)	24691	Nord de l'Amérique et l'Europe	<i>pF</i> 2.5	+	+	+		+
			<i>pF</i> 4.2	+	+	+		+
Campbell (1974)	1400	USA	<i>pF</i> 2.5	+		+		+
			<i>pF</i> 4.2	+		+		+
Ghorbani Dashtak Homae (2004) Type1	234	Iran	<i>pF</i> 2.5	+	+	+		+
			<i>pF</i> 4.2			+		
Ghorbani Dashtak Homae (2004) Type3	234	Iran	<i>pF</i> 2.5	+		+		+
			<i>pF</i> 4.2	+		+		+

MO : la matière organique, *Da* : la densité apparente, *Ar* ; *Li* ; *Sa* : argile, le limon et le sable. *np* : non précisé.

Les sols iraniens: Deux cent trente-quatre (234) échantillons de sol ont été prises au hasard parmi les 30 premiers centimètres du Torriorthents, Calcixerepts, Haplocalcids et groupes Haplocambids grand terroir (Soil Survey Staff, 2006) à partir des Plaines Karaj et Naghade en Iran. Les précipitations annuelles est de 231 mm, et les températures maximales, moyenne, et minimales sont 36,4, 16,6 et 1,4 ° C, respectivement.

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

A. Estimation de la teneur en eau à la capacité au champ et au point flétrissement

Les résultats obtenus montrent clairement que la plupart des méthodes sous estiment sensiblement la teneur en eau dans les deux niveaux de pression (CC et pF). Le paramètre statistique, *GMER* (le Tableau 5.4) a confirmé que seules les FPT de Rawls et al, (1982) et Vereecken et al. (1989), ont surestimé la teneur en eau. à -1500 Kpa. Les valeurs *GMER* de Rawls et al, (1982), Ghorbani Dashtak Homae (2004) Type1 sont de l'ordre de 1,001 et 0,92, à la capacité au champ et au point de flétrissement respectivement, ce qui indique une bonne adéquation entre les valeurs estimés et mesurés de la teneur en eau.

En effet les valeurs de RMSE agrémentent celles de GMER, les plus faibles valeurs sont enregistrées pour Rawls et al, (1982) de $0,077 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ et Ghorbani Dashtak Homae (2004) Type1 de $0,064 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ à la capacité au champ et au point de flétrissement respectivement.

Dans le même tableau, la valeur de l'AIC, a montré que la meilleure FPT pour l'estimation de la teneur en eau à la capacité au champ était Rawls et al (1982) et Saxton et al. (1986). Ghanbarian-Alavijeh et Liaghat (2009) et Y.Abbasi et al. (2011) ont également constaté que le modèle Saxton et al. (1986) estimé mieux sur les sols iraniens que les autres PTF tels que Campbell (1985).

Bien que les FPT de Ghorbani Dashtak Homae (2004) Type1 ont été développées pour les sols iraniens dans un contexte agropédoclimatique presque similaire a ce des sols ciblés dans cette étude, leurs estimations de la rétention en eau a la capacité au champ restent loin de la précision, en revanche les valeurs de AIC quant à la prédiction de la rétention en eau au point de flétrissement (pF 4,2), montrent que l'application de la FPT de GH-1(2004) était la meilleure par rapport aux autres méthodes (Figure 5.1); et cela confirme le concept que PTF développées sur des sols dont le contexte agropédoclimatique semblables à ce de la zone d'étude, réussissent mieux que d'autres modèles.

Le Tableau 5.4 : les critères statistiques calculés pour évaluer l'estimation de la rétention en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPT sélectionnées dans cette étude.

	Θ (-330 hPa)			Θ (-15000 hPa)		
	$\text{Cm}^3.\text{cm}^{-3}$					
	GMER	RMSE	AIC	GMER	RMSE	AIC
Saxton et al. (1986)	0,976	0,082	- 669,143	1,081	0,071	- 707,501
Rawls et al. (1982)	1,001	0,077	- 683,434	1,139	0,067	- 719,537
Rosetta (Schaap et al. 2002)	0,685	0,169	- 467,210	0,665	0,101	- 603,703
Ghorbani dashtaki et Homaee (2004) type1	0,661	0,157	- 492,779	0,924	0,064	- 733,480
Ghorbani dashtaki et Homaee (2004) type3	0,655	0,157	- 45,171	0,786	0,076	- 672,374
Vereecken et al.(1989)	0,874	0,117	- 566,157	1,235	0,080	- 668,066
Rawls et Brakensiek (1989)	0,392	0,248	- 371,790	0,714	0,121	- 550,310
Campbell(1974)	0,315	0,264	- 352,856	0,382	0,118	- 568,299

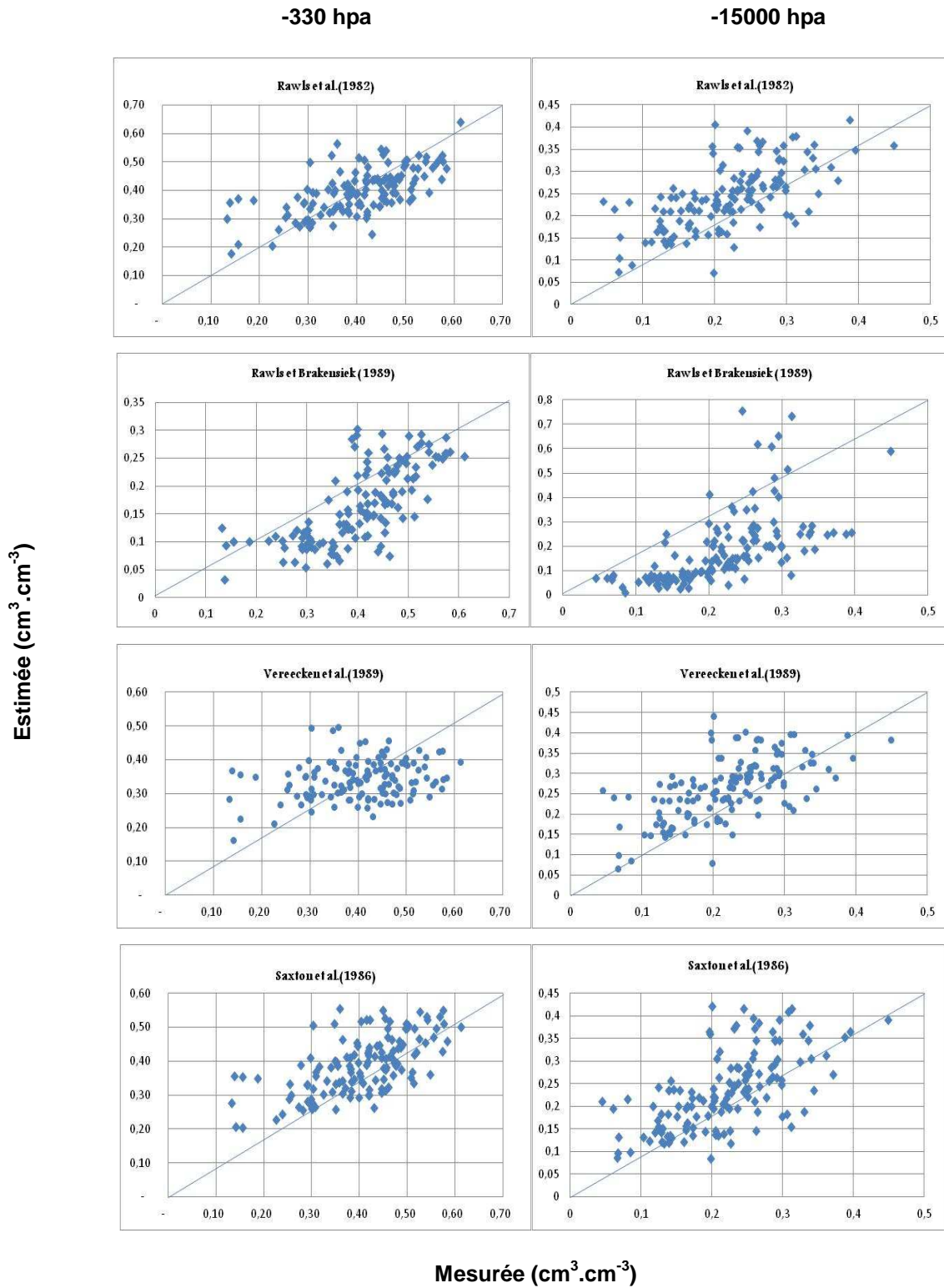


Figure 5.1. Prédications des rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPT sélectionnées dans cette étude.

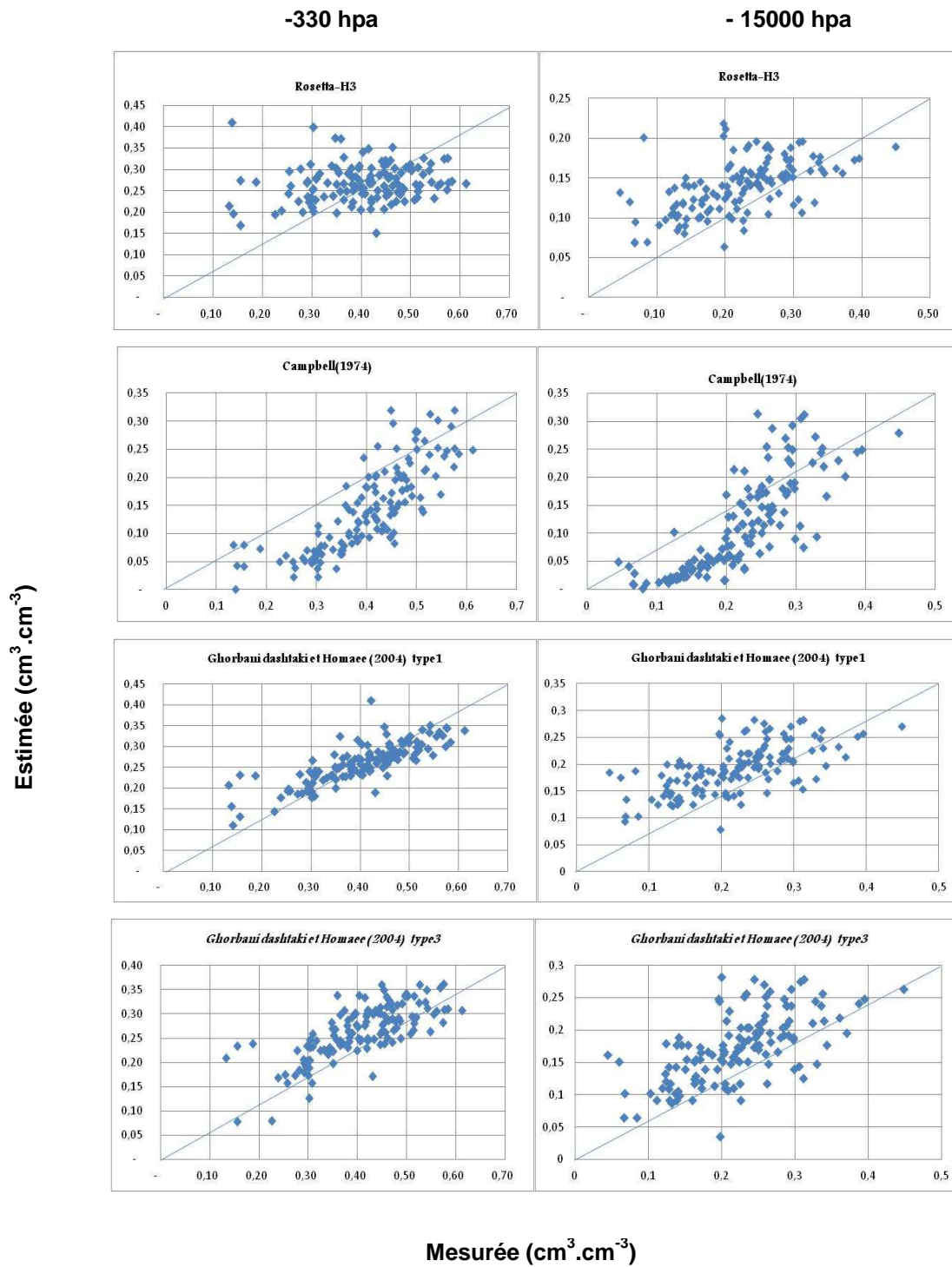


Figure 5.1. (Suite) Prédications des rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPT sélectionnées dans cette étude.

Le troisième modèle de Rosetta (H3) implique une approche basée sur le réseau de neurones artificiels pour prédire les paramètres de la courbe de rétention en eau de van Genuchten (1980) à partir de la texture et de la densité apparente. Plusieurs auteurs tels que Schaap et al. (2001), Minasny et McBratney (2002), Ghorbani Dashtaki et Homae (2004), et Khodaverdiloo Homae (2004) ont montré que le modèle Rosetta sous estime la rétention en eau ce qui a été confirmé dans cette étude par la valeur GMER (<1).

B. Discussion

Les raisons des faibles précisions des FPT évaluées peut être dû à:

1. **Les données d'application** : Tous les échantillons utilisés dans cette étude ont été prélevés dans un contexte totalement différent à ce des données du développement des FPT évaluée à l'exception des modelés de Ghorbani Dashtak Homae (2004) Type1 [GH-1 (2004)], cela peut indiquer que la performance d'une FPT peut être influencée par l'origine géographique des ensembles de données utilisés dans sa construction (Cornelis et al, 2001; Wagner et al, 2001) et que l'application des FPT dérivées à partir d'une large gamme de variation des sols (hétérogénéité) se comportent beaucoup mieux qu'autres modèles dérivés à partir des ensembles de données provenant des contextes agropédoclimatiques particuliers, les résultat montrent que le biais de prédiction le plus faible à -330 hPa et -15000 hpa enregistré par *Rawls et Brakensiek (1985)* ($RMSE = 0,25 - 0,121 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$) et *Campbell (1974)* ($RMSE = 0,26 - 0,118 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$). Ce fut attribué au fait que la texture et la densité apparente des sols du Bas Chelif ne sont pas dans la gamme de ceux utilisés pour développer ces modèles.
2. **La matière organique** : Les sols de l'Algérie présentent un taux faible de la matière organique (MO), Dans la plupart des échantillons de sol utilisés dans cette étude, la valeur MO est inférieure de 16 g kg^{-1} (Figure. 3.2.) cependant toutes les FPT évaluées, sauf Ghorbani Dashtaki et Homae (2004) ont été basés sur des sols de l'Europe ou des États-Unis, où les valeurs de la matière organique sont beaucoup plus élevés que ceux des échantillons utilisés. Nemes et al. (2005) ont rapporté les valeurs de l'MO de $0,9$ à $78,9$, de $1,0$ à $64,8$, et $1,0$ à $44,0 \text{ g kg}^{-1}$ pour l'ensemble des données européens, hongrois, et

américaines, respectivement. D'une part, la matière organique affecte la distribution de la taille des pores à travers le développement structure du sol. La présence de débris organiques et la concentration des matières organiques favorise le développement d'une activité biologique dans le sol qui aboutit à l'évolution des voies tortueuses par conséquent l'établissement d'une porosité continue qui accueille et stocke de l'eau. D'autre part, la matière organique maintient l'eau des puits et ne lui permet pas de circuler librement (Nemes et al. 2005). Nemes et al. (2005) a trouvé une relation négative entre la matière organique et conductivité hydraulique saturée pour une large gamme de sols.

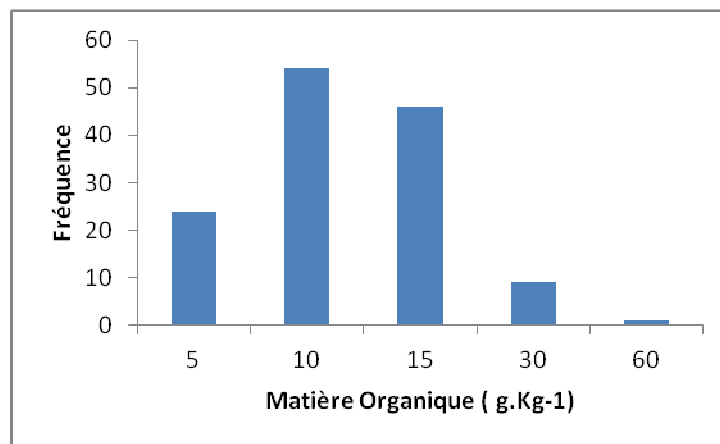


Figure 5.2 : représentation fréquentielle de la matière organique des échantillons utilisés.

3. Les modèles mathématiques utilisés : La formation du modèle mathématique en matière de choix des inputs et des méthodes adoptées dans la modélisation (la régression multiple linéaire ou non linéaire et le réseau des neurones artificiels) joue un rôle décisif dans l'amélioration de l'estimation de la FPT. Dans le Tableau 5.4 l'évaluation statistique enregistre la meilleure performance pour la FPT de Rawls et al. (1982) et un bon classement de la FPT de Vereecken et al. (1989) par rapport aux autres méthodes qui marquent des mauvaises prédictions, cela peut s'expliquer par le fait qu'elles sont les seules qui ont besoin de matière organique comme entrée, Rawls et al. (2003) a conclu que le carbone organique et la densité apparente améliorent les estimations de la rétention en eau des sols. Rawls et Brakensiek (1982), Rawls et al. (1983), De Jong (1983), Jamison et Kroth (1958), Petersen et al. (1968), Riley (1979), Ambroise et al. (1992) et Kern (1995), tous constaté que l'inclusion de la teneur en carbone organique comme une entrée pour

les PTF a été utile dans l'amélioration des estimations de l'eau du sol à -33 et -1500 kPa. Bell et Van Keulen (1995), Beke et McCormick (1985) et McBride et MacIntosh (1984) a également vu la nécessité d'utiliser le contenu en carbone organique dans l'estimation de la teneur en eau au point de flétrissement, En revanche, Calhoun et al. (1973) ont constaté que la matière organique est un input, fiable pour améliorer la prédiction à -33 kPa. Lal (1979).

Quant à la qualité des estimations des FPT de Saxton *et al.* (1986) à pF 4.2 et G-1 (2004) à pF 2.5 est due le fait que ces deux modèles sont basés sur l'argile et le sable comme inputs. La variation de la quantité d'eau retenue par le sol du Bas Cheliff s'explique en premier lieu par la variation de teneur en argile et le sable ; La proportion de variance expliquée augmente lorsque le potentiel décroît. Ainsi, la teneur en argile explique 32 et 40 % de la variabilité de la teneur en eau du sol, également la teneur en sable explique 53 et 50% lorsque l'on passe de -330 hPa à -15000 hPa (Tableau 5.5).

Tableau 5.5 : Coefficients de détermination (R^2) des sols étudiés

Variables	S %	L%	A%	Mo (g/100g)
S %	1	0,126	0,630	0,015
L%	0,126	1	0,082	0,000
A%	0,630	0,082	1	0,013
Mo (g/100g)	0,015	0,000	0,013	1
DA	0,002	0,011	0,012	0,007
Θ (—330 hPa)	0,529	0,077	0,318	0,028
Θ (—15000 hPa)	0,490	0,017	0,399	0,038

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Quant aux méthodes de modélisation adoptées dans le développement des FPT, on révèle que Les valeurs de RMSE associées aux GMER évoluent inversement (Figure 5.3.) RMSE diminuent lorsqu'on passe d'une régression multiple non linéaire [Rawls et Brakensiek (1985) et Campbell (1974)] et d'une régression basée sur le réseau neuronal artificiel [Rosetta (Schaap et al. 2002)] à une régression multiple linéaire (Rawls *et al.* (1982), Et GH-1 (2004).

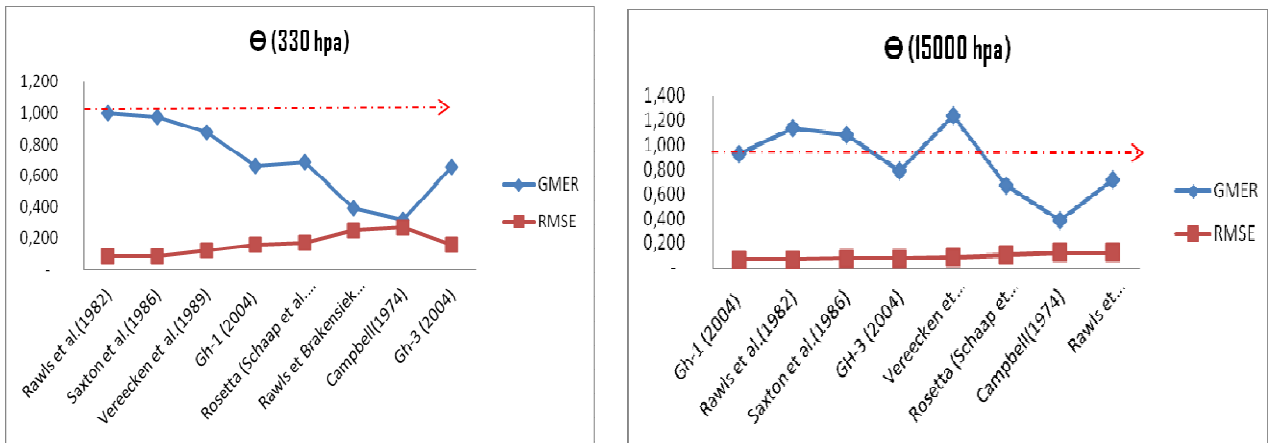


Figure 5.3 : Représentation graphique des critères d'évaluation

Chapitre VI

CONCLUSION GÉNÉRALE

Chapitre VI : Conclusion générale

Le développement de fonctions de pédotransfert (FPT) ces trente dernières années a conduit à deux grands types d'approche :

- l'un a consisté à établir des FPT par classe de composition (classes de fonctions de pédotransfert, CFPT ou class-PTFs en anglais). Les propriétés de rétention en eau sont alors prédites sous la forme de jeux de valeurs de teneur en eau à différentes valeurs de potentiel pour chaque classe de composition ou sous la forme d'une courbe décrivant de façon continue les variations de teneur en eau en fonction du potentiel pour chaque classe de composition ;
 - l'autre consiste à établir des FPT qui varient de façon continue en fonction de la composition (fonctions de pédotransfert continues, FPTC ou continuous-PTF en anglais). Les propriétés de rétention en eau sont dans ce cas prédites soit de façon ponctuelle, chaque valeur de teneur en eau à une valeur de potentielle étant reliée à la composition du sol, soit sous la forme d'une courbe, les paramètres d'ajustement du modèle de courbe étant reliés de façon continue à la composition du sol.
- **Elaboration & test des FPT spécifiques aux sols Algériens pour prédire propriétés de la rétention en eau :**

Dans ce chapitre nous avons présenté le développement et la validation des FPT spécifiques point et paramétriques pour l'estimation de la rétention d'eau à la capacité au champ et au point de flétrissement à partir d'une base de données composée de quelques sols algériens en utilisant les techniques de régression et les réseaux de neurone artificiels.

Les tests de fiabilité montrent que les FPTs dérivées fournissent de meilleures estimations de la rétention d'eau dans les sols algériens que le paquet de Rosette qui a été développé à l'origine d'une grande Base de données intercontinentale. Cela peut indiquer que la performance d'une FPTs peut être influencée par l'origine géographique des ensembles de

données utilisés dans sa construction (Cornelis. et al, 2001; Wagner et al, 2001). En effet les FPTs point prédisent un peu mieux que les FPTs paramétriques et cela confirme que la rétention en eau des sols est contrôlée par différentes variables indépendantes comme la matière organique à des différents points de potentiel d'eau du sol, et ces différences ne sont pas directement liées à des paramètres de la courbe de rétention d'eau tel que le modèle de van Genuchten. Tomasella et al. (2003) a tiré une conclusion semblable.

- **Etude de La sensibilité des estimations des FPT spécifiques à la contribution de L'état structural dans la variation des retentions en eau des sols :**

Nous avons pour objectif d'analyser la sensibilité d'estimation des propriétés de rétention en eau des sols du Bas Cheliff par les fonctions de pédotransfert, nos résultats montrent que la formation des modèles en matière de variable d'entrée et de la méthode adoptée, réagit différemment dans l'estimation des retentions en eau, et aussi influencée par la taille et le mode d'assemblage des particules et les différences de la teneur en argile. L'analyse des variations du volume poral développé par la fraction argileuse a montré qu'il est lié à la capacité d'échange cationique du sol.

La courbe de la rétention d'eau, qui a été établie pour les trois classes, se révèle être une donnée essentielle pour la connaissance des sols. Elle renseigne en effet sur le comportement d'hydrodynamique du sol. En outre, dans les sols de texture argileuse et argilo-limoneuse et limono-argileuse, les méthodes non linéaires basé sur des variables de texture notamment la fraction argileuse, se comportent beaucoup mieux dans l'estimation de la courbe moyenne de rétention en eau. En revanche dans les sols bien structurés la régression linéaire multiple a fait preuve d'une qualité d'estimation meilleure, basée sur la densité apparente et la fraction sableuse comme inputs. En outre, les résultats suggèrent que les FPT paramétriques dérivés devraient être utilisées pour estimer les courbes de rétention plutôt que les PTFs point.

- **Evaluation des fonctions de pedotransfer pour prédire les retentions en eau la capacité au champ et au point de flétrissement des sols :**

Les Huit FPT point et paramétriques ont été évaluées pour prédire la rétention en eau à la capacité au champ θ_{CC} (-330 hPa) et au point de flétrissement θ_{pF} (-15000 hPa) pour les sols du Bas Cheliff de l'Algérie. Les résultats ont montré que les meilleurs modèles dans l'estimation sont Rawls et al, (1982) et GH -1 (2004), respectivement.

Comme les FPT de Ghorbani Dashtak Homae (2004) Type1 ont été développées dans un contexte agropédoclimatiques similaire à ce des sols utilisées dans l'évaluation, ces modèles ont été classés comme la PTF le plus approprié pour estimer la rétention en eau au point de flétrissement.

Il est en effet important de considérer la gamme de sols sur laquelle ont été définies les différentes fonctions de pédotransfert : si la FPT a été initialement déterminée dans un contexte très précis de climat ou pédogenèse ou de matériau parental, elle sera très précise et non biaisée si on l'utilise dans le même contexte. Dans un contexte différent, elle conduira à des estimations totalement erronées. En revanche, si la FPT a été déterminée sur un grand nombre d'horizons de sols différents, couvrant de larges territoires et des contextes agropédoclimatiques variés, elle sera utilisable sur des sols très variés mais sera en revanche peu précise, nous éviterons, comme encore trop souvent aujourd'hui, d'avoir recours :

- ✓ Soit à des FPT établies à partir de jeux de données représentatifs à l'échelle d'un pays, voire d'un continent, mais de très médiocre qualité dès lors qu'elles sont utilisées à l'échelle d'une région ou, encore pire, d'une zone de plus petite taille ;
- ✓ Soit à des FPT établies à partir d'un jeu de données représentatif de quelques types de sols, voire d'une unité de paysage, mais de très médiocre qualité lorsqu'elles sont utilisées à l'échelle d'une région ou, encore pire, d'un territoire national.

Il est important donc que l'utilisateur définisse a priori, selon l'application des FPT qui l'intéresse, s'il souhaite une estimation très précise et accepte donc un risque de biais élevé, ou une estimation peu précise mais relativement fiable.

Liste Des Figures

Chapitre I : Prédiction des propriétés de rétention en eau des sols Synthèse bibliographique

Figure 1.1 : Courbe de rétention en eau d'un sol de texture (sableux et argileux) selon Musy et Soutter (1991).	7
Figure 1.2 : Représentation schématique des différents modèles de courbes utilisés (d'après Bastet et al. 1999).	16
Figure 1.3: Comparaison effectuée par Wösten et al. (2001) des FPT développées avec des différentes régions du monde et testées avec la base de données de Oklahoma. (o) teneur en eau mesurée à -330 hPa et à -15000 hPa. (●) teneur en eau prédite.	41
Figure 1.4: Les teneurs en eau prédites à l'aide de différentes FPT et mesurées à -3, -30 et -100 hPa (Cornelis et al. 2001)	42
Figure 1.5 : Cartes des écarts entre la réserve utile (RU) estimée à l'aide de fonctions de pédotransfert (FPT) et celle calculée à partir des mesures réalisées au laboratoire (Morvan et al. 2004).	43

Chapitre II Matériels et Méthodes

Figure 2.1. La variante texturale utilisée dans la stratification	52
---	----

Chapitre III. Elaboration & test des FPT spécifiques aux sols Algériens pour prédire les propriétés de la rétention en eau des sols

Figure 3.1 : Présentation générale de la démarche suivie dans l'élaboration des FPTs pour estimer les propriétés de rétention d'eau.	60
Figure 3.2. Prédiction des rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPTs Elaborées dans cette étude.	62
Figure 3.2. (Suite) Prédiction des rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPTs Elaborées dans cette étude.	63

Chapitre IV : Etude de La sensibilité des estimations des FPT spécifiques à la contribution de L'état structural dans la variation des retentions en eau des sols

Figure 4.1 : la courbe moyenne de la rétention en eau des sols du Bas Cheliff.....	73
Figure 4.2 : les teneurs en volumiques mesurées et estimées en fonction de la teneur en argile des sols étudiés.	75
La Figure 4.3: le critère <i>RMSE</i> calculé dans les trois classes.....	79
Figure 4.4 : les courbe moyenne de la rétention ne eau des sols étudiés par classe.....	80

Figure 4.5 : (a) la quantité d'eau retenue en fonction du volume poral développé par la fraction argileuse à un pf 2.5 et pF 4.2, (b) la quantité d'eau retenue en fonction du volume poral développé par la fraction argileuse à un pf 1 , (c) la porosité en fonction du volume poral développé par la fraction argileuse dans la classe moyenne.	82
Figure 4.6 : (a) la CEC du sol en fonction de la quantité d'argile, (b) la CEC dans les trois classes d'agrégats.	83

Chapitre V. Evaluation des fonctions de pédotransfert pour prédire les rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement des sols

Figure 5.1. Prédications des rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPT sélectionnées dans cette étude.	91
Figure 5.1. (<i>Suite</i>) Prédications des rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPT sélectionnées dans cette étude.	92
Figure 5.2 : représentation fréquentielle de la matière organique des échantillons utilisés. .	94
Figure 5.3 : Représentation graphique des critères d'évaluation	96

Liste Des Tableaux

Chapitre I : Prédiction des propriétés de rétention en eau des sols Synthèse bibliographique

Tableau 1.1 : Coefficients des régressions multiples et valeurs de R^2 correspondant aux FPT développées par Petersen et al. (1968), Hall et al. (1977), Gupta et Larson (1979) et Rawls et al. (1982).	14
Tableau 1.1 (suite) : Coefficients des régressions multiple et valeurs de R^2 correspondant aux FPT développées par Patersen et al. (1968) ; Hall et al. (1977) ; Gupta et Larson (1979) ; Rawls et al. (1982).	15
Tableau 1.2 : Fonctions de pédotransfert associées aux paramètres de courbe de rétention en eau	18
Tableau 1.3 : Réserve en eau utile (RU) et les densités apparentes selon les textures (Jamagne et al. 1977).	25
Tableau 1.4 : Teneurs en eau volumiques moyennes en fonction du type d'horizon et de la texture (Bruand et al. 2004).	26
Tableau 1.5 : Teneurs en eau volumiques proposées pour les horizons (A et E, B, C) en fonction de leur texture et de leur densité apparente (Bruand et al. 2004).	27
Tableau (suite) 1.5 : Teneurs en eau volumiques proposées pour les horizons (A et E, B, C) en fonction de leur texture et de leur densité apparente (Bruand et al. 2004).	28
Tableau 1.6 : Les classes de pédotransfert établies pour prédire les propriétés de rétention en eau en utilisant les paramètres de Mualem van Genuchten (Wösten et al. 1999).	29
Tableau 1.7 : Teneurs en eau volumiques proposées pour les horizons (A et E, B, C) en fonction de leur texture et de leur densité apparente (Al madjou et al. 2008).	30
Tableau 1.8 : Caractéristiques des ensembles d'horizons utilisés pour établir les FPT.	32
Tableau (suite) 1.8 : Caractéristiques des ensembles d'horizons utilisés pour établir les FPT.	33
Tableau 1.9 : Caractéristiques des travaux de test de validation de FPT.	34
Tableau 1.10 : Validité de quelques FPT (FPTC et CFPT) évaluées en fonction de leur précision (Williams et al. 1992 ; Tietje et Tapkenhinrichs, 1993 ; Bastet et al. 1999 ; Wösten et al. 2001 ; Morvan et al. 2004).	35

Chapitre III. Elaboration & test des FPT spécifiques aux sols Algériens pour prédire les propriétés de la rétention en eau des sols

Tableau 3.1 : Caractéristiques des sols utilisés pour le développement et la validation	56
Tableau 3.2 : Paramètres de la courbe de Van Genuchten après stratification texturale	57
Tableau 3.3 : coefficients des régressions multiples et les valeurs de R^2 correspondant aux FPT développées dans cette étude.	61

Tableau 3.4 : Matrice de corrélation (test de Pearson) a un seul de 5%	64
Le Tableau 3.5 : Les paramètres d'entrées nécessaire pour le développement des FPTs.	65
Tableau 3.6 : les critères d'évaluation d'estimation de la rétention en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPTs.	68

Chapitre IV : Etude de La sensibilité des estimations des FPT spécifiques à la contribution de L'état structural dans la variation des retentions en eau des sols

Tableau 4.1 : Matrice de corrélation (test de Pearson) a un seul de 5%	77
--	----

Chapitre V. Evaluation des fonctions de pédotransfert pour prédire les rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement des sols

Tableau 5.1 : Caractéristiques des sols sélectionnés.	86
Tableau 5.2 : Les paramètres du modèle Van Genuchten des sols sélectionnés.....	86
Tableau 5.3: Les paramètres d'entrées nécessaire pour le développement des FPT évaluées.	88
Le Tableau 5.4 : les critères statistiques calculés pour évaluer l'estimation de la rétention en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement par les FPT sélectionnées dans cette étude.	90
Tableau 5.5 : Coefficients de détermination (R^2) des sols étudiés	95

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : PREDICTION DES PROPRIETES DE RETENTION EN EAU DES SOLS	
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I. RAPPELS CONCERNANT L'ÉTAT DE L'EAU DANS LE SOL.....	5
A. L'expression de la teneur en eau du sol.....	5
C. La courbe de rétention en eau.....	6
II. LES GRANDS TYPES DE FONCTIONS DE PÉDOTRANSFERT :	8
A. Les fonctions de pédotransfert continues (FPTC).....	9
1. Des régressions linéaires établies pour les teneurs en eau à différentes valeurs de potentiel (FPTC point)	9
2. Des régressions linéaires permettant la prédiction des paramètres d'un modèle de courbe $\theta(h)$ Erreur ! Signet non défini.	
a) Les modèles de la courbe la rétention en eau des sols $\theta(h)$	10
1. le modèle Brooks et Corey (1964)	10
2. le modèle de Campbell (1974)	11
3. le modèle de Saxton et al. (1986).....	11
4. le modèle de De Jong (1983).....	12
5. Le modèle de Van Genuchten.....	12
b. Fonctions de pédotransfert continues (FPTC paramétrique) permettant la prédiction des paramètres d'un modèle de courbe $\theta(h)$	12
1. Fonctions de pédotransfert continues (FPTC) établies pour le modèle de Campbell	12
2. Fonctions de pédotransfert continues (FPTC) établies pour le modèle de van Genuchten.....	Erreur ! Signet non défini.
B. Les classes de fonctions de pédotransfert (CFPT).....	17
1. Des classes de composition donnant accès à θ à des valeurs particulières de h	19
a. Les CFPT prenant en compte la texture seule	19
b. Des CFPT prenant en compte la combinaison texture et structure.....	19
c. Des CFPT prenant en compte la teneur en carbone organique ou matière organique.....	20
2. Des classes de composition donnant accès aux paramètres d'un modèle de courbe $\theta(h)$	21
A. Les fonctions de pédotransfert à fondement physique	21
1. Modèle physique basé sur la distribution de taille des particules	22
2. Modèle prenant en compte les variations de volume liées aux phénomènes de retrait-gonflement.....	23
IV. VALIDATION DES FONCTIONS DE PEDOTRANSFERT	30
A. Grandeurs utilisées	31
B. Évaluation des FPT.....	37
1. Validation ponctuelle de la teneur en eau	37
2. Validation par aire de courbe	40
3. Validation fonctionnelle des FPT	41
V- CONCLUSION :	44

CHapitre II. MATÉRIELS ET MÉTHODES	45
Chapitre II	46
Matériels et Méthodes.....	46
I. PRESENTATION DES SOLS ETUDIÉS	46
A. Prélèvement Des Echantillons.....	46
B. La Base De Données :	46
II. METHODES DE MESURE UTILISÉES	47
A. Détermination De La Densité Apparente	47
B. La Rétention En Eau.....	47
C. Analyses Physico-chimiques	48
III. CRITERES DE VALIDATION	49
A. L'erreur moyenne (ME.....	49
B. Le coefficient de détermination (R ²	49
C. L'erreur moyenne quadratique (RMSE	50
D. Le Degré d'accord (d.....	50
E. Le critère d'information d'Akaike (AIC	51
F. L'erreur moyenne géométrique (GMER	51
IV. LA STRATIFICATION TEXTURALE.....	51
Chapitre III. RESULTATS & DISCUSSIONS	53
III .1. Elaboration des FPT spécifiques aux sols Algériens pour prédire les propriétés de la rétention en eau	54
I. INTRODUCTION	55
II. LA BASE DE DONNEES	56
III. APPROCHES D'ELABORATION DES FPT SPECIFIQUES	57
1. Première approche.....	57
A. FPTs point.....	57
B. FPTs paramétriques	58
2. Deuxième approche.....	58
IV. DISCUSSIONS.....	64
A. Les FPTs Dérivées.....	66
1. Identifier la FPTs pour l'estimation de La rétention d'eau à capacité au champ et au point de flétrissement :	66
2. Rétention d'eau estimations par le réseau neuronal artificiel du module Rosetta.....	68
III.2. Etude de La sensibilité des estimations des FPT spécifiques à la contribution de L'état structural dans la variation des retentions en eau des sols	71
I. INTRODUCTION	71
II. LA COURBE MOYENNE DE LA RETENTION EN EAU DES SOLS DU BAS CHELIFF	72
III. L'ORIGINE DE LA VARIATION DE L'ESTIMATION DE LA RETENTION EN EAU DES SOLS :	73
1. La texture.....	78
2. Influence du volume poral:	80
3. La capacité d'échange cationique du sol :.....	82

III.3.Evaluation des fonctions de pedotransfert pour predire les retentions en eau a la capacite au champ et au point de fletrissement des sols	84
III. Evaluation des fonctions de pédotransfert pour prédire les rétentions en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement des sols.....	85
I. INTRODUCTION	85
II. LA BASE DE DONNEES D'EVALUATION:	86
III. DESCRIPTION DES FPT SELECTIONNEES	86
IV. RESULTATS ET DISCUSSION.....	88
1. Les données d'application	93
2. La matière organique	93
3. Les modèles mathématiques utilisés	94
 Chapitre VI : CONCLUSION GENERALE.....	97
□ Elaboration & test des FPT spécifiques aux sols Algériens pour prédire propriétés de la rétention en eau des sols :	98
□ Etude de La sensibilité des estimations des FPT spécifiques à la contribution de L'état structural dans la variation des retentions en eau des sols :	99
□ Evaluation des fonctions de pedotransfer pour prédire les rétentions en eau la capacité au champ et au point de flétrissement des sols :	99
 TABLE DES MATIERES.....	101
 LISTE DES TABLES.....	104
 LISTE DES FIGURES	106
 Références bibliographiques	108

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- Acutis, M., Donatelli, M., 2003.** SOILPAR 2.00: software to estimate soil hydrological parameters and functions. *Eur. J. Agron.* 18, 373–377.
- AFNOR 1996,** Qualité des sols. Recueil de normes françaises, AFNOR, Paris France. 249 p. *Agrokémia és Talajtan*, 51, 17–26.
- Ahuja L.R., Naney J.W., Williams R.D., 1985,** Estimation soil water characteristics from simpler properties or limited data. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1100-1105.
- Al Majou H., Bruand A., Duval O., Cousin I., 2007,** Variation of the water retention
- Al Majou H., Bruand A., Duval O., 2008,** Use of in situ volumetric water content at field capacity to improve prediction of soil water retention properties. *Canadian Journal of Soil Science*, In press.
- Al Majou H., Bruand A., Nicoullaud B., Duval O., Dupont J., 2005,** Premiers Résultats de
- Ambroise, B., Reutenauer, D., Viville, D., 1992.** Estimating soil water retention properties from mineral and organic fractions of coarse-textured soils in the Vosges mountains of France. In: Van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Lund, L.J. (Eds.), *Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*, University of California, Riverside, California, pp. 453–462.
- Arrouays D., Jamagne M., 1993,** Sur la possibilité d'estimer les propriétés de rétention en eau des sols limoneux lessivés hydromorphe du Sud-Ouest de la France à partir de leurs caractéristiques de constitution. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 79(1), 111-121.
- Arya L.M., Paris J.F., 1981,** A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, 1023-1030.
- Assouline S., 2006,** Modeling the relationship between soil bulk density and the water
- Assouline S., Tessier D., Bruand A., 1998,** A conceptuel model of the soil water retention curve. *Water Resour. Res.*, 34(2), 223-231.
- Bastet G., 1999,** Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à l'aide de fonctions de pédotransfert : développement de nouvelles approches. *Univ. d'Orléans*. 214p.
- Bastet G., Bruand A., Quélin P., Cousin I., 1998a,** Estimation des propriétés de rétention en eau à l'aide de fonctions de pédotransfert (FPT) : Une analyse

bibliographique.

- Bastet G., Bruand A., Voltz M., Bornand M., Quéin P., 1998b**, Prediction of water retention properties of french soils: performance of available pedotransfer functions and development of new approaches. In: 16th World Congress of Soil Science, 20-26 August 1998, Montpellier.
- Bastet G., Bruand A., Voltz M., Bornand M., Quéin P., 1999**, Performance of available pedotransfer functions for predicting the water retention properties of French soils. In: M. Th. Van Genuchten, F.J. Leij, L. Wu (eds), Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media, Riverside, California, October 22-24, 981-992.
- Batjes N.H., 1996**, Development of a world data set of soil water retention properties using pedotransfer rules. *Geoderma*. 71, 31-52
- Bauer A., Black A.L., 1992**, Organic carbon effects on available water capacity of three textural groups. *Soil Sci. Am. J.* 56, 248-254.
- Baumer O.M., 1992**, Predicting unsaturated hydraulic parameters. International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils, Univ. of California, Riverside, River side, CA. 11-13 October 1989, pp. 341-354.
- Bird, N. R. A., Dexter A. R., 1997**, Simulation of soil water retention using random fractal networks, *Eur. J. Soil Sci.*, 48, 633-641.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986**. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 1, second ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 363-375.
- Bouma J., van Lanen H.A.J., 1987**, Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. p 106-111. In: Beek K.J., P.A. Burrough and D.E. McCormack (eds.), *Proc. ISSS/SSSA Workshop on Quantified Land Evaluation Procedures*. Int. Inst. for Aerospace Surv. and Earth Sci., Publ. No 6, Enschede, The Netherlands.
- Bouma, J., Van Lanen, J.A.J., 1987**. Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. In: Beek, K.J., Burrough, P.A., McCormack, D.A. (Eds.), *Quantified Land Evaluation Procedures*. ITC, the Netherlands, Publication no. 6, pp. 106-110.
- Brooks, R.H., Corey, A.T., 1964**. *Hydraulic Properties of Porous Media*, Colorado State University, , p. 27. Calhoun, F.G., Hammond, L.C., Caldwell, R.E., 1973. Influence of particle size and organic matter on water retention in selected Florida soils. *Soil Crop Sci. Fla. Proc.* 32, 111-113.
- Bruand A., Duval O., Gaillard H., Darthout R., Jamagne M., 1996**, Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols: Importance de la densité apparente. *Etude et Gestion des Sols*, 3, 27-40.
- Bruand A., 1990**, Improved prediction of water retention properties of clayey soils by pedological classification. *J. Soil Sci.* 41, 491-497.

- Bruand A., Baize D., Hardy M., 1994**, Prediction of water retention properties of clayey soils: validity of relationships using a single soil characteristic. *Soil Use and Management*, 10, 3, 99-103.
- Bruand A., Duval O., Cousin I., 2004**, Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO: Une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture et sa densité apparente. *Etude et Gestion des Sols*, 11, 323–334.
- Bruand A., Pérez Fernandez P., Duval O., 2003**, Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves. *Soil Use and Management*, 19, 232-242.
- Bruand A., Pérez Fernandez P., Duval O., Quélin P., Nicoullaud B., Gaillard H., Raison L., Pessaud J.F., Prud'Homme L., 2002**, Estimation des propriétés de rétention en eau des sols : Utilisation de classes de pédotransfert après stratification texturale et texturo-structurale. *Etude et Gestion des Sols*, 9, 105-125.
- Bruand A., Tessier D., 2000**, Water retention properties of the clay in soils developed on clayey sediments: Significance of parent material and soil history. *European Journal of Soil Science*, 51, 679– 688.
- Bruand A., Tessier D., Baize D., 1988**, Contribution à l'étude des propriétés de rétention en eau des sols argileux : importance de la prise en compte de l'organisation de la phase argileuse. *C.R. Académie des Sciences, Paris*, t. 307, Série II, 1937-1941.
- Bruand A., Zimmer D., 1992**, Relation entre la capacité d'échange cationique et le volume poral dans les sols argileux : incidence sur la morphologie de la phase argileuse à l'échelle des assemblages élémentaires. *C.R. Acad. Sci.* 315, série II, 223-229.
- Campbell G.S., 1974**, A simple method for determining unsaturated conductivity moisture retention data. *Soil Science*, 117(6), 311-314.
- Campbell G.S., Shiozawa S., 1992**, Prediction of hydraulic properties of soils using particle size distribution and bulk density data. *International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*, Univ. of California, Riverside,
- Campbell, G.S. (Ed.), 1985**. *Soil Physics with Basics*, Elsevier, Amsterdam.
- Campbell, G.S., 1974**. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.* 117, 311–314.
- Cassel, D.K., Nielsen, D.R., 1986**. Field capacity and available water capacity. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1*, second ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 901–926.
- Cornelis M., Ronsyn J., Van Meirvenne M., Hartmann R., 2001**, Evaluation of Pedotransfer Functions for Predicting the Soil Moisture Retention Curve. *Soil Sci. Soc. Am J.* 65, 638–648.
- Cornelis M., Muhammed K., Roger H., Meirvenne M.V., Vos B., 2005**, Comparison of unimodal analytical expressions for the Soil-Water Retention Curve. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69, 1902-1911.

- Cornelis, W.M., Ronsyn, J., Meirvenne, M.V., Hartmann, R., 2001.** Evaluation of pedotransfer functions for predicting the soil moisture retention curve. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65, 638–648. Danalatos, N.G., Kosmas, C.S., Drissen, P.M., Yassoglou, N., 1994. Estimation of the draining soil moisture characteristics from standard data as recorded in soil surveys. *Geoderma* 64, 155–165.
- De Jong R., Campbell C.A., Nicholaichuk W., 1983,** Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. *Can. J. Soil Sci.*, 63, 291-302.
- De Jong R., Campbell C.A., Nicholaichuk W., 1983,** Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. *Can. J. Soil Sci.*, 63, 291-302.
- Daoud, Y., 1983.** Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué du périmètre du Haut Cheliff (Algérie). Thèse de docteur Ingénieur de l'ENSA de Rennes, 194p.
- De Jong, R., 1983.** Soil water desorption curves estimated from limited data. *Can. J. Soil Sci.* 63, 697–703. Donatelli, M., Acutis, M., Laruccia, N., 1996. Pedotransfer functions: evaluation of methods to estimate soil water content at field capacity and wilting point.
- Dexter A. R., Bird N.R.A., 2001,** Methods for predicting the optimum and the range of soil
- Donatelli M., Wösten J.H.M., Belocchi G., Acutis M., Nemes A., Fila G., 2004,** Methods to evaluate pedotransfer functions. Elsevier B.V. 30, 357–411.
- Donatelli M., Wösten J.H.M., Belocchi G., Acutis M., Nemes A., Fila G., 2004,** Methods to evaluate pedotransfer functions. Elsevier B.V. 30, 357–411.
- Ghanbarian-Alavijeh, B. and Liaghat, A. M. 2009.** Evaluation of soil texture data for estimating soil water retention curve. *Can. J. Soil Sci.* 89: 461–471.
- Ghanbarian-Alavijeh, B. and Millán, H. 2010.** Point pedotransfer functions for estimating soil water retention curve. *Int. Agrophys.* 24: 243–251.
- Ghorbani Dashtaki, Sh. and Homae, M. 2004.** Using geometric mean particle diameter to derive point and continuous pedotransfer functions. In Whrle, N. and Scheurer, M. (eds.) EuroSoil. September 4–12, 2004. Freiburg, Germany10(30): 1–10.
- Givi, J., Prasher, S. O. and Patel, R. M. 2004.** Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point. *Agr. Water Manage.* 70: 83–96.
- Gregson K.D., Hector J., McGowan M., 1987,** A one-parameter model for the soil water characteristics. *J. Soil Sci.*, 38, 483-486.
- Gupta S.C., Larson W.E., 1979,** Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. *Water Resources*

Research, 15, 1633–1635.

- Gupta S.C., Larson W.E., 1979**, Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent and bulk density. *Water Resources Research*, 15, 1633–1635.
- Leij F.J., Alves W.J., van Genuchten M.Th., 1999**, The UNSODA unsaturated soil hydraulic database Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. Riverside, California. Riverside: UCR
- Leij, F. J., Alves W. J., van Genuchten M. Th., Williams J. R., 1996**, The UNSODA Unsaturated Soil Hydraulic Database; User's Manual, Version 1.0. EPA/600/R-96/095, National Risk Management Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. 103 p.
- Morvan X., Bruand A., Cousin I., Roque J., Baran N., Mouvet Ch., 2004**, Prédiction des propriétés de rétention en eau des sols d'un bassin versant à l'aide de fonctions de pédotransfert : influence de la densité apparente et de la teneur en éléments grossiers. *Etude et Gestion des Sols*, 11, 117-135.
- Mualem Y., 1976**, A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.*, 12(33), 513-522.
- Nemes, A. 2002**, Unsaturated soil hydraulic database of Hungary: HUNSODA.
- Nemes, A., Rawls, W.J. 2004**, Soil texture and particle-size distribution as input to estimate soil hydraulic properties. p 47-70. In: Y. Pachepsky, W.J. Rawls (eds) Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology. Development in Soil Science. Vol 30. Elsevier. Amsterdam.
- Nemes, A., Schaap, M.G., Wösten, J.H.M. 2003**, Functional evaluation of pedotransfer functions derived from different scales of data collection. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 1093–1102.
- Nemes, A., Wösten, H., Lilly, A. 2001**, Development of soil hydraulic pedotransfer functions on a European scale: Their usefulness in the assessment of soil quality. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). *Sustaining the Global Farm*. 10th International Soil Conservation Organization Meeting, May 24-29, 1999, Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, pp. 541-549. New – York Inc. 16, 213-234.
- Nimmo J.R., 1997**, Modeling structure influence on soil water retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 712-719.
- Pachepsky Y.A, Rawls W.J., 1999**, Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 1748-1757.
- Pachepsky Y.A, Rawls W.J., 2003**, Soil structure pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, 54 (3): 443–451.
- Pachepsky, Y.A, Rawls, W.J. 2004**, development of pedotransfer functions in soil hydrology.
- Pachepsky Y.A, Timlin D., Várallyay G., 1996**, Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 727-773.
- Pachepsky, Y.A, Rawls, W.J., Lin, H.S. 2006**, Hydropedology and pedotransfer functions.

- Geoderma. 131, 308–316. Properties of soils: validity of class-pedotransfer functions. C.R. Geoscience, 339, 632–
- Puckett W.E., Dane J.H., Hajek B.F., 1985**, Physical and mineralogical data to determine soil hydraulic properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 831-836.
- Rawls W.J., Nemes A., Pachepsky Y.A., 2004**, Effect of soil organic carbon on soil hydraulic properties. Elsevier B.V. 30, 95–114.
- Rawls W.J., Pachepsky Y.A., Ritchie J.C., Sobecki T.M., Bloodworth H., 2003**, Effect of soil organic carbon on soil water retention. Geoderma 116, 61–76.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L. 1985**, Prediction of soil water properties for hydrologic modelling. In E. Jones and T.J. Ward (ed.) Watershed manage. Eighties. Proc. Symp. ASCE, Denver, CO. 30 Apr-2May 1985. ASCE, New York. 293-299.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L. 1983**, Agricultural management effects on soil water processes, Part I. Soil water retention and Green and Ampt infiltration parameters. Trans. ASAE, 26, 1747-1752.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., Saxton, K.E. 1982**, Estimation of soil water properties. Trans. ASAE, 26, 1747–1752.
- Rawls, W.J., Gish, T.J., Brakensiek, D.L. 1991**, Estimation soil water retention from soil physical properties and characteristics. Advance in Soil Science, By Springer – Verlag
- Reeve M.J., Smith P.D., Thomasson A.J., 1973**, The effect of density on water retention properties of field soils. J. Soils Sci., 24, 354-367. retention curve. Vadose Zone J., 5, 554 563.
- Richard G., Cousin I., Sillon J.F., Bruand A., Guérif J., 2001**, Effect of compaction on the porosity of a silty soil: Consequences on unsaturated hydraulic properties. European Journal of Soil Science, 52, 49–58.
- Saidi, D., 1985**. Etude agropédologiques de la plaine de la mina (Relizane) et évaluation des propriétés physiques des sols. Thèse Ing., INA., Alger 80p.
- Saidi, D., Le Bissonnais, Y., Duval, O., Daoud, Y., Halitim, A., 2004**. Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). Étude et Gestion des Sols, Volume 11, 2, 2004.
- Saidi, D., 2005**. Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du Bas Cheliff, Thèse de doctorat d’Etat, INA, Alger, Algérie, 200p.
- Saidi, D., Le Bissonnais, Y., Duval, O., Daoud, Y., Tessier, D., 2008**. Estimation et signification de la capacité d’échange cationique des sols salés du Cheliff (Algérie). Étude et Gestion des Sols, Volume 15, 4, 2008 - p 241 à 253.
- Saidi, D., 2010**. Evolution de la porosité des sols argileux du Bas Cheliff sous contraintes salines. *Revue « Nature et Technologie »*. N° 02/Janvier 2010. Pages 51 à 58.
- Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I., 1986**, Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am. J., 50, 1031-1036.
- Schaap M.G., 2004**, Accuracy and uncertainty in PTF predictions. p 33-43. In: Y. Pachepsky,

- W.J. Rawls (eds) Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology. Development in Soil Science. Vol 30. Elsevier. Amsterdam.
- Schaap M.G., Bouten W., 1996**, Modeling water retention curves of sandy soils using neural networks. *Water Resour. Res.* 32, 3033-3040.
- Schaap M.G., Leij F.J., 1998**, Database related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Sci.* 163, 765-779.
- Schaap M.G., Leij F.J., 2000**, Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity with the Mualem-van Genuchten model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 843-851.
- Schaap M.G., Leij F.J., van Genuchten M.T., 1998**, Neural network analysis for hierarchical prediction of soil water retention and saturated hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 847-855.
- Tomasella J., Pachepsky Y.A., Crestana S., Rawls J., 2003**, Comparison of Two Techniques to Develop Pedotransfer Functions for Water Retention. *Soil Sci. Am. J.* 67, 1085-1092.
- Tomasella J., Hodnett M.G., 1998**, Estimating soil water retention characteristics from limited data in Brazilian Amazonia. *Soil Science*, 163, 190-202.
- Tranter G., Minasny B., Mcbratney A.B., Murphy B., Mckenzie N.J., Grundy M., Brough D., 2007**, Building and testing conceptual and empirical models for predicting soil bulk density. *Soil Use and Management*, 23, 437– 443.
- Validation des Classes de Pédotransfert établies à partir de la Base de Données SOLHYDRO 1.0 : Application à des sols de la Région Centre. *Etude et Gestion des Sols*, 11, 165-173.
- Van Genuchten M.T., 1980**, A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Science Society of America Journal*, 44, 892– 898.
- Van Genuchten M.T., Leij F.J., Yates S.R., 1991**, The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA Salinity Laboratory, Riverside, CA, USA.
- Van Genuchten, M.T., Leij F.J., 1992**, On estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. 1-14. In M.Th. van Genuchten et al. (ed) *Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils*. Univ. of California. Riverside.
- Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J., Darius, P. 1989**, Estimating the soil moisture retention characteristics from texture, bulk density and carbon content. *Soil Science* 148, 389– 403. water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil and Tillage Research*, 57, 203-212.
- Williams R.D., Ahuja L.R., Naney J.W., 1992**, Comparison of methods to estimate soil water characteristics from soil texture, bulk density and limited data. *Soil Science*, 153(3), 172-184.
- Wösten, J.H.M., Finke, P.A., Jansen, M.J.W. 1995**, Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma*, 66, 227– 237.
- Wösten, J.H.M., Lilly, A., Nemes, A., Le Bas, C. 1999**, Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*, 90, 169–185.
- Wösten, J.H.M., Pachepsky, Y.A., Rawls, W.J. 2001**, Pedotransfer functions: bridging

the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of hydrology*, 251, 123–150.

Thème : Elaboration et utilisation de fonctions de pédotransfert pour la prédiction des propriétés de la rétention en eau des sols du bas Cheliff. Algérie

Résumé :

Deux types de FPT: point et paramétriques ont été élaborées et validées pour prédire la rétention d'eau à la capacité au champ et au point de flétrissement de quelques sols algériens. Le constat est que l'origine géographique des ensembles de données utilisées et les formalismes mathématiques adoptés dans le développement des FPT peuvent influencer leur performance en estimation. Les discussions se sont poursuivies au cours du travail sur le plan de la précision et du biais des estimations auxquelles elles conduisaient à évaluer huit (08) FPT proposées dans la littérature. Les résultats confirment que les FPT ont un fort caractère régional et montrent pour la plupart, leurs limites lorsqu'elles sont appliquées hors de leur contexte agropédoclimatiques d'origine.

Mots clés : fonction de pédotransfert, la rétention en eau, la capacité au champ, le point de flétrissement, Evaluation.

Title: Elaboration and Use of Pedotransfer Functions for Predicting Properties of Water Retention of Soils of Low Cheliff. Algeria.

Abstract:

Two types of PTF: Parametric and point have been developed and validated for predicting water retention at field capacity and wilting point for some Algerian soils. The fact is that the geographical origin of the data sets used and the mathematical formalisms adopted in the development of PTF may influence their performance to estimates. The discussions continued during study in terms of precision and bias estimates that they led to evaluate eight (08) PTF proposed in the literature. The results confirm that the PTF have a regional character and show for the most part, their limitations when applied outside of their original agropedoclimatic context.

Keywords: Pedotransfer Function, Water Retention, field capacity, wilting point, Evaluation.

العنوان : تطوير و استعمال الدوال الانتقالية للتربة للتنبؤ بخصائص القدرة على الاحتفاظ بالماء لتربة الشلف الأدنى .

الملخص :

نوعين من الدوال الانتقالية للتربة قد تم تطويرهما والتحقق من صحتها للتنبؤ بقدرة التربة على الاحتفاظ بالماء في نقطة السعة الحقلية ونقطة الذبول لبعض عينات من التربة الجزائرية. خلال البحث تبين أن الأصل الجغرافي لمجموعات البيانات المستخدمة وكذا الطرق الرياضية التي اعتمدت في تطوير هته الدوال قد أثروا في أدائها التقديري. استمرار المناقشات التي جرت خلال هذا العمل من حيث دقة التقديرات أدت إلى تقييم ثمانية (08) دوال انتقالية للتربة المقترحة في الأبحاث السابقة. تؤكد النتائج أن الدوال الانتقالية للتربة لها طابع إقليمي قوي جدا كما تظهر في معظم الأحيان محدوديتها عندما تطبق خارج مجالها الجيومناخي الأصلي.

مفاتيح البحث: الدوال الانتقالية للتربة، الاحتفاظ بالماء، السعة الحقلية، نقطة الذبول، التقييم.