

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département Des Sciences Agronomiques**

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de

Master

Spécialité : Protection de la ressource sol, eau et environnement

Par: Malika BOUCETTA

THEME

**Etude des propriétés hydriques des sols
alluviaux de la région du M'zab (cas de l'Oasis
de Guerrara).**

Soutenu publiquement le : .././2017

Devant le jury :

Mr. CHELLOUFI. H	Professeur	Université de Ouargla	Président
Mr BOUTOUTAOU. D	professeur	Université de Ouargla	Promoteur
Mme AZZOUG. L	Magister	Université de Ouargla	Co-promotrice
Mr KHEMGANI. M.A	M.A.A	Université de Ouargla	Examineur

Année universitaire : 2016/2017.

Remerciements

Je remercie Dieu de m’ avoir donné la force et la patience pour la réalisation de ce mémoire.

Au terme de ce mémoire, qu’il me soit permis d’ exprimer mes profonds remerciements à mon promoteur Monsieur Djamel BOUTAOUTAOU d’ avoir proposé ce thème et accepté de m’ encadrer et suivre pas à pas la progression de ce travail. Je le remercie infiniment pour son aide et ses conseils judicieux. Je remercie également mon Co-promoteur Mme Lamia AZZOUG, pour son aide et ses conseils durant son encadrement de ce travail.

Je dois une mention particulière à Monsieur Baelhadj HAMDI-AISSA, professeur au département des sciences agronomiques à l’ université Kasdi Merbah de Ouargla, à qui je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance pour son aide et ses conseils et orientations

Mes vifs remerciement s’ adressent à Monsieur Hamid CHELLOUFI professeur au département des sciences agronomiques à l’ université Kasdi Merbah de Ouargla, pour l’ honneur qu’ il me fait en acceptant la présidence de mon jury.

Je remercie Monsieur Mohamed Abdelmalek KHEMGANI, Maître assistant à l’ Université de Ouargla, qui a bien voulu examiner ce travail.

Mes remerciements vont aussi à toute ma famille pour leur soutien moral.

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : L'eau dans le sol (Synthèse bibliographique)

1. Bilan hydrique.....	2
2- Caractérisation hydrodynamique d'un sol.....	3
2.1. Potentiel de l'eau dans le sol.....	3
2.2 Humidités caractéristiques du sol.....	4
2.2.1. Rétention de l'eau par le sol.....	5
2.3. Notion de réservoir utilisable (R.U).....	6
2.4. La conductivité hydraulique ou perméabilité.....	8
3. Méthodes de mesure de la teneur en eau.....	8
4. Méthodes de mesure de la conductivité hydraulique.....	9
5. Facteurs affectant la perméabilité et l'humidité du sol.....	10
6. Corrélation entre la conductivité hydraulique et la teneur en eau.....	13

Chapitre II : Matériels et Méthodes

1. Présentation du milieu.....	15
1.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	15
1.2. Géologie.....	17
1.3. Hydrologie.....	18
1.4. Hydrogéologie.....	19

1.5. Cadre climatique.....	19
1.6. Classification climatique.....	21
1.7 couverture pédologique.....	21
2. Méthodologie expérimentale.....	22
2.1. Choix des sites de mesures	22
2.2. Méthodologies de travail.....	22
2.2.1. Collecte des données	22
2.2.2. La campagne de mesures sur le terrain.....	22

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Caractérisation des sols étudiés.....	34
1.1. Description des paramètres physiques.....	34
1.2. Textures des sols étudiés.....	35
1.3. Rétention en eau des sols à la capacité de rétention et au point de flourissement...35	
1.4. La réserve utile du sol.....	36
1.5. Perméabilité.....	37
2. Synthèse des principaux résultats.....	39
3. Mise au point des relations spécifiques des sols étudiés.....	39
3.1. Relations entre les humidités caractéristiques et la texture des sols étudiés.....	39
3.2. Relations entre les humidités caractéristiques et la perméabilité du sol.....	41
Conclusion générale.....	42

Listes des références

Annexe

Liste des figures

N° Figure	Titre	Page
Figure 1	Le cycle de l'eau dans la nature (bilan hydrologique) et (bilan hydrique)	3
Figure 2	Forces s'exerçant sur l'eau du sol	7
Figure 3	Relation entre la teneur en eau et le pF à différentes textures	11
Figure 4.	Courbes de rétention d'eau pour des sols ayant des textures différentes	13
Figure 5	Variation de la conductivité hydraulique en fonction de la teneur en eau	14
Figure 6	Localisation géographique de la région de Guerrara	16
Figure 7	Carte géologique de Guerrara	17
Figure 8.	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la région de Ghardaïa (2006-2016)	21
Figure 9	Plan de mesure effectué sur la parcelle d'étude	24
Figure 10	Texture des sols étudiés	35
Figure 11	Carte de la perméabilité de la zone non saturée de la parcelle d'étude	38
Figure 12	Relation entre le taux d'argile et de limon fin et la teneur en eau à saturation	40
Figure 13	Relation entre le taux d'argile et de limon fin et la teneur en eau à la capacité de rétention	40
Figure 14	Relation entre le taux d'argile, de limon fin et de limon grossier avec la teneur en eau à saturation	40
Figure 15	Relation entre le taux d'argile, de limon fin et de limon grossier avec la teneur en eau à la capacité de rétention	40
Figure 16	Relation entre la teneur en eau à saturation et la perméabilité	41

Liste des photos

N° Photo	Titre	Page
Photo 1.	Oued Zegrir (08 km au nord de Guerrara)	18
Photo 2	Le perméamètre de VIGUIER	23

Liste des tableaux

N° Figure	Titre	Page
Tableau 1	Valeurs de la conductivité hydraulique en fonction de la texture du sol	12
Tableau 2	Données climatiques de la région de Ghardaïa (2006-2016) (O.N.M., 2017)	20
Tableau 3	Variabilité des caractéristiques physiques des échantillons étudiés (n=18)	34
Tableau 4	Statistiques descriptives des teneurs en eau à différents potentiels des échantillons étudiés (n=18)	36
Tableau 5	Résultats de la réserve utile du sol (n=18)	36
Tableau 6	Résultats des mesures de la perméabilité de la zone non saturée de Guerrara (n=18)	37

Liste des abréviations

A : Argile

cc : capacité au champ

fp : Point de flétrissement permanent

ft : Point de flétrissement temporaire

K : conductivité hydraulique

LF : Limon fin

LG : Limon grossier

O.N.M. : Office National de Météorologie

RU : Réserve utile

SF : Sable fin

SG : Sable grossier

W : Teneur en eau massique

ZNS : Zone non saturée

θ : Teneur en eau volumique

Ψ_g : potentiel gravitaire

Ψ_m : potentiel matriciel

Ψ_o : potentiel osmotique

Ψ_t : potentiel total

Introduction

Introduction

Dans les régions arides et semi-arides, l'eau est le premier facteur limitant de la production agricole (Li *et al.*, 2007), par conséquent, les potentialités agricoles de ces régions sont limitées et ne permettent pas de faire face à l'augmentation actuelle de la population et de ses besoins alimentaires. De ce fait, rationaliser l'utilisation de cette ressource est impératif notamment par la compréhension de l'alimentation en eau des plantes, la connaissance des réserves hydriques ainsi que la détermination des teneurs en eau du sol sous des tensions données (Cornet, 1980).

Le mouvement de l'eau dans le profil du sol, le débit d'eau entraîné vers les drains, et l'évaporation à partir de la surface du sol sont certains exemples dans lesquels le processus de circulation de l'eau joue un rôle majeur en agriculture.

Or, le fonctionnement hydrique du sol est conditionné par ses propriétés hydriques à savoir la rétention en eau et la conductivité hydraulique. Celles-ci sont contrôlées par la structure et la texture du milieu qui déterminent le réseau de pores au sein duquel les fluides, liquides et gazeux, se déplacent. Ces propriétés sont nécessaires pour résoudre les problèmes de bilan hydrique, d'irrigation, de drainage et le mouvement des solutés.

Le cadre général de ce mémoire de recherche est la caractérisation du fonctionnement hydrique des sols de l'oasis de Guerrara (région du M'Zab), Il est pour cela nécessaire de caractériser conjointement la texture et les propriétés hydriques de ces sols.

De ce fait nous nous sommes fixés comme objectifs :

- de calculer le réservoir utilisable (RU) de ces sols.
- de proposer une carte de perméabilité de la zone non saturée d'une palmeraie située au niveau de Dayet-El Amied (Guerrara).
- d'illustrer l'importance de la contribution des différentes variables de la texture du sol vis-à-vis des propriétés hydriques

Introduction

Chapitre I

L'eau dans le sol (Synthèse bibliographique)

Chapitre I : L'eau dans le sol (Synthèse bibliographique)

A l'échelle d'une parcelle agricole et d'un bassin versant, l'eau se distribue dans les compartiments de l'environnement selon différents mécanismes que sont l'évaporation à partir du sol et la transpiration des végétaux, le ruissellement (potentiellement source d'érosion), la percolation permettant la recharge de la réserve en eau du sol et pouvant conduire à du drainage au travers de la zone non saturée. Les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, sous l'influence majeure des pratiques agricoles dans les parcelles cultivées, conditionnent très fortement la répartition et la qualité de l'eau entre ces différents mécanismes. Ces propriétés présentent en général de fortes variabilités spatiale et temporelle dont l'importance dépend le plus souvent de l'échelle à laquelle elles sont observées (Horn, 2004; Starr, 1990; Van Es et al., 1999), ces sources de variabilité interagissant avec les pratiques culturales (Green et al., 2003).

1. Bilan hydrique

L'étude des problèmes de gestion de l'eau en agriculture (drainage ou irrigation) passe par la compréhension du bilan hydrologique au niveau du sol appelé aussi bilan hydrique (Musy et Soutter, 1991).

La figure 1 représente le cycle de l'eau dans la nature (bilan hydrologique, cadre bleu) précisant les composantes d'un bilan partiel à caractère agro climatique de cette eau (bilan hydrique, cadre vert).

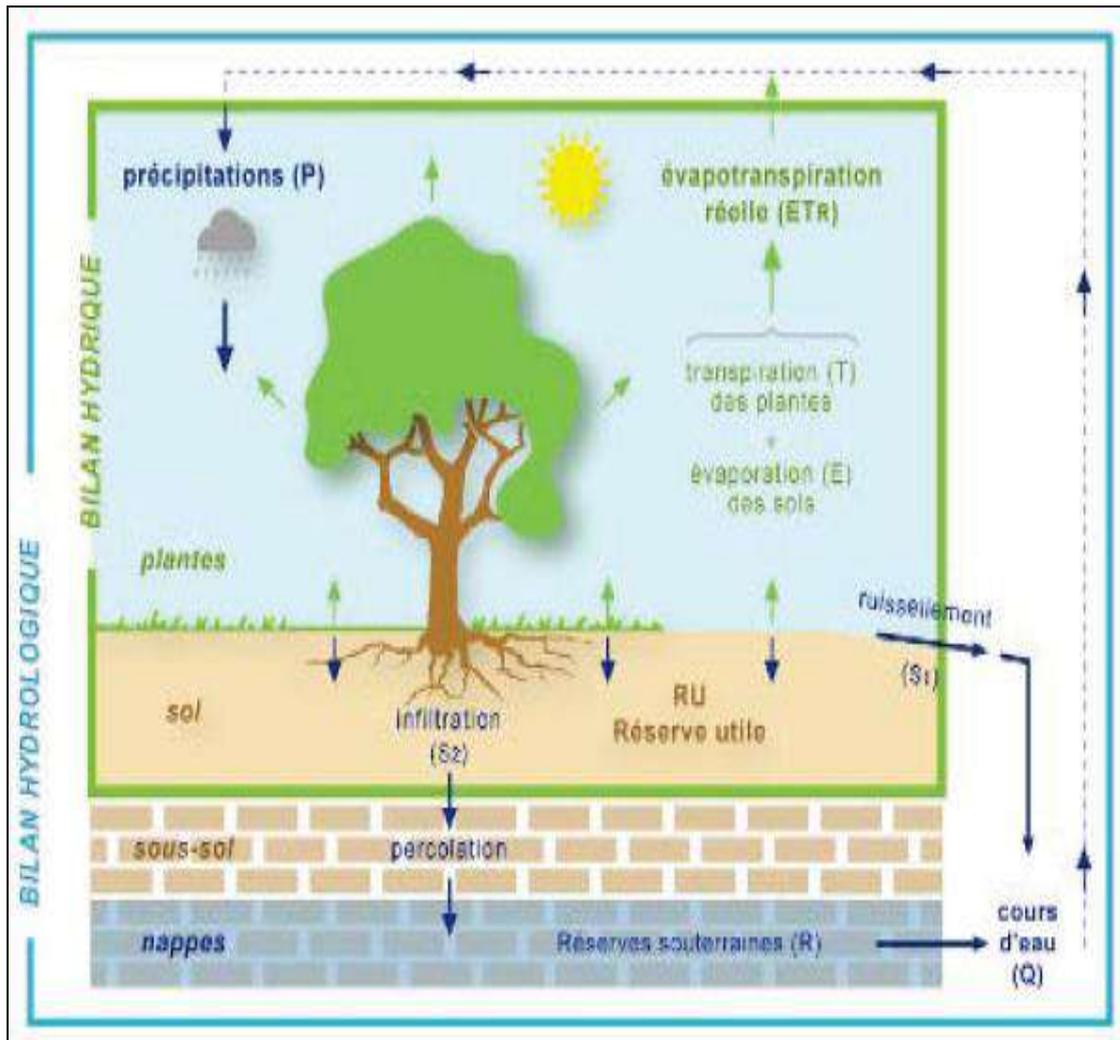


Figure 1. Bilan hydrologique (cycle complet de l'eau) et bilan hydrique (cycle partiel de l'eau, ne prenant pas en compte les réserves en eau profondes mais seulement celles du sol, que l'on considère seules comme en interaction directe avec la plante, appelée réserve utile ou RU) (Merot, 2012).

D'après Audrey (2010), le bilan hydrique consiste à comparer les apports et les pertes en eau, pour un lieu et une période données. Les apports d'eau sont obtenus par les précipitations, et les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et de la transpiration des plantes (évapotranspiration), au drainage (assèchement) et à l'infiltration.

Le bilan hydrique peut se formuler de la façon suivante (Collinet et Zante, 2002)

$$P + (I) + R +/- D +/- \Delta H - ETR = 0$$

Avec :

P = pluies en mm ;

(I) = compléments hydriques d'une irrigation éventuelle (mm) ;

R = ruissellement (mm) ;

D = drainage (mm) ;

ΔH = variation du stock hydrique S du sol (mm).

2- Caractérisation hydrodynamique d'un sol

Pour la caractérisation et la description du comportement hydrodynamique de la zone non saturée, nous donnons les définitions de quelques propriétés du sol.

2.1. Potentiel de l'eau dans le sol

Le potentiel total de l'eau Ψ_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. (Chalhoub, 2013).

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 :

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o$$

Où Ψ_g est le potentiel gravitaire dû à la gravité, Ψ_m est le potentiel matriciel correspondant aux forces de capillarité exercées par la matrice poreuse solide, Ψ_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) (Touil, 2012). Ou en unité dite « pF », qui représente le logarithme en base 10 de la valeur absolue du potentiel exprimé en cm. $pF = \log |\Psi|$ (Vauthier, 2011).

2.2. Humidités caractéristiques du sol

La teneur en eau « Water content » est une variable d'état, essentielle pour caractériser le sol. Elle était, il y a encore quelques années. Appelée < humidité > (moisture ou moisture content), ce terme est maintenant obsolète (Chossat, 2005).

La quantité de liquide ou d'eau contenue dans le sol est variable dans le temps et dans l'espace. Sa caractérisation est importante et elle est définie par la teneur en eau volumique et la teneur en eau pondérale (Musy et Soutter, 1991).

D'après Chossat (2005), la teneur en eau volumique θ est définie comme le rapport du volume d'eau contenu dans le sol à son volume apparent de sol (ou volume total de sol) :

$$\theta = V_e / V_t$$

Avec :

θ : la teneur en eau volumique ;

V_e : volume d'eau (m³) ;

V_t : volume totale du sol (m³).

D'autre part, ce même auteur définit la teneur en eau pondéral W ou la teneur en eau massique comme étant rapport de la masse d'eau contenue dans le sol à la masse de sol sec.

$$W = M_e / M_s$$

Avec :

W : la teneur en eau pondéral ;

M_e : la masse d'eau (Kg) ;

M_s : la masse de sol sec (Kg).

En hydrologie, les teneurs en eau volumiques sont utilisées car elles facilitent les calculs alors qu'en agronomie, il est de tradition d'utiliser les teneurs en eau pondérales. Néanmoins, selon Musy et Soutter, 1991, il existe une relation entre la teneur en eau volumique et la teneur en eau pondérale d'un sol exprimée par la formule suivante :

$$\theta = (\rho_a / \rho_e) W$$

Où 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_e , la masse volumique de l'eau (en g d'eau par cm³ d'eau).

2.2.1. Rétention de l'eau par le sol

La capacité de rétention a été définie pour la première fois par Mayer en 1874. Comme étant « la capacité pour l'eau d'un sol et son aptitude à retenir de l'eau à une hauteur qui n'est pas atteinte par l'eau capillaire liée à la nappe phréatique, sa valeur ne dépend pas de la disposition de la couche de sol sur la verticale, au contraire elle est identique à différents niveaux" (Cornet, 1980).

D'après, Bruand et al, (1996), la rétention en eau peut être définie comme étant la capacité du sol à retenir l'eau à un état hydrique donné, caractérisé par une valeur donnée du potentiel matriciel de l'eau dans le sol.

Cette capacité de rétention en eau peut varier d'une valeur maximale (capacité maximale de rétention en eau) à une valeur minimale (point de flétrissement) correspondant un état de sécheresse plus ou moins absolue. (Ouamer, 2010).

A. Capacité maximale de rétention en eau

Elle correspond à la quantité d'eau maximale qu'un sol peut contenir avant le déclenchement d'un drainage en profondeur. A ce niveau, on dit que le sol est saturé en eau, ce qui signifie qu'il comporte dans sa porosité la plus grande quantité d'eau possible (Musy, 1991). Ce niveau d'humidité représente un inconvénient pour le développement des cultures, car en remplissant d'eau la porosité du sol, l'air est chassé, de ce fait le sol est transformé en milieu asphyxiant.

Dans la pratique, on cherche à déterminer la capacité au champ, elle représente la capacité de rétention mesurée au champ 2 à 3 jours après une pluie ou une irrigation dans des sols perméables, de texture et de structure uniformes. La connaissance de la capacité au champ est d'une importance primordiale du fait qu'elle constitue un paramètre important dans le calcul des réserves utiles pour les plantes et dans les projets d'irrigation. (Ouamer, 2010). Cependant, le potentiel hydrique lié à l'humidité caractéristique à la capacité au champ devrait être adapté en fonction de la texture moyenne du sol ou de l'horizon considéré lors de l'utilisation d'échantillons remaniés : pF 2 pour les sables, pF 2,5 pour les limons et pF 3 pour les argiles (Bruand et al., 1996).

B. Points de flétrissement

La diminution de la teneur en eau du sol résultant de l'absorption de l'eau par les racines des plantes, par l'infiltration profonde ou par l'évaporation, entraîne une augmentation de l'énergie avec laquelle cette eau est retenue jusqu'à un certain seuil. Ce seuil correspond au point de flétrissement. (Ouamer, 2010).

De ce fait, on distingue un seuil supérieur et un seuil inférieur correspondants respectivement au point de flétrissement permanent et au point de flétrissement temporaire :

B.1. Point de flétrissement temporaire (*ft*) :

Le point de flétrissement temporaire, correspond à l'humidité du sol lorsque les végétaux présentent des symptômes de flétrissement passagers en période de forte demande évaporative (Mermoud. 2005). Selon la texture du sol, il varie de pF 3,5 à pF 3,7. (Duchaufour, 2001).

B.2. Point de flétrissement permanent (fp) :

Il correspond à l'humidité du sol au moment où la force de succion des plantes est égale à la force de rétention de l'eau par le sol (figure 2), ainsi l'eau du sol n'est plus disponible pour les végétaux, qui se flétrissent irréversiblement. Ce point correspondant à une pression de 16 bars soit pF 4,2, il varie suivant le type de sol et suivant le type de culture (Mermoud, 2005). D'après Hamraras (2008), le point de flétrissement permanent a une valeur plus forte dans les sols argileux que dans les sols sableux.

2.3. Notion de réservoir utilisable (R.U)

La réserve utile (figure 2) est définie comme le stock d'eau compris entre la capacité de rétention (CR) et le point de flétrissement (WP) (Combres et al., 1999).

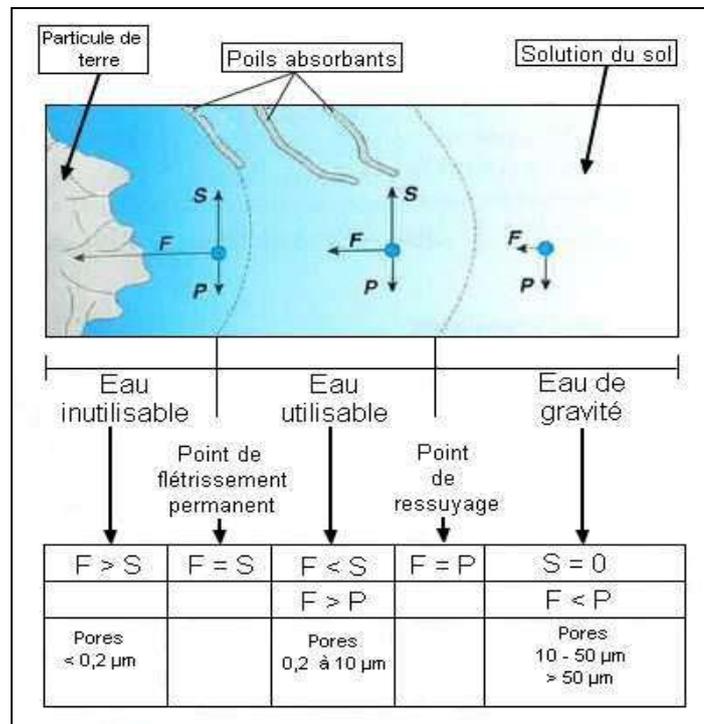


Figure 2. Forces s'exerçant sur l'eau du sol. Les catégories d'eau sont délimitées par les rapports entre la gravités (**P**), la rétention du sol (**F**) et la succion des plantes (**S**) (Soltner, 2005).

Selon Baize (2000), la réserve utile calcule selon la formule suivante :

$$RU = (H_{cr} - H_{pF}) * D_a * Z$$

Avec :

RU : réserve utile (mm) ;

H_{cr} : Humidité à la capacité de rétention (%) ;

H_{pF} : Humidité au point de fleutrisement (%) ;

D_a : Densité apparente ;

Z : Profondeur d'enracinement (dcm).

Selon Mückenhausen (1985), l'eau comprise dans les pores de 10 à 50 µm est partiellement utile aux plantes grâce à son drainage lent. D'autres part, les limite entre les catégories d'eau et celles de la porosité ne coïncident pas exactement en raison notamment de l'hétérogénéité des formes porales ou de la connectivité des vides (Gobat et al., 2010).

Au final, d'après Généré et al. (2012), on lui préférera l'appellation de « réservoir utilisable » (RU), afin de bien exprimer que la notion recouvre une vision de la quantité d'eau potentiellement disponible pour les plantes, et non de la quantité d'eau utilisée.

2.4. La conductivité hydraulique ou perméabilité

Dans un milieu poreux saturé, les flux d'eau sont décrits par la loi de Darcy (1856), qui stipule que le flux est proportionnel à la surface considérée, au gradient hydraulique-force motrice de l'écoulement, ainsi qu'à un paramètre caractéristique du milieu poreux (dans notre cas le sol). Le coefficient de cette proportionnalité directe est appelé conductivité hydraulique K ou perméabilité qui est exprimée par les unités de vitesse (Mohsenipouret Shahid 2016). Elle caractérise la facilité qu'à un fluide à circuler au sein du milieu poreux, et dépend donc de l'arrangement des particules, de leur taille et de la connectivité des vides présents.

Les sols sont rarement saturés, c'est pour cette raison que la loi de Darcy a été étendue aux milieux poreux non saturés grâce à la loi de Richards (1931). La loi de Darcy est généralement donnée comme suite :

$$Q = -K i A$$

Avec :

Q : le volume d'eau [L³.T⁻¹],

K : la conductivité hydraulique [LT^{-1}].

i : est le gradient hydraulique [LL^{-1}] et

A : la coupe transversale de l'échantillon de sol [L^2].

Le signe négatif dans une partie droite de l'équation marque le flux qui descend. Porchet définissait le coefficient de perméabilité **K** comme la fraction du volume de sol accessible à l'eau en mouvement, c'est-à-dire comme le rapport entre le volume d'eau qui s'écoule du sol saturé (volume d'eau libre ou gravitaire) et le volume total du dit sol (assimilation à la porosité efficace). (Colombani et al, 1973).

3. Méthodes de mesure de la teneur en eau

Le besoin de déterminer la quantité d'eau contenue dans le sol se manifeste fréquemment dans beaucoup d'études pédologiques et hydrologiques. Cette information est indispensable pour la compréhension du comportement chimique, mécanique et hydrologique des sols ainsi que son effet sur la croissance des plantes (Hillel, 1974).

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. Au laboratoire, pour obtenir la courbe de rétention en eau, l'échantillon mesuré 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 physique au sol sont dérivés de la presse à membrane de Richards (Bigorre, 2000).

4. Méthodes de mesure de la conductivité hydraulique

Il existe différentes méthodes de laboratoire qui permettent d'estimer la conductivité hydraulique, à partir d'échantillons de sol non perturbés. Les dispositifs de mesure les plus répandus sont le perméamètre à charge constante et le perméamètre à charge variable. L'utilisation de ces instruments ne peut se faire que si les écoulements latéraux le long des parois du contenant sont évités, par exemple grâce à de la paraffine (Hillel, 1998).

Les mesures de terrain de la conductivité hydraulique sont le plus facilement réalisées sous le niveau phréatique. Par exemple, la méthode du trou de carrière (augerhole) permet de mesurer la perméabilité en présence d'une nappe proche de la surface du sol. Elle est surtout utilisée dans les projets de drainage, pour calculer l'écartement des drains. Elle est basée sur

l'analyse de la vitesse de remontée de l'eau dans un trou, creusé sous le niveau de la nappe préalablement rabattue.

On cite un autre exemple aussi qui est la méthode du piézomètre. En enfonçant un tube crépiné dans un trou de tarière ménagé sous le niveau de la nappe, on peut mesurer la vitesse de remontée de l'eau sur une zone de dimensions connues (Chossat, 2005).

En outre, l'essai Lefranc qui est l'essai le plus connu et le plus utilisé car il s'intéresse aux terrains très perméables. On utilise classiquement pour mesurer la perméabilité d'interstice de roche meuble (Sedik, 2011).

Des techniques ont également été développées pour des mesures au-dessus du niveau de la nappe. Par exemple la méthode d'apport d'eau dans un puits peu profond (shallowwellpump in) permet de mesurer la perméabilité de la couche superficielle peu perméable d'un sol, reposant sur une couche plus perméable : un trou est rempli d'eau et une charge d'eau constante est maintenue jusqu'à ce que le débit d'infiltration soit constant.

De plus, le perméamètre de Guelph qui a été mis au point pour les sites ne présentant pas de nappe. La charge constante est maintenue par une bouteille Mariotte et l'eau s'infiltré par une crépine au bout d'un tube enfoncé au fond d'un trou de tarière. (Weynants, 2005). La méthode du double anneau permet de faire des mesures d'infiltration sous faible charge, sous une surface de sol bien délimitée : l'anneau central (Chossat, 2005).

Enfin, la méthode de Porchet qui permet de mesurer la conductivité hydraulique horizontale à niveau variable et à niveau constant en fonction de temps. Ce type de mesure est relativement facile à mettre en œuvre au moyen d'une tarière (Chossat, 2005). Cette dernière méthode fera l'objet d'une description détaillée (chapitre III), car elle est utilisée dans le cadre de ce travail de recherche.

Selon Hillel (1998), à cause de l'hétérogénéité du sol, principalement du point de vue de la macroporosité, les valeurs mesurées de la conductivité hydraulique dépendent de l'échelle de la mesure.

5. Facteurs affectant la perméabilité et l'humidité du sol

Divers auteurs (Gutmann and Small, 2005 ; Tóth, et al., 2006 ; Dilmi ,2009 ; Jutras, 2009 ; Eck et al., 2016 ; Haghazari et al., 2015 ; ont montré que le comportement hydrique des sols est très fortement lié à la texture et la structure du sol tant pour la quantité d'eau retenue que pour le domaine d'énergie de rétention de l'eau et la perméabilité.

A. La texture

Les argiles et les autres constituants finement divisés des sols développent une surface spécifique très grande et interagissent très fortement avec l'eau (Azzoug, 2014).

La figure suivante montre schématiquement la courbe de rétention de trois sols de textures différentes ainsi que l'évolution de l'humidité à la capacité de rétention et l'humidité au point de flétrissement en fonction de la texture.

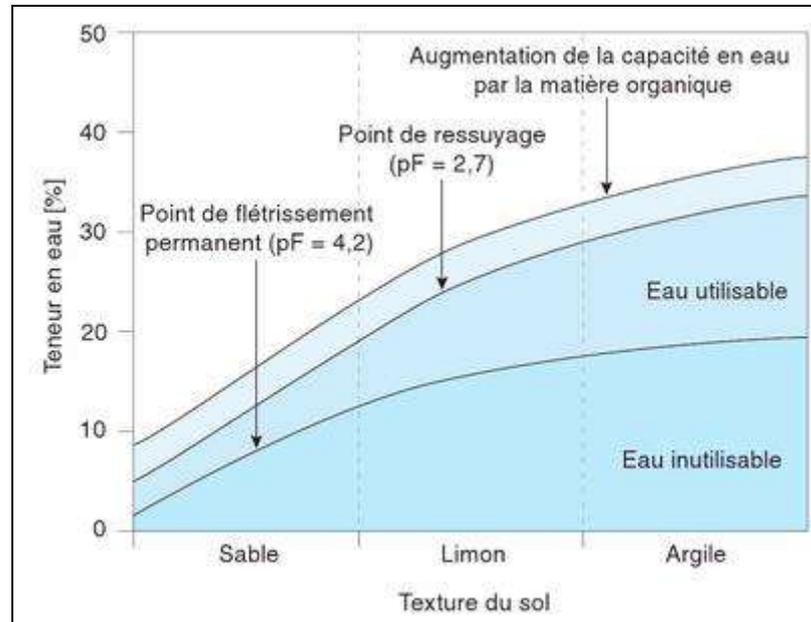


Figure 3. Relation entre la teneur en eau et le pF à différentes textures (Soltner, 2005).

Bigorre (2000), a montré que l'eau extraite du sol dans le domaine énergétique utilisable par les plantes est principalement retenue entre les tactoïdes ou quasicristaux formés par l'assemblage des particules unitaires des phyllites.

Ainsi, l'arrangement des particules argileuses a donc un rôle primordial dans la rétention en eau des sols. Ainsi, un sol sableux à une porosité très forte avec l'infiltration de l'eau est plus important, mais sa capacité de stockage en eau est très faible par l'arrangement inadéquat des grains de sables. Les argiles par leurs propriétés, sont capables de retenir un volume d'eau plus important, il varie suivant leur nature, mais l'infiltration de l'eau est moins importante.

D'après Dilmi (2009), selon que les sols sont sableux, limoneux ou argileux, l'eau n'y demeure pas sous les mêmes formes, à volume identique de sol, les phénomènes d'attraction superficielle des molécules d'eau seront très variables selon qu'il s'agira d'une texture fine ou grossière.

D'autres part, Tietje et Hennings (1996) ont pu vérifier certaines corrélations entre les teneurs de divers constituants et la valeur de la conductivité hydraulique. Ces corrélations

fournissent des fonctions de pédotransfert et peuvent être utilisées pour estimer les valeurs de la conductivité hydraulique. Mais ces relations ne sont pas précises car elles sont basées sur la composition granulométrique et ne font pas intervenir les caractéristiques de la macroporosité.

Le tableau suivant donne une idée des valeurs caractéristiques de la conductivité hydraulique de plusieurs types de formations en fonction de leurs textures

Tableau 1. Valeurs de la conductivité hydraulique en fonction de la texture du sol (Clapp et Hornberger, 1978).

Soil texture	K Sat (m year ⁻¹)
Sand	5.55×10 ³
Loamy sand	4.93×10 ³
Sandy loam	1.09×10 ³
Silty loam	2.27×10 ²
Loam	2.19×10 ²
Sandy clay loam	1.99×10 ²
Silty clay loam	5.36×10 ¹
Clay loam	7.73×10 ¹
Sandy clay	6.84×10 ¹
Silty clay	3.21×10 ¹
Clay	4.05×10 ¹

B. La structure

La structure des sols, c'est à dire l'arrangement des particules à différentes échelles, est à l'origine d'une grande partie des propriétés physiques, qu'il s'agisse de l'aération, de la conductivité hydraulique ou de la rétention en eau aux hauts potentiels (Biggore, 2000).

Selon Dilmi (2009), le comportement hydrique du sol est très fortement dépendant des structures et des microstructures de chaque horizon. C'est un facteur déterminant du bon fonctionnement de la plante. Dans un sol présentant un bon drainage, l'alimentation de la plante est régulière. Par contre dans les sols présentant des discontinuités structurales, le fonctionnement hydrique est contrasté avec humectation rapide et forte période de dessiccation.

La structure du sol affecte aussi la forme de la courbe caractéristique de l'humidité du sol, particulièrement dans l'échelle des succions les plus faibles. L'effet de compaction d'un sol provoque une diminution de la porosité totale et du volume des grands interstices entre les agrégats. Ceci signifie que la teneur en eau à saturation est plus basse et que la diminution initiale de la teneur en eau pour les faibles succions est plus faible. Par contre, le volume des pores intermédiaires est plus grand dans un sol tassé, tandis que les micropores dans les agrégats mêmes ne changent pas. Aux très hautes succions, l'eau est retenue principalement par adsorption, et la rétention en eau peut être considérée comme une propriété texturale plutôt que structurale du sol.(Weynants, 2005). Par ailleurs, selon Reboza (2011), tous les

facteurs qui accroissent l'agrégation et stabilisent la structure ont un effet favorable sur la conductivité hydraulique à saturation. Au contraire, les facteurs qui provoquent une destruction des agrégats et qui diminuent la stabilité de la structure sont à l'origine d'une diminution de la conductivité hydraulique.

6. Corrélation entre la conductivité hydraulique et la teneur en eau

Dans la zone non-saturée, la teneur en eau θ et la conductivité hydraulique K ne sont plus constantes mais dépendent du potentiel matriciel (ou de pression) Ψ_m .

Dans ce cas, d'après Barbara (2005), le fonctionnement hydrodynamique d'un sol est contrôlé par deux caractéristiques macroscopiques dépendant à la fois de sa texture et de sa structure :

A- La courbe de rétention hydrique, qui relie la teneur en eau volumique θ au potentiel matriciel Ψ_m , et qui exprime la capacité d'un sol à retenir l'eau.

B- La courbe de conductivité hydraulique, qui exprime la capacité du sol à transmettre l'eau en fonction de son état de saturation mesuré par Ψ_m ou θ .

A- La courbe de rétention hydrique :

La teneur en eau et le potentiel matriciel varient de manière similaire. La relation entre ces deux paramètres constitue un élément essentiel de la description de l'état hydrique du milieu poreux. Elle exprime les variations d'intensité des forces de capillarité en fonction de la teneur en eau. La relation $\theta(\Psi_m)$ est représentée graphiquement par la courbe de rétention d'eau (Figure 4). (Dilmi, 2009).

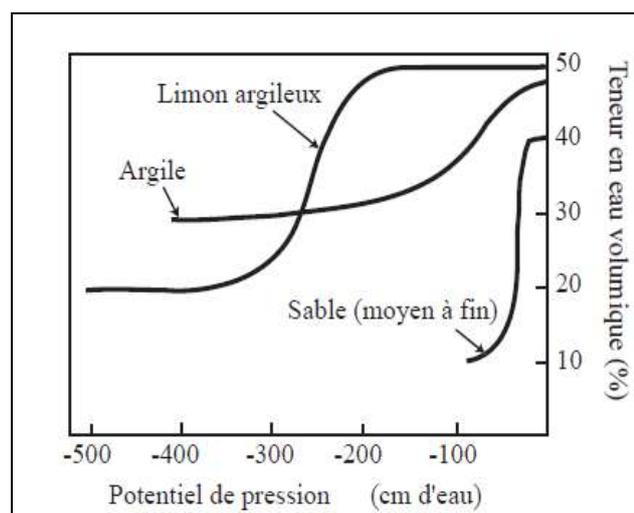


Figure 4. Courbes de rétention d'eau pour des sols ayant des textures différentes (Gillham, 1984).

B- La courbe de conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique d'un sol non saturé n'est plus une valeur constante mais varie en fonction de la teneur en eau du sol ou de la pression de l'eau du sol entre une valeur maximale (la conductivité hydraulique à saturation) et une valeur nulle quand la teneur en eau diminue jusqu'à θ_r (teneur en eau résiduelle) (Figure 5). (Mualem, 1979).

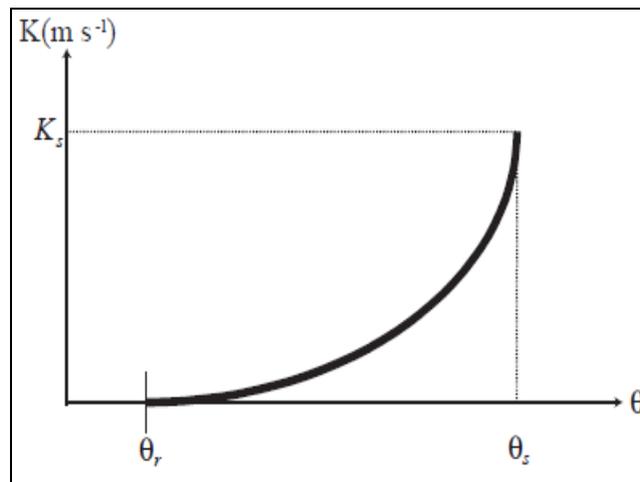


Figure 5. Variation de la conductivité hydraulique en fonction de la teneur en eau. (Musy et Soutter, 1991).

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Chapitre II : Matériels et Méthodes

Dans ce chapitre nous présenteront brièvement le contexte global de la région étudiée, les sols étudiés et les méthodes utilisées pour mesurer les propriétés de hydriques (rétention en eau et conductivité hydraulique).

1. Présentation du milieu

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

A. Cadre régional

La ville de Ghardaïa est située dans la région du M'Zab au centre du Sahara septentrional à environ 600 Km au Sud de la capitale Alger (figure 6), occupant ainsi une position centrale reliant les Hauts Plateaux avec le Sahara. Elle est limitée par :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470 Km) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350 Km).

Ses coordonnées géographiques sont 3° 40' 38" de longitude Est et 32° 29' 14" de latitude Nord et son altitude est de 530 m. Elle couvre une superficie de 86 105 Km².

Elle est caractérisée par des plaines dans le Continental Terminal des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale. Les escarpements rocheux et les oasis déterminent le paysage dans lequel sont localisées les villes de la pentapole du M'Zab et autour duquel gravitent d'autres oasis : Berriane, El Guerrara, Zelfana, Metlili et beaucoup plus éloignée au sud les oasis de Hassi El Fhel et d'El Goléa (Azzoug, 2014).

Notre zone d'étude est localisée dans la région de Guerrara située à près de 120 Km au nord-est de Ghardaïa chef-lieu de Wilaya. Ses coordonnées géographiques sont : Latitude : 32° 50' Nord, Longitude : 4° 30' Est (Djili, 2004).

La commune de Guerrara couvre une superficie totale de 2600 Km², Elle est limitée :

- Au nord : par la Wilaya de Djelfa ;
- À l'est : par la Wilaya de Ouargla ;
- À l'ouest : par les Daïras de Berriane et Bounora ;
- Au sud : par les Daïras de Zelfana et Al atteuf.

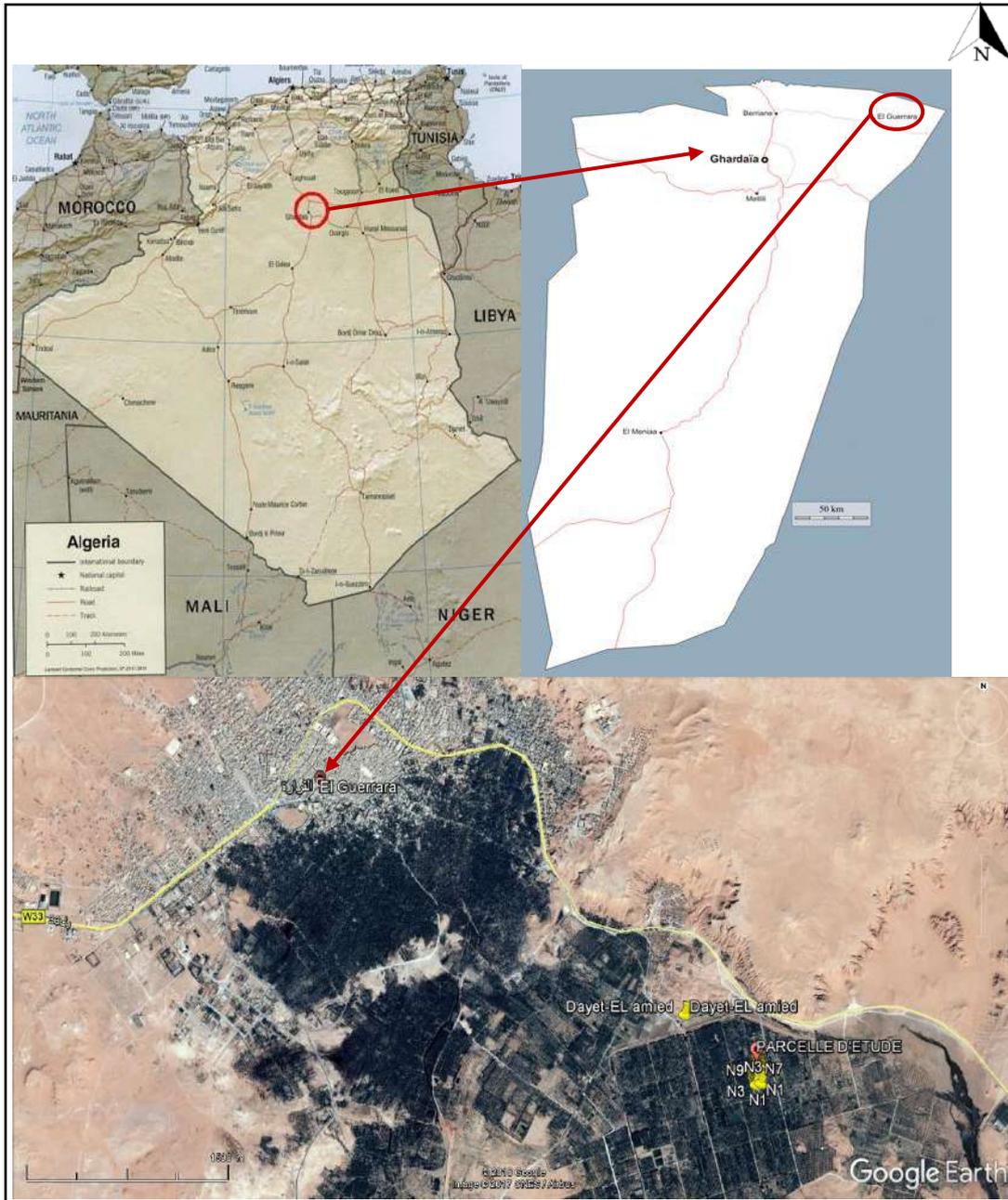


Figure 6. Localisation géographique de la région de Guerrara.

Guerrara est le septième et le dernier Ksar du Mzab, fondée depuis les années quarante de dix-septième siècle, au fond d'une grande dépression qu'occupe le lit de l'oued Zegrir (Hamdi-aissa, 2008 in Mezzar, 2015). Le mot Guerrara prend son origine de Garas, certains expliquent le mot de Guerrara comme vaste dépression en forme des cuvettes où l'eau de surface stagne périodiquement. (Mezzar, 2015).

B. Cadre local

La parcelle d'étude est une palmeraie située au niveau de Dayet-El Amied. Cette dernière est représentée par les coordonnées 32° 46' 27'' N et 4° 31' 26'' E et se situe au sud de l'ancienne palmeraie et de la ville de Guerrara. Elle s'étale sur les alluvions d'Oued Zegrir (Azzoug, 2014). D'après Doufene (2012, elle est limitée :

- Au nord par la route de Ghardaïa et quelques collines ;
- A l'est par une ancienne palmeraie et une digue de 1000 m de longueur ;
- Au sud par des formations dunaires, des buttes témoins (Gara) et des sols du Mio-pliocène ;
- A l'ouest par les glacis du Mio-pliocène

1.2. Géologie

Selon la carte géologique de Guerrara (Khemgani, 2010), on constate la présence de trois types de formations géologiques (figure 7).

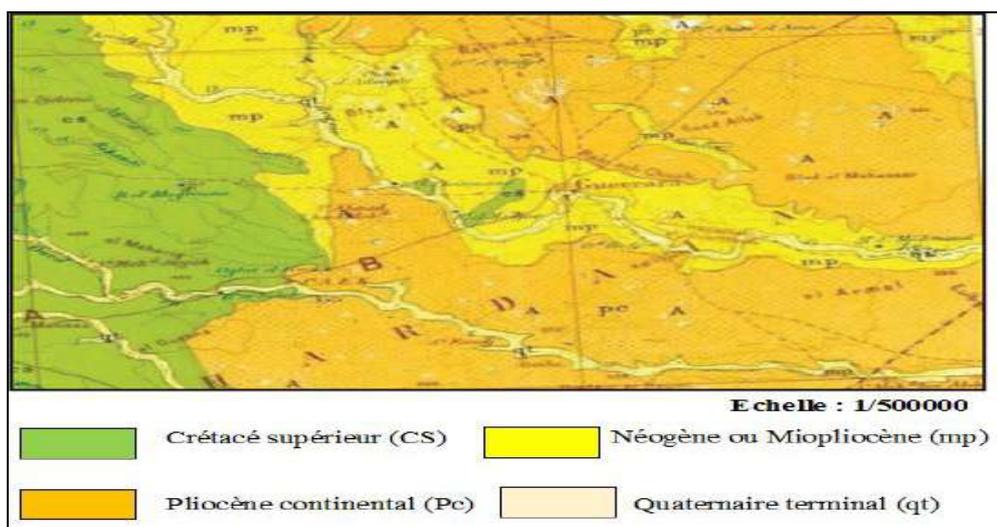


Figure 7. Carte géologique de Guerrara (Hadj-Saïd et al., 2008).

- Le Crétacé supérieur (CS) qui occupe la zone de Bled Bouaïcha au Nord- Ouest (en vert), constitué d'une double dalle dure de calcaires dolomitiques.
- Le Néogène (en jaune) présenté par la dépression de Guerrara qui est creusé dans le Pontien. Il s'agit du Mio-Pliocène (mp). Le reste du terrain est constitué du Pliocène continental (pc) comme des étendus formes de calcaire épais et continus. Cette formation s'étend dans la région des Dayas.
- Le Quaternaire continental (qt) est représenté par des formations sédimentaires sahariennes, qui sont des alluvions fluviales.

1.3. Hydrologie

Les eaux superficielles dans la région de Guerrara sont quasiment insignifiantes, en raison de la faiblesse de la pluviométrie. La région est drainée principalement par l'Oued Zegrir, dont l'écoulement se produit surtout en période des orages (B.N.E.D.E.R, 2000 in Melouah, 2012).

En effet, l'Oued Zegrir (photo 1) est l'un des grands Oueds qui traversent le Mزاب. Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100 Km². Situé en majeure partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux. La longueur de l'artère maîtresse, en prenant pour origine la tête de l'Oued Ajerma (860 m d'altitude), atteint 270 Km à la daya ben Feïla (300 m d'altitude), limite normale des grandes crues (Dubief, 1953).



Photo 1. Oued Zegrir (08 km au nord de Guerrara) (Khemgani, 2010).

1.4. Hydrogéologie

Selon Khemgani, (2010), cinq aquifères sont exploitables à Guerrara, y compris la nappe superficielle, on cite :

- La nappe superficielle ou alluviale qui est une nappe d'Oued. Elle est alimentée par les crues d'Oued Zegrir. La profondeur de cette nappe est variable selon la saison ; 0.4 à 6m en période de hautes eaux et de 10 à 35m en période des basses eaux.
- La nappe du Mio-Pliocène et Eocène qui se localise dans la partie Est de Guerrara ; il s'agit d'une nappe de Mio-Pliocène sableux de 125 m d'épaisseur en plus d'une nappe d'Eocène a calcaire blanc fin et de 100 m d'épaisseur.
- La nappe du Sénonien qui est rencontrée dans la partie Ouest de Guerrara et liée aux deux précédentes nappes et qui peut être exploitée à environ 430 m de profondeur.
- La nappe de Turonien carbonate ; d'une épaisseur de 74m, de 500 m de profondeur et caractérise la partie Ouest de Guerrara.
- La nappe du continental intercalaire ou nappe albienne qui se trouve à environ 500 à 900m de profondeur.

1.5. Cadre climatique

Vu le manque de données climatiques sur la région de Guerrara, nous avons travaillé sur les données de la station de Ghardaïa, considéré comme la plus proche de la région d'étude. Ainsi, pour caractériser le climat de cette dernière, nous avons recueillis auprès de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) des données relatives à la station de Ghardaïa pour une période de 10 ans. Ces deniers serviront de documents de base pour notre étude. Le tableau 2 résume les moyennes mensuelles des différents paramètres climatiques mesurées pour la période (2007-2016).

Ce dernier indique une température moyenne annuelle de 22,6°C, le mois le plus chaud étant juillet avec une moyenne 34,87°C, alors que le mois de janvier est le plus froid avec une moyenne de 12,2°C.

Quant à l'analyse des hauteurs mensuelles de pluie, elle fait ressortir une pluie interannuelle de 69,18 mm et un maximum en mois septembre de qui est de 11, 32mm tandis qu'un minimum se produisant en mois de juillet avec 1, 42mm. Cette insuffisance de pluie

Sahariennes est accompagnée d’une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d’une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (Ozenda, 1991 in Azzoug 2014).

Par ailleurs, l’humidité de l’air est très faible. La moyenne annuelle est de 35,35% pour la période (2007-2016). Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l’année. En effet, pendant l’été, elle chute jusqu’à 20,35% au mois de juillet, sous l’action d’une forte évaporation et des vents chauds ; alors qu’en hivers elle s’élève et atteint une moyenne maximale de 53,22 % au mois de décembre.

Tableau 2 : Données climatiques de la région de Ghardaïa (2006-2016) (O.N.M., 2017).

Mois	T (min)	T (max)	T (moy)	P (mm)	H (%)	V(m/s)
	(°C)					
Janvier	6,8	17,73	12.26	9,04	48,62	3,18
Février	7,83	18,85	13.34	2,82	40,48	4,03
Mars	10,3	22,09	16.19	8,10	35,46	4,45
Avril	14,85	27,71	21.28	5,71	31,21	4,92
Mai	19,36	32,6	25.98	2,92	26	3,88
Juin	24,21	37,83	31.02	3,12	23,52	4,23
Juillet	28,26	41,49	34.87	1,42	20,35	3,35
Aout	27,67	40,34	34	2,84	24,17	3,17
Septembre	23,47	35,68	29,57	11,32	34,02	3,08
Octobre	17,94	29,41	23,67	10,99	40,59	2,98
Novembre	11,18	22,07	16,62	6,14	46,66	3,02
Décembre	7,3	17,57	12,43	4,72	53,22	3,04
Moyenne	16,59	28,61	22,60	69,18*	35,35	3,86

H : humidité relative ; T : Température ; P : Pluviométrie ; V : Vitesse moyenne des vents ; * : Cumul annuel.

Au final, la vitesse des vents reste relativement faible, elle présente une moyenne annuelle de 3,56 m/s avec un maximum noté au mois d’avril (4,92 m/s) et un minimum au

mois d'octobre (2,98 m/s). Notant que les vents dominants sont de direction NW (Seltzer, 1946 in Azzoug, 2014).

1.6. Classification climatique

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен sert particulièrement à mettre en évidence la période de sécheresse et son intensité dans une région donnée.

De ce fait, la lecture du diagramme établi pour la région d'étude (figure 8) révèle une saison sèche (saison où les précipitations sont égales ou inférieures au double de la température) qui s'étale sur les 12 mois de l'année.

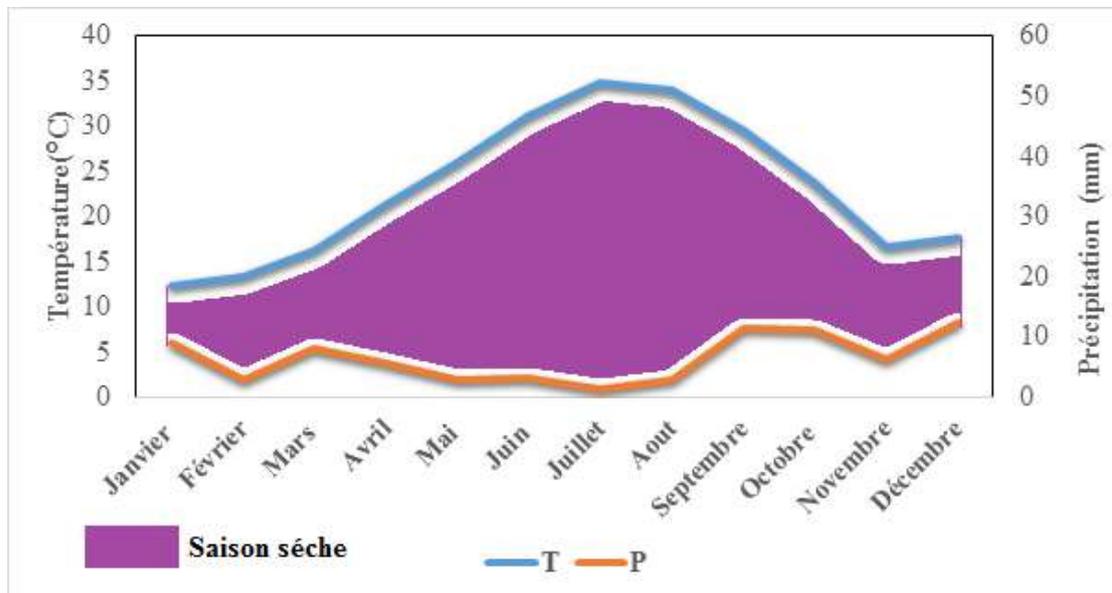


Figure 8. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Ghardaïa (2006-2016).

1.7. Couverture pédologique

D'après les travaux réalisés par (Bait et al., 1977, CDARS, 1999, B.N.E.D.R. 2000. In Aouam, 2007), les sols du lit des oueds de la région de Guerrara ont une texture limono-sableuse à sablo-limoneuse, leur salinité est faible, de même pour leur fertilité chimique, sauf pour des petites zones où la mauvaise gestion de l'eau où la texture argileuse permet d'avoir des sols salins.

2. Méthodologie expérimentale

2.1. Choix des sites de mesures

La localisation de Dayet El Ameid d'une part, dans le lit d'oued Zegrir et d'autre part, à côté des buttes témoins et des formations dunaires, fait que cette zone est soumise à deux types d'apport à savoir ; l'apport alluvial d'Oued Zegrir déposant des dépôts alluvionnaires lors de son passage ainsi que l'éolien prenant son origine les dunes d'obstacle situées au sud de la Daya (Azzoug, 2014). Pour cela le choix s'est porté sur une palmeraie dont les caractéristiques sont relativement homogènes et qui représente les sols de cette région.

2.2. Méthodologies de travail

L'étude consiste à la détermination des paramètres hydrauliques de la zone non saturée à savoir la perméabilité et la teneur en eau des sols de Dayet El Amied,

2.2.1. Collecte des données

L'objectif escompté est la collecte d'un maximum de documents qui servent comme éléments de base pour notre travail. Celui qu'on a utilisé est le travail de réalisé par Azzoug (2014) et qui rentre dans le cadre de l'étude de la rétention en eau des sols alluviaux de l'oasis de Guerrara (région du M'Zab). Les données analytiques collectées sont la granulométrie, la densité apparente et les taux d'humidité aux pF2,5 et pF4,2.

2.2.2. La campagne de mesures sur le terrain

La campagne effectuée le 04 mars 2017 a duré deux jours. Au cours de laquelle, nous avons réalisé des mesures de perméabilité au niveau de 18 points bien réparties dans la région d'étude(1/2 hectare), à 15 cm de profondeur et à 15 cm de diamètre selon la méthode de Porchet.

A. Détermination de la perméabilité

Un plan de mesure (figure 9) a été réalisé selon un quadrillage systématique en se référant aux anciens arbres du palmier dattier comme repères.

A.1. Matériels utilisés

Le perméamètre comprend (photo 2) ; un réservoir de saturation de 25 litres, muni d'un bouchon avec connexion rapide, une cellule de régulation de niveau en acier inoxydable, équipé de 2m de tube silicone muni d'une connexion rapide, et d'un dispositif de suspension réglable en hauteur, un réservoir de mesure de 2.5 litres, gradué par 100 ml, et muni d'une connexion rapide, un chronomètre électrique (pile incluse) et au final une tarière de diamètre 15cm et de longueur 125 cm.



Photo 2. Le perméamètre de VIGUIER

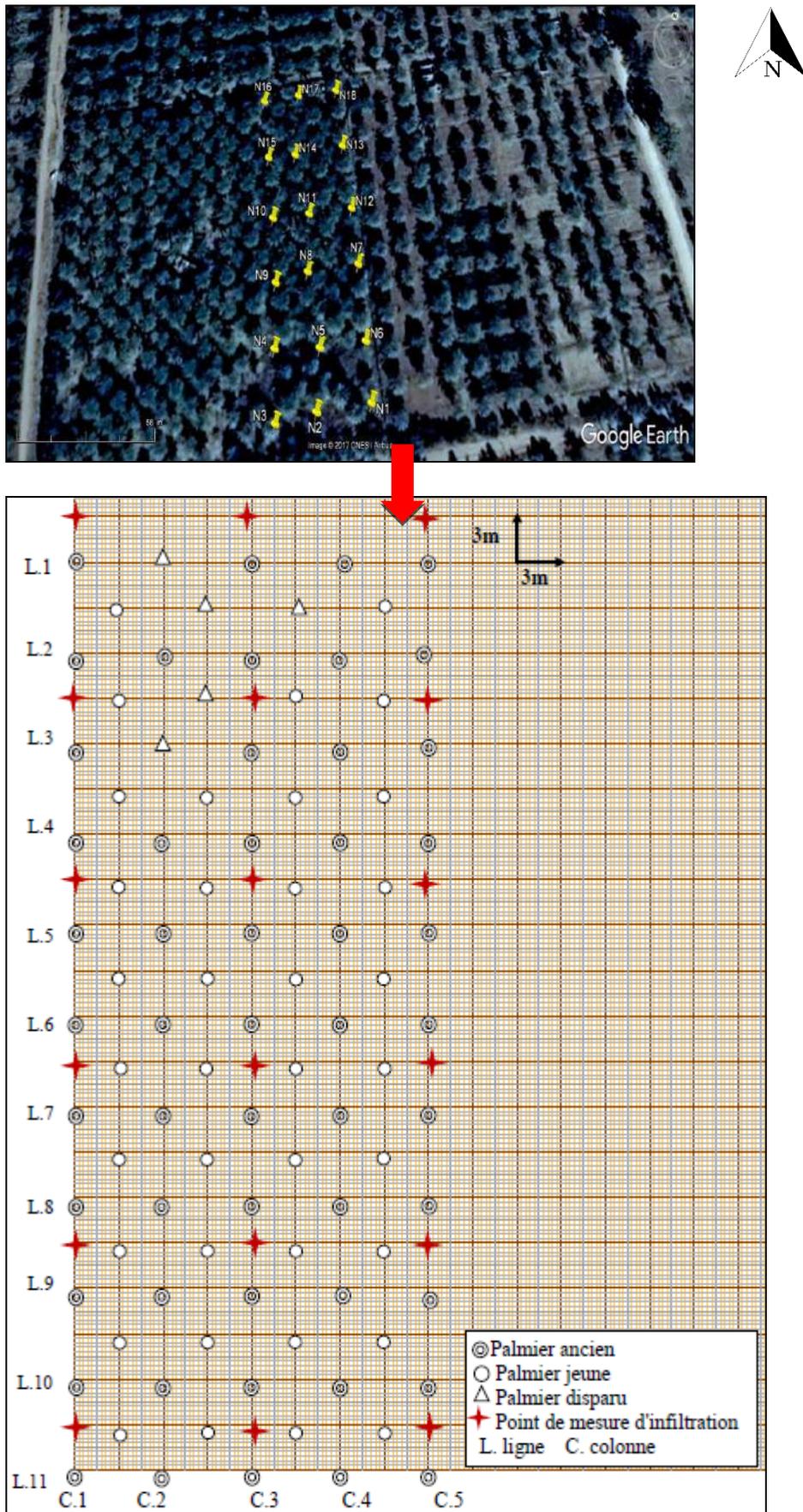


Figure 9. Plan de mesure effectué sur la parcelle d'étude.

A.2. Mode opératoire

La première étape consiste à creuser à l'aide d'une tarière manuelle des trous de 15 cm de diamètre. De placer ensuite la cellule de régulation de niveau au fond du trou, de façon à ce que celle-ci repose bien horizontalement. Celle-ci régulera automatiquement le niveau à 15 cm au dessus du fond. Connecter le réservoir de saturation rempli d'eau à l'extrémité du tube silicone et remplir le trou jusqu'à la saturation du sol. Une fois la saturation atteinte, on déconnecte du réservoir le tube de la cellule de régulation et on connecte celle-ci au réservoir de mesure, préalablement remplis d'eau et on observe sur le réservoir de mesure le volume d'eau percolant pendant une durée donnée à l'aide du chronomètre.

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

Dans ce chapitre, nous allons reporter les résultats de mesures et de calculs des différents paramètres du sol de la zone non saturée étudiée, à savoir : la granulométrie, les teneurs en eau à différents points de pF et la perméabilité. Les statistiques élémentaires à savoir les matrices de corrélation et les statistiques descriptives (moyenne, médiane, maximum, minimum, écart type et les quartiles) permettront de discuter le fonctionnement hydrique de ces sols.

1. Caractérisation des sols étudiés

1.1. Description des paramètres physiques

Les statistiques descriptives des données physiques, effectuées au moyen du logiciel XLSTAT2017, et présentées dans le tableau 3, révèlent que les teneurs en argile varient de 10,6% à 28% avec une moyenne de 22,9%, celles des limons fins et des sables fins relativement importantes varient de 31% à 62,4% et de 22% à 32,7% avec une moyenne de 38,3% et 26,9 % respectivement, quant aux limons grossiers et sables grossiers nettement faibles, elles varient de 1,1 % à 11,9 % et de 1,7% à 8,2% avec une moyenne de 5,8 % et 4,5 % respectivement.

Tableau 3. Variabilité des caractéristiques physiques des échantillons étudiés (n=18).

Statistique	A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)
Minimum	10,6	31,0	1,1	22,0	1,7
Maximum	28,0	62,4	11,9	32,7	8,2
1er Quartile	22,6	34,2	2,9	24,0	3,1
Médiane	23,7	36,6	5,4	26,2	4,1
3ème Quartile	24,9	40,3	7,5	30,1	6,4
Moyenne	22,9	38,3	5,8	26,9	4,5
Variance (n)	14,5	48,6	10,0	11,3	3,8
Ecart-type (n)	3,8	7,0	3,2	3,4	2,0
CV (%)	17	18	55	12	44

L'analyse de ces résultats indique aussi que 25 % des échantillons ont des taux en argile, limons fins, limons grossiers, sable fins et sable grossier inférieurs respectivement à 22,6 %, 34,2%, 2,9 %, 24 % et 3,1 %. Alors que 75% des échantillons, en ces mêmes fractions, ont des taux supérieurs respectivement à 24,9%, 40,3%, 7,5%, 30,1% et 6,4%, Les plages de variations sont de 17,4% pour les argiles, de 31,4% pour les limons fins, de 10,8% pour les limons grossiers et de 10,7% pour les sables fins.

1.2. Textures des sols étudiés

Les résultats de l'analyse granulométrique reportés sur le triangle textural de l'USDA (figure 10) indiquent que les sols de la palmeraie d'étude sont répartis sur trois classes texturales ; limoneuses, limon fin et limono-argileuses, ce qui dénote le caractère limoneux de ces derniers.

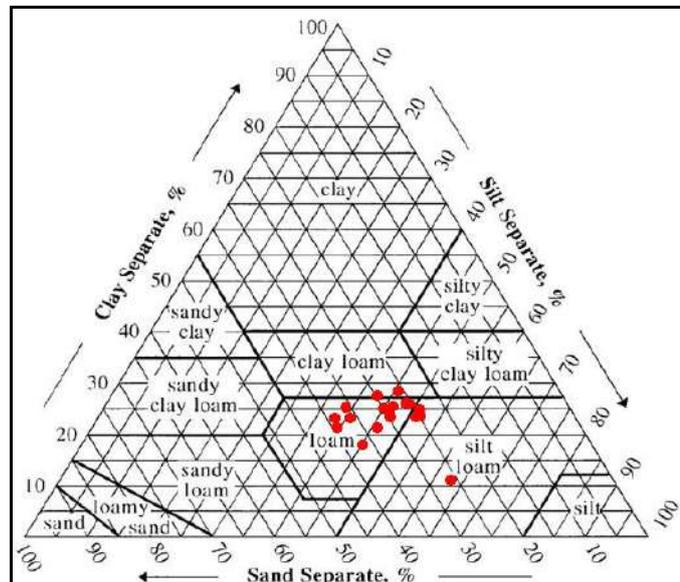


Figure 10. Textures des sols étudiés (USDA, 1960).

1.3. Rétention en eau des sols à la capacité de rétention et au point de flétrissement

En raison de leur importance pratique, seuls deux potentiels critiques correspondant aux teneurs en eau à la capacité au champ (330 hPa) et au point de flétrissement permanent (15 000 hPa) ont fait l'objet d'étude et de comparaison.

L'examen du tableau 4 indique que les taux d'humidités à saturation varient de 46,1% à 63,3%. Quant aux teneurs en eau au point de flétrissement sont relativement plus faibles que celles à la capacité au champs. Hamraras (2008) ont montré que les teneurs en eau au point de

flétrissement sont plus faibles que celles de la capacité de rétention car l'augmentation de pression provoque un départ d'eau.

Tableau 4. Statistiques descriptives des teneurs en eau à différents potentiels des échantillons étudiés (n=18).

Statistique	H _{Sat}	H _{Cr}	H _{pF}
Minimum	46,1	26,5	20,6
Maximum	63,3	40,5	35,2
1er Quartile	53,8	32,3	24,0
Médiane	56,7	33,0	26,9
3ème Quartile	60,0	35,0	29,6
Moyenne	56,3	33,2	27,2
Variance (n)	24,8	11,0	15,5
Ecart-type (n)	5,0	3,3	3,9
CV (%)	9	10	14

H en (%).

1.4. La réserve utile du sol

La détermination des humidités à deux niveaux d'énergie (humidité à la capacité de rétention et humidité au point de flétrissement permanent) a permis de mesurer les réserves utiles (RU) des sols (tableau 5).

Tableau 5. Résultats de la réserve utile du sol (n=18).

N°	RU (mm)
1	19,98
2	7,15
3	21,00
4	21,00
5	19,18
6	15,60
7	25,03
8	17,23
9	8,70
10	34,30
11	9,80
12	41,30
13	22,88
14	37,88
15	23,25
16	21,20
17	10,85
18	19,13

Les résultats présentés dans le tableau 5 font clairement apparaître une variation importante de la RU pour chaque texture. Les sols de texture grossière (L) à savoir les horizons 7, 12 et 14, montrent les RU les plus élevées par rapport aux sols de texture fine (AL et LA) à savoir les horizons 2 et 13. Duchaufour (1995) a signalé que la texture joue un rôle déterminant pour la RU : elle est faible pour les sables, maximale pour les limons ; elle diminue, par contre, pour les argiles en raison du point de flétrissement élevé.

1.5. Perméabilité

Suite à l'application de la formule de Darcy, nous avons obtenu les résultats de la perméabilité représentés dans le tableau 6.

Tableau 6. Résultats des mesures de la perméabilité de la zone non saturée de Guerrara (n=18).

N°	K m/s
1	$1,762 \cdot 10^{-5}$
2	$2,675 \cdot 10^{-5}$
3	$1,007 \cdot 10^{-5}$
4	$2,832 \cdot 10^{-5}$
5	$1,290 \cdot 10^{-5}$
6	$1,133 \cdot 10^{-5}$
7	$1,825 \cdot 10^{-5}$
8	$5,665 \cdot 10^{-6}$
9	$2,832 \cdot 10^{-5}$
10	$1,259 \cdot 10^{-5}$
11	$2,581 \cdot 10^{-5}$
12	$2,832 \cdot 10^{-5}$
13	$1,573 \cdot 10^{-5}$
14	$1,762 \cdot 10^{-5}$
15	$7,869 \cdot 10^{-6}$
16	$3,462 \cdot 10^{-5}$
17	$1,101 \cdot 10^{-5}$
18	$1,290 \cdot 10^{-5}$

Le tableau 6 indique que les valeurs de perméabilité du sol K à la profondeur 15 cm varient de $7,869 \cdot 10^{-6}$ à $1,007 \cdot 10^{-5}$ m/s. Ce qui la place dans la catégorie « semi perméable »

selon les normes citées par Calvet (2003). Ainsi les pointes 15 et 8 s'individualisent dès la saturation par leur forte perméabilité et l'horizon 3 par sa faible perméabilité.

D'autres part, la conductivité hydraulique est connue comme étant très variable spatialement (Jarvis et al., 2002). Dans le but de voir la variation de cette dernière dans la zone non saturée dans la palmeraie de Dayet El Amied de Guerrara, nous avons établi la carte des courbes iso-valeurs de perméabilité au moyen du logiciel de Surfer version 2011.

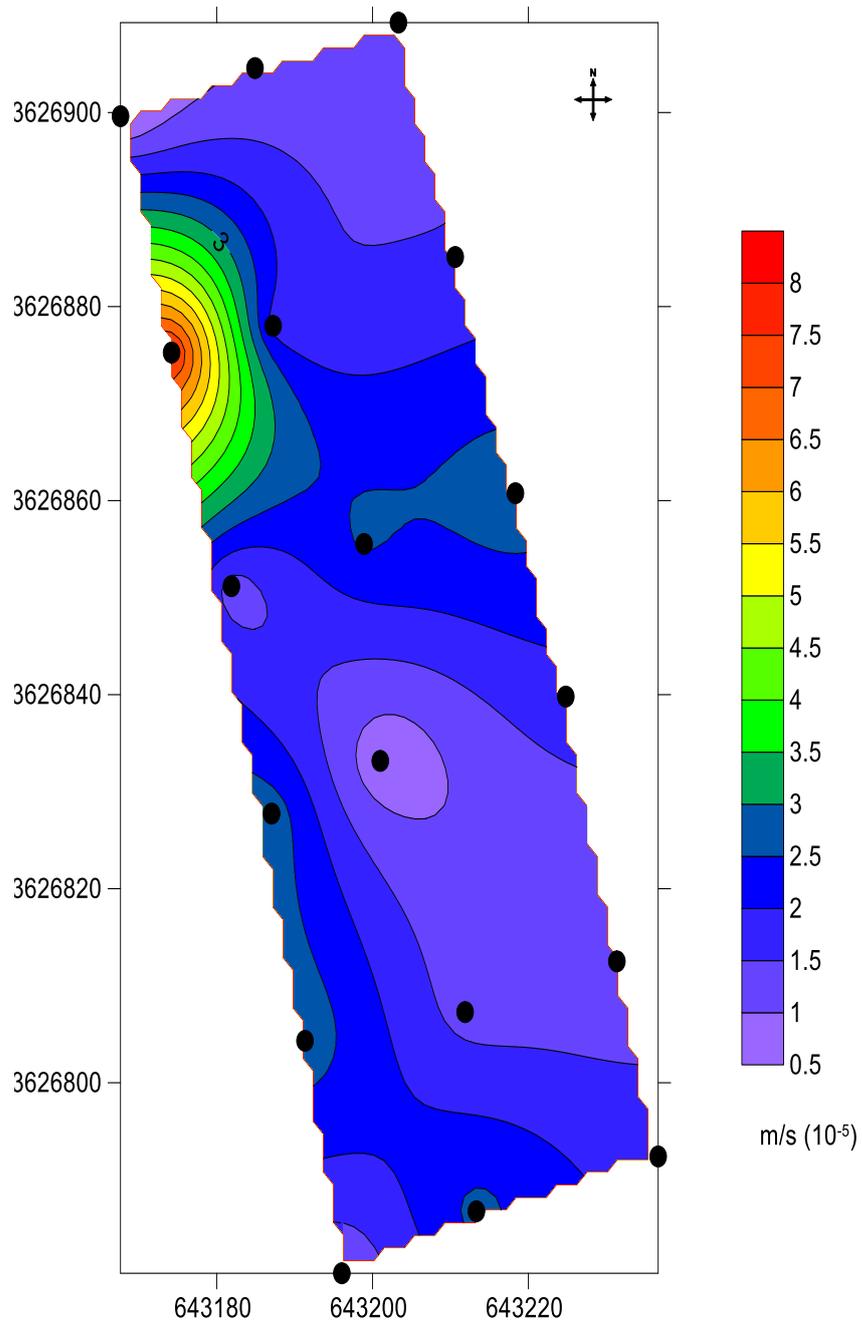


Figure 11. Carte de la perméabilité de la zone non saturée de la parcelle d'étude.

L'observation de la carte 1 montre que la perméabilité K est faible au Sud et au Nord Est de la palmeraie où les valeurs varient de $0,5 \cdot 10^{-5}$ à $3 \cdot 10^{-5}$ m/s. Alors qu'elle est moyenne au Nord-Ouest où les valeurs varient de 3 et $7,8 \cdot 10^{-5}$ m/s c'est la perméabilité des sols limoneux. Ce résultat peut être expliqué par la texture de ces sols qui est limon fin à limono-argileuse dans le premier cas et limoneuse dans le second. Jury et al. (1991) estime que la conductivité hydraulique à saturation du sol est fonction de la taille des pores ; les sols à texture grossière ont des pores plus grands et une conductivité plus élevée que les sols à texture fine.

2. Synthèse des principaux résultats

Dans la région de Guerrara, la distribution des sols dans le lit de l'Oued Zegrir, y compris la Daya d'El-Ameid, se fait en relation avec plusieurs paramètres à savoir : les positions géomorphologiques (variation topographique), l'influence d'apports éoliens et les résultats de l'action de l'homme sur l'écoulement des eaux (endiguement et barrage de dérivation) (Djili 2004).

La couverture pédologique dans la palmeraie de Daya d'El-Ameid est une accumulation de plusieurs couches d'alluvions très fines, selon le tableau 1 représenté dans l'annexe, les sites N8 et N15 présentent une texture limono-argileuse, tandis que les sites N2, N3, N11, N16 une texture limon fin, quant au reste ils sont de texture limoneuse. Ainsi le sol représente une texture limoneuse relativement homogène sur toute la palmeraie et semi perméable donc il y a possibilité de drainage et recharge des nappes.

D'après Ghenam (2011), la perméabilité d'un matériau diminue généralement lorsque la teneur en particules fines augmente ; elle dépend non seulement de la granulométrie mais aussi de la nature du matériau. Aussi, Paris (2001) a constaté que cette influence est due au fait que la teneur en particules fines contrôle le diamètre des pores ce qui affecte de manière directe l'écoulement d'eau.

3. Mise au point des relations spécifiques des sols étudiés

3.1. Relations entre les humidités caractéristiques et la texture des sols étudiés

Des corrélations positives et significatives sont observées entre le taux d'argile et de limon fin et les teneurs en eau à saturation ($r = 0,53$) (figure 12) et à la capacité au champ qui ($r = 0,48$) (figure 13).

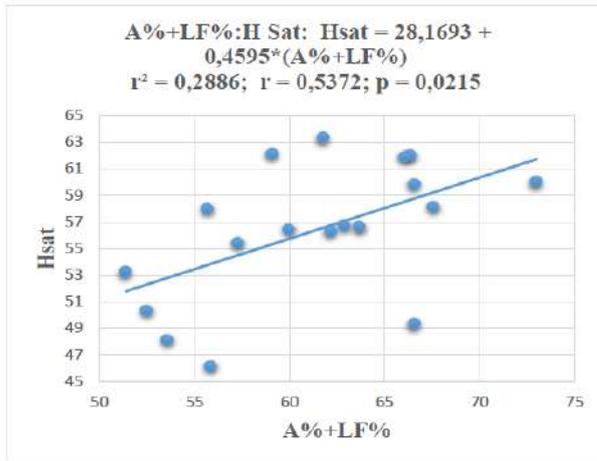


Figure 12. Relation entre le taux d'argile et de limon fin et la teneur en eau à saturation

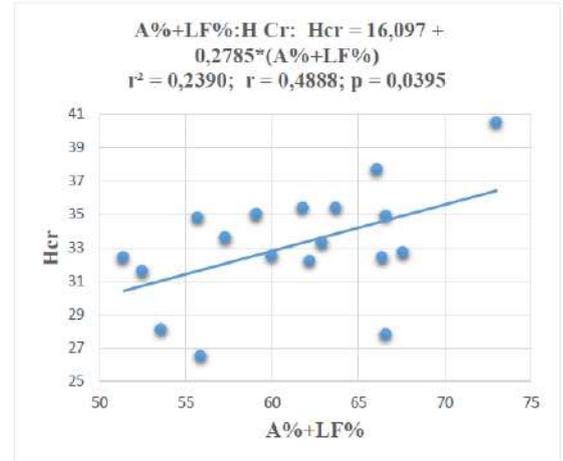


Figure 13. Relation entre le taux d'argile et de limon fin et la teneur en eau à la capacité de rétention

Ces résultats sont conformes aux travaux de (Dilmi, 2009; Weynants, 2005; Ouamer, 2010) qui estiment que les limons fins est le facteur dominant qui régissent leur capacité en eau disponible, et aussi la rétention en eau de ces sols à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent augmente avec l'augmentation de ce paramètre.

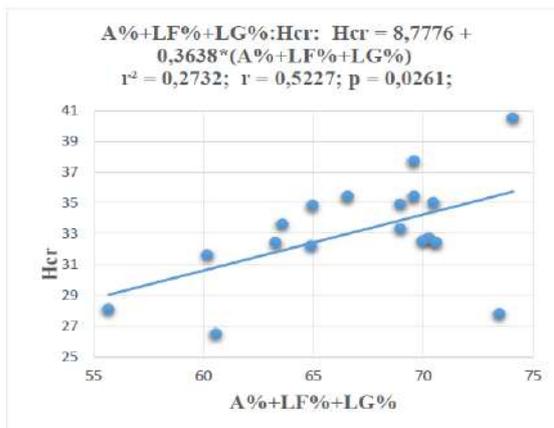


Figure 14. Relation entre le taux d'argile, de limon fin et de limon grossier avec la teneur en eau à saturation

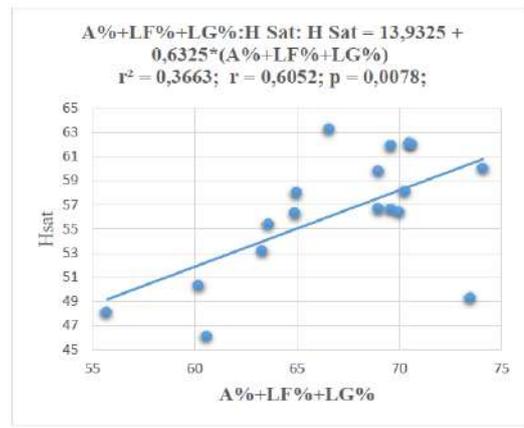


Figure 15. Relation entre le taux d'argile, de limon fin et de limon grossier avec la teneur en eau à la capacité de rétention

Concernant le taux d'argile, de limon fin et de limon grossier, des corrélations positives et significatives (figure 13) sont observées à saturation ($r = 0,6$) mais aussi positives et hautement significatives (figure 14) avec les humidités à la capacité de rétention ($r = -0,34$).

D'après Djili (2004), Il s'agit de limon d'origine allochtone érodé et transporté par les crues d'Oued Zegrir, qui reflète les caractéristiques des formations géologiques des régions traversée (Crétacé supérieur). Ce qui implique que l'augmentation de limon s'accompagne par celle de la rétention en eau.

3.2. Relations entre les humidités caractéristiques et la perméabilité du sol

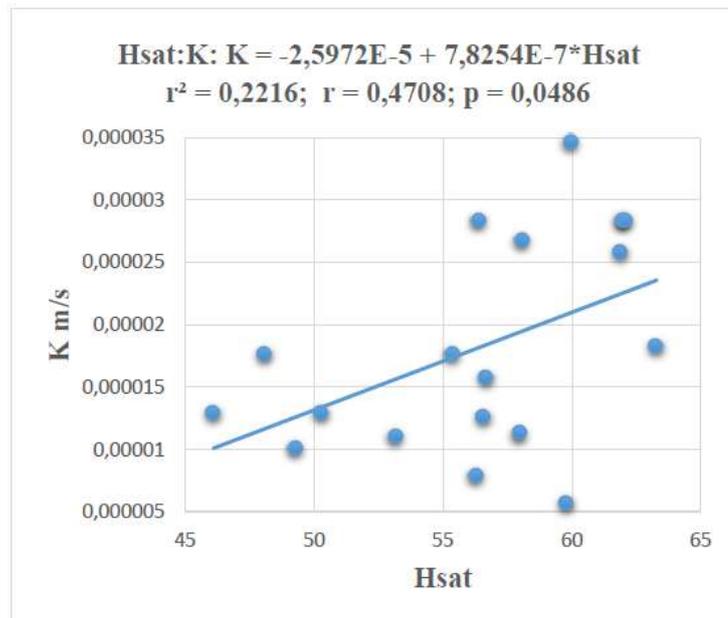


Figure 16. Relation entre la teneur en eau à saturation et la perméabilité

La corrélation indique une relation positive et significative entre le teneur en eau à saturation et la perméabilité ($r=0,48$). D'après Ghanem (2011) La conductivité hydraulique à saturation augmente de façon importante quand la teneur en eau élevée et que la succion se réduit. Haghazari and al (2015) ont déclaré que la perméabilité du sol sont fortement liées à la teneur en eau et à sa répartition dans le profil du sol.

Donc la relation entre la conductivité hydraulique et la teneur en eau des matériaux partiellement saturés est normalement effectuée à partir de fonctions basées sur la distribution des pores en considérant que la structure du sol est incompressible. (Paris, 2001)

Conclusion

Conclusion générale

Cette étude concerne la caractérisation des propriétés hydrodynamiques des sols alluviaux de l'oasis de Guerrara. Elle s'est basée sur des mesures de terrain de la conductivité hydraulique à saturation, calcul de la réserve utile permettant de préconiser des exemples de doses d'irrigation pour les cultures les plus pratiquées dans la région et l'étude de la relation entre les caractéristiques hydriques des sols et la texture.

Les résultats de mesure de la perméabilité de la zone non saturée au niveau des 18 points révèlent que dans l'ensemble le sol de la palmeraie est semi perméable. Les sols étudiés sont assez riches en particules grossières ce qui explique ce résultat.

Les propriétés de rétention en eau des sols étudiés sont fortement influencées par la teneur en argile en limon fin et en limon grossier. Ces trois paramètres agissent différemment selon le potentiel. En effet, la variabilité de la rétention en eau due à la somme des teneurs en argile et en limons fins diminue au fur et à mesure que le potentiel décroît, elle passe de 0,28 à saturation à 0,31 à la capacité de rétention. Par contre, celle due à la somme des teneurs en argile, en limons fins et en limons grossiers, elle augmente avec la baisse du potentiel, elle passe de 0,27 à saturation à 0,36 à la capacité au champs. Aussi, l'étude de la relation entre la perméabilité et la teneur en eau a relevé une corrélation positive et significative avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,44.

Par ailleurs, nos résultats montrent que la variation faible de la texture sur le site influe sur le Réservoir Utilisable du sol.

Au final, il apparaît que la connaissance du fonctionnement hydrique des sols est essentielle afin de gérer durablement les ressources en eau, tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

- Aouam H., 2007. Etude minéralogique et micro morphologique de sols alluviaux de la région de Guerrara (W. Ghardaïa). Thèse de Magister, El-Harrach, Institut National Agronomique, Alger.
- Audrey L. 2010. Estimation de l'humidité de surface des sols nus à partir de l'imagerie hyperspectrale à haute résolution spatiale sur le domaine optique 0,4 – 14 μm . Thèse Doctorat de l'Université de Toulouse.
- Azzoug L. 2014. Estimation de la rétention en eau dans les sols alluviaux de l'oasis de Guerrara (région du M'Zab). Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla. ALGER.
- Barbara S. 2005. Caractérisation et suivi des écoulements hydriques dans les milieux poreux par la méthode du Potentiel Spontané. Géophysique. Université de droit, d'économie et des sciences - Aix-Marseille III. Français.
- Bigorre F. 2000. Influence de la pédogenèse et de l'usage des sols sur leurs propriétés physiques. Mécanismes d'évolution et éléments de prévision. Thèse Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, France, 148 p.
- Bouchelghoum F., 2006. Écoulement de l'eau a traversé le milieu poreux. Thèse de Magister. Université de Biskra. ALGER. 8-10p.
- Bourgeois F. 2013. Caractérisation du réservoir utilisable des sols et évolution en fonction des successions culturales. Mémoire de Master. Université de France Rabelais Tours.
- Bruand A., Darthout R., Duval O., Gaillard H., Jamagne M., 1996. Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols : importance de la densité apparente. Etude et Gestion des Sols, vol. 3, 1, pp. 27-40.
- 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*. Vol. 3, n°1. pp 27 – 40.
- 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*, V. 3, n. 1, pp. 27-40.

- Chalhoub M. 2013. Effet de l'apport de composts sur la dynamique hydrique du sol, la disponibilité de l'azote pour la plante et le lessivage du nitrate : cas d'un sol limoneux cultivé du bassin parisien. Thèse Doctorat de l'Université PARIS XI, ORSAY.
- Chossat, J.C. 2005. La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols ; Choix des méthodes. Edition Tec and DOC, Lavoisier, Paris.
- Collinet J, Zante P., 2002. Estimation et spatialisation des réserves hydriques du sol, application au bassin versant de l'oued Zanfour, Mission I R D de Tunis, Rapport Multigr.
- Colombani J., Lamagat J.P., Thiebaut J. 1972. Mesure de la perméabilité des sols en place : un nouvel appareil pour la méthode M"UNTZ. Une extension de la méthode PORCHET aux sols hétérogènes. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. Vol IX. N°3.
- Dilmi A.2009. Prédiction des propriétés hydriques des sols d'Algérie par les fonctions de pédotransfert. Diplôme de Magister. Université d'El Harrach. Alger.
- Djili B., 2004. Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mémoire Mag. Agro. Université de Ouargla, 81p.
- Duchaufour P., 2001. Introduction à la Science du Sol, sol, végétation, environnement. 6 ème Edition, Dunod, 81-96 p.
- Eck D. V., Qin M., Hirmas D. R., Giménez D., Brunsell A., 2016. Relating Quantitative Soil Structure Metrics to Saturated Hydraulic Conductivity. Soil Science Society of America. USA. Vol. 15, Iss, 1.
- Ghanem F. 2011. Etude de la corrélation entre la perméabilité et la succion. Mémoire de Magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou. ALGER.
- Gillham, R.W., 1984, The capillary fringe and its effect on water-table, Journal of Hydrology, Volume 67, Issue 1, 307p.
- Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2010. Le sol vivant : base de pédologie, biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 3ème édition, 817p.
- Green TR, Ahuja LR, Benjamin JG. Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. Geoderma 2003; 116: 3-27.
- Haghazari F., Shahgholi H., Feizi M., 2015. Factors affecting the infiltration of

- agricultural soils: review. International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR). Vol. 6, No. 5, p. 21-35.
- Gutmann E. D., Small E. E., 2005. The effect of soil hydraulic properties vs. soil texture in land surface models. *geophysical research letters*, VOL. 32, 82-94.
 - Tóth B., 1a. Makó A. Rajkai K., Kele G. SZ. Hermann T., Marth P. 2006. Use of Soil Water Retention Capacity and Hydraulic Conductivity Estimation in the Preparation of Soil Water Management Maps. *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN*. 55 .1. 49-58.
 - Cornet A. 1980. Observations sur la capacité de rétention, ses relations avec les valeurs de potentiel et la texture des sols sableux du Nord Sénégal. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Biol., n° 42*, pp. 53-59.
 - Clapp, R. B., G. M. Hornberger G.M. 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties, *Water Resour. Res.*, 14, 601-604.
 - Mezzar L. 2015. Etat de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara. Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla.
 - Dubief J., 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Alger, Service des études scientifiques, 457p.
 - Doufene S. Caractérisation micromorphologique et minéralogique des matériaux pédo-sédimentaires des systèmes des Dayas: cas de Dayet El-Amied, Guerrara. Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla.
 - Hadj-said, S., Hamdi-Aissa B., et Touil Y., 2008. Qualité et ressources en eaux souterraines dans un agrosystème oasien au Sahara d'Algérie (cas de l'oasis de Guerrara, M'Zab). *Bull. du Groupe Francophone Humidimètre et Transferts en Milieux Poreux*, 54, 195-198.
 - Melouah O. 2012 Investigation géophysique du sous-sol pour la détection des poches de dissolution et des cavités karstiques : cas de la région de Guerrara (Ghardaia). Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla.
 - Soltner, D., 2005- La base de la production végétale Tom I. Le sol et son amélioration 24eme Edi. collection science et technique agricole. 472p.
 - Combres J.C., Le Mezo L., Mete M., Bourjon B.. 1999. Réserve utile et mesures d'humidité. Difficulté de calage des modèles de bilan hydrique. *Agriculture et Développement (24)* : p. 39-47.
 - Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2010. Le sol vivant : base de pédologie,

- biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 3^{ème} édition, 817p.
- Hillel D., 1974. L'eau et le sol, principes et processus physiques. Vander, Louvain, 257p.
 - Tietje O., Hennings V., 1996. Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedotransfer functions compared to the variability within FAO textural classes. *Geoderma* 69(1-2):71-84.
 - Reboza, Anthonio, 2011. Indicateurs texturaux pertinents pour l'infiltration des eaux traitées en assainissement non collectif. Rapport de stage Master 2, Ecole des Ponts ParisTech, Champs-sur-Marne. ENPC, 22 p.
-
- Calvet R., 2003.. Tome 2 : Phénomènes physiques et chimiques in *Le sol : propriétés et fonctions*. Paris : Editions France Agricole, Dunod, 511p.
 - Cornet A. (1980). Observations sur la capacité de rétention, ses relations avec
 - Duchaufour ph, 1995. Abrégé de pédologie. Sol-Environnement, végétation. Ed. Masson et Cle, Rome, 324 p.
 - Hamraras H. 2008. Etude de la réserve utile des sols des Hautes Plaines Sétifiennes. Diplôme d'ingénieur. Université d'El Harrach. Alger.
 - Hillel, D. 1998c. Flow of water in saturated soil in *Environmental Soil Physics*. Academic.Press. p. 173-201
 - Horn R. Time dependence of soil mechanical properties and pore functions for arable soils. *Soil Science Society of America Journal* 2004 ; 68: 1131-1137.
 - Jarvis, N.J., L. Zavattaro, K. Pajkai, W.D. Reynolds and P.A. Olsen et al., 2002. Indirect estimation of non-saturated hydraulic conductivity from readily available soil information. *Geoderma*, 108: 1-17.
 - Jury, W.A., W.R. Gardner, W.H. Gardner. 1991. *Soil Physics*. John Wiley, New York, 328 p
 - Jutras M. F., 2009. Modeling stream discharge in forest catchments across Canada: hydraulic conductivity calibrations. Masters of Science in Forestry. University of New Brunswick.
 - Khemgani M.A., 2010. Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Thèse Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 107p.

- Li Y.; Chen D.; White R.E.; Zhu A.; Zhang J. (2007). Estimating soil hydraulic properties of Fengqiu County soils in the North China Plain using pedo-transfer functions. *Geoderma*, vol. 138, pp.261–271.
- Mermoud A. 2005. Etat de l'eau du sol in *Cours de physique du sol*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 27 p.
- Mermoud A., 2006. Etat de l'eau du sol in cours de physique du sol. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
- Merot P. 2012. Sécheresse et réserve en eau des sols in *Changement climatique dans l'Ouest. Evaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes, Rennes (FRA).
- Mohsenipour M., Shahid S., 2016. Estimation of saturated hydraulic conductivity: a review. Faculty of Civil Engineering, University Technology Malaysia (UTM), Johor Bahru, Malaysia.
- Mualem, Y., 1976, A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resources Research*, vol.12: 513p.
- Musy, Soutter M., 1991. Bilan hydrique au Québec in *Physique du sol*. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.
- Musy, Soutter M., 1991. Écoulement en milieu non saturé in *Physique du sol*. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.
- Musy, Soutter M., 1991. Notions de base en physique des sols in *Physique du sol*. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.
- O.N.M., 2017. Données climatiques de la région de Ghardaïa pour la période 2007-2016.
- Ouamer A. 2010. Estimation de la rétention en eau des sols de la Mitidja Ouest. Mémoire de Magister. Université de El-Harrach – ALGER.
- Sedik R., 2011. Caractérisation de la perméabilité des matériaux à l'écrasement. Mémoire de Magister. Université de Tizi-Ouzou. ALGER.
- Starr JL. Spatial and temporal variation of ponded infiltration. *Soil Science Society of America Journal* 1990; 54: 629-636.
- Štekauerová, V., Nagy, V., Kotorová, D. 2006. Soil water regime of agricultural field and forest ecosystem. *Biologia*, 61/Suppl. 19: 300–304.
- Touil S. 2012. Elaboration et utilisation de fonctions de pédotransfert pour la prédiction des propriétés de la rétention en eau des sols du bas Cheliff. Algérie. Mémoire de Magister. Université de Hassiba Benbouali de Chlef. ALGER.

- Van Es HM, Ogden CB, Hill RL, Schindelbeck RR, Tsegaye T. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal* 1999; 63: 1599-1608.
 - Vauthier Q. 2011. Estimation des réserves utiles des sols de Seine-et-Marne. Master 2 GPRE. Université de lorraine. FRANCE.
 - Weynants M. 2005. Caractérisation des propriétés hydrodynamiques et étude de la possibilité d'agrégation de trois types de sols au Fakara, Niger. Mémoire de fin d'étude. Université de Louvain-la-Neuve.
- les valeurs de potentiel et la texture des sols sableux du Nord Sénégal. Cah.
O.R.S.T.O.M., sér. Biol., n° 42, 1980, pp. 53-59.

Introduction

Introduction

Dans les régions arides et semi-arides, l'eau est le premier facteur limitant de la production agricole (Li *et al.*, 2007), par conséquent, les potentialités agricoles de ces régions sont limitées et ne permettent pas de faire face à l'augmentation actuelle de la population et de ses besoins alimentaires. De ce fait, rationaliser l'utilisation de cette ressource est impératif notamment par la compréhension de l'alimentation en eau des plantes, la connaissance des réserves hydriques ainsi que la détermination des teneurs en eau du sol sous des tensions données (Cornet, 1980).

Le mouvement de l'eau dans le profil du sol, le débit d'eau entraîné vers les drains, et l'évaporation à partir de la surface du sol sont certains exemples dans lesquels le processus de circulation de l'eau joue un rôle majeur en agriculture.

Or, le fonctionnement hydrique du sol est conditionné par ses propriétés hydriques à savoir la rétention en eau et la conductivité hydraulique. Celles-ci sont contrôlées par la structure et la texture du milieu qui déterminent le réseau de pores au sein duquel les fluides, liquides et gazeux, se déplacent. Ces propriétés sont nécessaires pour résoudre les problèmes de bilan hydrique, d'irrigation, de drainage et le mouvement des solutés.

Le cadre général de ce mémoire de recherche est la caractérisation du fonctionnement hydrique des sols de l'oasis de Guerrara (région du M'Zab), Il est pour cela nécessaire de caractériser conjointement la texture et les propriétés hydriques de ces sols.

De ce fait nous nous sommes fixés comme objectifs :

- de calculer le réservoir utilisable (RU) de ces sols.
- de proposer une carte de perméabilité de la zone non saturée d'une palmeraie située au niveau de Dayet-El Amied (Guerrara).
- d'illustrer l'importance de la contribution des différentes variables de la texture du sol vis-à-vis des propriétés hydrique

Chapitre I

L'eau dans le sol (Synthèse bibliographique)

Chapitre I : L'eau dans le sol (Synthèse bibliographique)

A l'échelle d'une parcelle agricole et d'un bassin versant, l'eau se distribue dans les compartiments de l'environnement selon différents mécanismes que sont l'évaporation à partir du sol et la transpiration des végétaux, le ruissellement (potentiellement source d'érosion), la percolation permettant la recharge de la réserve en eau du sol et pouvant conduire à du drainage au travers de la zone non saturée. Les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols, sous l'influence majeure des pratiques agricoles dans les parcelles cultivées, conditionnent très fortement la répartition et la qualité de l'eau entre ces différents mécanismes. Ces propriétés présentent en général de fortes variabilités spatiale et temporelle dont l'importance dépend le plus souvent de l'échelle à laquelle elles sont observées (Horn, 2004; Starr, 1990; Van Es et al., 1999), ces sources de variabilité interagissant avec les pratiques culturales (Green et al., 2003).

1. Bilan hydrique

L'étude des problèmes de gestion de l'eau en agriculture (drainage ou irrigation) passe par la compréhension du bilan hydrologique au niveau du sol appelé aussi bilan hydrique (Musy et Soutter, 1991).

La figure 1 représente le cycle de l'eau dans la nature (bilan hydrologique, cadre bleu) précisant les composantes d'un bilan partiel à caractère agro climatique de cette eau (bilan hydrique, cadre vert).

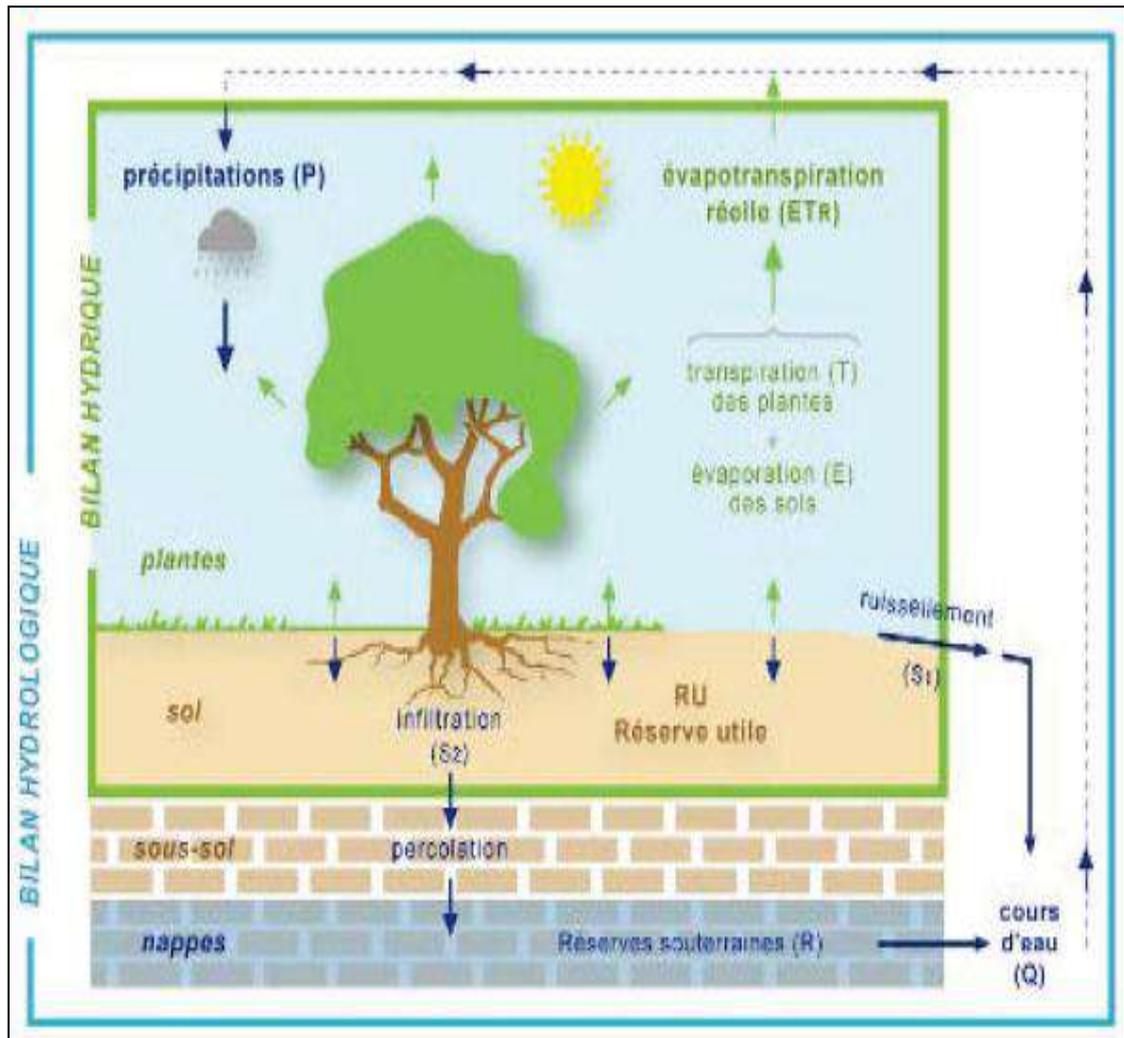


Figure 1. Bilan hydrologique (cycle complet de l'eau) et bilan hydrique (cycle partiel de l'eau, ne prenant pas en compte les réserves en eau profondes mais seulement celles du sol, que l'on considère seules comme en interaction directe avec la plante, appelée réserve utile ou RU) (Merot, 2012).

D'après Audrey (2010), le bilan hydrique consiste à comparer les apports et les pertes en eau, pour un lieu et une période données. Les apports d'eau sont obtenus par les précipitations, et les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et de la transpiration des plantes (évapotranspiration), au drainage (assèchement) et à l'infiltration.

Le bilan hydrique peut se formuler de la façon suivante (Collinet et Zante, 2002)

$$P + (I) + R +/- D +/- \Delta H - ETR = 0$$

Avec :

P = pluies en mm ;

(I) = compléments hydriques d'une irrigation éventuelle (mm) ;

R = ruissellement (mm) ;

D = drainage (mm) ;

ΔH = variation du stock hydrique S du sol (mm).

2- Caractérisation hydrodynamique d'un sol

Pour la caractérisation et la description du comportement hydrodynamique de la zone non saturée, nous donnons les définitions de quelques propriétés du sol.

2.1. Potentiel de l'eau dans le sol

Le potentiel total de l'eau Ψ_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. (Chalhoub, 2013).

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 :

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o$$

Où Ψ_g est le potentiel gravitaire dû à la gravité, Ψ_m est le potentiel matriciel correspondant aux forces de capillarité exercées par la matrice poreuse solide, Ψ_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) (Touil, 2012). Ou en unité dite « pF », qui représente le logarithme en base 10 de la valeur absolue du potentiel exprimé en cm. $pF = \log |\Psi|$ (Vauthier, 2011).

2.2. Humidités caractéristiques du sol

La teneur en eau « Water content » est une variable d'état, essentielle pour caractériser le sol. Elle était, il y a encore quelques années. Appelée < humidité > (moisture ou moisture content), ce terme est maintenant obsolète (Chossat, 2005).

La quantité de liquide ou d'eau contenue dans le sol est variable dans le temps et dans l'espace. Sa caractérisation est importante et elle est définie par la teneur en eau volumique et la teneur en eau pondérale (Musy et Soutter, 1991).

D'après Chossat (2005), la teneur en eau volumique θ est définie comme le rapport du volume d'eau contenu dans le sol à son volume apparent de sol (ou volume total de sol) :

$$\theta = V_e / V_t$$

Avec :

θ : la teneur en eau volumique ;

V_e : volume d'eau (m³) ;

V_t : volume totale du sol (m³).

D'autre part, ce même auteur définit la teneur en eau pondéral W ou la teneur en eau massique comme étant rapport de la masse d'eau contenue dans le sol à la masse de sol sec.

$$W = M_e / M_s$$

Avec :

W : la teneur en eau pondéral ;

M_e : la masse d'eau (Kg) ;

M_s : la masse de sol sec (Kg).

En hydrologie, les teneurs en eau volumiques sont utilisées car elles facilitent les calculs alors qu'en agronomie, il est de tradition d'utiliser les teneurs en eau pondérales. Néanmoins, selon Musy et Soutter, 1991, il existe une relation entre la teneur en eau volumique et la teneur en eau pondérale d'un sol exprimée par la formule suivante :

$$\theta = (\rho_a / \rho_e) W$$

Où 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_e , la masse volumique de l'eau (en g d'eau par cm³ d'eau).

2.2.1. Rétention de l'eau par le sol

La capacité de rétention a été définie pour la première fois par Mayer en 1874. Comme étant « la capacité pour l'eau d'un sol et son aptitude à retenir de l'eau à une hauteur qui n'est pas atteinte par l'eau capillaire liée à la nappe phréatique, sa valeur ne dépend pas de la disposition de la couche de sol sur la verticale, au contraire elle est identique à différents niveaux" (Cornet, 1980).

D'après, Bruand et al, (1996), la rétention en eau peut être définie comme étant la capacité du sol à retenir l'eau à un état hydrique donné, caractérisé par une valeur donnée du potentiel matriciel de l'eau dans le sol.

Cette capacité de rétention en eau peut varier d'une valeur maximale (capacité maximale de rétention en eau) à une valeur minimale (point de flétrissement) correspondant un état de sécheresse plus ou moins absolue. (Ouamer, 2010).

A. Capacité maximale de rétention en eau

Elle correspond à la quantité d'eau maximale qu'un sol peut contenir avant le déclenchement d'un drainage en profondeur. A ce niveau, on dit que le sol est saturé en eau, ce qui signifie qu'il comporte dans sa porosité la plus grande quantité d'eau possible (Musy, 1991). Ce niveau d'humidité représente un inconvénient pour le développement des cultures, car en remplissant d'eau la porosité du sol, l'air est chassé, de ce fait le sol est transformé en milieu asphyxiant.

Dans la pratique, on cherche à déterminer la capacité au champ, elle représente la capacité de rétention mesurée au champ 2 à 3 jours après une pluie ou une irrigation dans des sols perméables, de texture et de structure uniformes. La connaissance de la capacité au champ est d'une importance primordiale du fait qu'elle constitue un paramètre important dans le calcul des réserves utiles pour les plantes et dans les projets d'irrigation. (Ouamer, 2010). Cependant, le potentiel hydrique lié à l'humidité caractéristique à la capacité au champ devrait être adapté en fonction de la texture moyenne du sol ou de l'horizon considéré lors de l'utilisation d'échantillons remaniés : pF 2 pour les sables, pF 2,5 pour les limons et pF 3 pour les argiles (Bruand et al., 1996).

B. Points de flétrissement

La diminution de la teneur en eau du sol résultant de l'absorption de l'eau par les racines des plantes, par l'infiltration profonde ou par l'évaporation, entraîne une augmentation de l'énergie avec laquelle cette eau est retenue jusqu'à un certain seuil. Ce seuil correspond au point de flétrissement. (Ouamer, 2010).

De ce fait, on distingue un seuil supérieur et un seuil inférieur correspondants respectivement au point de flétrissement permanent et au point de flétrissement temporaire :

B.1. Point de flétrissement temporaire (*ft*) :

Le point de flétrissement temporaire, correspond à l'humidité du sol lorsque les végétaux présentent des symptômes de flétrissement passagers en période de forte demande évaporative (Mermoud, 2005). Selon la texture du sol, il varie de pF 3,5 à pF 3,7. (Duchaufour, 2001).

B.2. Point de flétrissement permanent (fp) :

Il correspond à l'humidité du sol au moment où la force de succion des plantes est égale à la force de rétention de l'eau par le sol (figure 2), ainsi l'eau du sol n'est plus disponible pour les végétaux, qui se flétrissent irréversiblement. Ce point correspondant à une pression de 16 bars soit pF 4,2, il varie suivant le type de sol et suivant le type de culture (Mermoud, 2005). D'après Hamraras (2008), le point de flétrissement permanent a une valeur plus forte dans les sols argileux que dans les sols sableux.

2.3. Notion de réservoir utilisable (R.U)

La réserve utile (figure 2) est définie comme le stock d'eau compris entre la capacité de rétention (CR) et le point de flétrissement (WP) (Combres et al., 1999).

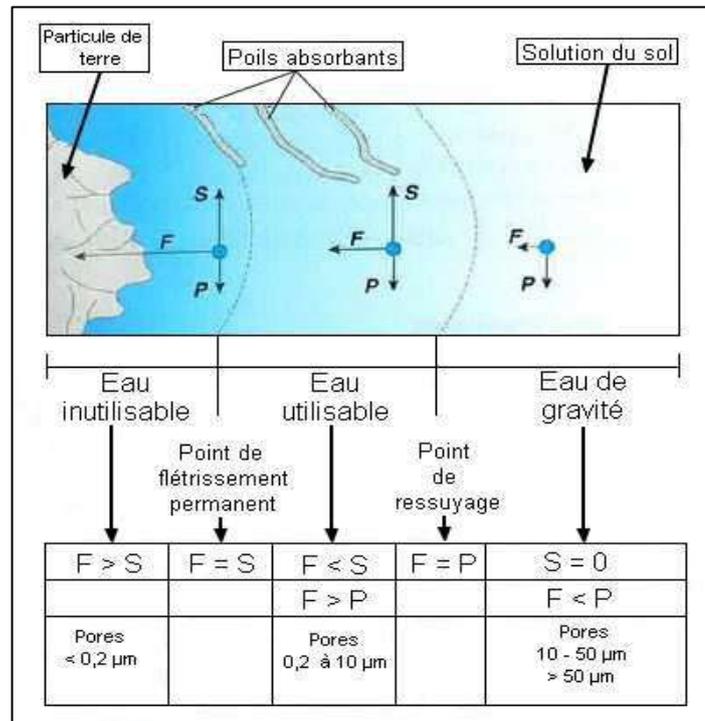


Figure 2. Forces s'exerçant sur l'eau du sol. Les catégories d'eau sont délimitées par les rapports entre la gravités (**P**), la rétention du sol (**F**) et la succion des plantes (**S**) (Soltner, 2005).

Selon Baize (2000), la réserve utile calcule selon la formule suivante :

$$RU = (Hcr - HpF) * Da * Z$$

Avec :

RU : réserve utile (mm) ;

Hcr : Humidité à la capacité de rétention (%) ;

HpF : Humidité au point de fleutrisement (%) ;

Da : Densité apparente ;

Z : Profondeur d'enracinement (dcm).

Selon Mückenhausen (1985), l'eau comprise dans les pores de 10 à 50 μm est partiellement utile aux plantes grâce à son drainage lent. D'autres part, les limite entre les catégories d'eau et celles de la porosité ne coïncident pas exactement en raison notamment de l'hétérogénéité des formes porales ou de la connectivité des vides (Gobat et al., 2010).

Au final, d'après Généré et al. (2012), on lui préférera l'appellation de « réservoir utilisable » (RU), afin de bien exprimer que la notion recouvre une vision de la quantité d'eau potentiellement disponible pour les plantes, et non de la quantité d'eau utilisée.

2.4. La conductivité hydraulique ou perméabilité

Dans un milieu poreux saturé, les flux d'eau sont décrits par la loi de Darcy (1856), qui stipule que le flux est proportionnel à la surface considérée, au gradient hydraulique-force motrice de l'écoulement, ainsi qu'à un paramètre caractéristique du milieu poreux (dans notre cas le sol). Le coefficient de cette proportionnalité directe est appelé conductivité hydraulique K ou perméabilité qui est exprimée par les unités de vitesse (Mohsenipouret Shahid 2016). Elle caractérise la facilité qu'à un fluide à circuler au sein du milieu poreux, et dépend donc de l'arrangement des particules, de leur taille et de la connectivité des vides présents.

Les sols sont rarement saturés, c'est pour cette raison que la loi de Darcy a été étendue aux milieux poreux non saturés grâce à la loi de Richards (1931). La loi de Darcy est généralement donnée comme suite :

$$Q = -K i A$$

Avec :

Q : le volume d'eau [$L^3.T^{-1}$],

K : la conductivité hydraulique [LT^{-1}].

i : est le gradient hydraulique [LL^{-1}] et

A : la coupe transversale de l'échantillon de sol [L^2].

Le signe négatif dans une partie droite de l'équation marque le flux qui descend. Porchet définissait le coefficient de perméabilité K comme la fraction du volume de sol accessible à l'eau en mouvement, c'est-à-dire comme le rapport entre le volume d'eau qui s'écoule du sol saturé (volume d'eau libre ou gravitaire) et le volume total du dit sol (assimilation à la porosité efficace). (Colombani et al, 1973).

3. Méthodes de mesure de la teneur en eau

Le besoin de déterminer la quantité d'eau contenue dans le sol se manifeste fréquemment dans beaucoup d'études pédologiques et hydrologiques. Cette information est indispensable pour la compréhension du comportement chimique, mécanique et hydrologique des sols ainsi que son effet sur la croissance des plantes (Hillel, 1974).

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. Au laboratoire, pour obtenir la courbe de rétention en eau, l'échantillon mesuré 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 physique au sol sont dérivés de la presse à membrane de Richards (Bigorre, 2000).

4. Méthodes de mesure de la conductivité hydraulique

Il existe différentes méthodes de laboratoire qui permettent d'estimer la conductivité hydraulique, à partir d'échantillons de sol non perturbés. Les dispositifs de mesure les plus répandus sont le perméamètre à charge constante et le perméamètre à charge variable. L'utilisation de ces instruments ne peut se faire que si les écoulements latéraux le long des parois du contenant sont évités, par exemple grâce à de la paraffine (Hillel, 1998).

Les mesures de terrain de la conductivité hydraulique sont le plus facilement réalisées sous le niveau phréatique. Par exemple, la méthode du trou de carrière (augerhole) permet de mesurer la perméabilité en présence d'une nappe proche de la surface du sol. Elle est surtout utilisée dans les projets de drainage, pour calculer l'écartement des drains. Elle est basée sur l'analyse de la vitesse de remontée de l'eau dans un trou, creusé sous le niveau de la nappe préalablement rabattue.

On cite un autre exemple aussi qui est la méthode du piézomètre. En enfonçant un tube crépiné dans un trou de carrière ménagé sous le niveau de la nappe, on peut mesurer la vitesse de remontée de l'eau sur une zone de dimensions connues (Chossat, 2005).

En outre, l'essai Lefranc qui est l'essai le plus connu et le plus utilisé car il s'intéresse aux terrains très perméables. On utilise classiquement pour mesurer la perméabilité d'interstice de roche meuble (Sedik, 2011).

Des techniques ont également été développées pour des mesures au-dessus du niveau de la nappe. Par exemple la méthode d'apport d'eau dans un puits peu profond (shallowwellpump in) permet de mesurer la perméabilité de la couche superficielle peu perméable d'un sol, reposant sur une couche plus perméable : un trou est rempli d'eau et une charge d'eau constante est maintenue jusqu'à ce que le débit d'infiltration soit constant.

De plus, le perméamètre de Guelph qui a été mis au point pour les sites ne présentant pas de nappe. La charge constante est maintenue par une bouteille Mariotte et l'eau s'infiltré par une crépine au bout d'un tube enfoncé au fond d'un trou de carrière. (Weynants, 2005). La méthode du double anneau permet de faire des mesures d'infiltration sous faible charge, sous une surface de sol bien délimitée : l'anneau central (Chossat, 2005).

Enfin, la méthode de Porchet qui permet de mesurer la conductivité hydraulique horizontale à niveau variable et à niveau constant en fonction de temps. Ce type de mesure est relativement facile à mettre en œuvre au moyen d'une tarière (Chossat, 2005). Cette dernière méthode fera l'objet d'une description détaillée (chapitre III), car elle est utilisée dans le cadre de ce travail de recherche.

Selon Hillel (1998), à cause de l'hétérogénéité du sol, principalement du point de vue de la macroporosité, les valeurs mesurées de la conductivité hydraulique dépendent de l'échelle de la mesure.

5. Facteurs affectant la perméabilité et l'humidité du sol

Divers auteurs (Gutmann and Small, 2005 ; Tóth, et al., 2006 ; Dilmi ,2009 ; Jutras, 2009 ; Eck et al., 2016 ; Haghazari et al., 2015 ; ont montré que le comportement hydrique des sols est très fortement lié à la texture et la structure du sol tant pour la quantité d'eau retenue que pour le domaine d'énergie de rétention de l'eau et la perméabilité.

A. La texture

Les argiles et les autres constituants finement divisés des sols développent une surface spécifique très grande et interagissent très fortement avec l'eau (Azzoug, 2014).

La figure suivante montre schématiquement la courbe de rétention de trois sols de textures différentes ainsi que l'évolution de l'humidité à la capacité de rétention et l'humidité au point de flétrissement en fonction de la texture.

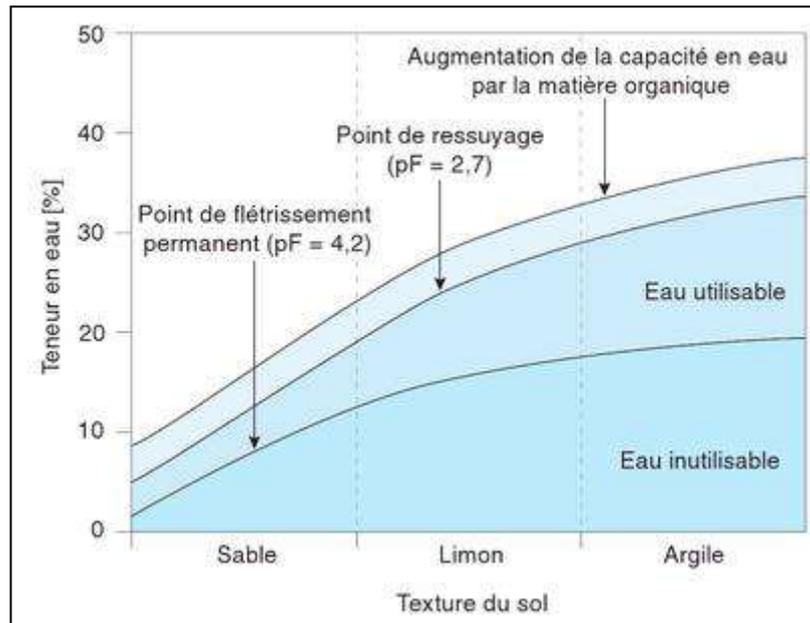


Figure 3. Relation entre la teneur en eau et le pF à différentes textures (Soltner, 2005).

Bigorre (2000), a montré que l'eau extraite du sol dans le domaine énergétique utilisable par les plantes est principalement retenue entre les tactoïdes ou quasicristaux formés par l'assemblage des particules unitaires des phyllites.

Ainsi, l'arrangement des particules argileuses a donc un rôle primordial dans la rétention en eau des sols. Ainsi, un sol sableux à une porosité très forte avec l'infiltration de l'eau est plus important, mais sa capacité de stockage en eau est très faible par l'arrangement inadéquat des grains de sables. Les argiles par leurs propriétés, sont capables de retenir un volume d'eau plus important, il varie suivant leur nature, mais l'infiltration de l'eau est moins importante.

D'après Dilmi (2009), selon que les sols sont sableux, limoneux ou argileux, l'eau n'y demeure pas sous les mêmes formes, à volume identique de sol, les phénomènes d'attraction superficielle des molécules d'eau seront très variables selon qu'il s'agira d'une texture fine ou grossière.

D'autres part, Tietje et Hennings (1996) ont pu vérifier certaines corrélations entre les teneurs de divers constituants et la valeur de la conductivité hydraulique. Ces corrélations fournissent des fonctions de pédotransfert et peuvent être utilisées pour estimer les valeurs de la conductivité hydraulique. Mais ces relations ne sont pas précises car elles sont basées sur la composition granulométrique et ne font pas intervenir les caractéristiques de la macroporosité.

Le tableau suivant donne une idée des valeurs caractéristiques de la conductivité hydraulique de plusieurs types de formations en fonction de leurs textures

Tableau 1. Valeurs de la conductivité hydraulique en fonction de la texture du sol (Clapp et Hornberger, 1978).

Soil texture	K Sat (m year ⁻¹)
Sand	5.55×10 ³
Loamy sand	4.93×10 ³
Sandy loam	1.09×10 ³
Silty loam	2.27×10 ²
Loam	2.19×10 ²
Sandy clay loam	1.99×10 ²
Silty clay loam	5.36×10 ¹
Clay loam	7.73×10 ¹
Sandy clay	6.84×10 ¹
Silty clay	3.21×10 ¹
Clay	4.05×10 ¹

B. La structure

La structure des sols, c'est à dire l'arrangement des particules à différentes échelles, est à l'origine d'une grande partie des propriétés physiques, qu'il s'agisse de l'aération, de la conductivité hydraulique ou de la rétention en eau aux hauts potentiels (Biggore, 2000).

Selon Dilmi (2009), le comportement hydrique du sol est très fortement dépendant des structures et des microstructures de chaque horizon. C'est un facteur déterminant du bon fonctionnement de la plante. Dans un sol présentant un bon drainage, l'alimentation de la plante est régulière. Par contre dans les sols présentant des discontinuités structurales, le fonctionnement hydrique est contrasté avec humectation rapide et forte période de dessiccation.

La structure du sol affecte aussi la forme de la courbe caractéristique de l'humidité du sol, particulièrement dans l'échelle des succions les plus faibles. L'effet de compaction d'un sol provoque une diminution de la porosité totale et du volume des grands interstices entre les agrégats. Ceci signifie que la teneur en eau à saturation est plus basse et que la diminution initiale de la teneur en eau pour les faibles succions est plus faible. Par contre, le volume des pores intermédiaires est plus grand dans un sol tassé, tandis que les micropores dans les agrégats mêmes ne changent pas. Aux très hautes succions, l'eau est retenue principalement par adsorption, et la rétention en eau peut être considérée comme une propriété texturale plutôt que structurale du sol. (Weynants, 2005). Par ailleurs, selon Reboza (2011), tous les facteurs qui accroissent l'agrégation et stabilisent la structure ont un effet favorable sur la conductivité hydraulique à saturation. Au contraire, les facteurs qui provoquent une destruction des agrégats et qui diminuent la stabilité de la structure sont à l'origine d'une diminution de la conductivité hydraulique.

6. Corrélation entre la conductivité hydraulique et la teneur en eau

Dans la zone non-saturée, la teneur en eau θ et la conductivité hydraulique K ne sont plus constantes mais dépendent du potentiel matriciel (ou de pression) Ψ_m .

Dans ce cas, d'après Barbara (2005), le fonctionnement hydrodynamique d'un sol est contrôlé par deux caractéristiques macroscopiques dépendant à la fois de sa texture et de sa structure :

A- La courbe de rétention hydrique, qui relie la teneur en eau volumique θ au potentiel matriciel Ψ_m , et qui exprime la capacité d'un sol à retenir l'eau.

B- La courbe de conductivité hydraulique, qui exprime la capacité du sol à transmettre l'eau en fonction de son état de saturation mesuré par Ψ_m ou θ .

A- La courbe de rétention hydrique :

La teneur en eau et le potentiel matriciel varient de manière similaire. La relation entre ces deux paramètres constitue un élément essentiel de la description de l'état hydrique du milieu poreux. Elle exprime les variations d'intensité des forces de capillarité en fonction de la teneur en eau. La relation $\theta(\Psi_m)$ est représentée graphiquement par la courbe de rétention d'eau (Figure 4). (Dilmi, 2009).

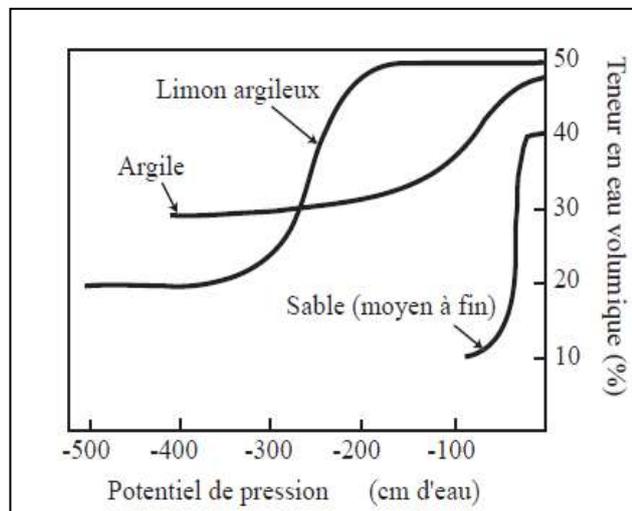


Figure 4. Courbes de rétention d'eau pour des sols ayant des textures différentes (Gillham, 1984).

B- La courbe de conductivité hydraulique

La conductivité hydraulique d'un sol non saturé n'est plus une valeur constante mais varie en fonction de la teneur en eau du sol ou de la pression de l'eau du sol entre une valeur maximale (la conductivité hydraulique à saturation) et une valeur nulle quand la teneur en eau diminue jusqu'à θ_r (teneur en eau résiduelle) (Figure 5). (Mualem, 1979).

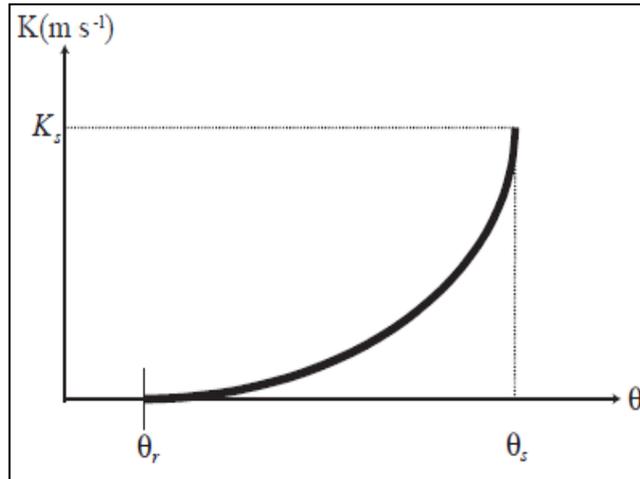


Figure 5. Variation de la conductivité hydraulique en fonction de la teneur en eau. (Musy et Soutter, 1991).

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Chapitre II : Matériels et Méthodes

Dans ce chapitre nous présenteront brièvement le contexte global de la région étudiée, les sols étudiés et les méthodes utilisées pour mesurer les propriétés de hydriques (rétention en eau et conductivité hydraulique).

1. Présentation du milieu

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

A. Cadre régional

La ville de Ghardaïa est située dans la région du M'Zab au centre du Sahara septentrional à environ 600 Km au Sud de la capitale Alger (figure 6), occupant ainsi une position centrale reliant les Hauts Plateaux avec le Sahara. Elle est limitée par :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la Wilaya de Ouargla (200 Km) ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470 Km) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350 Km).

Ses coordonnées géographiques sont 3° 40' 38" de longitude Est et 32° 29' 14" de latitude Nord et son altitude est de 530 m. Elle couvre une superficie de 86 105 Km².

Elle est caractérisée par des plaines dans le Continental Terminal des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale. Les escarpements rocheux et les oasis déterminent le paysage dans lequel sont localisées les villes de la pentapole du M'Zab et autour duquel gravitent d'autres oasis : Berriane, El Guerrara, Zelfana, Metlili et beaucoup plus éloignée au sud les oasis de Hassi El Fhel et d'El Goléa (Azzoug, 2014).

Notre zone d'étude est localisée dans la région de Guerrara située à près de 120 Km au nord-est de Ghardaïa chef-lieu de Wilaya. Ses coordonnées géographiques sont : Latitude : 32° 50' Nord, Longitude : 4° 30' Est (Djili, 2004).

La commune de Guerrara couvre une superficie totale de 2600 Km², Elle est limitée :

- Au nord : par la Wilaya de Djelfa ;
- À l'est : par la Wilaya de Ouargla ;
- À l'ouest : par les Daïras de Berriane et Bounora ;
- Au sud : par les Daïras de Zelfana et Al atteuf.

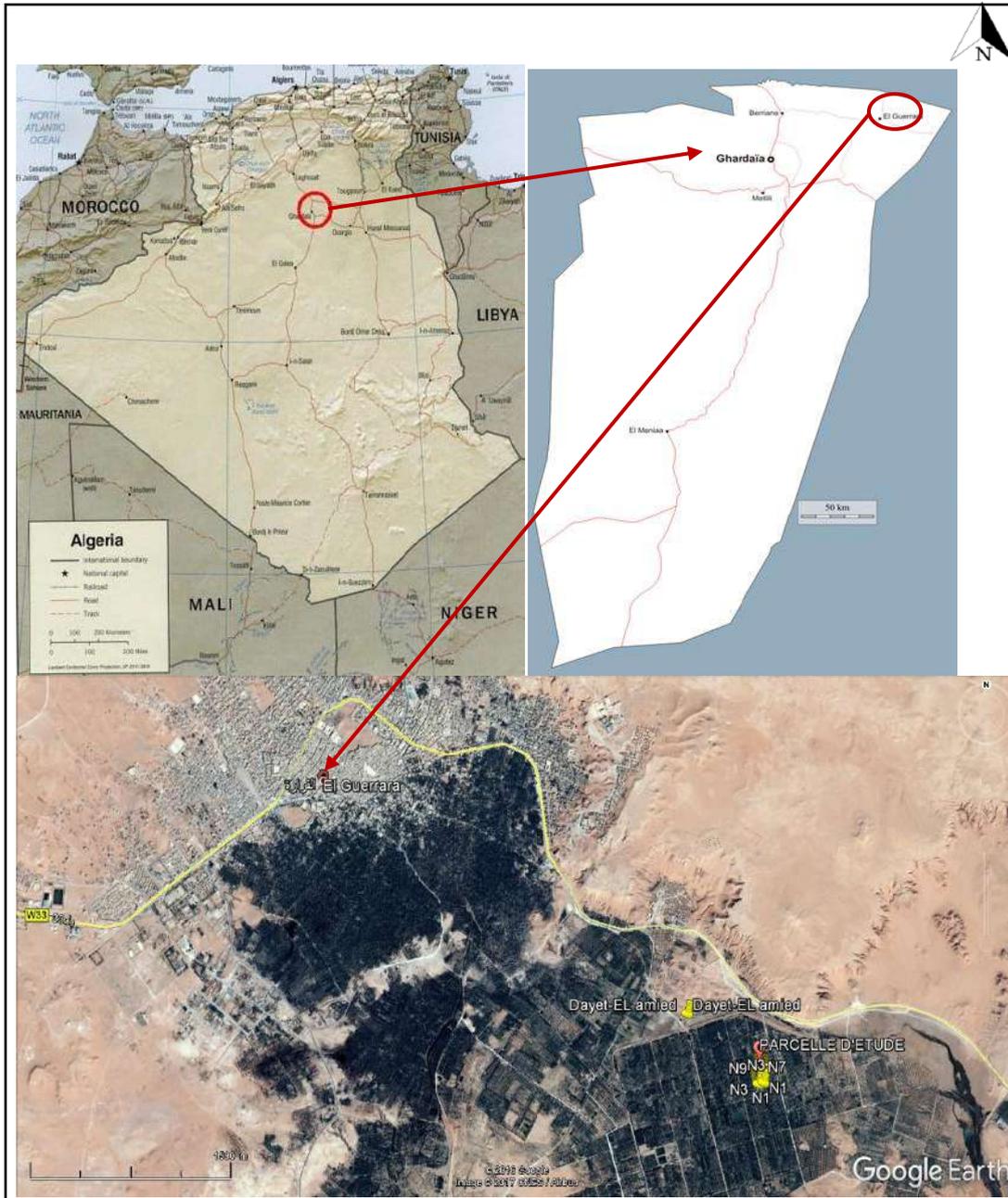


Figure 6. Localisation géographique de la région de Guerrara.

Guerrara est le septième et le dernier Ksar du Mzab, fondée depuis les années quarante de dix-septième siècle, au fond d'une grande dépression qu'occupe le lit de l'oued Zegrir (Hamdi-aissa, 2008 in Mezzar, 2015). Le mot Guerrara prend son origine de Garas, certains expliquent le mot de Guerrara comme vaste dépression en forme des cuvettes où l'eau de surface stagne périodiquement. (Mezzar, 2015).

B. Cadre local

La parcelle d'étude est une palmeraie située au niveau de Dayet-El Amied. Cette dernière est représentée par les coordonnées 32° 46' 27'' N et 4° 31' 26'' E et se situe au sud de l'ancienne palmeraie et de la ville de Guerrara. Elle s'étale sur les alluvions d'Oued Zegrir (Azzoug, 2014). D'après Doufene (2012, elle est limitée :

- Au nord par la route de Ghardaïa et quelques collines ;
- A l'est par une ancienne palmeraie et une digue de 1000 m de longueur ;
- Au sud par des formations dunaires, des buttes témoins (Gara) et des sols du Mio-pliocène ;
- A l'ouest par les glacis du Mio-pliocène

1.2. Géologie

Selon la carte géologique de Guerrara (Khemgani, 2010), on constate la présence de trois types de formations géologiques (figure 7).

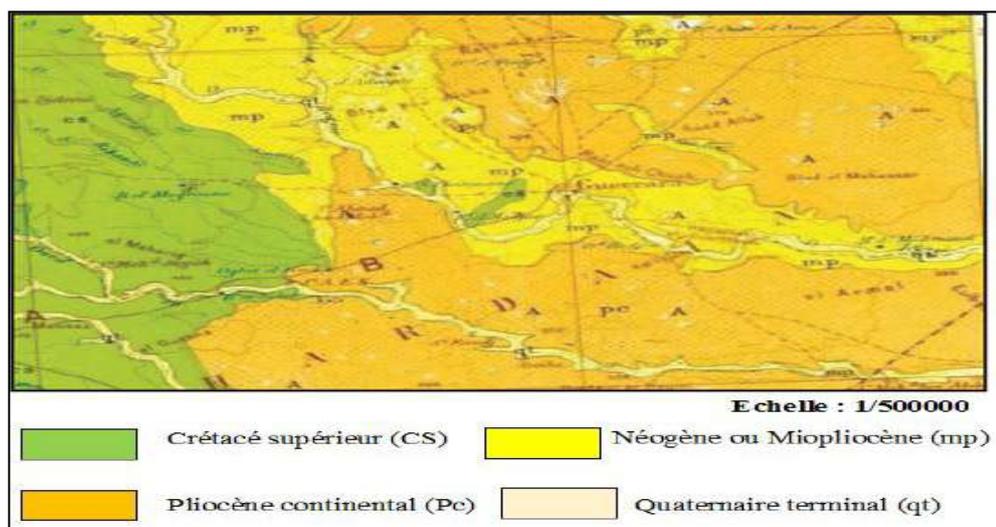


Figure 7. Carte géologique de Guerrara (Hadj-Saïd et al., 2008).

- Le Crétacé supérieur (CS) qui occupe la zone de Bled Bouaïcha au Nord- Ouest (en vert), constitué d'une double dalle dure de calcaires dolomitiques.
- Le Néogène (en jaune) présenté par la dépression de Guerrara qui est creusé dans le Pontien. Il s'agit du Mio-Pliocène (mp). Le reste du terrain est constitué du Pliocène continental (pc) comme des étendus formes de calcaire épais et continus. Cette formation s'étend dans la région des Dayas.
- Le Quaternaire continental (qt) est représenté par des formations sédimentaires sahariennes, qui sont des alluvions fluviales.

1.3. Hydrologie

Les eaux superficielles dans la région de Guerrara sont quasiment insignifiantes, en raison de la faiblesse de la pluviométrie. La région est drainée principalement par l'Oued Zegrir, dont l'écoulement se produit surtout en période des orages (B.N.E.D.E.R, 2000 in Melouah, 2012).

En effet, l'Oued Zegrir (photo 1) est l'un des grands Oueds qui traversent le Mزاب. Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100 Km². Situé en majeure partie sur les affleurements du Miocène et du Pliocène continentaux. La longueur de l'artère maîtresse, en prenant pour origine la tête de l'Oued Ajerma (860 m d'altitude), atteint 270 Km à la daya ben Feïla (300 m d'altitude), limite normale des grandes crues (Dubief, 1953).



Photo 1. Oued Zegrir (08 km au nord de Guerrara) (Khemgani, 2010).

1.4. Hydrogéologie

Selon Khemgani, (2010), cinq aquifères sont exploitables à Guerrara, y compris la nappe superficielle, on cite :

- La nappe superficielle ou alluviale qui est une nappe d'Oued. Elle est alimentée par les crues d'Oued Zegrir. La profondeur de cette nappe est variable selon la saison ; 0.4 à 6m en période de hautes eaux et de 10 à 35m en période des basses eaux.
- La nappe du Mio-Pliocène et Eocène qui se localise dans la partie Est de Guerrara ; il s'agit d'une nappe de Mio-Pliocène sableux de 125 m d'épaisseur en plus d'une nappe d'Eocène a calcaire blanc fin et de 100 m d'épaisseur.
- La nappe du Sénonien qui est rencontrée dans la partie Ouest de Guerrara et liée aux deux précédentes nappes et qui peut être exploitée à environ 430 m de profondeur.
- La nappe de Turonien carbonate ; d'une épaisseur de 74m, de 500 m de profondeur et caractérise la partie Ouest de Guerrara.
- La nappe du continental intercalaire ou nappe albienne qui se trouve à environ 500 à 900m de profondeur.

1.5. Cadre climatique

Vu le manque de données climatiques sur la région de Guerrara, nous avons travaillé sur les données de la station de Ghardaïa, considéré comme la plus proche de la région d'étude. Ainsi, pour caractériser le climat de cette dernière, nous avons recueillis auprès de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) des données relatives à la station de Ghardaïa pour une période de 10 ans. Ces deniers serviront de documents de base pour notre étude. Le tableau 2 résume les moyennes mensuelles des différents paramètres climatiques mesurées pour la période (2007-2016).

Ce dernier indique une température moyenne annuelle de 22,6°C, le mois le plus chaud étant juillet avec une moyenne 34,87°C, alors que le mois de janvier est le plus froid avec une moyenne de 12,2°C.

Quant à l'analyse des hauteurs mensuelles de pluie, elle fait ressortir une pluie interannuelle de 69,18 mm et un maximum en mois septembre de qui est de 11, 32mm tandis qu'un minimum se produisant en mois de juillet avec 1, 42mm. Cette insuffisance de pluie

Sahariennes est accompagnée d’une irrégularité très marquée du régime pluviométrique et d’une variabilité interannuelle considérable, ce qui accentue la sécheresse (Ozenda, 1991 in Azzoug 2014).

Par ailleurs, l’humidité de l’air est très faible. La moyenne annuelle est de 35,35% pour la période (2007-2016). Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l’année. En effet, pendant l’été, elle chute jusqu’à 20,35% au mois de juillet, sous l’action d’une forte évaporation et des vents chauds ; alors qu’en hivers elle s’élève et atteint une moyenne maximale de 53,22 % au mois de décembre.

Tableau 2 : Données climatiques de la région de Ghardaïa (2006-2016) (O.N.M., 2017).

Mois	T (min)	T (max)	T (moy)	P (mm)	H (%)	V(m/s)
	(°C)					
Janvier	6,8	17,73	12.26	9,04	48,62	3,18
Février	7,83	18,85	13.34	2,82	40,48	4,03
Mars	10,3	22,09	16.19	8,10	35,46	4,45
Avril	14,85	27,71	21.28	5,71	31,21	4,92
Mai	19,36	32,6	25.98	2,92	26	3,88
Juin	24,21	37,83	31.02	3,12	23,52	4,23
Juillet	28,26	41,49	34.87	1,42	20,35	3,35
Aout	27,67	40,34	34	2,84	24,17	3,17
Septembre	23,47	35,68	29,57	11,32	34,02	3,08
Octobre	17,94	29,41	23,67	10,99	40,59	2,98
Novembre	11,18	22,07	16,62	6,14	46,66	3,02
Décembre	7,3	17,57	12,43	4,72	53,22	3,04
Moyenne	16,59	28,61	22,60	69,18*	35,35	3,86

H : humidité relative ; T : Température ; P : Pluviométrie ; V : Vitesse moyenne des vents ; * : Cumul annuel.

Au final, la vitesse des vents reste relativement faible, elle présente une moyenne annuelle de 3,56 m/s avec un maximum noté au mois d’avril (4,92 m/s) et un minimum au

mois d'octobre (2,98 m/s). Notant que les vents dominants sont de direction NW (Seltzer, 1946 in Azzoug, 2014).

1.6. Classification climatique

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен sert particulièrement à mettre en évidence la période de sécheresse et son intensité dans une région donnée.

De ce fait, la lecture du diagramme établi pour la région d'étude (figure 8) révèle une saison sèche (saison où les précipitations sont égales ou inférieures au double de la température) qui s'étale sur les 12 mois de l'année.

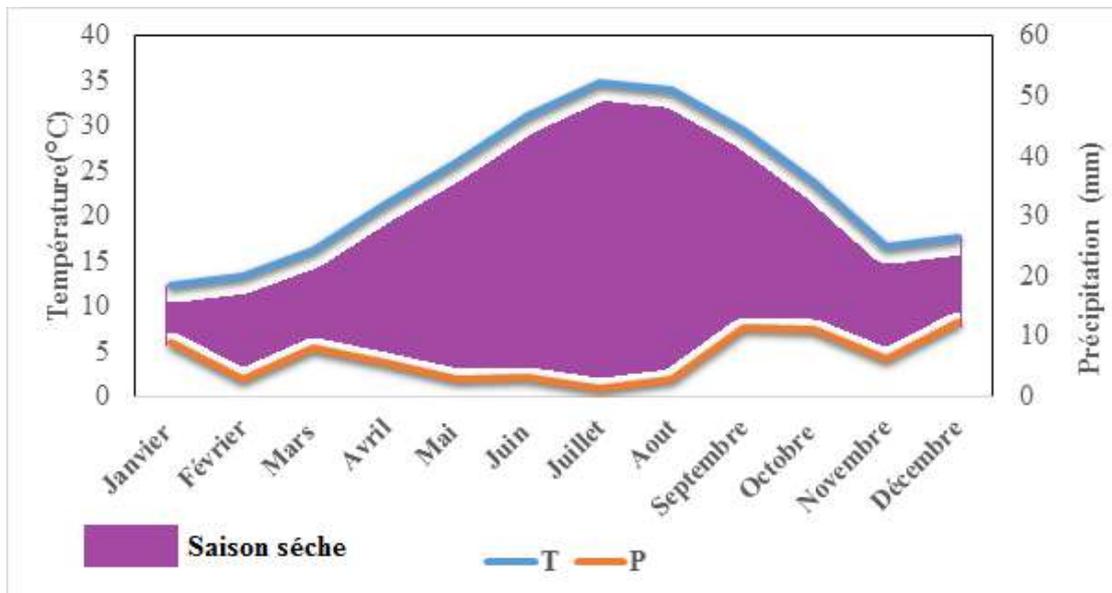


Figure 8. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Ghardaïa (2006-2016).

1.7. Couverture pédologique

D'après les travaux réalisés par (Bait et al., 1977, CDARS, 1999, B.N.E.D.R. 2000. In Aouam, 2007), les sols du lit des oueds de la région de Guerrara ont une texture limono-sableuse à sablo-limoneuse, leur salinité est faible, de même pour leur fertilité chimique, sauf pour des petites zones où la mauvaise gestion de l'eau où la texture argileuse permet d'avoir des sols salins.

2. Méthodologie expérimentale

2.1. Choix des sites de mesures

La localisation de Dayet El Ameid d'une part, dans le lit d'oued Zegrir et d'autre part, à côté des buttes témoins et des formations dunaires, fait que cette zone est soumise à deux types d'apport à savoir ; l'apport alluvial d'Oued Zegrir déposant des dépôts alluvionnaires lors de son passage ainsi que l'éolien prenant son origine les dunes d'obstacle situées au sud de la Daya (Azzoug, 2014). Pour cela le choix s'est porté sur une palmeraie dont les caractéristiques sont relativement homogènes et qui représente les sols de cette région.

2.2. Méthodologies de travail

L'étude consiste à la détermination des paramètres hydrauliques de la zone non saturée à savoir la perméabilité et la teneur en eau des sols de Dayet El Amied,

2.2.1. Collecte des données

L'objectif escompté est la collecte d'un maximum de documents qui servent comme éléments de base pour notre travail. Celui qu'on a utilisé est le travail de réalisé par Azzoug (2014) et qui rentre dans le cadre de l'étude de la rétention en eau des sols alluviaux de l'oasis de Guerrara (région du M'Zab). Les données analytiques collectées sont la granulométrie, la densité apparente et les taux d'humidité aux pF2,5 et pF4,2.

2.2.2. La campagne de mesures sur le terrain

La campagne effectuée le 04 mars 2017 a duré deux jours. Au cours de laquelle, nous avons réalisé des mesures de perméabilité au niveau de 18 points bien réparties dans la région d'étude(1/2 hectare), à 15 cm de profondeur et à 15 cm de diamètre selon la méthode de Porchet.

A. Détermination de la perméabilité

Un plan de mesure (figure 9) a été réalisé selon un quadrillage systématique en se référant aux anciens arbres du palmier dattier comme repères.

A.1. Matériels utilisés

Le perméamètre comprend (photo 2) ; un réservoir de saturation de 25 litres, muni d'un bouchon avec connexion rapide, une cellule de régulation de niveau en acier inoxydable, équipé de 2m de tube silicone muni d'une connexion rapide, et d'un dispositif de suspension réglable en hauteur, un réservoir de mesure de 2.5 litres, gradué par 100 ml, et muni d'une connexion rapide, un chronomètre électrique (pile incluse) et au final une tarière de diamètre 15cm et de longueur 125 cm.



Photo 2. Le perméamètre de VIGUIER

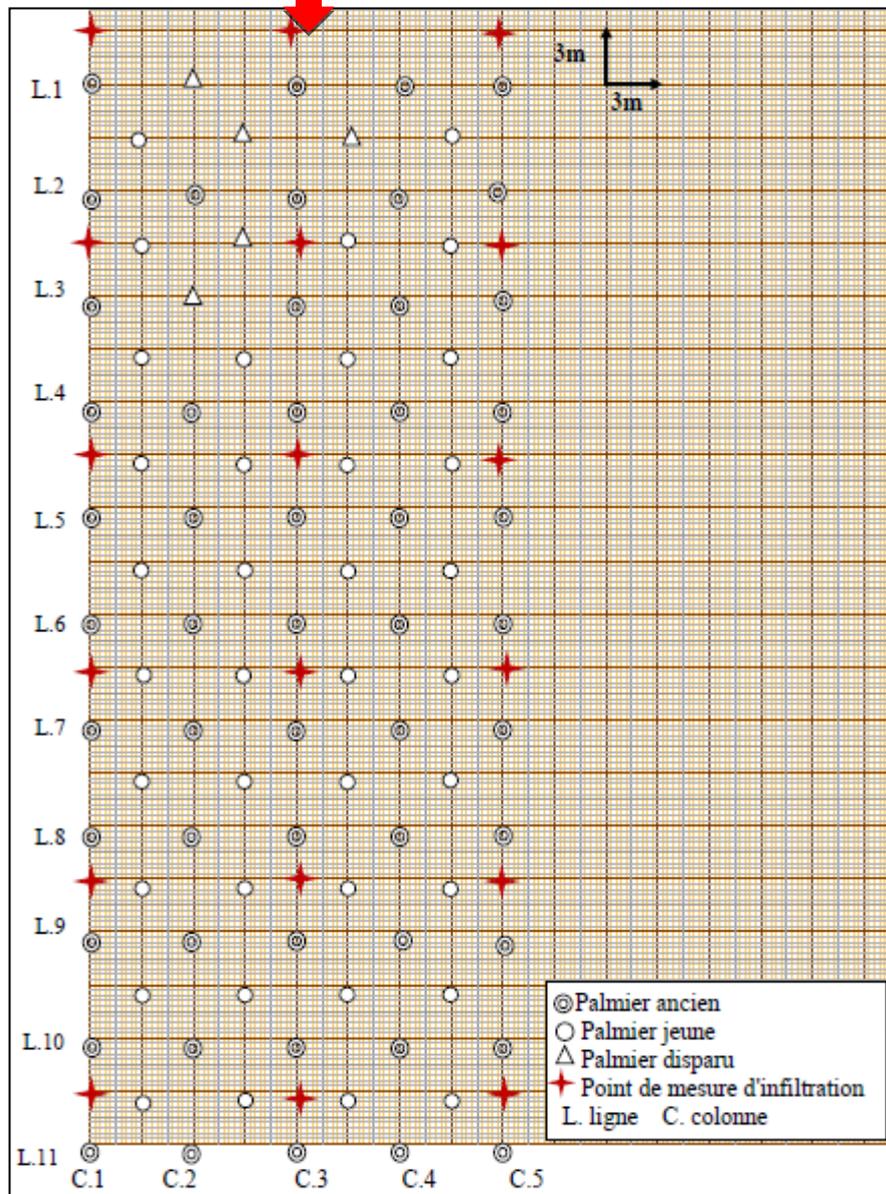
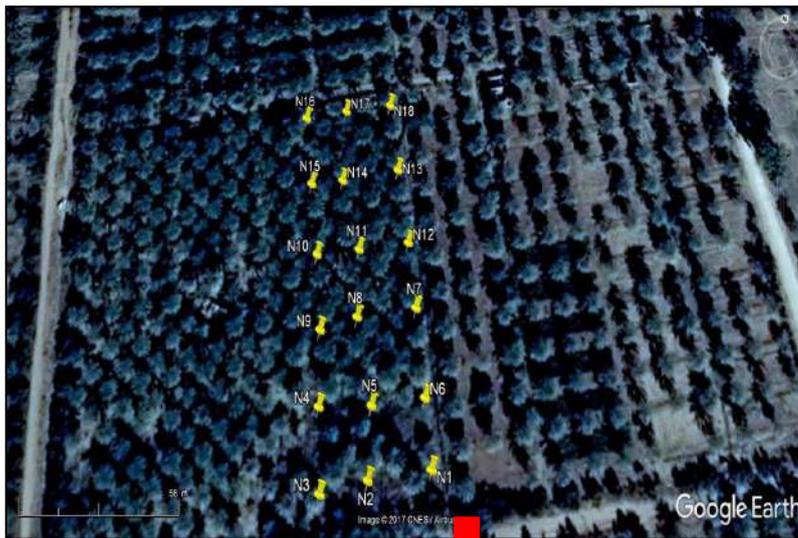


Figure 9. Plan de mesure effectué sur la parcelle d'étude.

A.2. Mode opératoire

La première étape consiste à creuser à l'aide d'une tarière manuelle des trous de 15 cm de diamètre. De placer ensuite la cellule de régulation de niveau au fond du trou, de façon à ce que celle-ci repose bien horizontalement. Celle-ci régulera automatiquement le niveau à 15 cm au dessus du fond. Connecter le réservoir de saturation rempli d'eau à l'extrémité du tube silicone et remplir le trou jusqu'à la saturation du sol. Une fois la saturation atteinte, on déconnecte du réservoir le tube de la cellule de régulation et on connecte celle-ci au réservoir de mesure, préalablement remplis d'eau et on observe sur le réservoir de mesure le volume d'eau percolant pendant une durée donnée à l'aide du chronomètre.

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

Dans ce chapitre, nous allons reporter les résultats de mesures et de calculs des différents paramètres du sol de la zone non saturée étudiée, à savoir : la granulométrie, les teneurs en eau à différents points de pF et la perméabilité. Les statistiques élémentaires à savoir les matrices de corrélation et les statistiques descriptives (moyenne, médiane, maximum, minimum, écart type et les quartiles) permettront de discuter le fonctionnement hydrique de ces sols.

1. Caractérisation des sols étudiés

1.1. Description des paramètres physiques

Les statistiques descriptives des données physiques, effectuées au moyen du logiciel XLSTAT2017, et présentées dans le tableau 3, révèlent que les teneurs en argile varient de 10,6% à 28% avec une moyenne de 22,9%, celles des limons fins et des sables fins relativement importantes varient de 31% à 62,4% et de 22% à 32,7% avec une moyenne de 38,3% et 26,9 % respectivement, quant aux limons grossiers et sables grossiers nettement faibles, elles varient de 1,1 % à 11,9 % et de 1,7% à 8,2% avec une moyenne de 5,8 % et 4,5 % respectivement.

Tableau 3. Variabilité des caractéristiques physiques des échantillons étudiés (n=18).

Statistique	A (%)	LF (%)	LG (%)	SF (%)	SG (%)
Minimum	10,6	31,0	1,1	22,0	1,7
Maximum	28,0	62,4	11,9	32,7	8,2
1er Quartile	22,6	34,2	2,9	24,0	3,1
Médiane	23,7	36,6	5,4	26,2	4,1
3ème Quartile	24,9	40,3	7,5	30,1	6,4
Moyenne	22,9	38,3	5,8	26,9	4,5
Variance (n)	14,5	48,6	10,0	11,3	3,8
Ecart-type (n)	3,8	7,0	3,2	3,4	2,0
CV (%)	17	18	55	12	44

L'analyse de ces résultats indique aussi que 25 % des échantillons ont des taux en argile, limons fins, limons grossiers, sable fins et sable grossier inférieurs respectivement à 22,6 %, 34,2%, 2,9 %, 24 % et 3,1 %. Alors que 75% des échantillons, en ces mêmes

fractions, ont des taux supérieurs respectivement à 24,9%, 40,3%, 7,5%, 30,1% et 6,4%. Les plages de variations sont de 17,4% pour les argiles, de 31,4% pour les limons fins, de 10,8% pour les limons grossiers et de 10,7% pour les sables fins.

1.2. Textures des sols étudiés

Les résultats de l'analyse granulométrique reportés sur le triangle textural de l'USDA (figure 10) indiquent que les sols de la palmeraie d'étude sont répartis sur trois classes texturales ; limoneuses, limon fin et limono-argileuses, ce qui dénote le caractère limoneux de ces derniers.

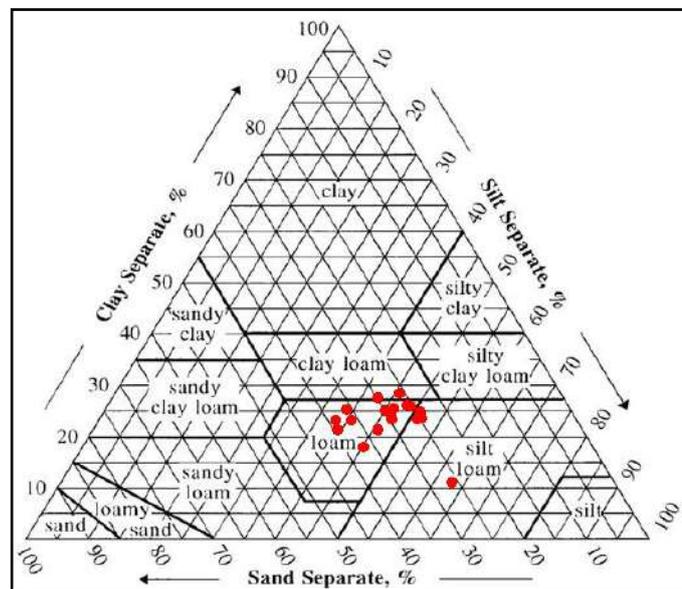


Figure 10. Textures des sols étudiés (USDA, 1960).

1.3. Rétention en eau des sols à la capacité de rétention et au point de flétrissement

En raison de leur importance pratique, seuls deux potentiels critiques correspondant aux teneurs en eau à la capacité au champ (330 hPa) et au point de flétrissement permanent (15 000 hPa) ont fait l'objet d'étude et de comparaison.

L'examen du tableau 4 indique que les taux d'humidités à saturation varient de 46,1% à 63,3%. Quant aux teneurs en eau au point de flétrissement sont relativement plus faibles que celles à la capacité au champs. Hamraras (2008) ont montré que les teneurs en eau au point de flétrissement sont plus faibles que celles de la capacité de rétention car l'augmentation de pression provoque un départ d'eau.

Tableau 4. Statistiques descriptives des teneurs en eau à différents potentiels des échantillons étudiés (n=18).

Statistique	H _{Sat}	H _{Cr}	H _{pF}
Minimum	46,1	26,5	20,6
Maximum	63,3	40,5	35,2
1er Quartile	53,8	32,3	24,0
Médiane	56,7	33,0	26,9
3ème Quartile	60,0	35,0	29,6
Moyenne	56,3	33,2	27,2
Variance (n)	24,8	11,0	15,5
Ecart-type (n)	5,0	3,3	3,9
CV (%)	9	10	14

H en (%).

1.4. La réserve utile du sol

La détermination des humidités à deux niveaux d'énergie (humidité à la capacité de rétention et humidité au point de flétrissement permanent) a permis de mesurer les réserves utiles (RU) des sols (tableau 5).

Tableau 5. Résultats de la réserve utile du sol (n=18).

N°	RU (mm)
1	19,98
2	7,15
3	21,00
4	21,00
5	19,18
6	15,60
7	25,03
8	17,23
9	8,70
10	34,30
11	9,80
12	41,30
13	22,88
14	37,88
15	23,25
16	21,20
17	10,85
18	19,13

Les résultats présentés dans le tableau 5 font clairement apparaître une variation importante de la RU pour chaque texture. Les sols de texture grossière (L) à savoir les

horizons 7, 12 et 14, montrent les RU les plus élevées par rapport aux sols de texture fine (AL et LA) à savoir les horizons 2 et 13. Duchaufour (1995) a signalé que la texture joue un rôle déterminant pour la RU : elle est faible pour les sables, maximale pour les limons ; elle diminue, par contre, pour les argiles en raison du point de flétrissement élevé.

1.5. Perméabilité

Suite à l'application de la formule de Darcy, nous avons obtenu les résultats de la perméabilité représentés dans le tableau 6.

Tableau 6. Résultats des mesures de la perméabilité de la zone non saturée de Guerrara (n=18).

N°	K m/s
1	$1,762 \cdot 10^{-5}$
2	$2,675 \cdot 10^{-5}$
3	$1,007 \cdot 10^{-5}$
4	$2,832 \cdot 10^{-5}$
5	$1,290 \cdot 10^{-5}$
6	$1,133 \cdot 10^{-5}$
7	$1,825 \cdot 10^{-5}$
8	$5,665 \cdot 10^{-6}$
9	$2,832 \cdot 10^{-5}$
10	$1,259 \cdot 10^{-5}$
11	$2,581 \cdot 10^{-5}$
12	$2,832 \cdot 10^{-5}$
13	$1,573 \cdot 10^{-5}$
14	$1,762 \cdot 10^{-5}$
15	$7,869 \cdot 10^{-6}$
16	$3,462 \cdot 10^{-5}$
17	$1,101 \cdot 10^{-5}$
18	$1,290 \cdot 10^{-5}$

Le tableau 6 indique que les valeurs de perméabilité du sol K à la profondeur 15 cm varient de $7,869 \cdot 10^{-6}$ à $1,007 \cdot 10^{-5}$ m/s. Ce qui la place dans la catégorie « semi perméable » selon les normes citées par Calvet (2003). Ainsi les pointes 15 et 8 s'individualisent dès la saturation par leur forte perméabilité et l'horizon 3 par sa faible perméabilité.

D'autres part, la conductivité hydraulique est connue comme étant très variable spatialement (Jarvis et al., 2002). Dans le but de voir la variation de cette dernière dans la zone non saturée dans la palmeraie de Dayet El Amied de Guerrara, nous avons établi la carte des courbes iso-valeurs de perméabilité au moyen du logiciel de Surfer version 2011.

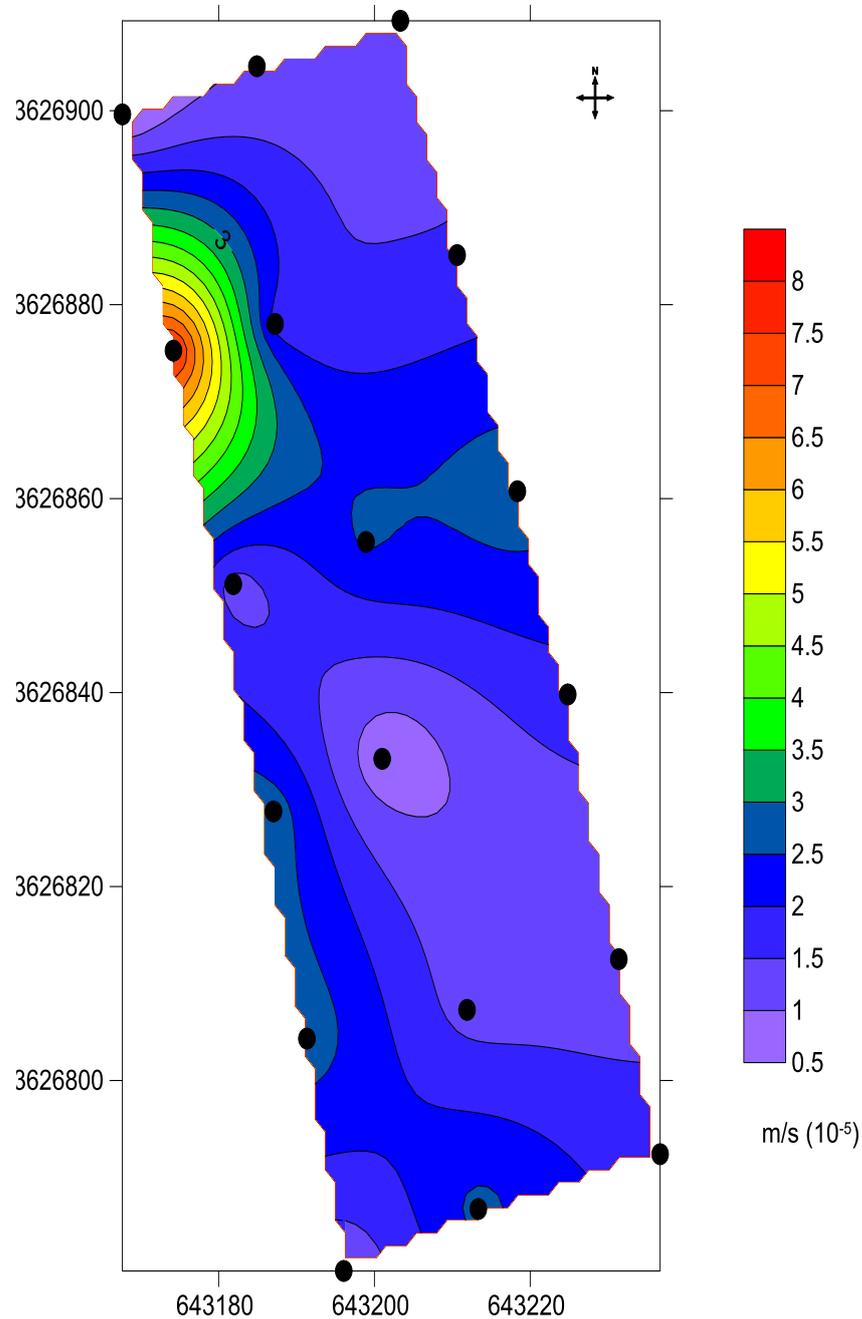


Figure 11. Carte de la perméabilité de la zone non saturée de la parcelle d'étude.

L'observation de la carte 1 montre que la perméabilité K est faible au Sud et au Nord Est de la palmeraie ou les valeurs varient de $0,5 \cdot 10^{-5}$ à $3 \cdot 10^{-5}$ m/s. Alors qu'elle est moyenne au Nord-Ouest où les valeurs varient de 3 et $7.8 \cdot 10^{-5}$ m/s c'est la perméabilité des

sols limoneux. Ce résultat peut être expliqué par la texture de ces sols qui est limon fin à limono-argileuse dans le premier cas et limoneuse dans le second. Jury et al. (1991) estime que la conductivité hydraulique à saturation du sol est fonction de la taille des pores ; les sols à texture grossière ont des pores plus grands et une conductivité plus élevée que les sols à texture fine.

2. Synthèse des principaux résultats

Dans la région de Guerrara, la distribution des sols dans le lit de l'Oued Zegrir, y compris la Daya d'El-Ameid, se fait en relation avec plusieurs paramètres à savoir : les positions géomorphologiques (variation topographique), l'influence d'apports éoliens et les résultats de l'action de l'homme sur l'écoulement des eaux (endiguement et barrage de dérivation) (Djili 2004).

La couverture pédologique dans la palmeraie de Daya d'El-Ameid est une accumulation de plusieurs couches d'alluvions très fines, selon le tableau 1 représenté dans l'annexe, les sites N8 et N15 présentent une texture limono-argileuse, tandis que les sites N2, N3, N11, N16 une texture limon fin, quant au reste ils sont de texture limoneuse. Ainsi le sol représente une texture limoneuse relativement homogène sur toute la palmeraie et semi perméable donc il y a possibilité de drainage et recharge des nappes.

D'après Ghenam (2011), la perméabilité d'un matériau diminue généralement lorsque la teneur en particules fines augment ; elle dépend non seulement de la granulométrie mais aussi de nature de matériau. Aussi, Paris (2001) a constaté que cette influence est due au fait que la teneur en particules fines contrôle le diamètre des pores ce qui affecte de manière directe l'écoulement d'eau.

3. Mise au point des relations spécifiques des sols étudiés

3.1. Relations entre les humidités caractéristiques et la texture des sols étudiés

Des corrélations positives et significatives sont observées entre le taux d'argile et de limon fin et les teneurs en eau à saturation ($r = 0,53$) (figure 12) et à la capacité au champs qui ($r = 0,48$) (figure 13).

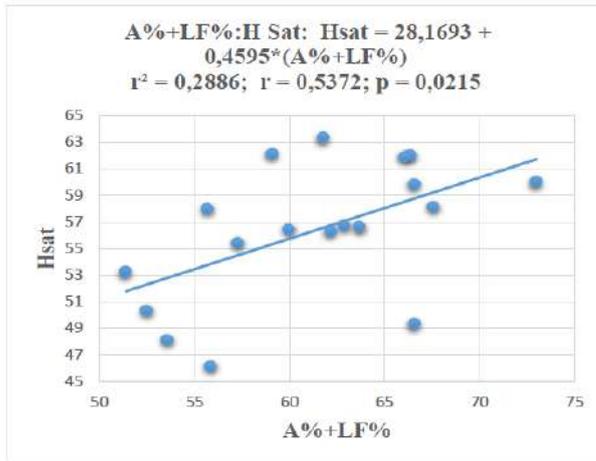


Figure 12. Relation entre le taux d'argile et de limon fin et la teneur en eau à saturation

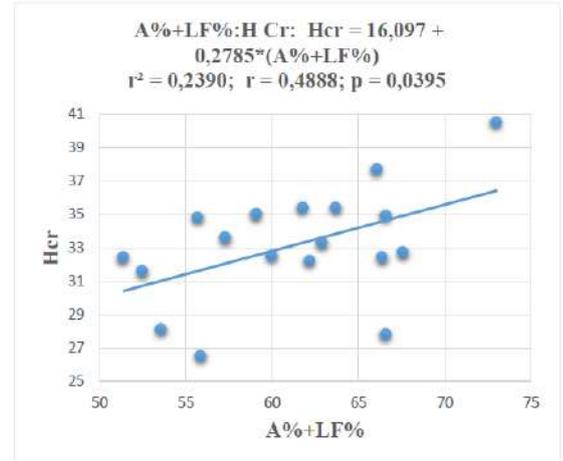


Figure 13. Relation entre le taux d'argile et de limon fin et la teneur en eau à la capacité de rétention

Ces résultats sont conformes aux travaux de (Dilmi, 2009; Weynants, 2005; Ouamer, 2010) qui estiment que les limons fins est le facteur dominant qui régissent leur capacité en eau disponible, et aussi la rétention en eau de ces sols à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent augmente avec l'augmentation de ce paramètre.

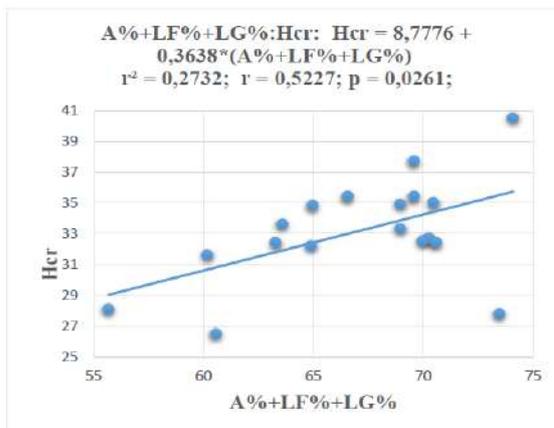


Figure 14. Relation entre le taux d'argile, de limon fin et de limon grossier avec la teneur en eau à saturation

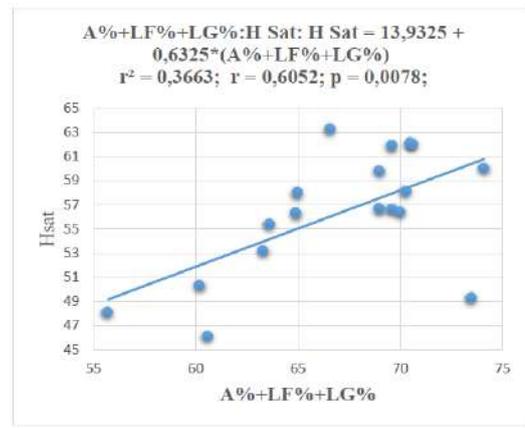


Figure 15. Relation entre le taux d'argile, de limon fin et de limon grossier avec la teneur en eau à la capacité de rétention

Concernant le taux d'argile, de limon fin et de limon grossier, des corrélations positives et significatives (figure 13) sont observées à saturation ($r = 0,6$) mais aussi positives et hautement significatives (figure 14) avec les humidités à la capacité de rétention ($r = -0,34$).

D'après Djili (2004), Il s'agit de limon d'origine allochtone érodé et transporté par les crues d'Oued Zegrir, qui reflète les caractéristiques des formations géologiques des régions traversée (Crétacé supérieur). Ce qui implique que l'augmentation de limon s'accompagne par celle de la rétention en eau.

3.2. Relations entre les humidités caractéristiques et la perméabilité du sol

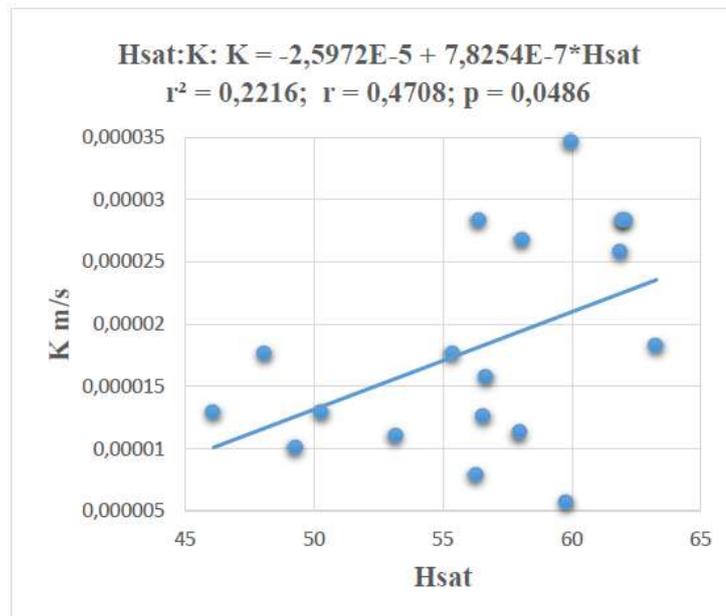


Figure 16. Relation entre la teneur en eau à saturation et la perméabilité

La corrélation indique une relation positive et significative entre le teneur en eau à saturation et la perméabilité ($r=0,48$). D'après Ghanem (2011) La conductivité hydraulique à saturation augmente de façon importante quand la teneur en eau élevée et que la succion se réduit. Hagnazari and al (2015) ont déclaré que la perméabilité du sol sont fortement liées à la teneur en eau et à sa répartition dans le profil du sol.

Donc la relation entre la conductivité hydraulique et la teneur en eau des matériaux partiellement saturés est normalement effectuée à partir de fonctions basées sur la distribution des pores en considérant que la structure du sol est incompressible. (Paris, 2001)

Conclusion

Conclusion générale

Cette étude concerne la caractérisation des propriétés hydrodynamiques des sols alluviaux de l'oasis de Guerrara. Elle s'est basée sur des mesures de terrain de la conductivité hydraulique à saturation, calcul de la réserve utile permettant de préconiser des exemples de doses d'irrigation pour les cultures les plus pratiquées dans la région et l'étude de la relation entre les caractéristiques hydriques des sols et la texture.

Les résultats de mesure de la perméabilité de la zone non saturée au niveau des 18 points révèlent que dans l'ensemble le sol de la palmeraie est semi perméable. Les sols étudiés sont assez riches en particules grossières ce qui explique ce résultat.

Les propriétés de rétention en eau des sols étudiés sont fortement influencées par la teneur en argile en limon fin et en limon grossier. Ces trois paramètres agissent différemment selon le potentiel. En effet, la variabilité de la rétention en eau due à la somme des teneurs en argile et en limons fins diminue au fur et à mesure que le potentiel décroît, elle passe de 0,28 à saturation à 0,31 à la capacité de rétention. Par contre, celle due à la somme des teneurs en argile, en limons fins et en limons grossiers, elle augmente avec la baisse du potentiel, elle passe de 0,27 à saturation à 0,36 à la capacité au champs. Aussi, l'étude de la relation entre la perméabilité et la teneur en eau a relevé une corrélation positive et significative avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,44.

Par ailleurs, nos résultats montrent que la variation faible de la texture sur le site influe sur le Réservoir Utilisable du sol.

Au final, il apparaît que la connaissance du fonctionnement hydrique des sols est essentielle afin de gérer durablement les ressources en eau, tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

- Aouam H., 2007. Etude minéralogique et micro morphologique de sols alluviaux de la région de Guerrara (W. Ghardaïa). Thèse de Magister, El-Harrach, Institut National Agronomique, Alger.
- Audrey L. 2010. Estimation de l'humidité de surface des sols nus à partir de l'imagerie hyperspectrale à haute résolution spatiale sur le domaine optique 0,4 – 14 μm . Thèse Doctorat de l'Université de Toulouse.
- Azzoug L. 2014. Estimation de la rétention en eau dans les sols alluviaux de l'oasis de Guerrara (région du M'Zab). Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla. ALGER.
- Barbara S. 2005. Caractérisation et suivi des écoulements hydriques dans les milieux poreux par la méthode du Potentiel Spontané. Géophysique. Université de droit, d'économie et des sciences - Aix-Marseille III. Français.
- Bigorre F. 2000. Influence de la pédogenèse et de l'usage des sols sur leurs propriétés physiques. Mécanismes d'évolution et éléments de prévision. Thèse Doctorat, Université Henri Poincaré Nancy I, France, 148 p.
- Bouchelghoum F., 2006. Écoulement de l'eau a traversé le milieu poreux. Thèse de Magister. Université de Biskra. ALGER. 8-10p.
- Bourgeois F. 2013. Caractérisation du réservoir utilisable des sols et évolution en fonction des successions culturales. Mémoire de Master. Université de France Rabelais Tours.
- Bruand A., Darthout R., Duval O., Gaillard H., Jamagne M., 1996. Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols : importance de la densité apparente. Etude et Gestion des Sols, vol. 3, 1, pp. 27-40.
- 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*. Vol. 3, n°1. pp 27 – 40.
- 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*, V. 3, n. 1, pp. 27-40.

- Chalhoub M. 2013. Effet de l'apport de composts sur la dynamique hydrique du sol, la disponibilité de l'azote pour la plante et le lessivage du nitrate : cas d'un sol limoneux cultivé du bassin parisien. Thèse Doctorat de l'Université PARIS XI, ORSAY.
- Chossat, J.C. 2005. La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols ; Choix des méthodes. Edition Tec and DOC, Lavoisier, Paris.
- Collinet J, Zante P., 2002. Estimation et spatialisation des réserves hydriques du sol, application au bassin versant de l'oued Zanfour, Mission I R D de Tunis, Rapport Multigr.
- Colombani J., Lamagat J.P., Thiebaut J. 1972. Mesure de la perméabilité des sols en place : un nouvel appareil pour la méthode M"UNTZ. Une extension de la méthode PORCHET aux sols hétérogènes. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. Vol IX. N°3.
- Dilmi A.2009. Prédiction des propriétés hydriques des sols d'Algérie par les fonctions de pédotransfert. Diplôme de Magister. Université d'El Harrach. Alger.
- Djili B., 2004. Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mémoire Mag. Agro. Université de Ouargla, 81p.
- Duchaufour P., 2001. Introduction à la Science du Sol, sol, végétation, environnement. 6 ème Edition, Dunod, 81-96 p.
- Eck D. V., Qin M., Hirmas D. R., Giménez D., Brunsell A., 2016. Relating Quantitative Soil Structure Metrics to Saturated Hydraulic Conductivity. Soil Science Society of America. USA. Vol. 15, Iss, 1.
- Ghanem F. 2011. Etude de la corrélation entre la perméabilité et la succion. Mémoire de Magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou. ALGER.
- Gillham, R.W., 1984, The capillary fringe and its effect on water-table, Journal of Hydrology, Volume 67, Issue 1, 307p.
- Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2010. Le sol vivant : base de pédologie, biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 3ème édition, 817p.
- Green TR, Ahuja LR, Benjamin JG. Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. Geoderma 2003; 116: 3-27.
- Haghazari F., Shahgholi H., Feizi M., 2015. Factors affecting the infiltration of

- agricultural soils: review. International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR). Vol. 6, No. 5, p. 21-35.
- Gutmann E. D., Small E. E., 2005. The effect of soil hydraulic properties vs. soil texture in land surface models. *geophysical research letters*, VOL. 32, 82-94.
 - Tóth B., 1a. Makó A. Rajkai K., Kele G. SZ. Hermann T., Marth P. 2006. Use of Soil Water Retention Capacity and Hydraulic Conductivity Estimation in the Preparation of Soil Water Management Maps. *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN*. 55 .1. 49-58.
 - Cornet A. 1980. Observations sur la capacité de rétention, ses relations avec les valeurs de potentiel et la texture des sols sableux du Nord Sénégal. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Biol., n° 42*, pp. 53-59.
 - Clapp, R. B., G. M. Hornberger G.M. 1978. Empirical equations for some soil hydraulic properties, *Water Resour. Res.*, 14, 601-604.
 - Mezzar L. 2015. Etat de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara. Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla.
 - Dubief J., 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Alger, Service des études scientifiques, 457p.
 - Doufene S. Caractérisation micromorphologique et minéralogique des matériaux pédo-sédimentaires des systèmes des Dayas: cas de Dayet El-Amied, Guerrara. Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla.
 - Hadj-said, S., Hamdi-Aissa B., et Touil Y., 2008. Qualité et ressources en eaux souterraines dans un agrosystème oasien au Sahara d'Algérie (cas de l'oasis de Guerrara, M'Zab). *Bull. du Groupe Francophone Humidimètre et Transferts en Milieux Poreux*, 54, 195-198.
 - Melouah O. 2012 Investigation géophysique du sous-sol pour la détection des poches de dissolution et des cavités karstiques : cas de la région de Guerrara (Ghardaia). Mémoire de Magister. Université Kasdi Merbah Ouargla.
 - Soltner, D., 2005- La base de la production végétale Tom I. Le sol et son amélioration 24eme Edi. collection science et technique agricole. 472p.
 - Combres J.C., Le Mezo L., Mete M., Bourjon B.. 1999. Réserve utile et mesures d'humidité. Difficulté de calage des modèles de bilan hydrique. *Agriculture et Développement (24)* : p. 39-47.
 - Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2010. Le sol vivant : base de pédologie,

biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 3ème édition, 817p.

- Hillel D., 1974. L'eau et le sol, principes et processus physiques. Vander, Louvain, 257p.

- Tietje O., Hennings V., 1996. Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedotransfer functions compared to the variability within FAO textural classes. *Geoderma* 69(1-2):71-84.

- Reboza, Anthonio, 2011. Indicateurs texturaux pertinents pour l'infiltration des eaux traitées en assainissement non collectif. Rapport de stage Master 2, Ecole des Ponts ParisTech, Champs-sur-Marne. ENPC, 22 p.

- Calvet R., 2003.. Tome 2 : Phénomènes physiques et chimiques in *Le sol : propriétés et fonctions*. Paris : Editions France Agricole, Dunod, 511p.

- Cornet A. (1980). Observations sur la capacité de rétention, ses relations avec

- Duchaufour ph, 1995. Abrégé de pédologie. Sol-Environnement, végétation. Ed. Masson et Cle, Rome, 324 p.

- Hamraras H. 2008. Etude de la réserve utile des sols des Hautes Plaines Sétifiennes. Diplôme d'ingénieur. Université d'El Harrach. Alger.

- Hillel, D. 1998c. Flow of water in saturated soil in *Environmental Soil Physics*. Academic.Press. p. 173-201

- Horn R. Time dependence of soil mechanical properties and pore functions for arable soils. *Soil Science Society of America Journal* 2004 ; 68: 1131-1137.

- Jarvis, N.J., L. Zavattaro, K. Pajkai, W.D. Reynolds and P.A. Olsen et al., 2002. Indirect estimation of non-saturated hydraulic conductivity from readily available soil information. *Geoderma*, 108: 1-17.

- Jury, W.A., W.R. Gardner, W.H. Gardner. 1991. *Soil Physics*. John Wiley, New York, 328 p

- Jutras M. F., 2009. Modeling stream discharge in forest catchments across. Canada: hydraulic conductivity calibrations. Masters of Science in Forestry. University of New Brunswick.

- Khemgani M.A., 2010. Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Thèse Magister, Université Kasdi Merbah Ouargla, 107p.

- Li Y.; Chen D.; White R.E.; Zhu A.; Zhang J. (2007). Estimating soil hydraulic properties of Fengqiu County soils in the North China Plain using pedo-transfer functions. *Geoderma*, vol. 138, pp.261–271.
- Mermoud A. 2005. Etat de l'eau du sol in *Cours de physique du sol*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 27 p.
- Mermoud A., 2006. Etat de l'eau du sol in cours de physique du sol. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.
- Merot P. 2012. Sécheresse et réserve en eau des sols in *Changement climatique dans l'Ouest. Evaluation, impacts, perceptions*. Presses Universitaires de Rennes, Rennes (FRA).
- Mohsenipour M., Shahid S., 2016. Estimation of saturated hydraulic conductivity: a review. Faculty of Civil Engineering, University Technology Malaysia (UTM), Johor Bahru, Malaysia.
- Mualem, Y., 1976, A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resources Research*, vol.12: 513p.
- Musy, Soutter M., 1991. Bilan hydrique au Québec in *Physique du sol*. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.
- Musy, Soutter M., 1991. Écoulement en milieu non saturé in *Physique du sol*. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.
- Musy, Soutter M., 1991. Notions de base en physique des sols in *Physique du sol*. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.
- O.N.M., 2017. Données climatiques de la région de Ghardaïa pour la période 2007-2016.
- Ouamer A. 2010. Estimation de la rétention en eau des sols de la Mitidja Ouest. Mémoire de Magister. Université de El-Harrach – ALGER.
- Sedik R., 2011. Caractérisation de la perméabilité des matériaux à l'écrasement. Mémoire de Magister. Université de Tizi-Ouzou. ALGER.
- Starr JL. Spatial and temporal variation of ponded infiltration. *Soil Science Society of America Journal* 1990; 54: 629-636.
- Štekauerová, V., Nagy, V., Kotorová, D. 2006. Soil water regime of agricultural field and forest ecosystem. *Biologia*, 61/Suppl. 19: 300–304.
- Touil S. 2012. Elaboration et utilisation de fonctions de pédotransfert pour la prédiction des propriétés de la rétention en eau des sols du bas Cheliff. Algérie. Mémoire de Magister. Université de Hassiba Benbouali de Chlef. ALGER.

- Van Es HM, Ogden CB, Hill RL, Schindelbeck RR, Tsegaye T. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal* 1999; 63: 1599-1608.
 - Vauthier Q. 2011. Estimation des réserves utiles des sols de Seine-et-Marne. Master 2 GPRE. Université de lorraine. FRANCE.
 - Weynants M. 2005. Caractérisation des propriétés hydrodynamiques et étude de la possibilité d'agrégation de trois types de sols au Fakara, Niger. Mémoire de fin d'étude. Université de Louvain-la-Neuve.
- les valeurs de potentiel et la texture des sols sableux du Nord Sénégal. Cah.
O.R.S.T.O.M., sér. Biol., n° 42, 1980, pp. 53-59.

Annexe 1

Tableau 1. Variabilité des caractéristiques physiques des échantillons étudiés (n=18).

N	A (%)	LF (%)	LG (%)	LT (%)	SF (%)	SG (%)	ST (%)	Classe texturale USDA
1	22,6	31,0	2,1	33,1	32,7	7,3	39,9=168.7	LOAM
2	22,9	44,7	2,7	47,4	24,3	2,4	26,7=171.1	SILT LOAM
3	24,3	42,3	6,9	49,1	23,6	1,7	25,4=173.3	SILT LOAM
4	25,5	40,9	4,2	45,1	24,4	2,0	26,4	LOAM
5	22,7	33,2	4,7	38,0	30,6	6,8	37,4	LOAM
6	20,7	35,0	9,3	44,3	29,6	4,5	34,1	LOAM
7	24,9	36,9	4,8	41,7	26,1	3,3	29,4	LOAM
8	28,0	38,6	2,4	40,9	23,9	3,0	27,0	CLAY LOAM
9	24,2	35,8	10,0	45,9	28,1	2,3	30,4	LOAM
10	25,6	38,1	5,9	44,0	23,1	3,9	27,0	LOAM
11	23,1	43,0	3,5	46,5	22,0	4,0	25,9	SILT LOAM
12	22,9	36,2	11,4	47,6	25,5	5,2	30,7	LOAM
13	24,5	38,4	6,1	44,5	26,2	4,9	31,1	LOAM
14	24,8	32,5	6,3	38,8	30,2	6,8	37,0	LOAM
15	27,1	35,1	2,7	37,7	27,5	3,2	30,8	CLAY LOAM
16	10,6	62,4	1,1	63,5	23,0	4,1	27,2	SILT LOAM
17	17,5	33,9	11,9	45,9	30,9	7,0	37,9	LOAM
18	20,7	31,8	7,7	39,5	32,4	8,2	40,5	LOAM

Annexe 2

Tableau 2 : Humidité pondérale à différents potentiels des échantillons de validation (n=18).

N	Teneur en eau pondérale (W %) à différents pF		
	pf0	330hPa	15000hPa
1	48.1	28.1	23.4
2	58.1	32.7	30.5
3	49.3	27.8	22.2
4	62.0	32.4	25.4
5	46.1	26.5	20.6
6	58.0	34.8	30
7	63.3	35.4	27.7
8	59.8	34.9	29.6
9	56.4	32.5	29.6
10	56.5	35.4	25.6
11	61.9	37.7	34.9
12	62.1	35	23.2
13	56.7	33.3	27.2
14	55.4	33.6	23.5
15	56.3	32.2	26
16	60.0	40.5	35.2
17	53.2	32.4	29.3
18	50.3	31.6	26.5

Annexe 3

Tableau 3 : Matrice des corrélations entre les caractéristiques hydrodynamiques et les principales caractéristiques physiques des sols étudiés (n=18)

		A%+LF%	A%+LF%+LG%	H _{Sat}	H _{Cr}	H _{pF}	RU	K m/s
A%+LF%	r	1,0000						
	p	p= ---						
A%+LF%+LG%	r	0,8393	1,0000					
	p	p=0,000	p= ---					
H _{Sat}	r	0,5372	0,6052	1,0000				
	p	p=0,022	p=0,008	p= ---				
H _{Cr}	r	0,4888	0,5227	0,8140	1,0000			
	p	p=0,040	p=0,026	p=0,000	p= ---			
H _{pF}	r	0,4342	0,3976	0,5567	0,7666	1,0000		
	p	p=0,072	p=0,102	p=,016	p=,000	p= ---		
K m/s		,4090	,4373	,4708	,4353	,3834	-,0396	1,0000
		p=,092	p=,070	p=,049	p=,071	p=,116	p=,876	p= ---

Annexe 4

Tableau 3 : les valeurs de perméabilité selon Calvet (2003).

$K_s \text{ ms}^{-1}$	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Qualification	perméable		semi-perméable			impermeable				
Composition granulométrique approximative	graviers	sables grossiers à sables fins		sables très fins limons grossiers			limons fins, argiles			
Sols	sols à texture grossière		sols à texture variée et sols argileux avec des agrégats stables			sols à texture fine et possédant une mauvaise stabilité structurale				
Conséquences	sols à faible réserve en eau irrigation difficile risques de pollution des eaux souterraines		drainage moyen à bon ; pas de contraintes pour les cultures ; irrigation possible			drainage très mauvais ; cultures limitées à des plantes à enracinement peu profond risque de pollution des eaux de surface par ruissellement				

RÉSUMÉ

La connaissance de la dynamique de l'eau dans le sol est importante pour une garantie du développement durable des terres (Laczová et Štekauerová, 2007). L'information sur la distribution spatiale de l'eau du sol, et sur sa disponibilité pour les plantes, permet aux producteurs de prendre des décisions efficaces afin de maximiser la rentabilité (par exemple la gestion des éléments nutritifs et du couvert végétal).

L'objectif de cette étude est d'établir une carte des courbes isovaleurs de perméabilité des sols alluviaux prélevés de l'oasis de Guerrara (Dayet El Amied), mettre en corrélation les caractéristiques hydriques des sols avec leurs textures et enfin déterminer le réservoir utilisable de ces sols.

Les principaux résultats obtenus après les mesures in situ de la perméabilité des sols de la palmeraie montre que ces derniers sont semi perméables. Aussi, la texture du sol a un effet variable sur la teneur en eau selon le niveau du potentiel de l'eau. De même, l'équations de régression établie entre la conductivité hydraulique et la rétention à saturation est significative. Haghazari et al (2015) ont constaté que la perméabilité du sol est fortement liée à la teneur en eau et à sa répartition dans le profil du sol.

Mots clés : Oasis, Propriétés hydriques, Rétention en eau, Perméabilité, Réservoir utilisable.

Theme

Study of the water properties of alluvial soils in the Mezab region (case of the oasis of Guerrara).

Abstract

Knowledge of the dynamics of water in the soil is important for ensuring sustainable land development (Laczová and Štekauerová, 2007). Information on the spatial distribution of soil water and its availability to plants allows producers to make effective decisions to maximize profitability (eg, nutrient management and vegetation management).

The objective of this study is to establish a map of the isovale curves of permeability of alluvial soils taken from the oasis of Guerrara (Dayet El Amied), to correlate the water characteristics of the soils with their textures and finally to determine the usable reservoir Of these soils.

The main results obtained after the in situ measurements of the permeability of the soils of the palm grove show that the latter are semipermeable. Also, soil texture has a variable effect on water content depending on the level of water potential. Similarly, the regression equations established between hydraulic conductivity and saturation retention are significant. Haghazari et al (2015) found that the soil permeability is strongly related to the water content and its distribution in the soil profile.

Keywords : Oasis, Water properties, Water retention, Permeability, Usable reservoir.

المخلص

العنوان

دراسة خصائص الماء للتربة الغرينية في منطقة مزاب (حالة واحة القرارة)

معرفة ديناميكية الماء في التربة مهم لضمان التنمية المستدامة للأراضي، معلومات عن التوزيع المكاني للمياه التربة وتوافرها للنباتات، يسمح للمنتجين لاتخاذ قرارات فعالة لتحقيق أقصى قدر من الربحية (مثل إدارة المغذيات والغطاء النباتي).

الهدف من هذه الدراسة هو تعيين منحنيات نفاذية التربة الغرينية التي اتخذت من واحة القرارة (طاية العميد) لربط خصائص مياه التربة مع حجم جسيمات التربة وتحديد أخيرا كمية الماء المحتفظة في التربة

النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها بعد قياسات نفاذية التربة في الميدان، تبين أنها شبه نفوذ. أيضا، حجم جسيمات التربة له تأثير متغير على المحتوى المائي تبعا لمستوى ضغط المياه. وبالمثل، فإن العلاقة التي أقيمت بين النفاذية ومحتوى الماء المشبع كبير نفاذية التربة ترتبط ارتباطا وثيقا مع محتوى الماء وتوزيعه في التربة.

الكلمات المفتاحية: واحة، خصائص المياه، واحتباس الماء، النفاذية، كمية الماء المحتفظة.

