

UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA

FACULTE DES SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière: Sciences Agronomiques

Spécialité: Protection de la Ressource Sol, Eau, et Environnement.

Réalisée par: Bouhnik Afaf Amani

Thème

**Mesure de la vitesse d'infiltration des eaux
dans les sols Oasiens : Cas de palmeraies de
Ouargla et Touggourt**

Soutenu publiquement le :

27/06/2018

Devant le jury :

Mr. HAMDI-AÏSSA B.	Professeur	U.K.M.Ouargla	Président
Mme. SLIMANI R.	MCA	U.K.M.Ouargla	Promotrice
Mlle. CHARIKH M.	Doctorante	U.K.M.Ouargla	Co-promotrice
Mr. DJILI B.	MAA	U.K.M.Ouargla	Examineur

Année universitaire: 2017/2018

Table de matières

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

PREMIERE PARTIE : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I: l'eau dans le sol

I.1. Introduction.....	3
I.2. Généralité sur le sol.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Les principales propriétés physiques du sol.....	3
I.3. Etat de l'eau dans le sol.....	4
I.4. La vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol.....	5
I.4.1. Définition.....	5
I.4.2. Loi de darcy.....	5
I.4.3. Principaux facteurs qui affectant l'infiltration.....	6
I.4.4. Méthodes de mesure de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol.....	6
I.5. Conclusion.....	7

Chapitre II : Présentation de la région d'étude

II.1. Introduction.....	8
II. 2. Situation géographique.....	8
II.3. Cadre Climatique.....	9
II.3.1. Données climatiques.....	9
II.3.2. Synthèse bioclimatique.....	11
II.4. Cadre Géologique.....	13
II.5. Géomorphologie.....	13
II.5. Hydrogéologie.....	15
II.6. Cadre pédologique.....	16
II.8. Conclusion.....	16

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre III : Matériels et méthode

III.1. Etude expérimentale	17
III.1.1. Choix des points de prélèvement.....	17
III.2. L'Approche méthodologique du travail :	19
III.2.1.Phase de terrain :.....	19
III.2.1.1.Matériels et produit de travail :.....	19
III.2.1.2. Mesure de la perméabilité.....	20
III.2.2. Phase de laboratoire.....	20
III.2.2.1.Analyse granulométrique (Méthode par tamisage à sec).....	20
III.2.2.2. Mesure de l'humidité.....	21

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV..1. Etude granulométrique des sols.....	22
IV..1.1. Les sols non irrigués.....	22
IV.1.2. Les sols irrigués d'une façon temporelle.....	23
IV.1.3. Les sols irrigués d'une façon permanente	24
IV.2. Humidité des sols	26
IV.2. 1. Les sols irrigués d'une façon temporelle.....	27
IV.2. 2. Les sols irrigués d'une façon permanente	27
IV.2. 3. Les sols non irrigués.....	28
IV.3. Etude de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol.....	29
IV.3.1. Les sols irrigués d'une façon temporelle.....	29
IV.3. 2. Les sols irrigués d'une façon permanente	30
IV. 3. 3. Les sols non irrigués.....	31
Conclusion générale.....	35
Références bibliographique	37

Liste des figures

Figure 1 : Les trois phases présentes dans un sol	3
Figure 2 : Illustration du dispositif de Darcy.....	5
Figure 3 : Situation géographique de la région de Ouargla et la région de Touggourt.	8
Figure 4: Etage bioclimatique des régions Ouargla et Touggourt selone climagramme d'EMBERGER	11
Figure 05: Coupe géomorphologique schématique Ouest-Est de la cuvette de Ouargla	12
Figure 6: Carte des reliefs d'Oued Righ	13
Figure 7 : Carte de localisation des sites de mesure des palmeraies de Ouargla.....	18
Figure 8 : Carte de localisation des sites de mesure des palmeraies de Touggourt.....	18
Figure 9 : Granulométrie des sols non irrigués (a) Ouargla et (b) Touggourt.....	23
Figure 10 : Granulométrie des sols irrigués (a) Ouargla et (b) Touggourt.....	24
Figure 11: Granulométrie des sols saturés (a) Ouargla et (b) Touggourt.....	25
Figure 12 : L'humidité moyenne de chaque type du sol (a) Ouargla et (b) Touggourt	26
Figure 13: Humidité des sols irrigués (a)Ouargla et (b) Touggourt.	27
Figure 14: Humidité des sols saturés (a) Ouargla et (b) Touggourt.	28
Figure 15 : Humidité des sols non irrigués (a) Ouargla et (b) Touggourt.	29
Figure 16: La vitesse d'infiltration de l'eau dan les sols irrigués (a) Ouargla et (b) Touggourt.	30
Figure 17 : La vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols saturés (a) Ouargla et (b) Touggourt.	31
Figure 18 : La vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols non irrigués (a) Ouargla (b) Touggourt.	32
Figure 19: La vitesse d'infiltration moyenne de chaque type de sol dans les palmeraies (a) Ouargla et (b) Touggourt.....	33

Liste des photos

Photo 1 : Perméamètre de Viguier installé.....	19
Photo 2 : Une série des tamis (500, 200, 45 μ) sur l'agitateur mécanique.....	21

Liste des tableaux

Tableau I : Données climatiques des régions Ouargla et Touggourt (2007-2017) (ONM, 2017).....	9
Tableau II. Ordre de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sol.....	34

REMERCIEMENT :

Au terme de ce travail en ce moment, l'instant est venu jeter un regard attentionné.

Derrière et autour de moi pour remercier ceux et elles qui m'ont aidé et soutenu dans la réalisation de ce travail.

Mais avant tout je remercie Allah, pour le courage qu'il ma donné pour surmonter toutes les difficultés durant mes années d'études.

En premier lieu, je remercie Mme Slimani. R pour nous avoir proposé ce thème et pour son encadrement.

Un profond remerciement s'adresse aussi à Mlle Charikh. M pour son soutien moral, son aide et ses encouragements.

Mes vifs remerciements s'adressent à M Hamdi-aissa.B pour l'honneur qu'il me fait en acceptant la présidence de mon jury.

Je remercie M Djili. B qui a bien voulu examiner ce travail.

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



DÉDICACE :

Je remercie dieu tout puissant avant tout.

Je dédie ce mémoire à l'esprit de ma chère sœur : Nadjet.

A mes chers parents qui sont toujours à mes cotés.

A mes frères et sœurs : Nour Eddine ; Toufik ; Abd Elfatah ; Zahia ; Bedra ;

Wafa ; Imen ; Sallah.

A les fils et les filles de mes frères et sœurs : Aicha ; Aya ; Mohammed ;

Nidal ; Haifa ; Samir ; Ramzi ; Chahine ; israa ; abd Elmouhaimn.

A tous les membres de ma famille.

A Mme Slimani Rabia, et Mlle Charikh Messaouda .

A mes amies : Ratiba ; Chaima ; Rokaia.

A tout mes collègues de la promo 2017/2018.

Mesure de la vitesse d'infiltration des eaux dans les sols oasiens : Cas de palmeraies de Ouargla et Touggourt

Résumé :

L'oasis est un écosystème spécifique adapté aux zones extrêmement arides. Notre travail vise à mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau *in situ* dans les sols oasiens des palmeraies de Ouargla et de Touggourt par la méthode de Porchet suivi par des analyse granulométriques et mesure d'humidité des sols. Afin d'assurer une meilleure gestion des eaux (Irrigation-Drainage) et d'évaluer le risque de contamination des eaux souterrain.

Les principaux résultats obtenus montrent que ces sols sont à dominance sableuse. Le sable fin domine les sols des palmeraies de Ouargla qui enregistre un pourcentage de 25,21 %, et le sable grossier domine ceux de Touggourt avec une teneur de 18,59 %.

Les sols dans les deux régions sont humides mais les sols de Touggourt sont plus humides que ceux de Ouargla où l'humidité moyenne est de l'ordre de 17,88 % pour les sols des palmeraies de Ouargla et de l'ordre de 19,64 % pour les sols des palmeraies de Touggourt.

Les mesures de la vitesse d'infiltration montrent que les sols de ces zones est dans l'ensemble semi-perméable avec une moyenne égale à $4,51.10^{-5}$ m/s au niveau des palmeraies de Ouargla et $3,20.10^{-5}$ m/s au niveau des palmeraies de Touggourt. ce qui désigne un bon drainage et facilite le transfert des polluants vers les nappes d'eau souterraine.

Mots clé : Oasis, sol, vitesse d'infiltration, granulométrie, humidité.

Measurement of the infiltration rate of water in oasis soils: Case of palm groves of Ouargla and Touggourt

Abstract:

The oasis is a specific ecosystem adapted to extremely arid areas. Our work aims to measure the rate of infiltration of water in situ in the Oasis soils of Ouargla and Touggourt palm groves by the method of Porchet followed by particle size analysis and soil moisture measurement. To ensure better water management (Irrigation-Drainage) and to assess the risk of contamination of groundwater.

The main results obtained show that these soils are predominantly sandy. Fine sand dominates the soils of the palm groves of Ouargla which records a percentage of 25.21%, and the coarse sand dominates those of Touggourt with a content of 18.59%.

The soils in the two regions are wet, but the Touggourt soils are wetter than those of Ouargla where the average humidity is about 17.88% for the soils of the palm groves of Ouargla and about 19, 64% for the soils of Touggourt palm groves.

Measurements of the infiltration rate show that the soils of these zones are generally semi-permeable with an average mean equal to $4,51.10^{-5}$ m / s at the palm groves of Ouargla and $3,20.10^{-5}$ m/s at the palm groves of Touggourt. which means good drainage and facilitates the transfer of pollutants to groundwater.

Key words: Oasis, soil, infiltration rate, granulometry, humidity.

قياس معدل نفاذية المياه في تربة الواحات: حالة بساتين النخيل في ورقلة وتقرت

ملخص :

الواحة هي نظام إيكولوجي محدد يتكيف مع المناطق القاحلة للغاية. مهمتنا هي قياس معدل نفاذية المياه في الموقع في تربة واحة النخيل في ورقلة وتقرت من خلال طريق بورشي نلها تحليل حجم الجسيمات وقياس رطوبة التربة. لضمان تحسين تسيير المياه وتقييم مخاطر تلوث المياه الجوفية.

النتائج الأساسية التي تم الحصول عليها تبين أن هذه التربة هي في الغالب رملية. حيث تسيطر التربة الرملية الناعمة على تربة بساتين نخيل ورقلة بنسبة 25.21٪، والرمل الخشن يهيمن على تربة تقرت بنسبة 18.59٪.

التربة في المنطقتين رطبة ، ولكن تربة تقرت أكثر رطوبة من تلك الموجودة في ورقلة حيث يبلغ متوسط الرطوبة حوالي 17.88٪ لتربات بساتين النخيل في ورقلة وحوالي 19.64٪ لتربات بساتين نخيل تقرت.

وتشير قياسات معدل نفاذية المياه أن تربة هذه المناطق عموما شبه نفوذة بمعدل يساوي $4,51.10^{-5}$ م / ث في بساتين ورقلة $3,20.10^{-5}$ م / ث في بساتين تقرت. مما يعني صرف جيد ويسهل نقل الملوثات إلى المياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: واحة، تربة، سرعة النفاذية ، الدراسة الحبيبية ، الرطوبة .

Introduction

L'oasis est un écosystème spécifique adapté aux zones extrêmement arides (Vidal, 2005). C'est un agro-écosystème dont la structure dépend principalement des composantes désert-oasis-rivières. (Yang et *al.*, 2010). Les différentes composantes (climatique, hydrique, édaphique, végétale, animale et humaine) sont fortement interdépendantes et interagissent les unes avec les autres, ce qui rend le système oasien à la fois complexe et fragile (Skouri, 1990).

Le palmier dattier constitue, pour les régions sahariennes et pré-sahariennes, l'élément essentiel de l'écosystème oasien (Sedra, 2003). Il est la clé de voûte et le symbole de ce système et sa présence symbolise l'eau dans le désert (Grenade, 2013). Généralement, les oasis se développent tout au long des cours d'eau et des nappes phréatiques (Zella et *al.*, 2006). En effet, l'existence et le fonctionnement des palmeraies sont depuis toujours liés à la présence de l'eau et à la pratique de l'irrigation.

Depuis leur existence, les oasis ont joué un rôle primordial dans le développement de l'économie locale et dans le maintien de la sécurité écologique. L'écosystème oasien remplit de nombreuses fonctions écologiques et offre une multitude de biens et services naturels, sociaux et économiques (PNUD, 2013).

En Algérie, la durabilité de l'écosystème oasien est de plus en plus menacée et le patrimoine phoenicicole reste sujet à diverses contraintes qui entravent son développement et sa valorisation (Saker et Daddi Bouhoun, 2007). L'exploitation irraisonnée des ressources naturelles sahariennes et la mauvaise gestion des eaux et des sols, en dépit des orientations de la politique nationale, inhérente au développement saharien, a conduit dans certaines régions à des problèmes de dégradation de l'environnement hydro-édaphique. Parmi les problèmes recensés, la salinité des eaux et des sols, et le niveau élevé de la nappe phréatique, à cause de la mauvaise gestion de l'irrigation et de drainage (Durand, 1983, Halitim, 1988 ; Djili et *al.*, 2003 ; Daddi Bouhoun, 2010) .

Situées au Sud-est de l'Algérie, les oasis de Ouargla et de Oued Righ, sont parmi les plus grandes palmeraies algériennes qui n'ont pas pu échapper à ce déclin. Celles-ci ont connu elles aussi une forte dégradation causée par de multiples facteurs qui interagissent les uns avec les autres. Dans ces oasis, la dégradation des ressources naturelles est affectée par différents facteurs au sein des écosystèmes existants. Elle est principalement causée à la fois par des facteurs naturels et des actions anthropiques qui s'accroissent avec le contexte socio-économique. La désertification, la salinisation, l'érosion des sols, la maladie du Bayoud (Fusariose), l'ensablement des terrains cultivés et les conditions climatiques

sont tous des facteurs qui ont contribué au déclin des oasis (Riou, 1990; Belarbi et *al.*, 2004; Vidal, 2005) La sévérité des facteurs précédemment cités peut être différente d'une oasis à l'autre selon des critères spécifiques à chacune.

Les sols de ces régions, sont affectés par les sels. Cette salinité est due à de multiples facteurs : l'aridité du climat, l'importance de l'évapotranspiration la remontée de la nappe phréatique qui nécessite une bonne gestion de l'irrigation-drainage (Hamdi-aïssa, 2001, Koull et *al.*, 2013).

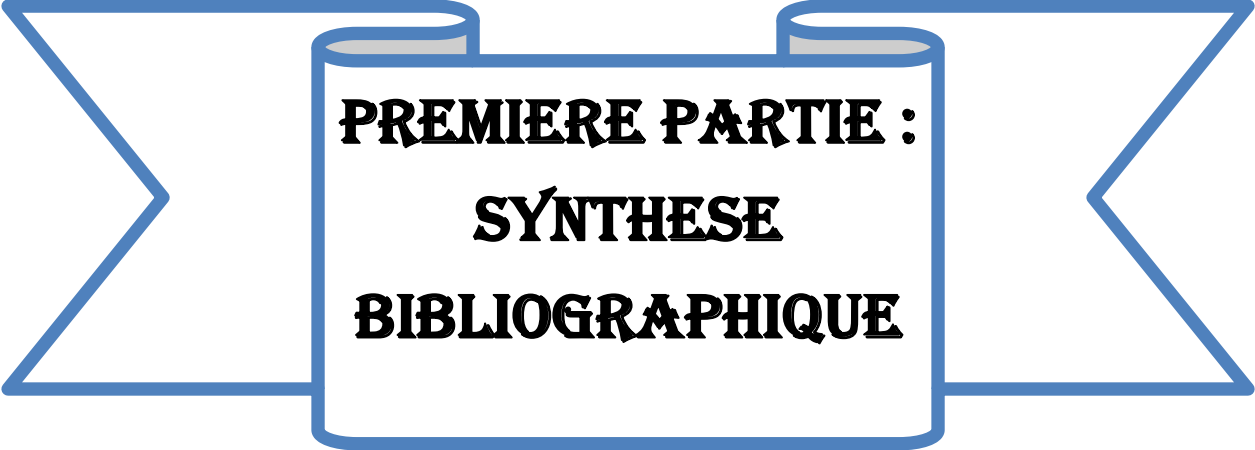
En dépit des problèmes précédemment cités, la nappe de Ouargla souffre actuellement d'une altération d'origine naturelle et anthropique. Cette altération est causée généralement par le rejet des eaux résiduaires dans le milieu sans traitement préalable (Idder, 1998; Slimani, 2006).

En effet, l'existence du système oasien était beaucoup plus liée à l'existence et à la disponibilité des ressources en eau de surface, ceci a fait objet de plusieurs études. Toutefois, peu d'attention était accordée à l'étude des paramètres hydrodynamiques des sols et leur impact sur le développement des oasis et plus précisément dans le contexte Algérien.

L'objectif de ce travail est de mettre en lumière l'importance des paramètres hydrodynamiques des sols dans la conservation et la durabilité du système oasien. Il vise à mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols oasiens des palmeraies de Ouargla et de Touggourt, ce qui va nous permettre d'assurer une meilleure gestion de l'irrigation-drainage et d'évaluer le risque de contamination des eaux souterrain.

Notre étude comporte trois parties :

- *Première partie* : c'est une synthèse bibliographique sur l'eau dans le sol.
- *Deuxième partie* : est consacrée au matériel et méthodes d'étude, en expliquant la présentation des sites d'étude, l'approche méthodologique et les méthodes de travail sur terrain et au laboratoire ;
- *Troisième partie* : dévoile et interprète les résultats obtenus.



PREMIERE PARTIE :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I :
L'eau dans le sol.

I.1. Introduction

La vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol varie d'un point de sol à un autre en fonction de plusieurs paramètres tel que les propriétés physiques de sol et leur état de saturation (Mathieu et Pieltain, 1998). Dans ce chapitre nous rappelons les principales notions de base dont on s'attache à l'étude des constituants et des comportements physiques et les propriétés hydrodynamiques des sols. Mettre l'accent sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et présenter quelques approches permettant de la mesurer.

I.2. Généralité sur le sol

I.2.1. Définition

Le sol est une interface entre la lithosphère et l'atmosphère. C'est le produit de la désagrégation physique d'un substrat en minéraux hérités et de l'altération chimique de ces derniers sous l'effet de l'eau et de la matière organique plus ou moins transformée, stabilisée dans les couches supérieures du solum (Ardouin, 2014). D'après Calvet (2003), Le sol est un mélange de particules solides pulvérisées, d'eau et d'air (figure 1).

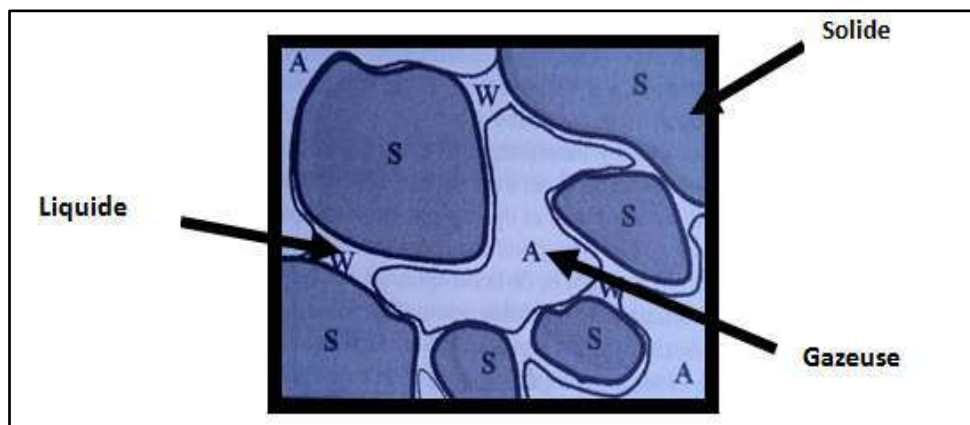


Figure 1 : Les trois phases présentes dans un sol (Chossat, 2005).

I.2.2. Les principales propriétés physiques du sol

- **La texture** C'est la propriété du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine. Elle est presque à la base de toutes les autres propriétés (Gobat et al, 2010).

L'analyse granulométrique consiste à séparer la partie minérale de la terre en catégories classées d'après la dimension des particules minérale inférieures à 2 mm à trois catégories sont considérées: les argiles ($< 2 \mu\text{m}$), les limons ($2 - 50 \mu\text{m}$) et les sables ($50 - 2000 \mu\text{m}$) (Mathieu et *al*, 1998).

▪ **La structure** : La structure détermine la répartition dans l'espace de la matière solide et des vides dont certains sont occupés par l'eau, d'autres les plus grossiers, par de l'air. Cette répartition conditionne l'ensemble des propriétés physiques fondamentales du sol (Duchaufour, 1994).

▪ **La porosité** : La porosité est définie comme une valeur sans dimension qui représente le rapport entre les volumes des vides et le volume total du sol (Chossat, 2005).

I.3. Etat de l'eau dans le sol

D'après Cassan (2005), l'eau présente dans le sol provient de deux sources principales qui sont : les eaux de précipitations et les apports par irrigation. Elle existe sous différentes formes ;

- **L'eau de constitution et de cristallisation** : entre dans la composition chimique des minéraux dont les particules des sols.
- **L'eau adsorbée (hygroscopique)** : est retenue à la surface des grains par des forces d'adhésion moléculaire et électrique.
- **L'eau de capillaire ou de rétention** : que l'on rencontre dans les sols non saturés et qui se maintient au contact des particules solides sous l'action des tensions superficielles qui prennent naissance à l'interface eau-air. Cette eau, malgré la pesanteur, ne peut s'écouler librement ;
- **L'eau libre ou de gravité** : remplit les pores et les vides et qui peut s'écouler librement.

Selon Chossat (2005), en fonction de la teneur en eau du sol on distingue plusieurs états de l'eau dans le sol :

- **Humidité à saturation** : lorsque la totalité des pores du sol sont occupé par l'eau.
- **Humidité à capacité au champ** : humidité observé après élimination de toute l'eau de gravité.

- **Humidité à point de flétrissement temporaire** : humidité du sol lorsque les végétaux présentent des symptômes de flétrissement passagers, en période de forte demande d'évaporation.
- **Humidité à point de flétrissement permanent**: humidité du sol au moment où la force de succion des plantes égale la force de rétention de l'eau par le sol.

I.4. La vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol

I.4.1. Définition

C'est une grandeur qui caractérise l'aptitude du sol et plus généralement celle d'un milieu poreux à permettre le déplacement d'une phase liquide continue dans des pores non fermés (Calvet, 2003).

I.4.2. Loi de darcy

Henry Darcy étudié l'écoulement de l'eau dans une conduite remplie de sable, Son dispositif expérimental lui a permis de maintenir une charge hydraulique constante en haut et en bas de l'échantillon durant le test (figure 2).

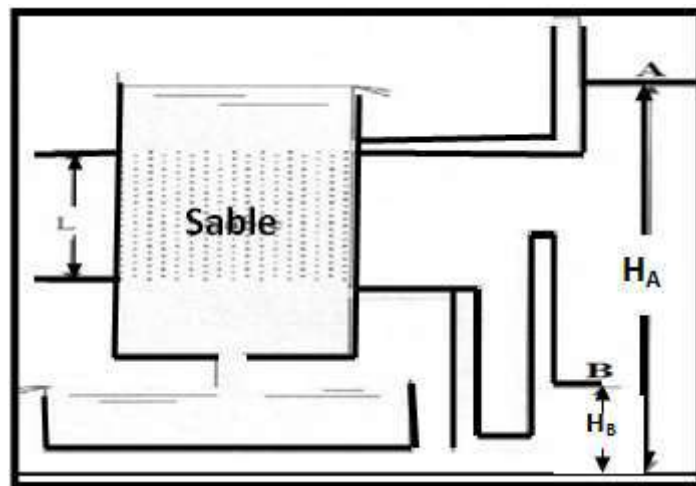


Figure 2 : Illustration du dispositif de Darcy (Ait Sadi, 2003).

Elle relie les différentes variables de la vitesse de filtration par la relation :

$$Q = K.I.S$$

Avec :

Q : quantité d'eau percolée (m³/s)

K : le coefficient de proportionnalité

HA et HB : la hauteur de deux extrémités de l'échantillon

$I = H_c/L$ dont H_c est la différence de charge (HA-HB) et L représente la longueur de la couche du sable et le rapport entre les deux «I» est appelé pente motrice et égale à 1 dans des conditions près de saturation.

S (m²): surface de la section de la conduite.

I.4.3. Principaux facteurs qui affectant l'infiltration

Selon Chossat (2005) et Mathieu (1998), Chacune des particules constituant le sol est en contact avec l'eau qui pénètre dans la porosité. Plusieurs facteurs entrent en action qui fait qu'on ne retrouve pas exactement les résultats proposés par les équations d'infiltration.

Parmi ces facteurs :

- L'hétérogénéité des sols
- Propriétés physiques des sols (gonflement et retrait);
- La dispersion des particules du sol;
- Les propriétés de liquide comme la viscosité;
- Les conditions environnementales;
- La méthode de mesure.

I.4.4. Méthodes de mesure de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol

Il existe plusieurs méthodes pour la mesure de l'infiltration *in situ* (sur terrain); soit en condition de sol saturé (présence d'une nappe phréatique), soit en condition de sol sec sans nappe phréatique. Et parmi les quelles nous décrivons les méthodes suivantes :

➤ **La méthode de Muntz**

C'est une Méthode adaptée pour des terrains à faible perméabilité. Elle permet la mesure de la vitesse d'infiltration. Le dispositif expérimental est constitué de deux anneaux cylindriques concentriques enfoncés dans le sol. En générale, le diamètre de l'anneau extérieur est le double de celui de l'anneau intérieur. Le principe repose sur la mesure du débit s'infiltrant au travers d'une surface bien délimitée d'un sol, sous une charge hydraulique constante (Chossat, 2005).

➤ **La méthode Guelph**

Du point de vue de sa conception, c'est un perméamètre dont la charge est régulée, par un vase de Mariotte, et qui permet la mesure d'un flux d'eau passant au travers d'une crépine cylindrique et par le fond d'un trou, creusé dans le sol. Le principe de la mesure consiste à créer, dans un sol non saturé, un bulbe saturé en appliquant une charge hydraulique constante dans le fond d'un trou de tarière. Le régime permanent est atteint lorsque le débit qui s'écoule devient constant (Mathieu, 1998).

➤ **La méthode du trou de sondage**

La méthode de trou de sondage est destinée à mesurer la perméabilité du sol, au-dessous de la nappe phréatique, c'est-à-dire dans le sens horizontal. C'est une méthode consiste à mesurer la vitesse de remontée de l'eau dans un trou de sondage préalablement vidé, en partie. Cette vitesse est convertie en coefficient de perméabilité k , au moyen de l'une ou l'autre formule appropriée (Mathieu, 1998).

➤ **La Méthode de Porchet**

La méthode dite de porchet porte le nom de son concepteur, qui l'a mis au point en 1935, ce type de mesure met en œuvre au moyen d'une tarière. Cette méthode permet principalement de mesurer la conductivité hydraulique horizontale déterminée au champ (Chossat, 2005).

➤ **Infiltromètre à disque (Infiltromètre à pression contrôlée)**

Il présente la spécificité de permettre une exploration des variations des paramètres obtenus en fonction de la pression en conditions non saturées. Toutefois, le dispositif ne permet d'opérer que dans une gamme de potentiel assez réduite. La plus part de ces infiltromètres se composent d'une embase circulaire, mise en contact avec la surface du sol, surmonté d'un réservoir d'alimentation et d'un système de dépressurisation (Vandervaere, 1995; Si smail et al, 2013; Perroux et White, 1988).

I.5. Conclusion

La vitesse d'infiltration mesurée sur terrain est extrêmement variable. Cela est dû à l'hétérogénéité du milieu poreux. Plus encours pour d'autres paramètre se pose le problème de mesures isolées.

Chapitre II :
Présentation de la région
d'étude.

II.1. Introduction

De nombreux facteurs interférant dans la formation des sols et l'évolution de leurs caractéristiques, ce qui explique la grande diversité des types de sol d'une région à une autre. Dans ce chapitre nous présentons la situation géographique de la région de Ouargla et Touggourt, leurs caractéristiques climatiques et hydro-édaphiques.

II. 2. Situation géographique

La Wilaya de Ouargla se situe au Sud-est de l'Algérie à 800 km de la capitale et elle occupe une superficie de 163233 km² (ANRH, 2017). Elle est limitée au Nord par les wilayas de Djelfa et d'El oued, au Sud par les wilayas de Tamanrasset et d'Illizi, à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa, et par la Tunisie au l'Est (Figure 3).

La région de Touggourt correspond à la partie haute de l'Oued-Righ, elle est bordée au sud et à l'est par le grand Erg oriental, au nord par les palmeraies de Megarine et l'ouest par des dunes de sable. Elle est localisée à une altitude de 75m (Dubost, 2002).



Figure 3 : Situation géographique de la région de Ouargla et la région de Touggourt (Google Earth 2018).

II.3. Cadre Climatique

II.3.1. Données climatiques

Les données climatiques de la station météorologique de Ouargla (2007-2017) (Tableau I) ont été utilisées afin d'étudier les principaux paramètres climatiques de la région de Ouargla et la région de Touggourt à savoir la température, les précipitations, la vitesse du vent et l'évaporation et l'humidité relative de l'air.

Tableau I : Données climatiques des régions Ouargla et Touggourt (2007-2017) (ONM, 2017)

V (m/s)		E (mm)		H%		P (mm)		T° (°C)						paramètres
T	O	T	O	T	O	T	O	moyen		Max		Min		
								T	O	T	O	T	O	
2,27	2,79	91,85	93,49	57,35	63	11,28	7,7	11,59	12,26	19,07	19,3	4,1	5,18	Janvier
2,7	3,01	125,65	128,15	48,45	54	5,04	2,86	12,77	14,28	20,04	21,5	5,5	7,10	février
3,15	3,95	157,82	189,01	43,45	48	6,06	4,71	16,54	18,05	24,27	25,5	8,8	10,53	Mars
3,25	4,56	198,42	238,83	37,54	46	10,26	1,66	21,20	22,96	29,91	30,7	12,55	15,25	Avril
3,39	4,83	242,7	317,53	31,29	39	1,8	1,46	26,32	27,72	34,44	35,4	18,2	20,04	Mai
3,18	4,77	273,95	378,58	27,98	35	0,37	0,73	31,31	32,66	39,73	40,5	22,9	24,82	juin
2,73	4,45	332,69	436,6	24,56	32	0,05	0,31	34,28	35,71	42,76	43,6	25,8	27,85	Juillet
3,25	3,91	297,29	396,55	27,22	35	3,33	0,50	33,97	35,05	41,94	42,7	26	27,39	Août
2,6	3,94	221,39	282,78	36,31	45	5,36	4,69	39,21	30,98	37,01	38,2	21,6	23,7	Septembre
2,36	3,55	178,11	210,31	43,40	50	3,55	5,66	23,34	24,63	37,07	31,8	15,6	17,42	Octobre
2,14	2,78	129,43	122,32	52,43	57	2,27	2,44	16,12	17,,31	24,13	24,3	8,1	10,28	Novembre
1,71	2,77	86,44	85,71	58,93	62	4,46	4,01	11,59	12,66	18,98	19,5	4,2	5,81	Décembre
2,73	3,78	2335,7	2879,8	40,74	47,1	53,83*	37*	22,36	23,69	23,98	31,09	14,44	16,28	Moyenne

* : cumul

Avec : O : Ouargla ; T : Touggourt ; T° : température ; P : pluviométrie ; H : humidité relative ; E : évaporation ; V : vent.

➤ **La température :** La température moyenne annuelle est de 23,69 °C et 22,36 °C enregistrées à la région de Ouargla et Touggourt respectivement. La température la plus élevée est notée au mois de juillet avec 43,6 °C à Ouargla et 42,6 à Touggourt, et la température la plus basse est enregistrée au mois de janvier avec 5,18 °C dans la région de Ouargla et 4,1 °C et dans la région de Touggourt.

➤ **Les précipitations :** Les valeurs des précipitations mensuelles de la région de Ouargla et la région de Touggourt (tableau I) montrent que la pluviométrie est très réduite et irrégulière à travers les mois, les saisons et les années. Les précipitations annuelles sont de 37 mm à Ouargla et 53,8 mm à Touggourt où le mois le plus pluvieux est janvier avec 7,7 mm à Ouargla et 11,28 mm à Touggourt et le moi de juillet est marqué par des traces de pluies dans les deux régions.

➤ **L'humidité relative :**

L'humidité relative dans les régions d'étude est variables mensuellement. Elle est maximale au mois de décembre à Ouargla et au mois du janvier à Touggourt et elle est minimale au mois de juillet dans les deux régions. La moyenne annuelle est de 40,74% à Ouargla et 47,17 à Touggourt.

➤ **L'évaporation :** L'évaporation est maximale au mois du juillet et minimale au mois de décembre dans les deux régions. Le cumul annuel est 2879,86mm et 2335,74 mm à Ouargla et à Touggourt respectivement.

➤ **Les vents :** Ils sont fréquents sur toute l'année à Ouargla et à Touggourt. La vitesse maximale est enregistrée durant le mois de Mai dans les deux régions tandis que la vitesse minimale est enregistrée pendant le mois de décembre.

II.3.2. Synthèse bioclimatique

Les données climatiques de Ouargla et de Touggourt montrent que les deux régions possèdent une large période sèche qui s'étale sur toute l'année ce qui indique une forte aridité.

Il permet de connaître l'étage bioclimatique auquel appartient une région donnée (Dajoz, 1971). Le quotient pluviothermique d'EMBERGER est déterminé selon la formule de Stewart (Lehouro, 1995) adaptée pour l'Algérie:

$$Q_2 = (3,43 \times P) / (M-m)$$

Avec : Q_2 : le quotient pluviothermique d'Emberger; P : le cumul de pluviosité moyenne annuel exprimées en mm; M : la moyenne des températures maximas du mois le plus chaud en °C ; m : la moyenne des températures minimas du mois le plus froid en °C.

D'après le climagramme d'Emberger (figure 4), Ouargla et Touggourt sont situées dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son Q_2 est de 3,30 et 4,77 respectivement.

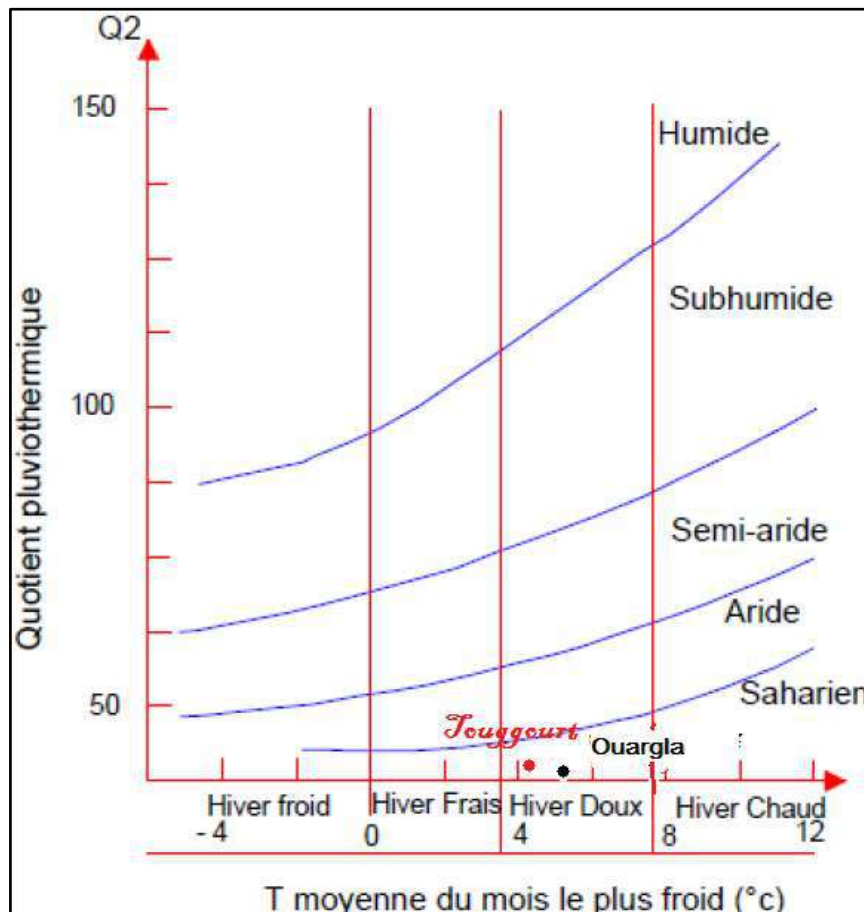


Figure 4: Etage bioclimatique des régions Ouargla et Touggourt selon le climagramme d'EMBERGER.

II.4. Cadre Géologique

La cuvette de Ouargla est creusée dans un dépôt du continental terminal dans lequel alterne des sables rouges, ayant le même aspect que ceux de la vallée de l'Oued N'Sa, les argiles et parfois des marnes ; le gypse est peu abondant, daté du Pontien. Le dépôt est connu au nom du Miopliocène. Le Pliocène continental constitue l'ossature des Regs, sous forme d'une croûte calcaire locale avec des poudings ou des calcaires lacustres. Vers le fond de la vallée de Ouargla, il y a une succession de formations de plus en plus récentes (Ville, 1872; Cornet et Gouscov, 1952).

Selon Dubost (2002), le Sahara est passé par des ères géologiques notamment au cours du carbonifère durant lequel la région de Touggourt a été envahie par la mer jusqu'au cénoomanien. Par la présence de cette eau, des bancs de calcaires du sénonien se déposés. Durant la Tertiaire, l'empilement de strates argilo-sableuses correspond à une succession de nappes aquifères sous-jacentes dans les calcaires du Créatacé supérieur, Enonien et Eocène. Le Quaternaire a connu l'élaboration du paysage saharien. C'est au cours du Pléistocène que l'Erg oriental s'est formé.

II.5. Géomorphologie

La région de Ouargla correspond à la basse vallée fossile (quaternaire) de l'oued Mya qui descend en pente douce (1%) du plateau de Tadmait et se termine à 20 km au Nord de Ouargla. La vallée atteint alors près de 30 km de large (Hamdi-Aïssa *et al.*, 2000). Elle se distingue en quatre ensembles géomorphologiques d'Ouest en Est (Figure 5):

- Le plateau de la Hamada pliocène, à l'Ouest de Ouargla, s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Il est à 220 m au-dessus de la vallée fossile (quaternaire).
- Les glaciers, sur le versant Ouest de la cuvette, s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 140 m à 200 m. Les glaciers de 160 m et de 180 m, sont très visibles.
- Le chott et la sebkha constituent le niveau le plus bas. Le chott correspond à la bordure de la sebkha. Le bas-fond se caractérise par la présence d'une nappe phréatique permanente, très peu profonde (1 à 5 m) dans le chott, qui affleure en surface au centre de la sebkha (Leger, 2003).

- Les dunes de formations éoliennes récentes en petits cordons, d'environ 150 m d'altitude, occupent l'Est et le Nord-Est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued Mya (Leger, 2003).

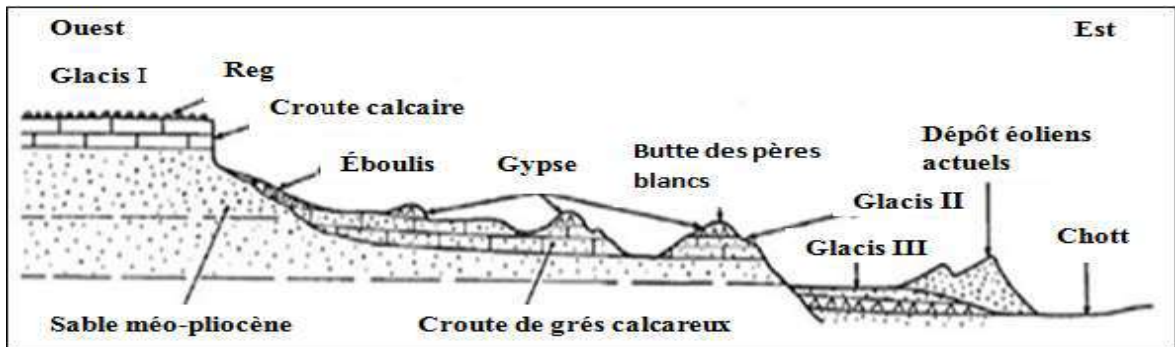


Figure 05: Coupe géomorphologique schématique Ouest-Est de la cuvette de Ouargla (Lelievre, 1969 in Hamdi-aïssa, 2001).

La région de Touggourt à une morphologie homogène, elle se présente comme une dépression (large fossé) orienté Sud / Nord (figure 6). La variation des côtes est nettement remarquable, Elle descend régulièrement de 90 m à Goug, pour atteindre la cote 45 m à Djamaa.

Cette région est connue sous le nom du Bas Sahara, à cause de sa basse altitude notamment dans la zone du chott au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer (Belksier, 2009).



Figure 6: Carte des reliefs d'Oued Righ (Ballais, 2010)

II.5. Hydrogéologie

➤ Il existe trois grands ensembles aquifères dans le sous-sol de Ouargla et de Touggourt qui sont du bas en haut (Cornet, 1961; Bonnard et Gardel; 2003; Sayah, 2008) :

➤ L'ensemble aquifère du Continental Intercalaire (CI) dite aussi nappe de l'Albien fortement artésienne située à 1100 à 1200 m de profondeur à Ouargla et entre 700 et 2000 m à Touggourt. Il est composé de sables gréseux ou argileux. Du point de vue lithologique, le continental intercalaire est formé par une succession de couches de sables, de grès, de grès argileux et d'argile. La qualité de l'eau du Continental Intercalaire est bonne.

➤ L'ensemble aquifère du Complexe Terminal (CT) comprenant trois nappes différentes qui de haut en bas sont le Mio-pliocène, le Sénonien et le Turonien d'une profondeur variant entre 200 et 500 m. du point de vue lithologique ces trois nappes sont de haut en bas : la nappe des sables, la nappe des sables et grès et la nappe des calcaires.

➤ La nappe phréatique dont le niveau est souvent proche de la surface, généralement entre 1 et 2 m. Elle peut dépasser 18 m au Sud de Ouargla et elle peut atteindre 60 m à

Touggourt. Elle affleure sur le sol en plusieurs endroits dans les deux régions. Elle est constituée de sables ou sables argileux avec gypse. Son eau est généralement très salée et excessivement chargée dans les zones mal drainées. Elle est rarement exploitée.

II.6. Cadre pédologique

Dans le Sahara, le facteur de la formation des sols est essentiellement le vent. Il s'y ajoute l'ampleur des variations thermiques, notamment journalières (Dutil, 1971 ; Dubost, 1991). Les sols sahariens sont généralement peu évolués et dépourvus d'humus (Halitim, 1985).

D'après l'étude de Hamdi-aïssa et Girard (2000), la région de Ouargla est caractérisé par 5 pédopaysages d'Ouest en Est qui sont : le plateau, les glacis et les versants ouest de la cuvette, le pédopaysage gypseux, les dunes et le pédopaysage salin.

Dans le même contexte pédologique, la région de Touggourt est caractérisée par des sols d'origine allu-colluviale formés à partir du niveau Quaternaire ancien encroûté essentiellement à la surface par des apports éoliens sableux (Cortin, 1969). Ils ont une texture sablo-limoneuse et une structure continue. Ces sols ont un caractère hydromorphe, ce qui engendre la remontée des niveaux de nappes phréatiques et la concentration des sels surtout dans les horizons de surface (Khadraoui, 2006).

L'étude pédologique menée sur la région de Touggourt fait ressortir les différents types des sols caractéristiques de cette zone, qui sont: les sols sableux d'apport éolien; les sols salés et les sols gypseux où la nappe sulfatée est le facteur moteur de la genèse de ces derniers (Boumaaraf, 2003).

II.8. Conclusion

La région de Ouargla et la région de Touggourt font partie du Bas-Sahara algérien. Elles correspondent à des grandes dépressions. Elles font partie de l'écosystème oasien qui est caractérisé par des sols typiques. Cela nous a permis de choisir les points de mesure de la vitesse d'infiltration de l'eau à travers les palmeraies de ces deux régions et ainsi l'approche ou la méthode appropriée aux sols oasiens.



DEUXIEME PARTIE :
ETUDE
EXPERIMENTALE



Chapitre III :
Matériels et méthode

III.1. Etude expérimentale

La vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol est un paramètre important dans l'étude des transfères des polluants et leur risque de contamination des eaux souterraines et dans la gestion d'irrigation et de drainage.

Ce chapitre montre l'ensemble des approches analytiques dont l'objectif est de caractériser la vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols.

III.1.1. Choix des points de prélèvement

La localisation de la région de Ouargla et la région de Touggourt dans les vallées des oueds et l'homogénéité de leurs caractéristiques hydrogéologiques et édaphiques ont porté le choix sur les palmeraies de ces deux régions qui font partie des sols salés pour mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols oasiens. Dans les deux régions, dix sept palmeraies ont été sélectionnées en fonction de leurs répartitions spatiales afin de couvrir la majorité de la zone d'étude.

Les campagnes de mesure ont été effectuées pendant la période 07 mars 2018 jusqu'au 3 avril de la même année au niveau de sept palmeraies dans la ville de Ouargla (Figure 7) qui sont : Mekhadma (P1, P2), Bamendil (P3), Chott (P4 et P5) et El Hedab (P6) et l'exploitation de l'ITAS (P7). Au niveau de ces palmeraies nous avons exécuté 21 essais et prélèvements. Tandis que 30 essais et prélèvements ont été effectués dans la région de Touggourt au niveau de dix (10) palmeraies (Figure 8) qui sont : Bennour (P8), Mrah (P9), Kardach (P10), Temacine (P11), Nezla (P12), Laghraba (P13), Labrari (P14), N° 3 (P15), Blidet Amour (P16) et Bissadi (P17).

Les mesures de la vitesse d'infiltration de l'eau ont été réalisées à 15 cm de profondeur à l'aide d'un perméamètre de Viguié. Nous avons pris dans chaque palmeraie trois sites différents le premier s'agit d'un sol non irrigué (ni), le deuxième est un sol irrigué d'une façon temporelle (ir) et le troisième est un sol irrigué d'une façon permanente (r) pour varier les conditions environnementales (humidité, présence des racines...) et anthropiques.

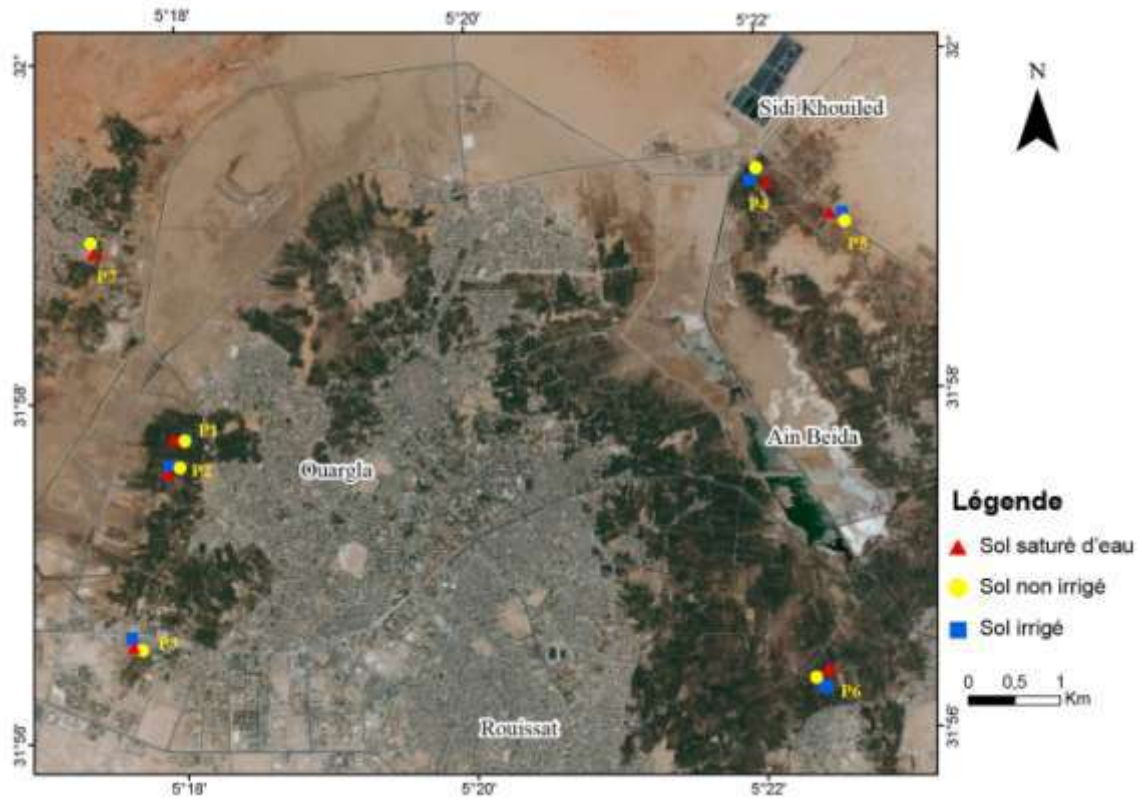


Figure 7 : Carte de localisation des sites de mesure des palmeraies de Ouargla.

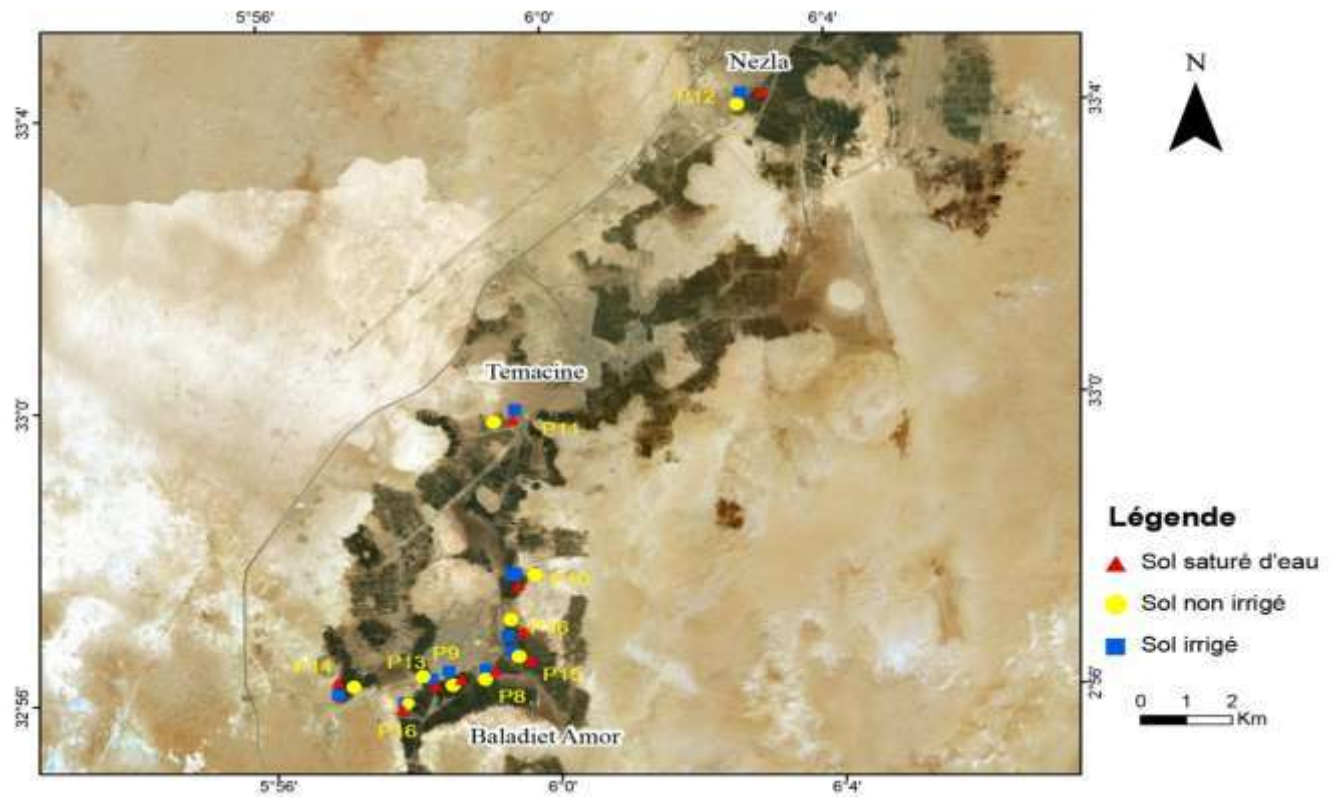


Figure 8 : Carte de localisation des sites de mesure des palmeraies de Touggourt.

III.2. L'Approche méthodologique du travail :

L'approche méthodologique consiste à mesurer la perméabilité des sols des palmeraies de Ouargla et de Touggourt par des essais in situ qui sont suivis par les mesures de l'humidité et l'analyse granulométrique au laboratoire.

III.2.1.Phase de terrain :

III.2.1.1.Matériels et produit de travail :

Les matériels utilisées sont un GPS, un perméamètre de Viguiet (1), des sachets en plastiques pour récupérer les échantillons, une tarière de diamètre 15cm et de longueur 125 cm (2) ; et Eau de robinet ; chronomètre électrique.

Le perméamètre comprend (photo 1):

- Un réservoir de saturation de 25 litres, muni d'un bouchon avec connexion rapide.
- Une cellule de régulation de niveau en acier inoxydable (a), équipé d'un dispositif de suspension (flotteur) muni d'une connexion avec le réservoir (b), 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 (c).



Photo 1 : Perméamètre de Viguiet installé.

III.2.1.2. Mesure de la perméabilité

La méthode utilisée pour la mesure de la perméabilité est la méthode de Porchet, qui repose sur le suivi de l'abaissement d'eau dans un trou creusé à la tarière en fonction du temps. Ce trou est d'un rayon (R) et d'une profondeur (H). La procédure de mesure est résumée en trois étapes comme suite :

- Nous creusons un trou de 20 cm de profondeur dans le sol manuellement avec une tarière, ensuite nous installons la cellule régulatrice (15 cm) dans le trou ;
- Nous versons de l'eau plusieurs fois dans le trou jusqu'à ce que le sol soit saturé ;
- Une fois l'étape de la saturation atteint, on connecte le régulateur avec le réservoir de mesure, et nous suivons l'abaissement d'eau à l'aide d'un chronomètre et notons chaque 60 second le volume d'eau dans le réservoir gradué.

Après le suivi des variations des niveaux de la hauteur d'eau, la perméabilité est calculée avec la formule déduit de la loi de Darcy:

$$K = V/S.t$$

Avec : v : le volume disparu du réservoir/infiltrée dans le sol dans le temps t.

S : représente l'aire de la zone humectée (partie latérale et le fond du trou)

$$S = \pi R^2 + 2\pi R h$$

Avec R est le rayon du trou, h est la hauteur de l'eau dans ce ci (Colombani et *al.*, 1973 ; Roederer, 1987 ; Chossat, 2005).

III.2.2. Phase de laboratoire

Dans chaque point de mesure de perméabilité, un prélèvement d'un échantillon de sol est effectué pour les mesures de la granulométrie et l'humidité des sols.

III.2.2.1. Analyse granulométrique (Méthode par tamisage à sec)

L'analyse granulométrique par tamisage à sec consiste à classer les différents grains constituants l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les un sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis. Les étapes de l'analyse est résumé comme la suite :

- On utilise 100 g de terre fine séchée à l'air libre, pesées avec une balance ;

- Superposant une série de tamis (500, 200, 45 μ) sur l'agitateur mécanique (photo 2) ;
- Faire passer les 100 g de sol sur les trois tamis à l'aide de l'Agitateur mécanique pendant 10 min ;
- Ensuite, le refus de chaque tamis est récupéré, pesé afin de calculer le pourcentage des fractions.



Photo 2 : Une série des tamis (500, 200, 45 μ) sur l'agitateur mécanique.

III.2.2.2. Mesure de l'humidité

La mesure d'humidité de sol se déroule en plusieurs phases comme suit :

- A l'aide d'une balance nous posons 50 g de sol humide;
- Nous mettons l'échantillon dans une étuve à 105° pendant 24 heures;
- Ensuite, nous prenons l'échantillon hors de l'étuve et le pesons pour déterminer leur poids sec ;
- le calcul de pourcentage d'humidité se fait par la formule suivante :

$$H (\%) = (\text{poids de l'eau} \times 100) / \text{poids du sol sec}$$

Avec : H : humidité de sol ;

Poids de l'eau = poids frais - poids sec.



**Chapitre IV :
Résultats et discussion**

Dans ce chapitre, nous allons reporter les résultats de mesures et de calculs des différents paramètres du sol, à savoir : la granulométrie, l'humidité et la vitesse d'infiltration de l'eau.

IV.1. Etude granulométrique des sols

Par l'analyse granulométrique nous avons déterminé la texture du sol qui nous a permis d'interpréter les résultats des essais de la perméabilité afin d'atteindre l'objectif d'étude.

IV.1.1. Les sols non irrigués

Pour les palmeraies de Ouargla, les sols non irrigués sont constitués essentiellement de sable moyen avec 41,31% et de sable fin de 40,87 % et avec un pourcentage de sable grossier de 16,86 %.

Pour le sable moyen, le pourcentage le plus élevé est de 90,18 % au niveau de la palmeraie de Mekhadma (P2) et le plus faible est celui enregistré au niveau de l'exploitation de ITAS (P7) avec une valeur de 18,74 %. Le plus grand pourcentage de sable fin est enregistré à la palmeraie du Chott (P4) avec 67,68 %, tandis que la P2 (Mekhadma) présente le plus faible teneur avec 1,24 %. Le sable grossier est maximal à la P7 avec 48,96 % et minimal à la P5 (chott) avec 3,46 %. Au moment où le taux du limon et d'argile très faibles qui varie de 0,28 à 2,54 % dans l'ensemble des palmeraies (figure 9a).

Au niveau des palmeraies de Touggourt les sols non irrigués sont aussi sableuses avec 36,97 % du sable moyen, 35 % du sable grossier et 27,68 % du sable fin. Le limon et l'argile sont presque absents dans ces sols avec un pourcentage moyen égal 0,36%.

Le taux de sable moyen dans les sols non irrigués varie entre 24,76 % (P11) au niveau de la palmeraie de Temacine et 54,06 % dans la palmeraie de Bissadi (P17). Le sable grossier atteint son maximum à la palmeraie de Nezla (P12) avec une teneur de 66,8% et il est minimal à la palmeraie Labrari (P14) avec 6,06 %. Dans cette dernière on a enregistré le taux le plus élevé du sable fin qui est de 58,26 % au moment où la P12 présente le taux le plus faible avec 8,36 % (figure 9b).

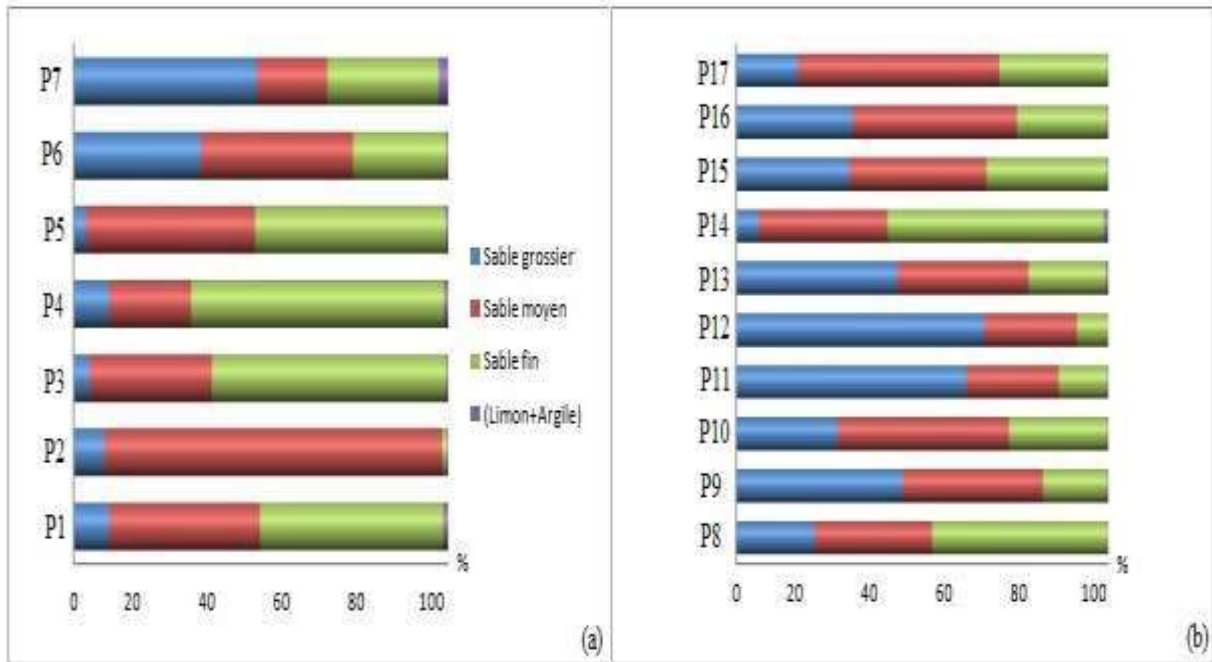


Figure 9 : Granulométrie des sols non irrigués (a) Ouargla et (b) Touggourt.

IV.1.2. Les sols irrigués d'une façon temporelle

Les sols irrigués d'une façon temporelle dans les palmeraies de Ouargla sont constitués en moyenne de 53,90 % sable fin, 34,22 % sable moyen, 11,17 % sable grossier et 1,02 % limon et argile.

La palmeraie de Bamendil (P3) présente le taux le plus élevé du sable fin avec 73,90 % au moment où l'exploitation de ITAS (P7) présente le taux le plus faible avec 27,26 %. Le taux de sable moyen dans les sols irrigués d'une façon temporelle varie entre 20,24% au Mekhadma (P2) et 50,80 % à Lahdab (P6). Le sable grossier atteint son maximum à la P7 (41,14%) et il est minimal à la P3 (Bamendil) avec 2,08 %. Le limon et l'argile présentent les taux les plus faibles des fractions granulométriques qui oscillent entre 0,22 % et 2,54 % enregistrés aux palmeraies P6 et P7 respectivement (figure 10a).

La figure 10b montre que les sols irrigués d'une façon temporelle des palmeraies de Touggourt sont constitué essentiellement de sable grossier avec une moyenne de 39,63 %, de sable fin 30,61 % et de sable moyen 29,45%.

Pour le sable grossier, le pourcentage le plus élevé est 59,28% au niveau de la P11 (Temacine) et le plus faible est celui enregistré au niveau de la P14 (Labrari) avec une valeur de 7,54 %. Le plus grand pourcentage de sable fin est enregistré à la P14 avec 53,40%, tandis que la P12(Nezla) présente le plus faible pourcentage avec 10,38%, au moment où le taux de

sable moyen varie entre 24,76% (P11) et 54,06% (P17 : Bissadi). Le taux du limon et d'argile varient entre 0,08 % et 0,52% pour les 10 palmeraies.

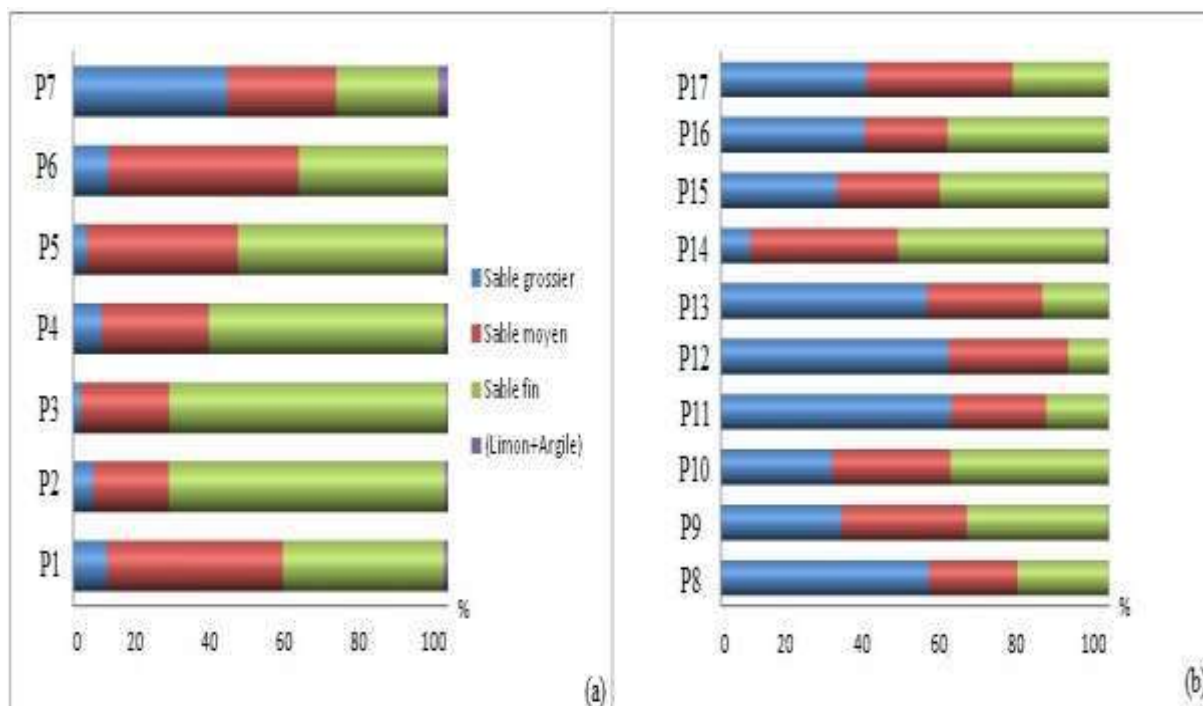


Figure 10 : Granulométrie des sols irrigués d'une façon temporelle (a) Ouargla et (b) Touggourt.

IV.1.3. Les sols irrigués d'une façon permanente

La figure 12 montre que les sols irrigués d'une façon permanente de Ouargla sont constitués avec 5,71 % sable grossier, 36,39 % sable moyen et 56,83 % sable fin, par contre le limon et l'argile se trouvent en traces de 1,07 %.

La palmeraie du Chott (P5) présente le taux le plus élevé du sable fin avec 72,66 % au moment où la palmeraie de l'exploitation de l'ITAS (P7) présente le taux le plus faible avec 29,84 %. Alors que le taux de sable moyen dans les sols irrigués d'une façon permanente varie entre 24,94 % (P5) et 61,50 % (P7). Le sable grossier atteint son maximum à la palmeraie de Lahdab P6 (14,4 %) et il est minimal à la P5 avec 1,80 %. Tandis que le limon et l'argile présentent les taux les plus faibles des fractions granulométriques qui oscillent entre 0,4 % (P6) et 3,04 % (P1 : Mekhadma) (Figure 11a).

Pour les palmeraies de Touggourt les sols irrigués d'une façon permanente sont des à dominance sableuse avec 36,92 % sable grossier, 30,40 % sable moyen et 32,31 % sable fin.

La P12 (Nezla) présente le taux le plus élevé du sable grossier avec 64,20 % au moment où la P8 (Bennour) présente le taux le plus faible avec 15,60 %. Au moment où le taux de sable moyen dans les sols irrigués d'une façon permanente variés entre 23,80 % (P12) et 37 % (P9 : Mrah). Le sable fin atteint son maximum à la palmeraie de Bennour (P8) avec 48,40 % et il est minimal à la P12 avec 11,80%. Le limon et l'argile présentent les taux les plus faibles des fractions granulométriques qui oscillent entre 0,37 % et 0,70 % enregistrés aux P16 (Blidet Ammour) et P17 (Bissadi) respectivement (Figure 11b).

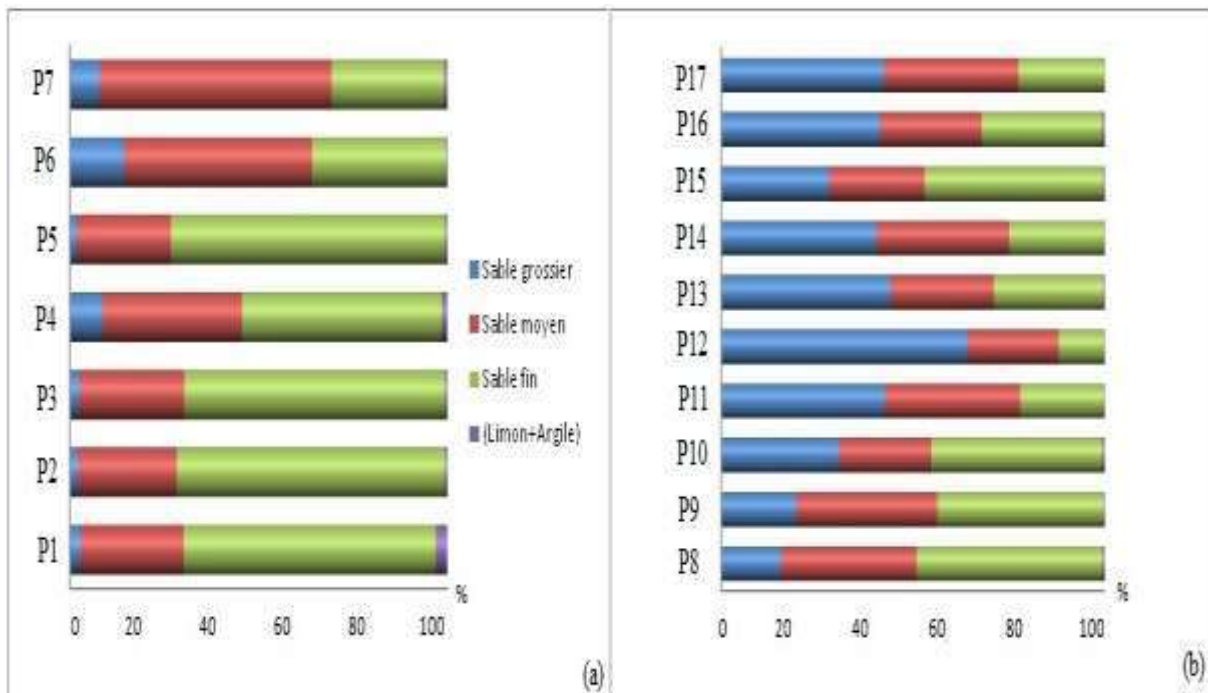


Figure 11: Granulométrie des sols irrigués d'une façon permanent (a) Ouargla et (b) Touggourt

L'analyse granulométrique obtenue montre que les sols dans toutes les palmeraies étudiées sont constitués principalement par la fraction sableuse. Les sols des palmeraies de Ouargla sont dominé par le sable fin avec une moyenne de 56,83% Alors que les sols des palmeraies de Touggourt sont constitués principalement par le sable grossier avec une moyenne de 36,92 %. Les sols de Ouargla sont constitués avec 56,83 % du sable fin, 36,39 % du sable moyen et 5,71 % du sable grossier. Tandis que les sols de Touggourt sont constitués de 36,92 % sable grossier, 30,40 % sable moyen et 32,31 % sable fin. Dans les deux régions, le limon et l'argile sont presque absents.

Ces résultats sont confirmés par les résultats de Hamdi-aissa (2001) et Boumaaraf (2003) qui montrent que les sols de la région de Ouargla sont constitués de sable quartzeux et les sols de Touggourt sont des sols sableux d'apport éolien.

IV.2. Humidité des sols

Les résultats obtenus (Figure 12a) montrent que l'humidité varie d'un point de sol à l'autre dans les 21 sites de mesure dans les palmeraies de Ouargla. L'humidité moyenne des sols étudiés est 17,88 %. Les sols irrigués d'une façon temporelle sont les plus humides avec une humidité moyenne de 22,25 % suivis par les sols irrigués d'une façon permanente avec 17,34 %, tandis que la plus faible humidité est enregistrée dans les sols non irrigués avec une moyenne de 14,04 %.

Pour les palmeraies de Touggourt l'humidité moyenne des sols étudiés est 19,64 %. Les sols irrigués d'une façon permanente sont les plus humides avec une humidité moyenne de 23,30 % suivis par les sols irrigués d'une façon temporelle avec 22,07 %, alors que la plus faible humidité est enregistrée dans les sols non irrigués avec une moyenne de 13,56 % (figure 12b).

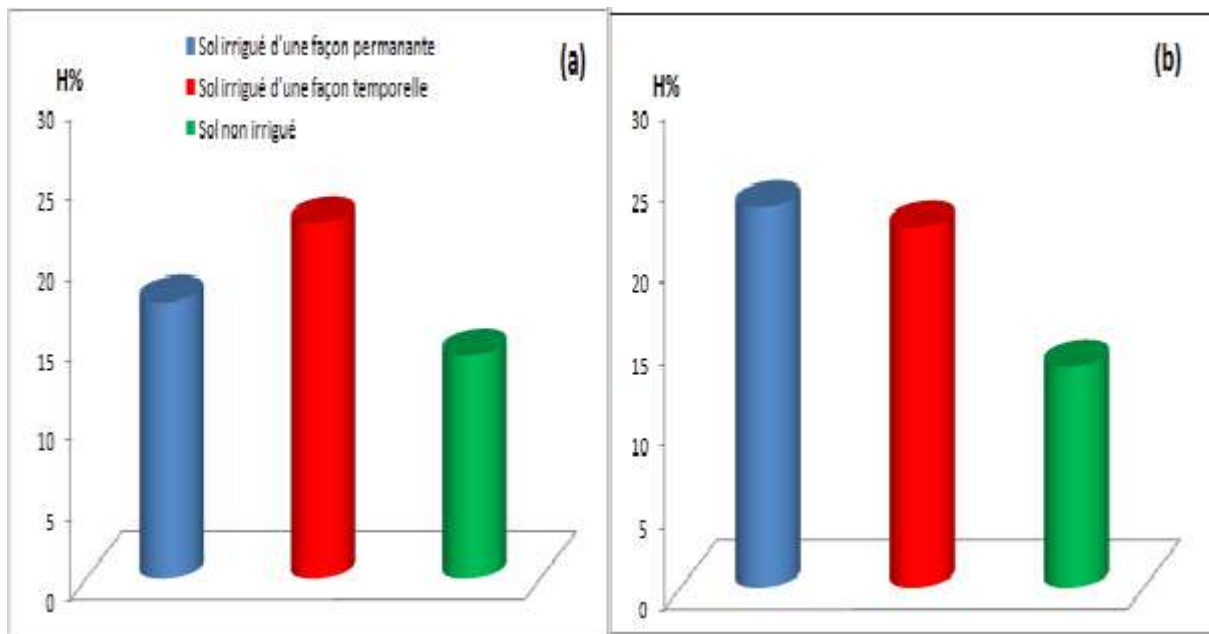


Figure 12 : L'humidité moyenne de chaque type du sol (a) Ouargla et (b) Touggourt.

IV.2. 1. Les sols irrigués d'une façon temporelle

L'humidité des sols irrigués d'une façon temporelle varie d'un point à un autre dans les palmeraies de Ouargla et Touggourt (Figure 13). Elle est généralement élevée. À Ouargla, elle atteint son maximum au niveau de la P7 (exploitation de l'ITAS) avec 39,5%, et son minimum à la P3 (Bamendil) avec 9,76% et elle varie entre 30,1 (P14 : Labrari) et 17,17% (P9 : Mrah) à Touggourt.

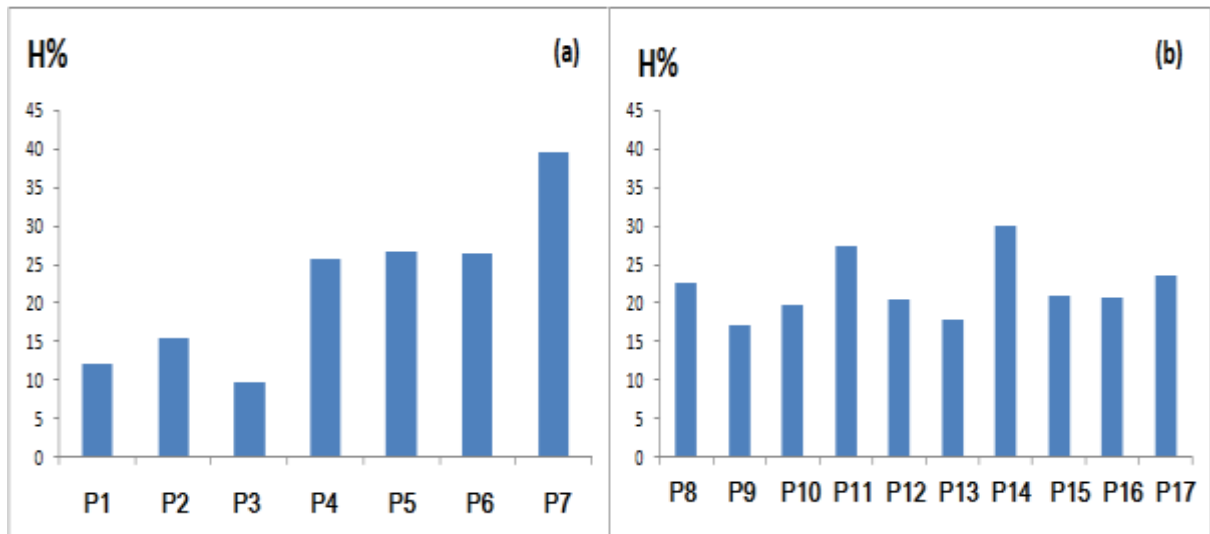


Figure 13: Humidité des sols irrigués d'une façon temporelle (a)Ouargla et (b) Touggourt.

IV.2. 2. Les sols irrigués d'une façon permanente

Au niveau des sols irrigués d'une façon permanente des palmeraies de Ouargla l'humidité varie d'un point à un autre (Figure 14a). Elle est minimale à la P3 (Bamendil) avec 8,03% et maximale avec 26,03% à la P6 (Lahdab). L'humidité des sols irrigués d'une façon permanent dans les palmeraies de Touggourt généralement est élevée (Figure 14b). La valeur la plus élevée est marquée à la P8 (Bennour) avec 31,4 % tandis que la plus faible humidité est enregistrée dans la P14 (Labrari) avec 13,66 %.

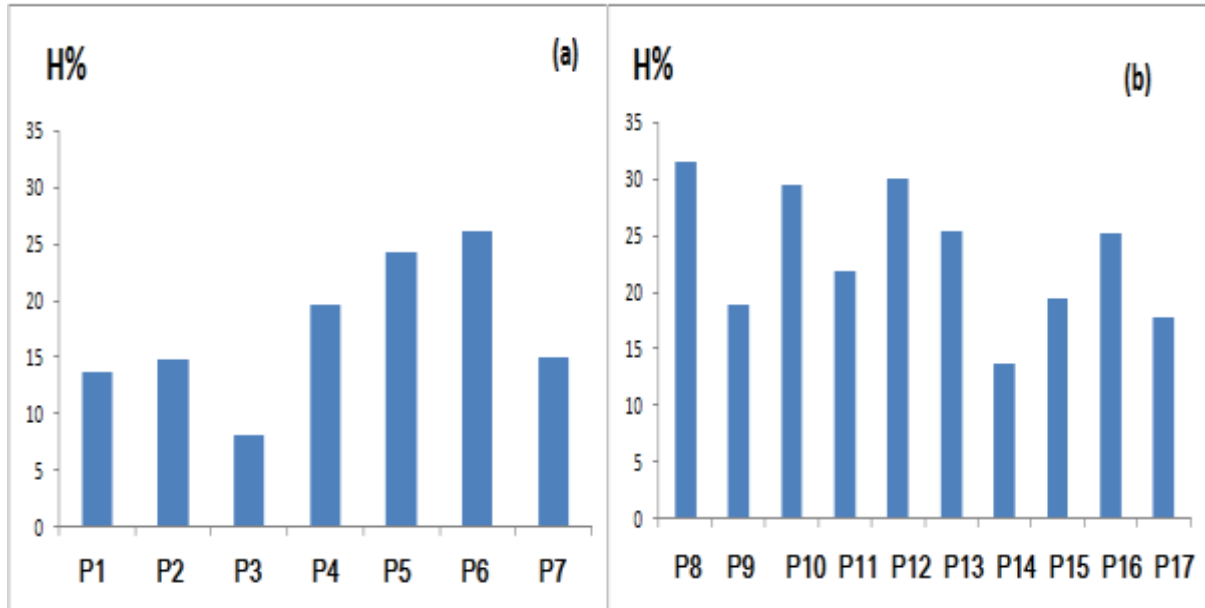


Figure 14: Humidité des sols irrigués d'une façon permanente (a) Ouargla et (b) Touggourt.

IV.2. 3. Les sols non irrigués

Les sols non irrigués sont les sols les moins humides par rapport aux sols irrigués d'une façon temporelle et les sols irrigués d'une façon permanente dans les deux régions.

Pour les palmeraies de Ouargla l'humidité maximale est enregistré dans la P4 (Chott) avec 26,45% alors que la plus faible humidité est enregistré dans la P7 (palmeraie de l'ITAS) avec 5,01% (Figure 15a). Tandis que l'humidité des palmeraies de Touggourt est maximale au niveau de P11 (20,65%) au moment où la plus faible humidité est enregistré dans la P14 (7,57%). Les résultats sont illustrés dans la figure 15b.

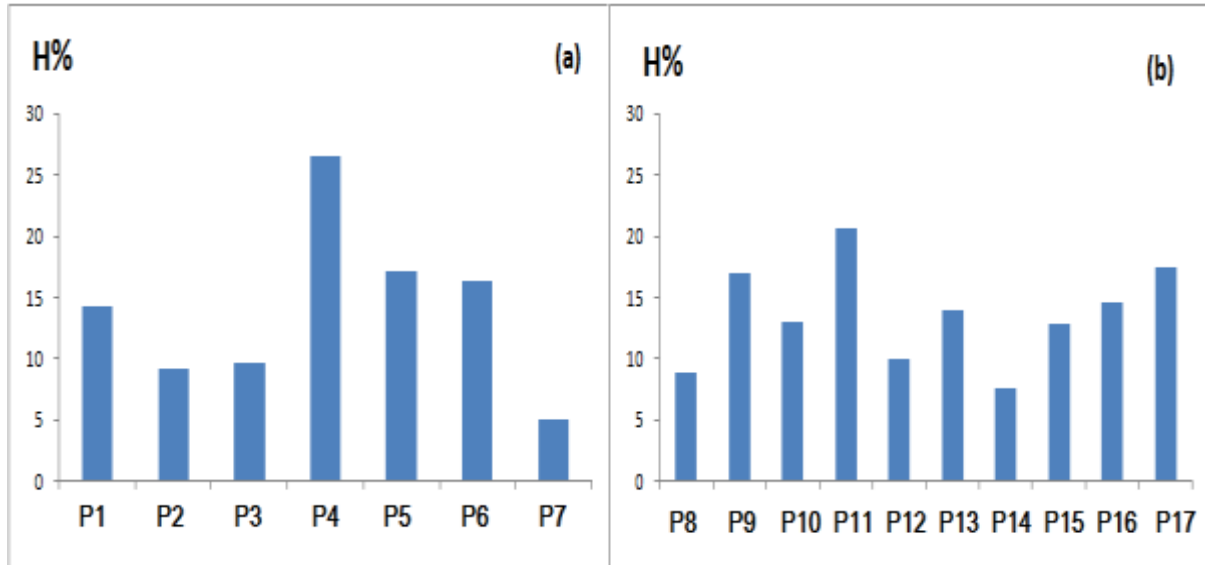


Figure 15 : Humidité des sols non irrigués (a) Ouargla et (b) Touggourt.

Les résultats obtenus montrent que l'humidité des sols généralement est élevée dans les deux régions d'études (Ouargla et Touggourt). Cette humidité est due principalement à la présence d'une nappe phréatique proche à la surface du sol, à la fréquence d'irrigation et à la quantité d'eau avec laquelle les sols sont irrigués.

L'humidité diffère d'un point à l'autre dans tout les point de mesure ce qui est du à la différence de la fréquence et la dose d'irrigation et aussi à la l'efficacité de drainage.

Les sols irrigués d'une façon permanente sont plus humides par rapport aux sols irrigués d'une façon temporelle alors que les sols non irrigués sont les moins humides. Cette variation est due à l'irrigation.

IV.3. Etude de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol

IV.3.1. Les sols irrigués d'une façon temporelle

Les sols irrigués d'une façon temporelle de Ouargla sont plus perméables que ceux de Touggourt avec une moyenne de $4,35 \cdot 10^{-5}$ m/s et $2,90 \cdot 10^{-5}$ m/s respectivement. Les plus grandes valeurs de la conductivité hydraulique sont enregistrées à Ouargla dans la palmeraie de Chott (P4) avec $7,24 \cdot 10^{-5}$ m/s (Figure 16a) et dans la palmeraie de Labrari (P14) à Touggourt avec $9,87 \cdot 10^{-5}$ m/s (Figure 16b), tandis que la plus faible conductivité hydraulique

est marquée à Ouargla dans la palmeraie de Lahdab (P6) avec $1,44.10^{-5}$ m/s et dans la palmeraie de Temacine (P11) avec 6.10^{-6} m/s à Touggourt.

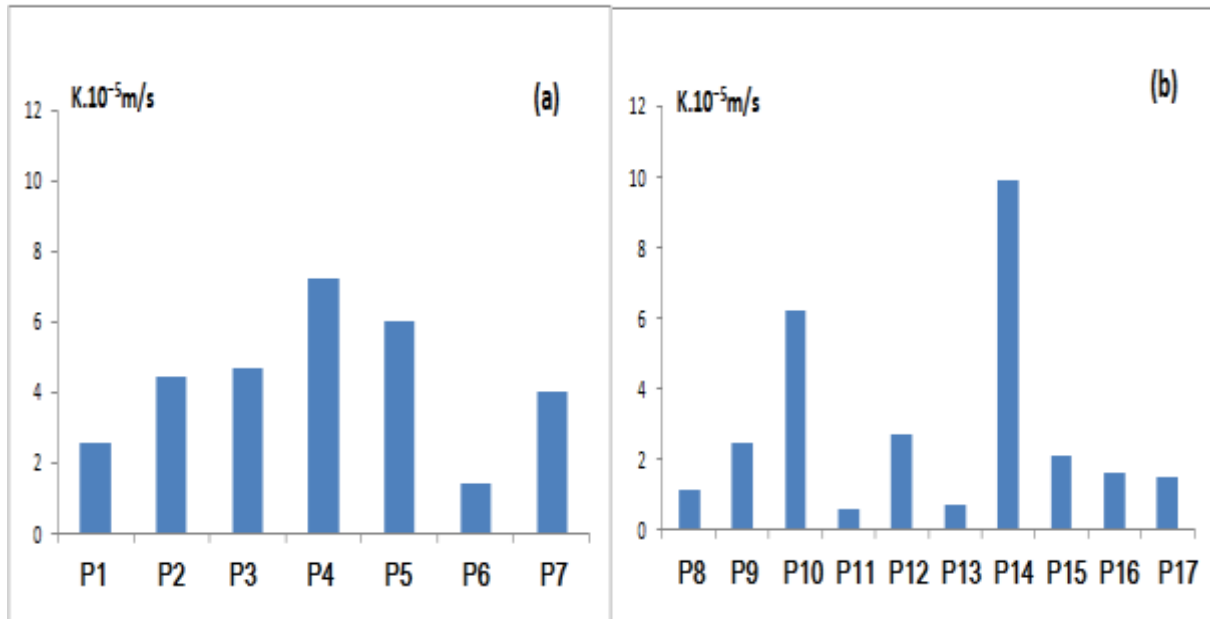


Figure 16: La vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols irrigués d'une façon temporelle (a) Ouargla et (b) Touggourt.

IV.3. 2. Les sols irrigués d'une façon permanente

Les sols irrigués d'une façon permanente de Ouargla sont plus perméables que ceux de Touggourt avec une moyenne de $3,81. 10^{-5}$ m/s et $3,15.10^{-5}$ m/s respectivement. Les plus grandes valeurs de la conductivité hydraulique sont enregistrées à Ouargla dans la palmeraie de Bamendil (P3) avec $8,64.10^{-5}$ m/s (Figure 17a) et dans la palmeraie de Labrari (P14) à Touggourt avec $8,83.10^{-5}$ m/s (Figure 17b), tandis que la plus faible conductivité hydraulique est marquée à Ouargla dans la palmeraie de Lahdab (P6) avec $1,21.10^{-5}$ m/s et dans la palmeraie de Bissadi (P17) avec 6.10^{-6} m/s à Touggourt.

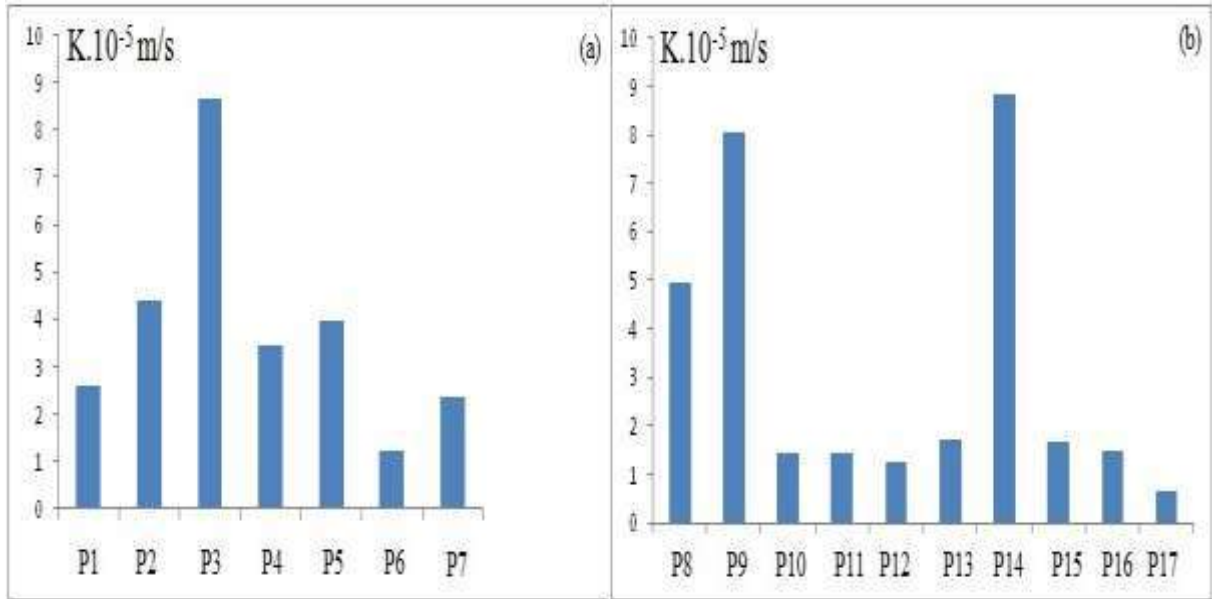


Figure 17 : La vitesse d’infiltration de l’eau dans les sols irrigués d’une façon permanent (a) Ouargla et (b) Touggourt.

IV. 3. 3. Les sols non irrigués

Les sols secs sont les sols les plus infiltrant par rapport les autres sols des palmeraies étudiées avec une conductivité hydraulique moyenne égale à $5,39.10^{-5}$ m/s et $3,58.10^{-5}$ m/s à Ouargla et Touggourt respectivement.

La vitesse d’infiltration dans les sols non irrigués varie d’un site à un autre dans les deux régions. Elle atteint son maximum dans la palmeraie de Lahdab (P6) à Ouargla avec $9,45.10^{-5}$ m/s (figure 18a) et dans la palmeraie de Labrari (P14) à Touggourt avec $11,07.10^{-5}$ m/s (figure 18b). La palmeraie de Chott (P4) à Ouargla et la palmeraie de Mrah (P9) à Touggourt présentent les sols les moins infiltrant avec une conductivité hydraulique de l’ordre de $2,25.10^{-5}$ m/s et $0,81.10^{-5}$ m/s respectivement.

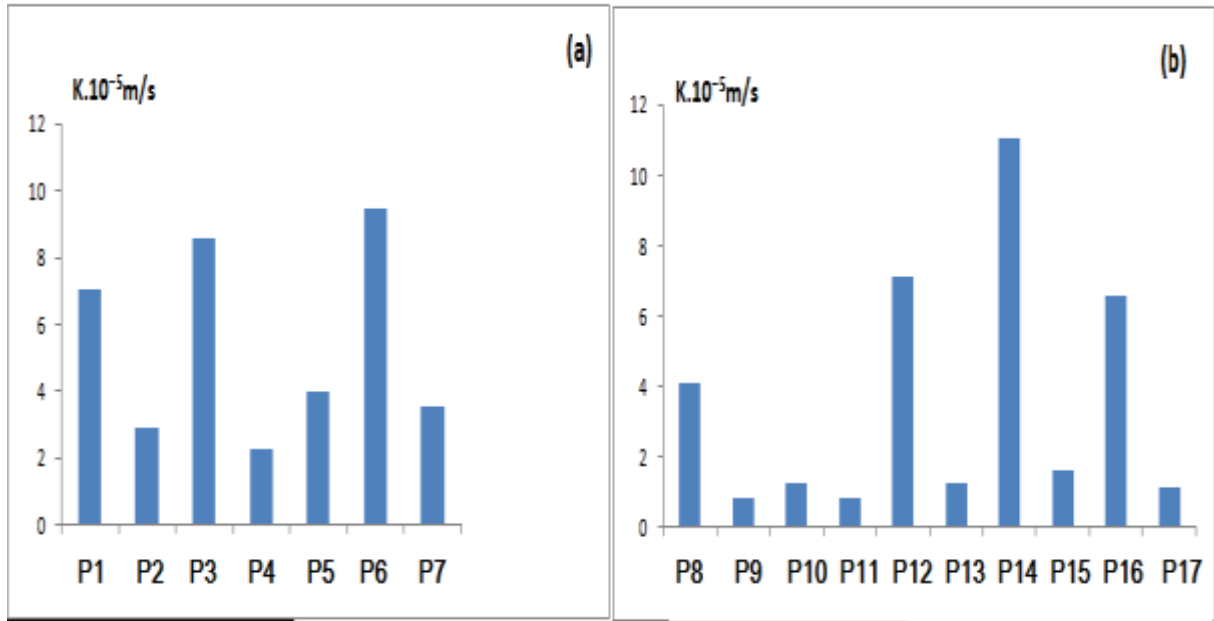


Figure 18 : La vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols non irrigués (a) Ouargla (b) Touggourt.

L'application de la méthode de Porchet, dans le but de mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols des palmeraies de Ouargla et Touggourt, montre qu'elle varie d'un point à l'autre dans les deux régions. Les sols de Ouargla sont plus perméables que ceux de Touggourt avec une moyenne de $4,51 \cdot 10^{-5}$ m/s et $3,20 \cdot 10^{-5}$ m/s respectivement.

Les trois types des sols étudiés présentent des valeurs différentes de la vitesse d'infiltration dont les sols non irrigués sont les plus perméables dans les deux régions (Figure 19) avec une vitesse d'infiltration moyenne de l'ordre de $5,40 \cdot 10^{-5}$ m/s à Ouargla et $3,58 \cdot 10^{-5}$ m/s. Les sols les moins perméables sont les sols irrigués d'une façon permanente à Ouargla où la conductivité hydraulique moyenne est égale à $3,80 \cdot 10^{-5}$ m/s (Figure 19a) et les sols irrigués d'une façon temporelle à Touggourt avec une vitesse d'infiltration moyenne égale à $2,89 \cdot 10^{-5}$ m/s (Figure 19b).

Parmi les sols des palmeraies étudiées, le sol non irrigué de la palmeraie de Labrari (P14) à Touggourt est le plus infiltrant avec une vitesse d'infiltration de l'ordre de $11,07 \cdot 10^{-5}$ m/s au temps que le sol irrigué de la palmeraie de Bissadi présente le plus faible pouvoir infiltrant avec une vitesse égale à $6 \cdot 10^{-6}$ m/s.

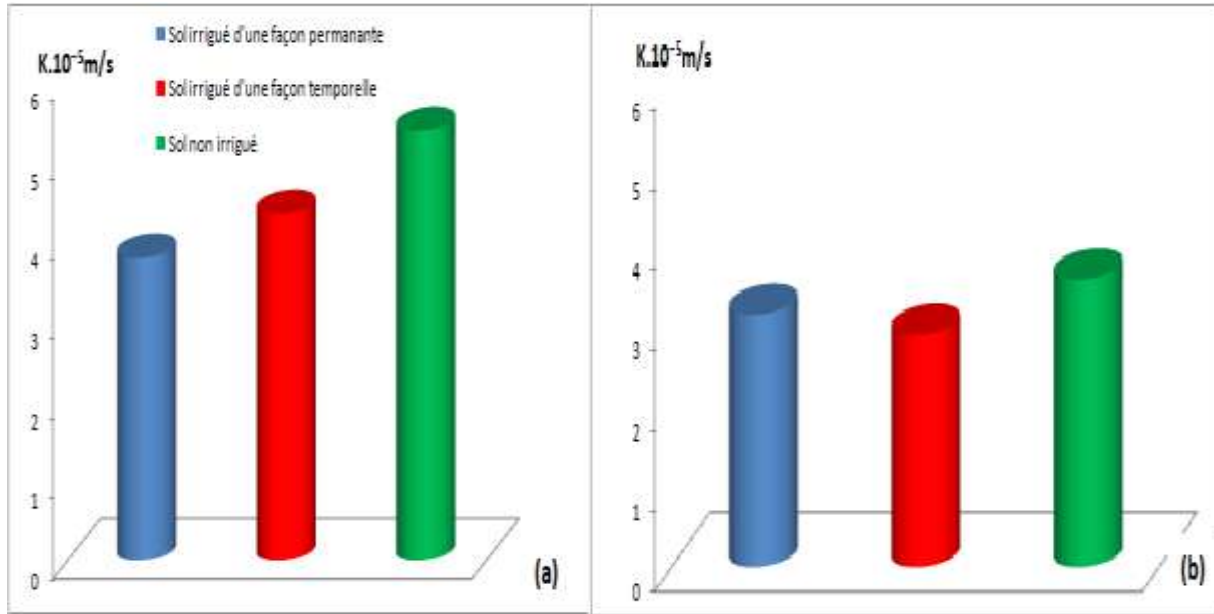


Figure 19: La vitesse d'infiltration moyenne de chaque type de sol dans les palmeraies (a) Ouargla et (b) Touggourt.

La vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols étudiés varie d'un point de mesure à un autre dans toutes les palmeraies étudiées (Ouargla et Touggourt). Et cette variation est due à plusieurs paramètres qui affectant l'infiltration parmi les quelles la distribution de la taille des pores qui diffère dans les points étudiées, aussi le compactage de sol en fonction de l'activité anthropique (surtouts dans les zones non irrigués), et aussi le degré de saturation de sol qui due à la fréquence d'irrigation et les précipitations.

A partir des résultats obtenus nous avons constaté que l'irrigation influe sur la perméabilité du sol en la réduisant. Plus le sol est irrigué, il tend vers la saturation ce qui diminuer son pouvoir d'infiltrer l'eau.

Il y a aussi d'autres facteurs souterrains qui peuvent affecter la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol comme la présence des obstacles mécaniques (dalle de calcaire et croute gypseux) et biologiques (racines...) et hydrique (nappe...).

La totalité des sols que nous avons étudié sont des sols à dominance sableuse avec une vitesse d'infiltration importante ce qui désigne un bon drainage et facilite le transfert des polluants vers les nappes d'eau souterraine. Cela est confirmé par le tableau II, qui montre que les sols présentant une conductivité hydraulique oscille entre 10^{-4} m/s et 10^{-5} m/s sont des

sols semi-perméables à dominante sableuse avec du gravier, caractérisé par une bonne possibilité de drainage.

Tableau II. Ordre de grandeur de la conductivité hydraulique dans différents sols (Musy et Soutter, 1991).

Ks (m/s)	10⁻¹	10⁻²	10⁻³	10⁻⁴	10⁻⁵	10⁻⁶	10⁻⁷	10⁻⁸	10⁻⁹	10⁻¹⁰	10⁻¹¹
Perméabilité	Perméable			Semi-perméable		Imperméable					
Type de sol	Gravier sans sable ni éléments fins			Sable avec gravier Sable grossier à sable fin		Sable très fin Limon grossier à limon argileux		Argile limoneuse à argile homogène			
Possibilité de drainage	Excellentes			Bonne		Moyenne à faible		Faible à nulle			

Conclusion

Cette étude vise à mesurer la vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols oasiens des palmeraies de Ouargla et de Touggourt afin d'assurer une meilleure gestion de l'irrigation et le drainage et d'évaluer le risque de contamination des eaux souterraines.

Pour atteindre cet objectif, nous avons mesuré la vitesse d'infiltration *in situ* en adoptant la méthode de Porchet à l'aide du perméamètre de Viguié au niveau des palmeraies de Ouargla et de Touggourt. Dans chaque palmeraie nous avons pris trois sites différents, le premier s'agit d'un sol non irrigué, le deuxième est un sol irrigué et le troisième est un sol saturé.

Les résultats de ce travail montrent que les analyses granulométriques des sols sont à dominance sableuse. Le sable fin domine les sols des palmeraies de Ouargla qui enregistre un pourcentage de 56,83 %, et le sable grossier domine ceux de Touggourt avec une teneur de 36,92%.

Les sols dans les deux régions sont humides mais les sols de Touggourt sont plus humides que ceux de Ouargla où l'humidité moyenne est de l'ordre de 17,88 % pour les sols des palmeraies de Ouargla et de l'ordre de 19,64 % pour les sols des palmeraies de Touggourt. L'humidité varie d'un type de sol à l'autre en fonction de la quantité d'eau qui traverse le sol. Dont, les sols saturés sont les plus humides et les sols non irrigués sont les moins humides.

Les mesures de la vitesse d'infiltration de l'eau nous ont permis de caractériser les sols de Ouargla et de Touggourt comme étant des sols semi-perméables avec une vitesse d'infiltration moyenne égale à $4,51 \cdot 10^{-5}$ m/s au niveau des palmeraies de Ouargla et $3,20 \cdot 10^{-5}$ m/s au niveau des palmeraies de Touggourt. La vitesse d'infiltration varie d'un type de sol à l'autre dont elle atteint son maximum dans les sols secs (non irrigués) et elle est minimale dans les sols saturés.

Malgré l'homogénéité des sols de point de vue textural, On a remarqué que la perméabilité varie d'un point à un autre. Cette variation peut être expliquée par plusieurs facteurs on cite à titre d'exemples la distribution des tailles des pores, le compactage du sol, la saturation en eau et la présence des obstacles mécaniques et hydriques...etc.

La majorité des sols que nous avons étudiés sont des sols à dominance sableuse avec une vitesse d'infiltration importante ce qui désigne un bon drainage et facilite le transfert des polluants vers les nappes d'eau souterraine.

Au final, il apparait que la connaissance de paramètres hydrodynamiques des sols oasien est essentielle afin de gérer durablement les ressources en eaux et des sols de ces région et pour la protection et la préservation de l'écosystèmes oasiens.

Références bibliographique

1. Ait Saadi L., 2003. Méthodologie de contrôle de l'homogénéité et de la perméabilité des barrières argileuses. Thèse de doctorat. Ecole doctorale INSA. Lyon. 277p.
2. Ardouin A., 2014. Guide pratique pour la description des sols de France. CEN Bourgogne.
3. A.N.R.H. 2017. Agence national des ressources hydriques de la wilaya de Touggourt.
4. Belarbi A, Boayad A. Diaou M., Kaassis N., Tidjani Miliki M. (2004). Agrobiodiversité et durabilité des systèmes de production oasiens dans la palmeraie d'Aoufous, ICRA, INRA, 167 p.
5. Belksier M-S., 2009. Hydrogéologie et hydrochimie de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et l'évaluation de sa vulnérabilité. Mémoire magistère. Option : Hydrogéologie environnemental et modélisation. Univ ANNABA. P6.
6. Boumaaraf, B. 2003. Contribution à l'étude de la répartition spatiales des propriétés physico-chimique et minéralogiques des sols dans la vallée d'Oued-Righ. Thème Magister, option pédologie, département d'Agronomie, Batna. 162p.
7. Bonnard et Gardel. 2003. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation. Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet étude d'impact sur l'environnement mission B: Caractérisation environnementale de la situation actuelle. N°6029.01-RN058. Dist. ONA et BG.
8. Bruand A., Duval O., Gaillard H., Darhout R. et Jamagne M., 1996. Variabilité de rétention en eau des sols: importance de la densité apparente. Etude des gestions des sols, 3(1). pp : 27-40.
9. Calvet R., 2003. le sol propriétés et fonctions tome 1 constitution et structure, phénomènes au interfaces. Éditions France agricole. France. pp 27-313.
10. Calvet R., 2003. Le sol propriétés et fonctions. Tome 2 : phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales. France agricole. France. Pp : 97-188.
11. Cassan M., 2000. Application des essais Lefranc à l'évaluation du coefficient d'anisotropie hydraulique des sols aquifères. SA Fondasol Etude. France. N° 90. Pp : 25-43.
12. Chossat, J.C., 2005. La mesure de la conductivité hydraulique dans les sols. Choix des méthodes. TEC & DOC, Hermès- Lavoisier. France. 705p.
13. Cornet, A. et Gouscov, N. 1952. Les eaux de Crétacé inférieur continental dans le Sahara Algérien (nappe dite Albien). In: "la géologie et les problèmes de l'eau en Algérie". 19^{ème}. Congrès géologique international. T. II, 30p.
14. Cornet, A. 1961. Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Cours ronéoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires Sahariennes. S.E.S. Birmandreis, Alger, 108p

15. Cortin, A. **1969**. Réaménagement de mise en valeur d'Oued-Righ. Etude SOGETHA et SOGREAH, 201p.
16. Daddi Bouhoun M., 2010. Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien). Thèse de Doctorat. Université BADJI Mokhtar, Annaba. 365 p.
17. Djili K. Daoud Y. Gaouar A. Beljoudi Z., 2003 - La salinisation secondaire des sols au Sahara, conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*. 4: 241-6.
18. Dubost, F. 1991. La problématique du paysage, état des lieux. *Etudes rurales* n 2 pp.121-124.
19. Duchaufour P., 1994. *Pédologie : sol, végétation, environnement*. MASSON éditeur 120, boulevard Saint germain 72380 paris cedex 06.
20. Dutil, P. 1971. Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse doc. d'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg, 346 p.
21. Gobat J M., Argno M et Mathey W., 2010. Le livre le sol vivant ; Bases de pédologie-Biologie des sols » 3^e édition revue. 165p.
22. Grenade R. (2013). Date palm as a keystone species in Baja California peninsula, Mexico oases. *Journal of Arid Environments*, V94:59-67.
23. Halitim, A. 1985. Contribution a l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie) : morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse de doctorat, Rennes, 384 p
24. Hamdi-Aissa B., 2000. Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla), approches micro morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse de Doctorat. INA, Grignon. Paris. 307p.
25. Hamdi-Aissa B., Girard M.C., 2000. Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. *Sécheresse*. Vol.11 (3). Pp : 179-188.
26. Hathat., 1990. Contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Djamaa. *Memo. Inge. Hyd. Inv. HOUARI BOMMEDIENE*. 95 p
27. Idder T., 1998. La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impact des rejets d'origine agricole et urbain et techniques de 38 remédiations proposées. L'exemple de Ouargla. Thèse de doctorat. Université d'Angers. 157p.

28. Koull K, Kherraze M.H. Lakhdari K. Benzaoui T. Helimi S. Laouissat M S. Kherfi Y. Bougafla A. Mimouni F. Mezragi M. Benazzouz M T., 2013. Eaux d'irrigation et salinisation des sols des perimetres irrigues dans la vallee de l'Oued righ. *Journal Algérien des Régions Arides*, pp.97-102.
29. Lakhdari F., 1980. Influence de l'Irrigation goutte à goutte et par rigole sur l'évolution de la salinité dans le sol, le rendement et la qualité des dattes « Deglet-Nour ». *Mémoire d'ing. agr.*, Inst. nat. agro. El-Harrach. 63 p.
30. Lazarev G., 1988. L'oasis, une réponse à la crise des pastoralismes dans le sahel. *Actes du séminaire Les systèmes Agricoles oasiens. Tozeur (Tunisie) 19-21 Novembre 1988*, 77-89.
31. Mathieu, C. et Pieltain, F. 1998. *Analyse physique des sols, méthodes choisies*. Ed. Tech et doc. Lavoisier, paris, 275p.
32. O.N.M. Ouargla., 2017. *Données météorologiques de la station météorologique de Ain-Beida (2007-20017)*.
33. PNUD (2013). *Ecosystem Assessment of Tafilalet Oasis-Synthesis*, pp 1-24.
34. Porchet M., Laferrere H., 1935. Détermination es caractéristiques hydrodynamiques des sols en place. *Mémoires et notes technique. Annales du ministère de l'agriculture*, fasc. 64, 2ème Vol., pp. 5-68.
35. Riou Ch. (1990). *Bioclimatologie des oasis. Option Méditerranéennes, série A 11*: 207-213.
36. Saker M.L., Daddi Bouhoun M., 2007b - Les ressources naturelles sahariennes: gestion et impact sur le développement agricole. *Ann. Faculté Sci. Sci. Ing. Ouargla*, 1(2) : 58-62.
37. Sedra My. H. (2003). *Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis au Maroc*. INRA Edition. 265p.
38. Si-Smail A., Bouheraoua A. ET Abdesselam M., 2013. Caractérisation hydrodynamique des sols de la haute vallée de l'oued Sébaou (Algérie) : étude expérimentale, numérique et analytique. *Physico-Géo. Vol 7*. pp : 261-283.
39. Skouri, M. (1990), *Éléments de Synthèse et Conclusions: Les Systèmes Agricoles Oasiens. Options Méditerranéennes. Série A*, 11, 1990.
40. Slimani R. et Guendouz A.H., 2015. Etude du potentiel de contamination des eaux de la nappe phréatique de la région de Ouargla (Sahara Septentrional est Algérien). *Algerian journal of arid environment*. Vol. 5, n° 1. Pp: 106-114.

41. Slimani R., 2006. Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mémoire de magister. Université de Ouargla. 81p.
42. Slimani R., 2016. Etude qualitative des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité environnementale d'un aquifère au climat aride méditerranéen : cas de la cuvette de Ouargla, Algérie. Thèse de doctorat. Université de KASDI MERBAH. Ouargla.
43. Vandervaere J.P., 1995. Caractérisation hydrodynamique du sol in situ par infiltrométrie à disques : analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroutés. Thèse de doctorat. Université Joseph-Fourier - Grenoble I. France. 267p.
44. Vidal. M. (2005). Ajustement entre des systèmes irrigués et des systèmes de culture diversifiés. Fonctionnement de deux oasis du Tafilalet Mémoire de Master 200 p.
45. Yang Guojing, BaishengYe, XiaXie; Lihua Zhou (2010). "Dynamics of oasis landscape in inland Shule River basin in arid northwest China," Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp.922, 925, 25-30 July 2010.
46. Zella L., Smadhi D. (2006). Gestion de l'eau dans les pays arabes. *Larhyss Journal*, pp.157-169.



Annexes

Annexes

Tableau 1 : La granulométrie des sols non irrigués

	Sable grossier%	Sable moyen%	Sable fin%	(Limon+Argile)%
p1ni	9,56%	40,18%	48,94%	1,32%
p2ni	8,30%	90,18%	1,24%	0,28%
P3ni	4,18%	32,72%	62,64%	0,46%
p4ni	9,54%	21,78%	67,68%	1%
P5ni	3,46%	44,96%	50,98%	0,60%
P6ni	34,02%	40,60%	24,88%	0,50%
p7ni	48,96%	18,74%	29,76%	2,54%
P8ni	21,18%	31,50%	47,20%	0,12%
P9ni	44,80%	37,70%	17,20%	0,30%
P10ni	27,40%	46%	26,30%	0,30%
p11ni	61,94%	24,76%	13%	0,30%
p12ni	66,80%	24,80%	8,36%	0,04%
p13ni	43,52%	35,12%	20,70%	0,66%
p14ni	6,06%	34,64%	58,26%	1,04%
p15ni	30,38%	36,86%	32,46%	0,30%
p16ni	31,30%	44,22%	24,18%	0,30%

Tableau 2 : La granulométrie des sols irrigués

	Sable grossier%	Sable moyen%	Sable fin%	(Limon+Argile)%
p1ir	9,06%	46,86%	43%	1,08%
p2ir	5,32%	20,24%	73,60%	0,84%
p3ir	2,08%	23,56%	73,90%	0,46%
p4ir	7,64%	28,60%	62,76%	1%
p5ir	3,60%	40,40%	55%	1%
p6ir	9,38%	50,80%	39,60%	0,22%
p7ir	41,14%	29,06%	27,26%	2,54%
p8ir	53,62%	22,80%	23,40%	0,18%
p9ir	31%	32,40%	36,20%	0,40%
p10ir	28,56%	30,66%	40,64%	0,14%
p11ir	59,28%	24,60%	15,96%	0,16%
p12ir	58,66%	30,86%	10,38%	0,10%
p13ir	53,10%	29,70%	16,90%	0,30%
p14ir	7,54%	38,06%	53,40%	1%
p15ir	29,98%	26,36%	43,14%	0,52%
p16ir	37%	21,40%	41,42%	0,18%

Tableau 3 : La granulométrie des sols

	Sable grossier%	Sable moyen%	Sable fin%	(Limon+Argile)%
p1r	2,76%	27,40%	66,80%	3,04%
p2r	2,14%	26,18%	71,08%	0,60%
p3r	2,44%	27,90%	69,06%	0,60%
p4r	8,60%	37,02%	52,98%	1,40%
p5r	1,80%	24,94%	72,66%	0,60%
p6r	14,40%	49,78%	35,42%	0,40%
p7r	7,84%	61,50%	29,84%	0,82%
p8r	15,60%	35,36%	48,40%	0,64%
p9r	19,40%	37%	43,30%	0,30%
p10r	30,60%	24,30%	44,50%	0,60%
p11r	42,76%	35,28%	21,74%	0,22%
p12r	64,20%	23,80%	11,80%	0,20%
p13r	43,92%	27,06%	28,62%	0,40%
p14r	40,50%	34,58%	24,70%	0,22%
p15r	28,24%	24,90%	46,50%	0,36%
p16r	41,40%	26,70%	31,20%	0,70%

Tableau 4 : humidité des sols non irrigués

sol	H%
p1ni	14,36
p2ni	9,21
p3ni	9,74
p4ni	26,45
p5ni	17,15
p6ni	16,41
p7ni	5,01
p8ni	8,86
p9ni	16,98
p10ni	13,01
p11ni	20,65
p12ni	9,91
p13ni	13,89
p14ni	7,57
p15ni	12,91
p16ni	14,52
p17ni	17,39

Tableau 5 : humidité des sols irrigués

sol	H%
p1ir	12,23
p2ir	15,47
p3ir	9,76
p4ir	25,78
p5ir	26,58
p6ir	26,48
p7ir	39,5
p8ir	22,54
p9ir	17,17
p10ir	19,81
p11ir	27,48
p12ir	20,51
p13ir	17,92
p14ir	30,1
p15ir	20,91
p16ir	20,71
p17ir	23,63

Tableau 6 : humidité des sols

Sol	H%
p1r	13,74
p2r	14,7
p3r	8,03
p4r	19,7
p5r	24,31
p6r	26,03
p7r	14,91
p8r	31,4
p9r	18,8
p10r	29,5
p11r	21,89
p12r	30,07
p13r	25,43
p14r	13,66
p15r	19,41
p16r	25,15
p17r	17,7

Tableau 7 : vitesse d'infiltration des sols non irrigués

points	K (m/s)*10 ⁻⁵
PI1ni	7,04
PI2ni	2,89
PI3ni	8,58
PI4ni	2,25
PI5ni	3,99
PI6ni	9,45
PI7ni	3,57
PI8ni	4,09
PI9ni	0,81
PI10ni	1,27
PI11ni	0,85
PI12ni	7,14
PI13ni	1,27
PI14ni	11,07
PI15ni	1,6
PI16ni	6,6
PI17ni	1,13

Tableau 8: vitesse d'infiltration des sols irrigués

points	K (m/s)*10 ⁻⁵
PI1ir	2,55
PI2ir	4,45
PI3ir	4,71
PI4ir	7,24
PI5ir	6,04
PI6ir	1,44
PI7ir	4,04
PI8	1,12
PI9	2,46
PI10	6,21
PI11	0,6
PI12	2,69
PI13	0,73
PI14	9,87
PI15	2,12
PI16	1,63
PI17	1,53

Tableau 9 : vitesse d'infiltration des sols

Points	K (m/s)*10⁻⁵
PI1r	2,6
PI2r	4,41
PI3r	8,64
PI4r	3,46
PI5r	3,98
PI6r	1,21
PI7r	2,35
PI8r	4,94
PI9r	8,05
PI10r	1,42
PI11r	1,44
PI12r	1,25
PI13r	1,72
PI14r	8,83
PI15r	1,69
PI16r	1,47
PI17r	0,67