

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Agronomie
Spécialité : Protection des ressources sol, eau et environnement
Présenté par : M^r BENKADDOUR MOHAMMED YAZID
M^{lle} BAYAT HANIA

Thème :

Suivi des irrigations de la culture du blé sous centre pivot à Hassi Ben Abdellah et détermination

Soutenu publiquement le :

18/09/2023

Devant le jury :

Mme. DRAOUI	NAIMA	M. C. A	Présidente	U.K.M. Ouargla
Mr. BELLAROUCI	Med Elhafed	M. C. A	Examinatrice	U.K.M. Ouargla
Mr. LADJICI	ABDELKADER	M. A. A	Encadreur	U.K.M. Ouargla
Mr. CHELLOUFI	HAMID	Pr.	Co-Encadreur	U.K.M. Ouargla

Année universitaire : 2022/2023



Remerciement

Avant tout on remercie Dieu de nous avoir donné la force et le courage pour accomplir ce travail.

On adresse nos plus vifs remerciements à toutes les personnes ayant participé à la réalisation de ce travail.

On tient à remercier notre promoteur "Ladjici Abdelkader" et notre Co-promoteur "Cheloufi", de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

On tient à remercier vivement les membres de jury la présidente Mme. Draoui Naima et l'examinatrice Mme. Lamrani Cherifa pour avoir acceptés de juger notre mémoire de fin d'étude.

On remercie également tous nos proches pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Enfin, on remercie tout l'enseignants, les membres du jury qui nous ont fourni un enseignement de qualité tout au long de notre cursus universitaire.



Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail :

*A mes chers parents pour leurs amours, leur soutien continu
que Dieu les protègent et que la réussite soit toujours à ma
portée pour que je puisse les combler de bonheur.*

Surtout ma chère mère Khaleda

*A mes chers frères tayeb Hakim Fahd et chouaib et ma
famille.*

*A mes ami (e) s proches Sabrina hadil en plus de mes collègues
fatima hiba lhadja ikhlas aicha hako walid rida qui ont
toujours été présents de m'encourager*

*Et mes promo chacun en son nom mes professeurs et tous ceux
qui ont contribué me faire venir ici aujourd'hui*

*Que ce travail soit le témoignage sincère de ma profonde
reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi, et à
tous ceux que j'aime et qui m'aiment.*





Dédicace



Je tiens à dédier ce modeste travail :

A mes chers parents pour leurs amours, leur soutien continu que Dieu les protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse les combler de bonheur.

A mes chers frères (Tedjani, Abdelfattah, Yahia)

Mes sœurs (Ibtissam, Linda, Sara) et toutes ma famille.

A mon amie proche Hanane qui ont toujours été présents de m'encourager.

Que ce travail soit le témoignage sincère de ma profonde reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi, et à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

Hania



Liste des figures

Figure 1 : Cycle de développement du blé.....	16
Figure 2 : Diagramme Ombrothermique de Ouargla (2012-2022).	31
Figure 3 : Etage bioclimatique de Ouargla (2011-2020).	33
Figure 4 : Évolution de la superficie phoenicicole, dans la wilaya d’Ouargla (2011-2020) (DSA d’Ouargla, 2021).	35
Figure 5 : Plan terrain de Hassi Ben Abdellah.	38
Figure 6 : Vue aérienne de l'irrigation pivot Hassi ben Abdellah.	38
Figure 7 : Localisation du site d'étude.....	39
Figure 8 : Profils hydriques au stade tallage.	54
Figure 9 : Profils hydriques au stade montaison.	55
Figure 10 : Profils hydriques au stade épiaison	57
Figure 11 : Humidités du sol au niveau des axes	58
Figure 12 : Humidités du sol au niveau des quatres axes au stade tallage.....	59
Figure 13 : Humidités du sol au niveau des quatre axes au stade montaison.	60
Figure 14 : Humidités du sol au niveau des quatre axes au stade épiaison.....	61
Figure 15 : Evolution des évapotranspirations de référence en fonction des mois de l’année à Hassi Ben Abdellah.....	63

Liste des photos

Photo 1 : Système d'irrigation.....	6
Photo 2 : Système pivot.....	7
Photo 3 : La culture du blé dur (<i>Triticum durum</i>).	10
Photo 4: Système de pivot sur la surface à irriguée.	40
Photo 5: La capacité au champ.....	41

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs moyennes de la réserve utile en fonction du type de sol.	27
Tableau 2 : Données des différents paramètres météorologiques de la station d’Ouargla pour la période (2012-2022)	30
Tableau 2 : Données climatiques exigées par Cropwat	43
Tableau 3 : Humidités à la capacité au champ du sol.	51
Tableau 4 : Humidités au point de flétrissement	52
Tableau 5 : Humidités du sol après irrigation par tranche de sol.....	53
Tableau 6 : Humidité du sol une heure après et une heure avant irrigation.....	55
Tableau 7 : Humidité du sol une heure après et une heure avant irrigation.....	56
Tableau 8 : Humidités du sol au niveau des axes au stade tallage.....	58
Tableau 9 : Humidités du sol au niveau des axes au stade montaison.....	59
Tableau 10 : Humidités du sol au niveau des axes au stade épisaison	60
Tableau 11 : Résultats des évapotranspirations de référence obtenues par cropwat	62
Tableau 12 : Valeurs des pluies et des pluies efficaces à Hassi Ben Abdellah	63
Tableau 13 : Besoins en eau du blé en mm/décade	64
Tableau 14 : Calendrier des arrosages du blé	65

Liste des annexes

Annexe 1 : Les données climatiques de la région de Ouargla (2011-2021).

Annexe 2 : Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 du sol à 25°C

Annexe 3 : Humidité du sol avant et après irrigation au stade tallage.

Annexe 1 : Humidité du sol avant et après irrigation au stade montaison.

Annexe 5 : Humidité du sol avant et après irrigation au stade épiaison.

Annexe 6 : Evolution des évapotranspirations de référence en fonction des mois de l'année à Hassi Ben Abdellah.

Liste des abréviations

CC : teneur en eau à la capacité au champ (%).

Cpf : teneur en eau au point de flétrissement (%).

Da : la densité apparente du sol.

M : la moyenne des températures du mois le plus chaud en degré kelvin

m : la moyenne des températures du mois le plus frais en degré kelvin

Me : masse d'eau contenue dans l'échantillon du sol.

Ms : masse de l'échantillon du sol à 'état sec.

P : pluviométrie annuelle en mm.

Ru : réserve utile (%).

Θ_m : teneur en eau massique.

Table des matières

Remerciement

Dédicaces

Liste des figures

Liste des photos

Listes des tableaux

Liste des annexes

Liste des abréviations

Sommaire

Introduction 2

Partie bibliographique

Chapitre I. Généralité sur le système d'irrigation par pivot

I.1	Définition de l'irrigation.....	6
I.2	Historique	6
I.3	Le système d'irrigation par pivot.....	7
I.4	Composantes du système.....	7

Chapitre II. Généralité sur la culture du blé

II.1	Origine et histoire du blé	10
II.2	Biologie de blé.....	11
II.3	Caractères botaniques :.....	11
II.4	Caractères systématiques.....	12
II.5	Description générale du blé	12
II.6	Cycle de développement du blé.....	13
II.7	Composantes du rendement.....	16
II.7.1	Nombre d'épi/m ²	16
II.7.2	Nombre de grains/épi	17

II.7.3	Poids de 1000 grains	17
II.8	Exigences du blé.....	17
II.8.1	Le climat.....	17
II.8.2	Les sols.....	17
II.8.3	Les pratiques culturales	18
II.8.4	Exigences en eau	18

Chapitre III. Salinité des sols

III.1	Les sols salins	20
III.2	Classification des sols salés	20
III.2.1	Sols salins.....	20
III.2.2	Sols salins à alcalins.....	20
III.3	Origine de la salinisation	21
III.3.1	Salinité primaire (ou naturelle)	21
III.3.2	La salinisation secondaire	21
III.4	Effets de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol.....	21
III.4.1	Effets sur les propriétés physiques du sol	21
III.4.2	Effets sur les propriétés chimiques du sol.....	21
III.5	Effet de la salinité sur les plantes	21

Chapitre IV. Concepts et définitions

Introduction	24	
IV.1	Besoins en eau d'irrigation.....	24
IV.1.1	Evapotranspiration des couverts végétaux	24
IV.1.1.1	Evapotranspiration potentielle (ETP)	24
IV.1.1.2	Evapotranspiration maximale (ETM)	24
IV.1.2	Coefficient cultural.....	25
IV.1.3	Efficienc e de l'irrigation	25
IV.1.4	Besoins en eau brutes	25

IV.1.5	Efficienc e agronomique	25
IV.1.6	Coefficient de réponse du rendement	25
IV.2	Humidité du sol	25
IV.2.1	Teneur en eau massique	25
IV.2.2	Teneur en eau volumique	26
IV.3	Teneurs en eau caractéristiques	26
IV.3.1	Teneur en eau à saturation.....	26
IV.3.2	Teneur en eau à la capacité au champ	26
IV.3.3	Teneur en eau point de flétrissement.....	26
IV.4	Réserve utile	27
IV.5	Réserve facilement utilisable.....	27
IV.6	Tarissement admissible du sol.....	27
IV.7	Dose d'arrosage	28

Chapitre V. Cadre général de la région d'étude

V.1	Situation et limites géographiques.....	30
V.2	Contexte climatique.....	30
V.2.1	Température	30
V.2.2	Humidité de l'air	31
V.2.3	Précipitations.....	31
V.2.4	Vent.....	31
V.3	Synthèse climatique de la région d'Ouargla :.....	31
V.3.1	Classification climatique de la région de Ouargla	32
V.4	Hydrogéologie :	33
V.4.1	Nappe du Continental Intercalaire "Albien"	33
V.4.2	Nappe de Complexe Terminal.....	34
V.4.3	Nappe superficielle (phréatique).....	34
V.4.4	Évolution de la superficie phoenicicole dans la wilaya d'Ouargla (2012-2022).....	34

Partie expérimentale**Chapitre VI. Matériel et méthodes**

VI.1	Choix du site d'étude.....	38
VI.2	Présentation du site d'étude.....	39
VI.3	Matériel et méthodes d'étude.....	39
VI.3.1	Matériel végétal.....	39
VI.3.2	Matériel d'irrigation.....	39
VI.3.3	Mesures sur le sol.....	40
VI.3.3.1	Granulométrie.....	40
VI.3.3.2	Mesure des humidités du sol avant et après irrigation.....	40
VI.3.3.3	Mesure de l'humidité à la capacité au champ.....	41
VI.3.3.4	Estimation de la teneur en eau au point de flétrissement.....	41
VI.3.3.5	Mesure de la conductivité électrique du sol.....	41
VI.3.3.6	Mesure du SAR.....	41
VI.3.3.7	Mesure du pH.....	42
VI.3.4	Mesures sur le végétal.....	42
VI.3.4.1	Poids de 1000 graines.....	42
VI.3.4.2	Mesure de la densité de peuplement.....	42
VI.3.4.3	Mesure du rendement théorique.....	42
VI.3.5	Détermination des besoins en eau du blé par le cropwat.....	42
VI.3.5.1	Présentation du logiciel Cropwat.....	42
VI.3.5.2	Données utilisées par le Cropwat dans le calcul des besoins en en eau.....	43
VI.3.5.2.1	Données climatiques.....	43
VI.3.5.2.2	Données liées au sol.....	44
VI.3.5.2.2.1	Capacité au champ et au point de flétrissement.....	44
VI.3.5.2.3	Données liées au végétal.....	44
VI.3.5.2.3.1	Date de semis et date de récolte.....	44

VI.3.5.2.3.2 Phases de développement.....	44
VI.3.5.2.3.3 Coefficients culturaux	45
Chapitre VII. Résultats et discussion	
VII.1 Comportement du sol.....	47
VII.1.1 Le pH.....	47
VII.1.2 Conductivité électrique	47
VII.1.3 Fractionnement granulométrique :	47
VII.1.4 Mesure du SAR (sodium absorption ration)	48
VII.1.5 Humidités caractéristiques	51
VII.1.5.1 Teneur en eau à la capacité au champ (CC).....	51
VII.1.5.2 Teneurs en eau à la capacité au point de flétrissement Cpf).....	51
VII.1.6 Calcul de la réserve utile (RU).....	52
VII.2 Comportement du végétal.....	52
VII.2.1 Qualité de la semence.....	52
VII.2.2 Poids de 1000 grains	53
VII.2.3 Rendement théorique.....	53
VII.3 Humidités du sol.....	53
VII.3.1 Humidité du sol après et avant irrigation	53
VII.3.1.1 Humidités du sol au stade tallage.....	53
VII.3.1.2 Humidités du sol au stade montaison.....	55
VII.3.1.3 Humidités du sol au stade épiaison.....	56
VII.3.2 Humidités du sol au niveau des axes.....	58
VII.3.2.1 Stade tallage	58
VII.3.2.2 Stade montaison	59
VII.3.2.3 Stade épiaison	60
VII.4 Programmation des arrosages	61
VII.4.1 Calcul des besoins en eau de la culture du blé à Hassi Ben Abdellah	61

VII.4.1.1	Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET ₀).....	61
VII.4.1.2	Calcul de la pluie efficace.....	63
VII.4.1.3	Calcul des besoins en eau	64
VII.4.1.4	Pilotage des irrigations.....	64
Conclusion.....		68
Références bibliographiques		71
Annexes
Résumé

Introduction

Introduction

En Algérie le blé constitue environ 60% de la ration alimentaire de la population. La consommation nationale de cette denrée tourne autour de 11 millions de tonnes par an. En 2022, la production s'est élevée à 3.3 millions de tonnes. Actuellement le rendement est estimé à 16 qx/ha en 2022. Un chiffre qui reste assez bas surtout quand on le compare à ceux des pays voisins (Tunisie, Egypte, ...) (**USDA, 2022**).

Le niveau de production céréalière est loin de pouvoir répondre aux besoins croissants. Ceci a fait de l'Algérie un important importateur des produits céréaliers du marché international (**Bouhania et Zehri, 2005**).

Pour faire face à cette situation préoccupante, les pouvoirs publics se sont orientés vers les zones sahariennes qui recèlent de fortes potentialités en eau et en sols pour développer la production des céréales sous centre pivot. L'encouragement de l'agriculture dans ces zones sahariennes n'a pas abouti aux résultats escomptés à cause de l'existence d'un certain nombre de contraintes dont la gestion des irrigations constitue l'un des principaux facteurs de réduction de la production.

En agriculture, l'eau est l'élément majeur pour une production agricole durable et harmonieuse que l'homme doit maîtriser pour pallier le déficit hydrique (**Anonyme, 1981**).

Doorembos et kassam (1980), a signalé qu'une humidité contrôlée est indispensable pour obtenir des rendements élevés. D'après le même auteur, chez le blé, l'élaboration du rendement dépend de la croissance générale qui est directement fonction de l'alimentation hydrique.

En début de montaison, le manque d'eau a un effet sur le nombre talle-épis et le nombre de grains par épis (**Doorembos et kassam, 1980**).

Pendant la période de formation du produit, le déficit hydrique diminue le poids des grains (**Laaboudia et al., 2004**).

La question est donc de savoir si les irrigations du blé menées sous centre pivot dans la région de Ouargla par les exploitants agricoles sont bien conduites.

Autrement dit à travers cette étude, le travail a consisté à faire un diagnostic des irrigations du blé sous centre pivot menées par les exploitants agricoles en effectuant des

mesures des humidités du sol après et avant passage du pivot. Ces humidités sont ensuite comparées respectivement aux humidités à la capacité au champ et au point de flétrissement.

L'objectif global de notre étude est de porter un jugement sur la pratique de l'irrigation du blé sous centre pivot dans une exploitation agricole à Hassi ben Abdellah (zone saharienne). A partir des résultats obtenus, nous proposons un calendrier d'irrigations (dates et doses d'arrosages) établi à l'aide d'un logiciel Cropwat 8.0.

Partie bibliographique

**Chapitre I. Généralité
sur le système
d'irrigation par pivot**

I. Généralité sur le système d'irrigation par pivot

I.1 Définition de l'irrigation

L'irrigation des cultures peut être définie comme l'application d'une quantité limitée d'eau aux cultures afin d'augmenter et de stabiliser les rendements lorsque les précipitations ne fournissent pas suffisamment d'eau pour la croissance des plantes. Il s'agit d'une intervention temporaire visant à augmenter l'évapotranspiration en réponse à la disponibilité de l'eau (**Bouthiba, 2007**) (**Photo1**).



Photo 1 : Système d'irrigation agrodiv (2023)

I.2 Historique

Le système pivot d'irrigation a été inventé par l'ingénieur américain **Frank Zybach** en **1949**. L'idée est venue à **Zybach** alors qu'il travaillait sur sa ferme familiale dans le Nebraska, aux États-Unis, où il a remarqué que les méthodes traditionnelles d'irrigation par inondation ne fonctionnaient pas efficacement.

Zybach a conçu et breveté un système qui utilisait une série de tuyaux mobiles montés sur des roues pour pulvériser l'eau sur les cultures. Le système pivot permettait d'arroser des zones plus grandes et plus uniformément qu'avec les méthodes d'irrigation traditionnelles.

Au fil des années, le système pivot a été amélioré et modernisé avec l'ajout de nouvelles technologies, telles que les capteurs de sol et les systèmes de contrôle informatisés, pour rendre l'irrigation plus efficace et durable.

Le système pivot est maintenant largement utilisé dans le monde entier, en particulier dans les régions arides et semi-arides, pour irriguer une grande variété de cultures, notamment le maïs, le soja, le blé, les légumes et les fruits.

I.3 Le système d'irrigation par pivot

Le pivot d'irrigation est une rampe géante d'aspersion constituée de plusieurs travées de 50 m de longueur pour chacune, tournant autour d'un axe fixe appelé "Tour centrale". Il constitue un moyen efficace pour l'irrigation de grandes superficies.

Ce système d'irrigation par pivot a connu un développement considérable depuis 1952, quand apparaît l'utilisation des rampes d'arrosage, qui étaient déplacées manuellement ou bien remorquées par des tracteurs. Par la suite, un système moteur avec roues a été introduit, en réponse à plusieurs besoins exprimés. Le système d'irrigation par le centre pivot a connu une application considérable dans de nombreuses régions américaines, telle que Nebraska, où les agriculteurs étaient les premiers à utiliser ce système dans leur région d'élevage et de pâturage (Hamidi et Derouiche, 2017).



Photo 2 : Système pivot agrodiv (2023)

I.4 Composantes du système

Le système pivot est un système d'irrigation agricole largement utilisé, principalement dans les régions arides et semi-arides. Ses composants principaux comprennent une rampe ou une "lance

d'arrosage" montée sur des roues, un tuyau principal, et des tubes porteurs. La rampe d'arrosage, qui comporte des asperseurs espacés le long de sa longueur, est alimentée en eau par le tuyau principal. Les tubes porteurs sont installés en dessous de la rampe d'arrosage et sont utilisés pour transporter l'eau à travers la machine. Ces composants sont généralement actionnés par un moteur électrique ou à combustion interne. Les systèmes pivot sont conçus pour déplacer l'eau en cercles complets ou partiels, ce qui permet une distribution uniforme de l'eau sur les cultures. Les chercheurs ont étudié divers aspects du système pivot, notamment son efficacité en matière d'utilisation de l'eau (Gheysari et al., 2017).

son impact sur la productivité des cultures (Bjornlund et al., 2017), et ses implications pour la gestion durable des ressources en eau (Gupta et al., 2016).

Chapitre II. Généralité sur la culture du blé

II. Généralité sur la culture du blé

II.1 Origine et histoire du blé

De nos jours, les consommateurs algériens se basent principalement sur les céréales, en particulier sur le blé. Il joue un rôle social, économique et politique dans la majorité des pays du globe. Selon (Hamdani et al. 2018).

Le blé est l'une des premières espèces cultivées par l'homme. Depuis plus de 7000 à 10000 ans. Le blé occupe le croissant fertile, zone couvrant la Palestine, la Syrie, l'Irak et une grande partie de l'Iran. Des vestiges de blés, diploïdes et tétraploïdes, remontant au VIIème millénaire avant J.C ont été découverts sur des sites archéologiques au Proche Orient. (Sadouki et al., 2018).

Historiquement le blé dur (*Triticum durum*) a été toujours cultivé dans les régions à climat de type méditerranéen telles que l'Afrique du nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Égypte), le sud de l'Europe (Espagne, France, Italie, Grèce), et le Moyen Orient (Turquie, Syrie, Palestine) (Hannachi., 2018).

Cette espèce réputée tolérante des stress hydrique et thermique, est cultivée en Amérique dans les régions ouest des Dakota et du Montana, aux USA, et dans le Saskatchewan et l'Alberta, au Canada (Douaer et al., 2018) (Photo3).



Photo 3 : La culture du blé dur (*Triticum durum*).

II.2 Biologie de blé

Le blé est une plante monocotylédone qui appartient à la famille des Poaceae (ou Graminées). Il existe plusieurs espèces de blé, mais la plus cultivée est *Triticum aestivum*, communément appelée blé tendre. Le blé dur (*Triticum durum*) est une autre espèce de blé largement cultivée. (Marcussen et al., 2014)

Du point de vue biologique, le blé est une plante herbacée annuelle. Le cycle de vie du blé commence par la germination des graines, qui se produit lorsque les conditions de température, d'humidité et de lumière sont optimales. La morphologie du blé est caractérisée par des épis contenant de nombreuses épillets, chacun portant une ou plusieurs fleurs. Le développement du blé est étroitement régulé par divers gènes impliqués dans la floraison, la formation de grains, et la réponse aux stress biotiques et abiotiques (Sreenivasulu et al., 2012).

La biologie moléculaire a permis d'identifier des gènes clés, tels que les gènes de résistance aux maladies (Feuillet et al., 2007) et ceux impliqués dans l'accumulation de gluten, une composante importante de la qualité du blé (Gianibelli et al., 2002)

Le blé joue un rôle significatif dans la fertilité du sol. Les racines du blé sécrètent une variété de composés organiques, tels que les exsudats racinaires, qui favorisent l'activité microbienne du sol et la décomposition de la matière organique (Jones et al., 2004).

Ces exsudats servent également de substrat aux microorganismes du sol, renforçant ainsi la biodiversité microbienne et le cycle des éléments nutritifs (Oberson et al., 2007).

De plus, le système racinaire du blé contribue à la structure physique du sol, améliorant ainsi la rétention d'eau et la capacité d'aération (Liu et al., 2019).

L'intégration du blé dans les rotations culturales peut également contribuer à la réduction des pathogènes du sol, tout en maintenant l'équilibre du carbone organique et de l'azote dans le sol (Poudel et al., 2019)

II.3 Caractères botaniques :

Les caractères botaniques du blé varient selon les espèces, mais voici quelques-uns des traits les plus courants :

- Le blé est une plante monocotylédone qui a un système racinaire fasciculé, c'est-à-dire qu'il y a plusieurs racines qui se développent à partir du collet de la plante.

- Les feuilles du blé sont linéaires, avec des nervures parallèles et une gaine qui entoure la tige. Elles sont alternes et disposées de manière spiralée autour de la tige.

- La tige du blé est creuse et a une section cylindrique ou anguleuse selon les espèces.

- Les fleurs du blé sont des épillets qui contiennent les grains. Les épillets sont disposés en une inflorescence en forme d'épi.

- Les fleurs du blé sont pollinisées par le vent, car le blé est une plante anémophile.

- Les grains du blé sont des caryopses, c'est-à-dire des fruits secs indéhiscents, qui sont enfermés dans des enveloppes (glumes et lemme) et sont attachés à une partie de la plante appelée rachis.

II.4 Caractères systématiques

Les caractères systématiques sont des caractéristiques utilisées en systématique pour classer les organismes en groupes apparentés. Voici quelques caractères systématiques utilisés pour classer le blé dans la classification des plantes (**Douaer et al., 2018**) :

- Division : Magnoliophyta (plantes à fleurs)

- Classe : Liliopsida (monocotylédones)

- Ordre : Poales

- Famille : Poaceae (Graminées)

- Genre : *Triticum*

- Espèce : *Triticum aestivum* (blé tendre) et *Triticum durum* (blé dur).

II.5 Description générale du blé

Le blé est une plante qui se développe dans des climats chauds et secs. En général, l'épi a de longues barbes et une part carrée ou comprimée.

L'épillet contient 2-5 fleurs. Les glumes ne contiennent pas d'arêtes. Le grain nu est extrêmement dur et translucide. Selon **Aknouche et al. (2017)**, les caractéristiques sont décrites ci-dessous :

-Tige

La tige commence à prendre son caractère au début de la construction, prend sa vigueur, porte 7 à 8 feuilles, présente des bourgeons auxiliaires qui servent à l'origine des talles et s'allongent pendant La construction (**Alismail et al., 2017**).

- Fleurs

Les fleurs sont nombreuses, petites et difficiles à voir. Elles sont regroupées en grappes à l'extrémité des chaumes (**Sadouki et al., 2018**).

-Racines

Selon **Morsli (2010)**, les racines du blé sont fasciculées et peu développées. Le système racinaire du blé est caractérisé par deux systèmes radiculaires formant le système primaire est constitué de racines séminales qui fonctionnent au cours du développement, de la germination au tallage et un système secondaire de type fasciculé, avec des racines qui partent des nœuds les plus bas et qui sont presque toutes au même niveau (plateau de tallage).

- Graines

Les caryopses sont des grains de blé. Ces derniers sont de formes ovoïdes et ont sur l'un de leurs fruits une cavité longitudinale "le sillon" et des touffes de poils "la brosse" à l'extrémité opposée de l'embryon. **Ait-Slimane-Ait-Kaki**.

Le caryopse est composé de trois contingents :

L'enveloppe est constituée de tissus d'origine maternelle (principalement l'enveloppe externe du fruit, le péricarpe et les autres tissus qui ont été digérés lors du développement du grain, ce qui fait du grain de blé un caryopse).

L'albumen est composé des stocks, principalement de substances amylacées.

Le scutellum est le cotylédon unique de la plante, qui est une angiosperme monocotylédone dont la graine ne contient qu'un seul cotylédon.

Le germe ou l'embryon sont des termes utilisés pour décrire la petite plante appelée plantule (**Cassin et al., 2013**).

II.6 Cycle de développement du blé

En général, toutes les céréales ont le même cycle de développement, le développement représente l'ensemble des modifications phénologiques qui apparaissent au cours du cycle de la culture (**Bouffenaar et al., 2006**) (**figure 1**).

a) levée

La date de levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile, gaine rigide et protectrice enveloppant la première feuille.

Le stade Levée englobe par conséquent trois étapes successives de nature différente :

- La germination qui correspond à l'entrée de la semence en vie active et au tout début de croissance de l'embryon.
- L'élongation de la coléoptile, premier organe du système aérien à émerger à la surface du sol.
- La croissance de la première feuille qui perce en son sommet Le coléoptile.

b) Stade 2-3 feuilles

Ce stade est caractérisé par le nombre de feuilles de la plantule. Après la levée, les ébauches foliaires entassées en position alternée de la base jusqu'au tiers médian de l'apex croissent et émergent les unes après les autres selon un rythme régulier.

c) Stade début tallage

La plante possède trois à quatre feuilles. Une nouvelle tige apparaît sur le maître-brin à l'aisselle de la feuille la plus âgée. L'émergence de cette première talle hors de la gaine de la première feuille constitue le repère conventionnel du stade début tallage.

d) Stade plein tallage

Le stade plein tallage ne se définit pas par des caractéristiques précises. Il s'agit plus d'une période qu'un état particulier dans la mesure où la notion de plein tallage sous-entend que l'on connaît à priori l'abondance du tallage final, variable selon les dates de semis, la température et la variété.

Néanmoins, on définit conventionnellement le stade plein-tallage lorsque les plantes portent deux à trois talles

e) Stade épis à 1 cm

Les plantes se redressent, et la tige principale ainsi que les talles les plus âgées commencent à s'allonger suite à l'élongation des entre-nœuds auparavant empilés sous l'épi.

Les autres tiges plus jeunes vont régresser : leur vitesse de croissance se réduit, elles s'engagent vers la sénescence puis mourront.

f) Stade 1-2 nœuds

La talle, tige court-nouée, constituée essentiellement de nœuds empilés à l'origine, grandit par l'élongation des premiers entre-nœuds. Chaque entre-nœud débute sa croissance après le précédent sans attendre que le dernier ait atteint sa longueur définitive

g) Stade méiose pollinique

La méiose pollinique se réalise quand le sommet du jeune épi touche la ligule de l'avant dernière feuille. Ce stade a donc lieu un peu avant le gonflement ; en moyenne le stade méiose pollinique survient 10 jours avant l'épiaison pour le blé.

h) Stade épiaison

Juste après le stade gonflement, la gaine de la dernière feuille s'écarte progressivement suite à l'allongement des derniers entre-nœuds de la tige : c'est le stade gaine éclatée. Puis dans le jour ou les jours qui suivent, le sommet de l'épi sort de la dernière gaine qui a alors atteint sa longueur définitive : c'est le début de l'épiaison.

i) Stade floraison

A ce stade, la tige et l'épi ont quasiment achevé leur croissance. En général, le poids maximum de l'épi est atteint 3 jours après la floraison.

j) La formation du grain

Cette période comprend 3 stades essentiels :

- Le stade grain laiteux : de la fécondation, stade identifié par la floraison jusqu'au grain laiteux, se mettent en place les enveloppes des futurs grains. Ces enveloppes qui déterminent le poids potentiel des grains ont atteint leur taille maximum à ce stade pour l'ensemble des céréales à paille à l'exception du riz.

- Le stade grains pâteux : du stade laiteux au stade pâteux, il y a expansion des cellules de l'enveloppe et remplissage de ces cellules de manière dominante par des sucres qui sont emmagasinés essentiellement sous forme d'amidon. La quantité d'eau contenue dans le grain est stable : c'est le palier hydrique, phase caractéristique du remplissage du grain.

- La maturité physiologique : La maturité physiologique a lieu quand il n'y a plus de migration de matière sèche vers le grain. Ce stade succède de peu de jours (2 jours en

moyenne), au stade pâteux. A ce stade le poids sec du grain a atteint sa valeur maximum et définitive.

Après ce stade, une phase rapide de dessiccation se met en place et le grain devient de plus en plus dur et peut être récolté à la machine : c'est la maturité récolte (**Kalarasse, 2018**).

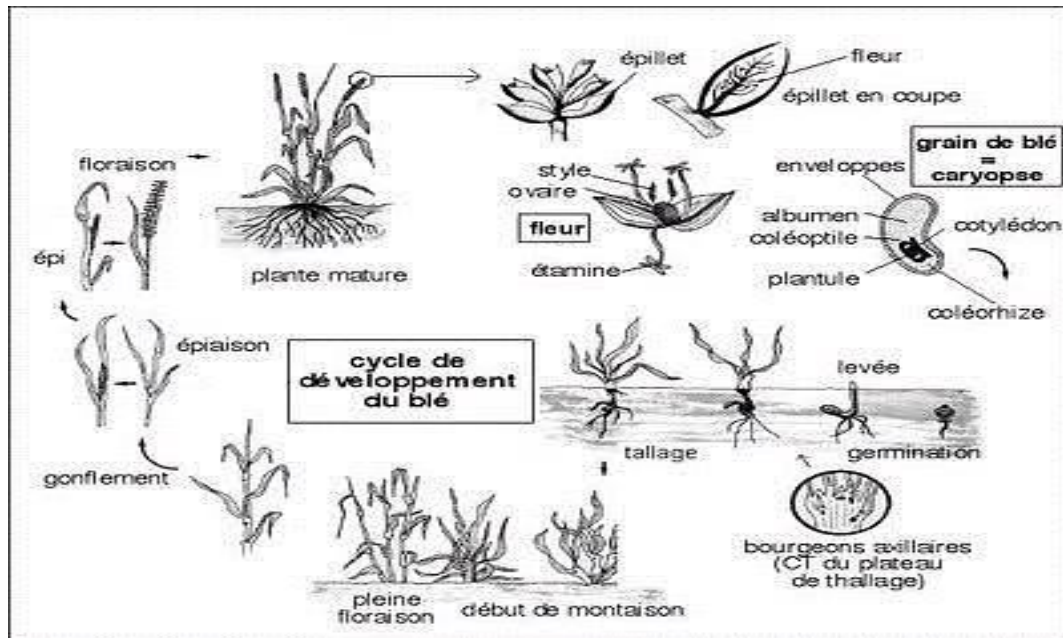


Figure 1 : Cycle de développement du blé (**Rey et al., 2000**).

II.7 Composantes du rendement

Le rendement du blé s'élabore progressivement depuis l'implantation de la culture jusqu'au remplissage du grain grâce à la formation successive des différentes composantes du rendement (**Couvreure et al., 1985**).

Selon Vilan (1987), le rendement est composé d'un :

- *Nombre d'épis par mètre carré.
- * Nombre moyen de grains par épi.
- * Poids de 1000 grains.

II.7.1 Nombre d'épi/m²

Le nombre d'épi/unité de surface est fonction de deux composantes :

- *Le peuplement pied et le coefficient de tallage (**Grignac, 1977**).

*Le nombre d'épi/m² est la seule fraction que l'agriculteur ait choisie en fonction des possibilités du rendement du milieu.

D'après **Belaid (1986)**, le rendement de peuplement épi est influencé par la dose et la date de semis, le poids de 1000 grains, la qualité de la semence, les caractéristiques du lit de semences et les conditions climatiques avant et après semis

II.7.2 Nombre de grains/épi

C'est une caractéristique variétale qui est très influencée par le nombre d'épi/m² (**Couveur, 1981, in Azil, 1992**). En effet **Samir (1991)** a montré que les traitements dont les peuplements épi sont élevés donnent un nombre de grains par épi faible. **Leget (1985)**, suggère que la composante la plus importante du rendement soit le nombre de grain/épi et plus précisément le nombre de grain / épillet, ce même auteur ajoute que les deuxièmes et les troisièmes feuilles à partir du sommet apparaissent plus liées au rendement/épi que la feuille séminale.

II.7.3 Poids de 1000 grains

C'est la dernière composante, elle est dépendante du nombre de grains formés couvreur (1981). Le poids de mille grains varie essentiellement en fonction des et la Continuité de la nutrition azotée jusqu'à la maturation.

II.8 Exigences du blé

La culture du blé dur est une activité agricole importante dans de nombreuses régions du monde, qui nécessite des connaissances approfondies sur les variétés de semences, le climat, les sols, les pratiques culturales.

II.8.1 Le climat

Le blé dur nécessite un climat chaud et sec pendant la période de maturation. Il est généralement cultivé dans des zones méditerranéennes avec des températures estivales moyennes de 25 à 30 degrés Celsius. Les précipitations doivent être bien réparties pendant la saison de croissance, car le stress hydrique peut affecter négativement la production de grains.

II.8.2 Les sols

Le blé dur nécessite un sol bien drainé et fertile, avec une teneur élevée en matière organique et en nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Les sols sableux et limoneux conviennent mieux à la culture du blé dur. La rotation des cultures avec d'autres

cultures telles que les légumineuses et les céréales est recommandée pour améliorer la fertilité du sol.

II.8.3 Les pratiques culturales

Les pratiques culturales pour la culture du blé dur comprennent la préparation du sol, la sélection des variétés de semences, la fertilisation, la gestion de l'eau, la lutte contre les maladies et les ravageurs, et la récolte. Le choix de la méthode d'irrigation (par exemple, le goutte à goutte ou l'irrigation par aspersion) dépend des conditions climatiques et des caractéristiques du sol.

II.8.4 Exigences en eau

Le blé a besoin en moyenne d'environ 350 à 600 mm d'eau pour atteindre sa maturité physiologique et son rendement potentiel. Un stress hydrique ou un excédent d'eau à un stade sensible entraîne inévitablement des pertes de rendements. Un stress hydrique modéré se produit lorsque le d'épuisement du sol est supérieur à 70% (**Wikifarme**).

Chapitre III.
Salinité des sols

III. Salinité des sols

III.1 Les sols salins

Les sols salins sont présents naturellement sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont étroitement liés aux sources de sel géologiques (évaporites), hydrogéologiques (eaux souterraines) et hydrologiques (eaux marines) (**Girard et al., 2005**).

Les sols salins sont ceux dans lesquels de grandes quantités de sels solubles sont présentes, ou des ions dérivés des sels sont présents en grandes quantités dans le complexe d'absorption, et tendent à dégrader les propriétés physiques et les caractéristiques du sol, en particulier sa structure. Les sols riches en sel sont généralement définis comme des sols dont les concentrations en solution sont supérieures à 0,5 g/l (**Robert, 1996**) ; selon **Calvet (2003)**, un sol est riche en sel si sa conductivité électrique est supérieure à 4 ds/m. Génétiquement, les sols sont composés de deux unités très différentes, les salisols - sels solubles simples ou complexes formés de sodium, de calcium et de magnésium. Les sodisols contenant des complexes sodiques sont principalement composés de cations sodiques échangeables et de très peu de sels solubles (**Bouteyre et Loyer, 1992**).

III.2 Classification des sols salés

Il existe encore des différences significatives entre les différents systèmes de classification. Les pédologues s'accordent à dire qu'il existe trois types principaux de sols salins, dont la caractéristique commune est qu'ils contiennent généralement de grandes quantités de sels de sodium (**Halitim, 1973**). Ces types sont les suivants :

III.2.1 Sols salins

Des niveaux élevés de sels solubles inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées. Le pH du sol est généralement inférieur à 8,5. La conductivité électrique (CE) des extraits d'eau à saturation dépasse 4 dS/m à 25°C et le pourcentage de sodium échangeable (ESP) est inférieur à 15 %.

III.2.2 Sols salins à alcalins

Pourcentage de sodium échangeable (ESP) supérieur à 15 % et conductivité électrique (CE) de l'extrait pâteux à saturation supérieure à 4 dS/m à 25°C.

III.3 Origine de la salinisation

L'origine des sels solubles dans les sols est très variée. Elle est due généralement à l'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, qui donnent des sels souvent solubles. En régions arides ceux-ci se concentrent sur place ou dans les dépressions et zones basses du paysage (Gaucher in Aubert, 1976).

III.3.1 Salinité primaire (ou naturelle)

Les sels solubles responsables de la salinisation primaire des sols ont des origines diverses. Il s'agit notamment de chlorures, de sulfates, de carbonates, de bicarbonates et, dans certains cas, de silicates de ces métaux (Zahow et Amrhein, 1992).

III.3.2 La salinisation secondaire

C'est un processus ultérieur à la formation du sol et le caractère salin du sol est induit par plusieurs mécanismes. Elle peut être due à la remontée d'une nappe salée peu profonde, ou à la remontée capillaire et pendant les périodes sèches ; l'halomorphie peut également être causée par de l'eau d'irrigation saline dans des zones mal drainées (Durand, 1983).

III.4 Effets de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol

III.4.1 Effets sur les propriétés physiques du sol

De grandes quantités de sels solubles peuvent affecter les propriétés du sol, en particulier la dispersibilité des colloïdes, la stabilité structurale et la perméabilité (SERVANT, 1970 ; CHEVERRY, 1972 ; AUBERT 1983 ; HALITIM, et al, 1988).

III.4.2 Effets sur les propriétés chimiques du sol

La réaction du sol (pH) est influencée par la nature des sels, certains sels étant acidifiants (CaSO_4 , KCl , MgSO_4) et d'autres alcalinisants (NaHCO_3 , CaCO_3 , Na_2CO_3).

La teneur en sodium échangeable est très importante dans les sols alcalins car la concentration en sels solubles est faible et de grandes quantités de sodium sont sous forme échangeable. Le sodium est sous forme échangeable. Cependant, dans les sols salins, la majorité du sodium se trouve dans la solution du sol..

III.5 Effet de la salinité sur les plantes

La salinité devient un problème à partir du moment où le sel accumulé dans la zone racinaire atteint une concentration qui réduit le rendement et retarde la croissance des plantes (Boulaine, 1974; Bolyn, 1975 ; FAO, 1998 in Menacer,2009).

Chapitre IV.
Concepts et définitions

IV. Concepts et définitions

Introduction

Différents concepts et définitions relatif au sol, le végétal et le climat ont été rassemblés et développés dans l'optique d'une utilisation pratique

IV.1 Besoins en eau d'irrigation

Les besoins en eau d'irrigation au niveau du champ représentent le volume d'eau et la fréquence des applications d'eau nécessaires pour compenser les déficits en eau du sol pendant la saison végétative d'une culture donnée. Ces besoins en eau s'obtiennent à partir d'un bilan hydrique dont l'évapotranspiration constitue le principal facteur (**Zella, 2015**).

IV.1.1 Evapotranspiration des couverts végétaux

L'évapotranspiration d'une surface d'un couvert végétal est la somme de l'évaporation du sol et la transpiration du couvert végétal. Elle est toujours sous la dépendance des facteurs climatiques (**Tiercelin, 1998**). Son estimation est importante pour les programmes d'irrigation, la planification et la gestion des ressources en eau (**Mouhouche, 2003**).

IV.1.1.1 Evapotranspiration potentielle (ETP)

L'évolution de l'évapotranspiration potentielle conduit à une pluralité de définition suivant le but de la recherche (**Seguin, 1975**). Dans le cadre de notre recherche, nous empruntons celle de **Seguin, (1975)** : « C'est l'évapotranspiration maximale d'un gazon couvrants complètement le, bien alimenté en eau, en phase active de croissance et situé au sein d'une parcelle suffisamment étendue (**Perrier, 1977**) ».

Actuellement le terme ETP a été proposé de le remplacer par évapotranspiration de référence ETo.

IV.1.1.2 Evapotranspiration maximale (ETM)

Pour une culture donnée, il existe une évapotranspiration maximale (ETM). Selon **Zella (2015)**, l'évapotranspiration maximale exprime la demande en eau sur un couvert végétal. L'évapotranspiration maximale dépend du stade phénologique de la culture. La quantité d'eau perdue par une culture constitue l'évapotranspiration réelle. Elle varie à la fois avec les conditions climatiques, le type de culture, les stades végétatifs et les conditions d'humidité du sol. Selon que l'offre sera plus ou moins limitant, ETR sera inférieure ou égale à ETM (**Cemagref, 2003**). D'après **Doorembos et Pruitt (1975)**, le climat est l'un des facteurs qui influe le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration.

L'évapotranspiration maximale appelée actuellement ET_c est liée à l'évapotranspiration de référence ET_o par la relation $ET_c = K_c ET_o$

IV.1.2 Coefficient cultural

Le coefficient cultural k_c est le rapport entre l'évapotranspiration de la culture ET_c et l'évapotranspiration de référence ET_o . Il intègre les effets de quatre caractéristiques primaires qui distinguent une culture de la culture de référence qui sont la hauteur de la culture, la surface sol-végétation, l'albédo et l'évaporation du sol (Allen et al., 1998).

IV.1.3 Efficience de l'irrigation

L'efficience de l'irrigation est définie par le rapport des volumes d'eau effectivement utilisés aux volumes d'eau délivrés en tête du réseau (Mermoud, 2007).

IV.1.4 Besoins en eau brutes

Les besoins en eau brutes sont définis par le rapport des besoins en eau et l'efficience de l'irrigation.

IV.1.5 Efficience agronomique

L'efficience agronomique est définie par le rapport des volumes d'eau effectivement utilisés aux volumes délivrés en tête du réseau (Mermoud, 2007). Elle exprime la qualité de la gestion de la ressource hydrique. Des pertes en eau peuvent se produire tant au niveau de la distribution à la parcelle que dans le réseau d'amenée.

IV.1.6 Coefficient de réponse du rendement

Le coefficient de réponse du rendement à l'eau met en rapport la baisse du rendement relatif et le déficit de l'évapotranspiration (FAO, 1987).

IV.2 Humidité du sol

Le terme humidité du sol ou teneur en du sol représente la quantité dans le réservoir sol (Servat et al., 1972). La teneur en eau du sol est peut-être définie par la teneur eau massique ou la teneur en volumique.

IV.2.1 Teneur en eau massique

La teneur en eau massique est définie par le rapport entre la masse d'eau contenu dans un échantillon du sol et la masse des particules solides à l'état sec (Laplante, 1962).

$$\Theta_m : \frac{M_e}{M_s} \text{ (g/g)}$$

Avec :

- Θ_m : teneur en eau massique
- M_e : masse d'eau contenue dans l'échantillon du sol
- M_s : masse de l'échantillon du sol à 'état sec.

IV.2.2 Teneur en eau volumique

La teneur en eau volumique est définie comme étant le rapport entre le volume d'eau contenu dans un échantillon de sol et son volume.

La teneur en volumique du sol (Θ_v) est liée à la teneur en eau massique par la relation suivante :

$$\Theta_v = d_a \Theta_m$$

Où, d_a représente la densité apparente du sol

IV.3 Teneurs en eau caractéristiques

Différents concepts et définitions relatifs à l'humidité des sols ont été développés dans l'optique d'une utilisation pratique. Ils sont en relation avec l'utilisation de l'eau par la plante (**Buthion et al., 1972**).

IV.3.1 Teneur en eau à saturation

Le sol est dit saturé quand toute sa porosité est remplie d'eau (volume d'air égale à zéro). L'excès d'eau percole en profondeur sous l'action de la gravité. L'eau gravitaire n'est pas disponible pour les cultures.

IV.3.2 Teneur en eau à la capacité au champ

La teneur en eau à la capacité au champ (CC) est l'humidité du sol après ressuyage (avec une succion variable avec le type de sol et souvent inférieure à 1/3bar et correspond à un pF = 2.7) (**Cemagref, 2003**).

IV.3.3 Teneur en eau point de flétrissement

La teneur en eau au point de flétrissement (Cpf) correspond à la capacité maximale de succion par la plante qui est voisine de 15 bars soit un pF=4.2.

IV.4 Réserve utile

L'eau rejetée par évapotranspiration doit être puisée de façon continue par la plante dans le sol considéré comme un réservoir dans lequel s'effectue le stockage des apports discontinus d'eau par la pluie ou l'irrigation.

La réserve utile d'un sol correspond au volume maximal pouvant être retenu par les différents horizons contre la seule force de gravité. Le tableau 1 donne des ordres de grandeur de la réserve utile pour un mètre de sol.

Tableau 1 : Valeurs moyennes de la réserve utile en fonction du type de sol.

Types de sol	Réserve utile (mm/m)
Sableux	70
Argilo –sableux	120
Sablo-argileux	135
Argile	180
Argilo-limoneux	180
Limon-sablo-argileux	190
Limon-argileux	220
Tourbes	350

IV.5 Réserve facilement utilisable

La réserve facilement utilisable (RFU) représente l'eau facilement mobilisable par les cultures. Elle dépend de la profondeur du sol et de l'enracinement de la végétation. Selon **Bouchet et Hallaire (1964)**, les variations du rapport RFU à la réserve utile (RU) pouvait s'expliquer par le niveau d'évapotranspiration. Dans la même optique **Doorembos et Kassam (1980)**, la RFU peut être estimée à 2/3 de la RU pour les sols sableux, à 1/2 de la RU pour un sol limoneux et à 1/3 de la RU pour un sol argileux (**Poirée et Ollier, 1983**).

IV.6 Tarissement admissible du sol

Selon toujours **Doromobos et Kassam (1987)**, ce rapport entre la réserve facilement utilisable et la RFU appelé tarissement admissible p est défini comme étant le niveau critique de l'humidité du sol à partir duquel le stress due au manque d'eau se fait sentir, affectant l'évapotranspiration et la production de la plante.

IV.7 Dose d'arrosage

La dose d'arrosage est la quantité d'eau qu'il faut apporter à chaque irrigation de telle manière à rendre le sol prospecté par les racines à la capacité au champ (**Poirée et Ollier, 2003**). La fréquence des arrosages est la durée en jours qui sépare deux irrigations successives.

**Chapitre V. Cadre
général de la région
d'étude**

V. Cadre général de la région d'étude

V.1 Situation et limites géographiques

La wilaya de Ouargla est située dans le Sud Est de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de 163230 km² (Rouvilloi-Brrigol, 1976). Ces coordonnées géographiques sont

Latitude : 31°57' Nord.

Longitude : 5°19' Est.

Altitude : 157 m.

V.2 Contexte climatique

V.2.1 Température

La température moyenne annuelle est de 23,86 °C. La valeur maximale est enregistrée en Juillet avec 36,72 °C et la valeur minimale au mois de janvier, avec 11,69 °C. Les températures maximales les plus élevées sont enregistrées en juillet, avec 43,84 °C.

Tableau 2 : Données des différents paramètres météorologiques de la station d'Ouargla pour la période (2012-2022) (ONM Ouargla).

Mois	Températures (C°)			Humidité (%)			Vent (m/s)	Précipitations (mm)	Evaporation (mm)	Isolation (heure)
	min	moy	max	min	max	moy				
Janvier	5.54	12.44	19.34	35.45	79.25	57.35	8.15	7.75	93.49	249.60
Février	7.10	14.29	21.47	28.26	68.65	48.46	9.37	2.89	128.15	239.26
Mars	10.53	18.02	25.50	23.61	63.29	43.45	10.11	4.74	189.02	270.14
Avril	15.25	22.97	30.69	20.05	55.05	37.55	11.43	1.67	238.84	280.92
Mai	20.05	27.72	35.40	16.92	45.67	31.29	11.54	1.48	317.54	301.59
Juin	24.82	32.66	40.50	15.20	40.77	27.98	10.40	0.74	378.58	237.60
Juillet	27.86	35.72	43.58	13.68	35.44	24.56	9.30	0.32	436.60	324.02
Aout	27.40	35.05	42.70	15.03	39.41	27.22	9.10	0.54	396.55	338.00
Septembre	23.73	30.98	38.23	20.35	52.27	36.31	9.61	4.70	282.78	264.63
Octobre	17.43	24.64	31.85	25.01	61.80	43.41	9.63	5.68	210.32	267.01
Novembre	10.28	17.31	24.34	31.12	73.75	52.43	7.50	2.46	122.33	252.15
Décembre	5.81	12.67	19.52	36.84	81.04	58.94	7.51	4.01	85.72	229.24
Cumulation	195.81	284.47	373.13	281.54	696.38	488.96	113.66	36.96	2879.92	3254.15
Moyennes	16.32	23.71	31.09	23.46	58.03	40.75	9.47			

V.2.2 Humidité de l'air

L'humidité de l'air est très faible, avec une moyenne annuelle de 33,60 %. La valeur minimale est enregistrée au mois de juillet (17,51%), où les températures sont très élevées. La valeur la plus élevée est enregistrée au mois de décembre (56,15%), où les températures sont basses.

V.2.3 Précipitations

Les précipitations sont rares et irrégulières, le cumul annuel est très faible, de l'ordre de 64,03 mm.

V.2.4 Vent

Les vents sont fréquents pendant toute l'année dans la région de Ouargla. La vitesse moyenne

V.3 Synthèse climatique de la région d'Ouargla :

Pour Gausson un mois "sec" si le quotient des précipitations mensuelles "P" exprimée en (mm), par la température moyenne "T" exprimée en (°C) est inférieur à deux (02). La représentation sur un seul graphique de la température et des précipitations mensuelles moyennes, avec les mois en abscisse, fournit le diagramme ombrothermique qui met immédiatement en évidence les saisons sèche et pluvieuse (Gérard, 1999) (Figure 2).

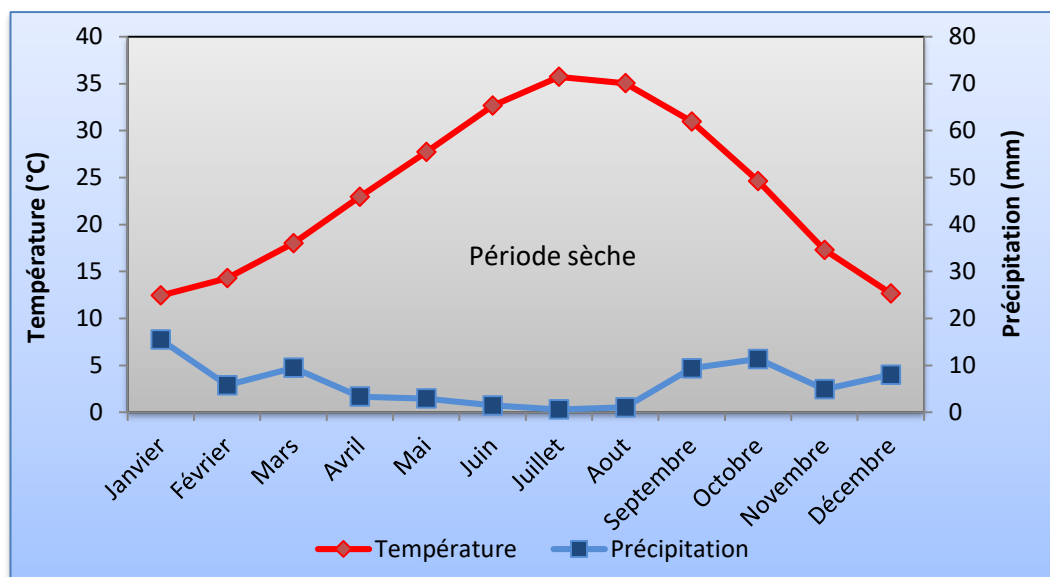


Figure 2: Diagramme Ombrothermique de Ouargla (2012-2022).

L'analyse de ce diagramme (figure2) montre que la saison sèche dans la région d'étude s'étend sur toute l'année avec une augmentation très remarquable de la température durant les mois de mai, juin, juillet, août et septembre.

V.3.1 Classification climatique de la région de Ouargla

La caractérisation du climat de Ouargla a été faite en exploitant le diagramme ombrothermique de **Gausсен et Bagnouls et le Climagramme d'Emberger**.

Le diagramme ombrothermique représente les variations mensuelles, des températures et des précipitations, selon des graduations standardisées : une graduation de l'échelle des précipitations correspond à deux graduations de l'échelle des températures ($P = 2T$). Ce diagramme permet de déterminer la durée de la période sèche et de la période humide durant l'année.

D'après la **figure (2)**, nous remarquons que la période sèche s'étale sur toute l'année. Ceci est lié aux précipitations qui sont faibles, en comparaison avec les températures qui sont très élevées.

La détermination de l'étage bioclimatique est réalisée à l'aide du climagramme pluviothermique d'Emberger. Cette dernière porte en ordonnées le quotient pluviothermique (Q3), spécifique pour le climat de l'Algérie et en abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid (m). Q3 peut être calculé comme suite (**Le Houérou et al., 1977 ; Le Houerou, 1995**) :

$$Q3 = 3,43P / M-m$$

Où :

- M : la moyenne des températures du mois le plus chaud en degré kelvin
- m : la moyenne des températures du mois le plus frais en degré kelvin
- P : pluviométrie annuelle en mm.

Ouargla, possède un quotient pluviothermique (Q3) de 5,63, pour la période 2011-2020. Donc le bioclimat est de type hyper aride (saharien) à hivers doux (**figure 3**).

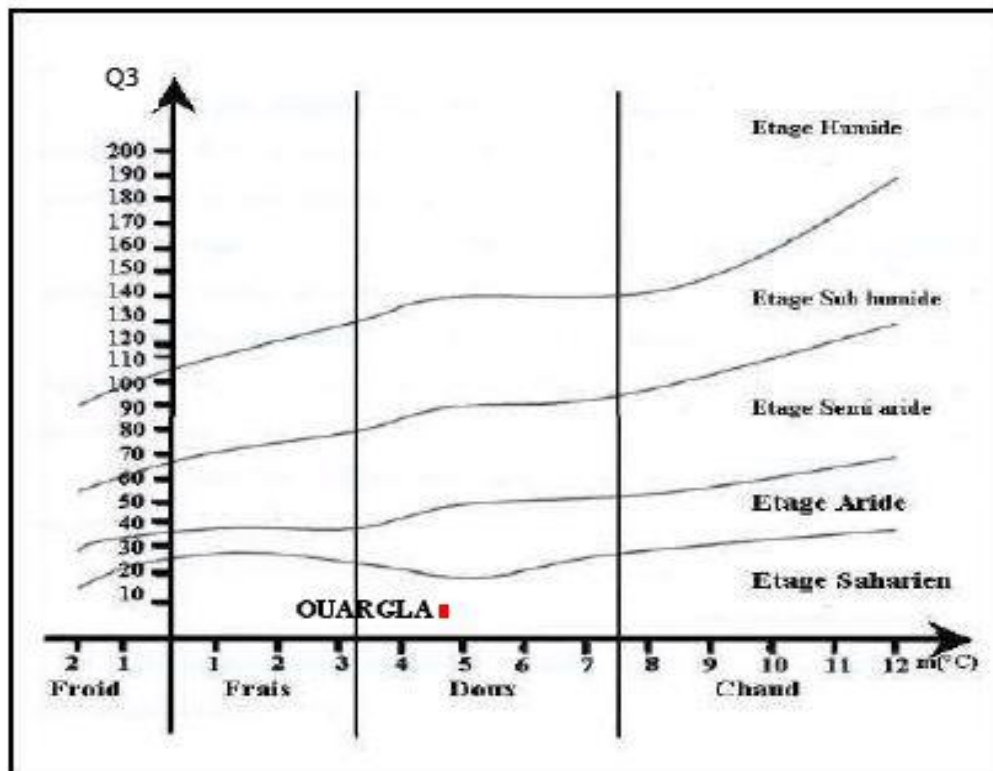


Figure 3 : Etage bioclimatique de Ouargla (2011-2020).

V.4 Hydrogéologie :

Les eaux exploitées dans la région de Ouargla sont des eaux souterraines. Elles sont présentes dans deux grands aquifères : le Continental Intercalaire (CI) ou "Albien" à la base et en haut le Complexe Terminal (CT) qui renferme deux nappes le Sénonien à la base et le Miopliocène en haut.

Une autre nappe superficielle d'importance plus modeste, s'ajoute aux deux précédentes, c'est la nappe phréatique (Nesson, 1978).

V.4.1 Nappe du Continental Intercalaire "Albien"

Elle s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, sur plus de 600 000 km², avec une épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. Cet aquifère est contenu dans les formations sablo-gréseuses et argilo-sableuses (Unesco, 1972).

Les eaux de cette nappe sont caractérisées par des températures très élevées qui dépassent 50°C. Elles sont moins minéralisées ; leur résidu sec varie entre 1,74 2,83 g/l et 2,83 g/l dans la région de Ouargla (Achour et al. 2008).

V.4.2 Nappe de Complexe Terminal

Il regroupe des formations aquifères contenues dans les horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire. Cette nappe s'étend sur une superficie de 350 000 km², elle est généralement peu profonde : de 100 à 400 m (**Unesco, 1972**). Les eaux de cette nappe ont une température qui varie entre 20 et 30°C (**Achour et al, 2008**).

Il existe deux formations aquifères distinctes dans ce Complexe Terminal. La première est contenue dans les sables du Mio-Pliocène, tandis que la seconde se trouve dans le Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur (Sénonien pour Ouargla principalement) (**Nesson, 1978**).

Ces eaux sont chargées en sels, la minéralisation de la nappe Sénonien varie entre 1,44 à 3,37 g/l, tandis que celle de la nappe Miopliocène varie entre 1,87 et 5,17 g/l (**Achour et al., 2008**).

V.4.3 Nappe superficielle (phréatique)

Cette nappe est contenue dans les sables alluviaux de la vallée d'Oued Mya. Elle est située à des profondeurs variant entre 1 à 3 m dans les zones urbaines, de 0,5 à 0,9 m dans les zones agricoles, affleure dans les Chotts et peut atteindre 15 m de profondeur dans certaines zones de couverture dunaire. Son sens de l'écoulement est du Sud vers le Nord (**Nezli et al, 2007**).

Selon **Achour et al., (2008)**, la minéralisation des eaux de cette nappe varie entre 3,38 et 6,71 g/l.

V.4.4 Évolution de la superficie phoenicicole dans la wilaya d'Ouargla (2012-2022)

La superficie agricole dans la wilaya d'Ouargla est en évolution progressive. Elle a passé de 21.020,00 ha, en 2011 à 22.909,24 ha, en 2020, selon les données de la DSA de Ouargla (2021) (**Figure 4**).

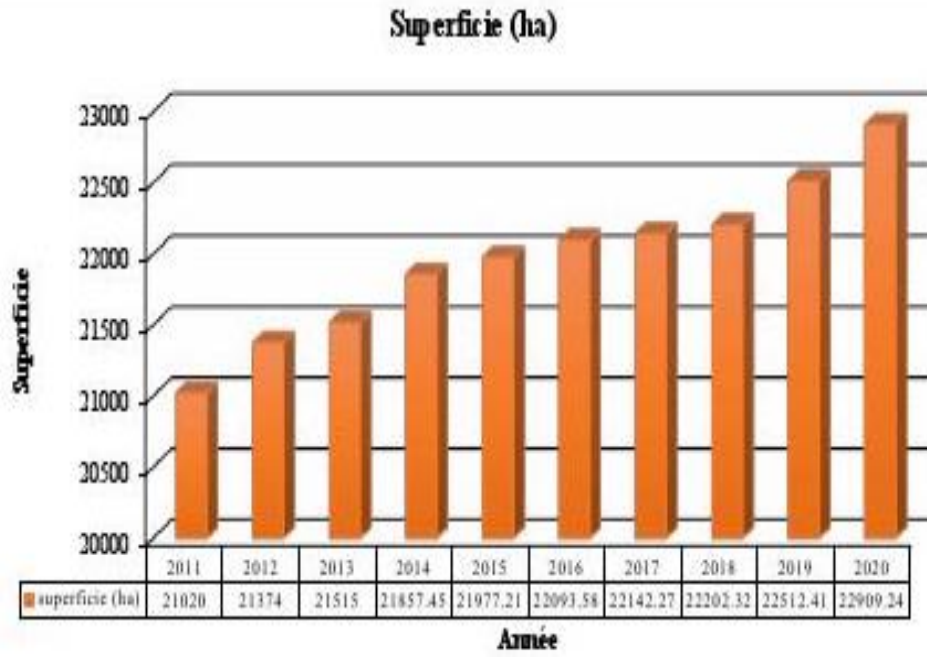


Figure 4 : Évolution de la superficie phoenicicole, dans la wilaya d'Ouargla (2011-2020) (DSA d'Ouargla, 2021).

Partie expérimentale

Chapitre VI.
Matériel et méthodes

VI. Matériel et méthodes

VI.1 Choix du site d'étude

Notre choix est porté sur le site de l'entreprise des industries alimentaires céréalières et dérivées (E.R.I.A.D Sétif). Cette entreprise est passée par plusieurs restructurations avec son lot d'appellations : Agro Sud et actuellement Agro Div. Elle est située à Hassi Ben Abdellah.

Ce choix est motivé par les raisons suivantes :

- Le nombre important de pivots, avec la rotation des cultures.
- L'existence d'une étude antérieure sur ce site, ce qui est recherché pour estimer l'évolution temporelle du paramètre étudié.
- L'uniformité de l'itinéraire technique pour les parcelles sélectionnées.
- L'existence de différents systèmes d'irrigation.
- L'homogénéité du milieu.

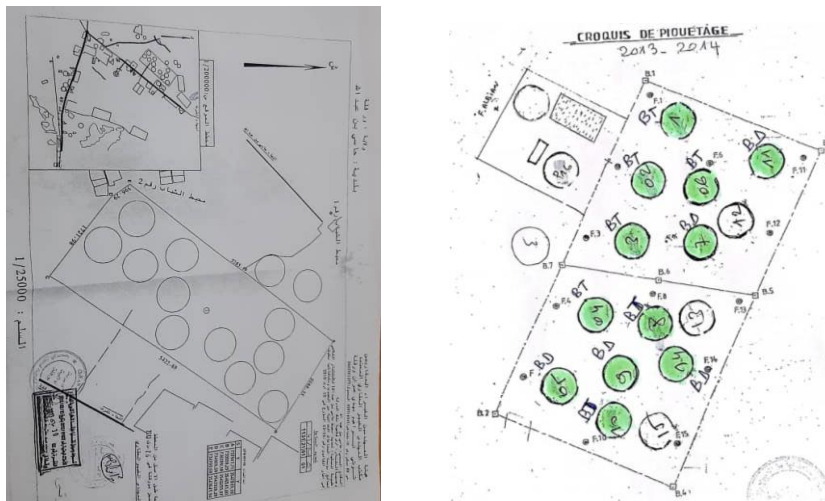


Figure 5 : Plan terrain de Hassi Ben Abdellah.

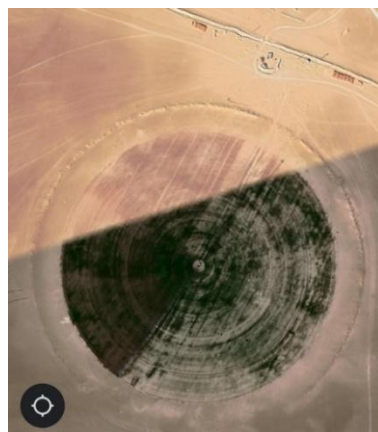


Figure 6 : Vue aérienne de l'irrigation pivot Hassi ben Abdellah.

VI.2 Présentation du site d'étude

La ferme Agro Div. a été créée en 1991 à Ouargla, dans le périmètre El Khalidj, commune de Hassi Ben Abdellah. Elle est distante d'environ 25 Km du chef lieu de la Wilaya de Ouargla.

Elle couvre une superficie totale de 1675 ha, avec une superficie exploitée estimée à 256 ha. Cette ferme spécialisée en céréaliculture compte actuellement 8 pivots de 32 ha.

En plus de la céréaliculture, la phoeniciculture trouve sa place avec un effectif de 1400 pieds couvrant une superficie de 11,5 ha, comprenant les variétés Deglet Nour, Ghars et Deglat Baida.

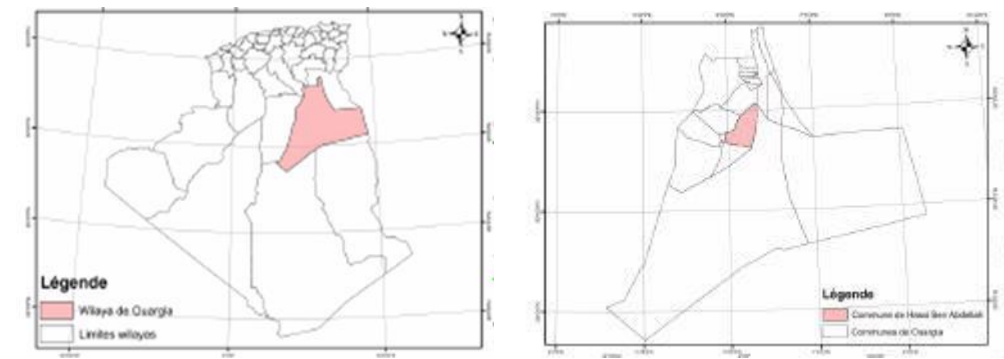


Figure 7: Localisation du site d'étude.

VI.3 Matériel et méthodes d'étude

VI.3.1 Matériel végétal

- Culture pratiquée : blé
- Saison culturale : Décembre à mai
- Coefficients culturaux : $kc = 0.3$ (stade initial), $kc = 1.05$ (stade mi saison), $kc = 0.4$ (récolte). (Laaboudia, 2004).

VI.3.2 Matériel d'irrigation

- Pivot de débit 40 l/s et une efficacité de 85%.
- Surface à irriguée : 30 ha

Les besoins en eau sont calculés par la formule de Penman-Montheith et les calculs sont effectués par le Cropwat qui est un programme informatique établi par la FAO (Smith, 1999).



Photo 4: Système de pivot sur la surface à irriguée.

VI.3.3 Mesures sur le sol

VI.3.3.1 Granulométrie

L'analyse granulométrique consiste à quantifier les particules minérales élémentaires groupées en classe et définir la composition granulométrique d'un sol (**Baize, 2000**).

Pour déterminer la granulométrie de notre sol nous avons fait passer 100 grammes de sol sur une série de tamis (2000, 1000, 500, 200, 100 et 50 μm) pour quantifier la fraction grossière (**Mathieur et Pielain, 2003**).

VI.3.3.2 Mesure des humidités du sol avant et après irrigation

Afin de mesurer l'humidité du sol avant le démarrage de l'irrigation, nous avons prélevé des échantillons de sol à 05 profondeurs différentes : 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm 60-80 cm et 80-100 cm. Des mesures d'humidité ont été réalisées au niveau des points médians des quatre axes du pivot par la méthode gravimétrique.

Cette méthode consiste à prélever des échantillons de sol et les peser avant et après séchage à l'étuve à 105 °C et pendant 24 heures (**Bittelli, 2011 ; Gaudu et al., 1993**). Cette méthode exige un matériel simple (tarière, boîte de pétri, balance et une étuve). Au laboratoire on pèse les échantillons du sol et on a la masse totale M_t . Ces échantillons sont ensuite séchés à l'étuve pendant 24 heures ensuite on procède aux pesés et on a la masse des échantillons à l'état sec M_s . La teneur en eau massique est donnée par le rapport :

$$\Theta_m (\%) = M_e / M_s$$

Où : $M_e = M_t - M_s$ (M_e étant la masse d'eau).

Les résultats des humidités du sol à ces différentes époques avant le démarrage de l'irrigation permettent de savoir à partir de quel moment le stress hydrique a commencé.

VI.3.3.3 Mesure de l'humidité à la capacité au champ

La mesure de teneur en eau à la capacité au champ a été réalisée in situ dans l'exploitation d'Agro-div. La méthode a consisté à saturer complètement le sol et le couvrir ensuite avec l'aide un film plastique. Après 24 heures quand l'écoulement gravitaire s'est arrêté, on procède aux mesures des humidités du sol qui correspondent aux teneurs en eau à la capacité au champ.



Photo 5: La capacité au champ.

VI.3.3.4 Estimation de la teneur en eau au point de flétrissement

La teneur en eau au point de flétrissement a été déterminée par la relation $CC/Hpf = 2$ (Phocaidès, 2008).

VI.3.3.5 Mesure de la conductivité électrique du sol

La conductivité électrique permet d'évaluer rapidement la minéralisation totale d'un sol. Elle a été mesurée sur un extrait 1/5 à l'aide d'un conductimètre à 25°C, selon la norme (Mathieu et Pieltain, 2009).

VI.3.3.6 Mesure du SAR

L'analyse de la composition ionique de l'eau en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}) a été faite par le dosage volumétrique en se basant sur le principe de MOHR et par spectrophotométrie à flamme pour le sodium (Na^+), le potassium (K^+).

Le taux du sodium adsorbé (SAR) est obtenu selon l'équation suivante :

$$SAR = \sqrt{\frac{[Na^+]}{\frac{[Ca^{2+}]^2 + [Mg^{2+}]^2}{2}}} \text{ m} \acute{e}q/l$$

Avec : Na^+ , Ca^{2+} , et Mg^{2+} sont exprimés en méq/l.

SAR	Degré d'alcalinisation
$\text{SAR} \leq 4$	Basse d'alcalinisation
$4 \leq \text{SAR} \leq 8$	Faible d'alcalinisation
$8 \leq \text{SAR} \leq 12$	Alcalinisation moyenne
$12 \leq \text{SAR} \leq 18$	Alcalinisation forte
$\text{SAR} \geq 18$	Alcalinisation intense

VI.3.3.7 Mesure du pH

Le pH permet de déterminer l'acidité d'un sol. Il a été mesuré sur un extrait 1/1.5 de sol à l'aide d'un pH mètre, selon l'échelle (Mathieu et Pieltain, 2009).

VI.3.4 Mesures sur le végétal

VI.3.4.1 Poids de 1000 graines

Le poids des 1000 grains est un des facteurs importants dans l'équation des composantes du rendement. Pour déterminer ce dernier, nous devons savoir le poids des 1000 grains de la semence utilisée. Pour cela, nous avons effectué différents comptages de 1000 grains pris au hasard, puis les pesés, et on calcule la moyenne des pesées pour avoir le poids moyen des 1000 grains de la semence de notre expérimentation.

VI.3.4.2 Mesure de la densité de peuplement

La densité de semis est égale au nombre de grains semés par mètre carré elle peut s'exprimer en kg de semences /ha mais cette seconde unité est variable d'une année à l'autre selon le poids des grains (exprimé en poids de 1000 grains (PMG)).

VI.3.4.3 Mesure du rendement théorique

Le rendement théorique (ou le rendement biologique) est estimé sur champs et donc sur un échantillonnage. Il est représenté par une moyenne des comptages effectués sur les échantillons (nombre de grains par mètre carré multiplié par le poids du grain).

VI.3.5 Détermination des besoins en eau du blé par le cropwat

Pour déterminer les besoins en eau du blé, nous avons utilisé le Cropwat.

VI.3.5.1 Présentation du logiciel Cropwat

Le Cropwat est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation. Il a été mis au point par la FAO en 1992. Basé sur la formule de Penman-Monteith modifiée, il permet de calculer les

besoins en eau des cultures et des quantités d'eau d'irrigation. Il offre également la possibilité de développer des calendriers d'irrigation.

VI.3.5.2 Données utilisées par le Cropwat dans le calcul des besoins en en eau

VI.3.5.2.1 Données climatiques

Pour calculer l'évapotranspiration de référence, le cropwat exige quatre données climatiques qui sont :

- Les températures moyennes mensuelles minimales et maximales (°C).
- L'humidité relative de l'aire moyenne mensuelle (%).
- La vitesse du vent moyenne mensuelle (km/jour).
- La durée d'insolation moyenne mensuelle (heures).

Les données climatiques ayant servies au calcul de l'évapotranspiration de référence sont consignées dans le tableau n°2.

Tableau 3 : Données climatiques exigées par Cropwat (source : ONM)

Mois	Temp. Min °C	Temp. Max °C	Humidité %	Vitesse du vent (Km/Jour)	Durée d'insolation (heures)
Janvier	5	18.7	61	242	7.9
Février	5.7	20.9	50	310	8.6
Mars	11.1	26.0	44	354	8.8
Avril	15.9	30.3	38	397	9.9
Mai	19.7	34.8	32	406	9.6
Juin	24.9	40.3	28	406	9.8
Juillet	28.2	43.6	25	320	10.6
Aout	27.5	42.7	27	320	10.7
Septembre	23.3	37.5	37	354	9.0
Octobre	17.7	32.1	44	285	8.5
Novembre	10.3	24.0	55	242	8.4
Décembre	6.0	19.2	61	224	7.1

Pour l'estimation du rayonnement solaire, par le cropwat, nous devons également introduire les coordonnées géographiques de Hassi Ben Abdellah :

Altitude 138 mètres

Latitude 31° 5' Nord

Latitude 5° 19 ' Est

VI.3.5.2.2 Données liées au sol

VI.3.5.2.2.1 Capacité au champ et au point de flétrissement

Le sol constitue un réservoir où l'eau d'irrigation sera stockée. Pour déterminer la réserve utile du sol et éventuellement la réserve facilement utilisable qui sont tous les deux nécessaires au pilotage des irrigations, il est indispensable de mesurer les teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement.

$$Ru = CC - Cpf$$

Où :

- Ru : réserve utile (%)
- CC : teneur en eau à la capacité au champ (%)
- Cpf : teneur en eau au point de flétrissement (%)

La teneur en eau à la capacité au champ a été déterminée in situ. Le principe a consisté à saturer le sol et le couvrir avec un film plastique et le laisser se ressayer pendant 24 heures afin d'atteindre la teneur en eau à la capacité au champ. Ensuite on procède aux mesures des humidités des sols à la capacité au champ par la méthode gravimétrique.

La teneur en eau au point de flétrissement a été obtenue à partir du rapport $CC/Cpf = 2$ (Phocaidès, 2008).

VI.3.5.2.3 Données liées au végétal

VI.3.5.2.3.1 Date de semis et date de récolte

Le semis a été réalisé le 27 décembre 2022, la récolte a eu lieu le 21 mai 2023 et l'arrêt de irrigations le 10 mai 2023.

VI.3.5.2.3.2 Phases de développement

Pour le calcul des besoins en eau des cultures, cropwat considère les phases suivantes :

- La phase initiale.
- la phase de développement.
- La phase de mi-saison.
- La phase d'arrière-saison.

Par manque de données sur les durées de chaque phase, nous avons utilisé celles proposée par le Cropwat dont les durées sont respectivement : 31 – 32 – 41 – 31 soit au total un cycle de 135 jours.

VI.3.5.2.3.3 Coefficients cultureux

Le cropwat exige également l'entrée des coefficients cultureux de la culture aux stades, initial, mi-saison et récolte. Pour cela nous avons utilisé les coefficients cultureux déterminés par **Laaboudia (2004)** à Adrar :

$K_c = 0.3$ (phase initiale).

$K_c = 1.05$ (phase mi-saison).

$K_c = 0.4$ (phase récolte).

Chapitre VII.
Résultats et discussion

VII. Résultats et discussion

VII.1 Comportement du sol

VII.1.1 Le pH

Le sol de la parcelle étudiée a un pH égal à 8. Selon l'échelle des pH des sols donnés par **Soltner (2000)**, notre sol a un pH alcalin. Ce résultat est conforme à celui donné par **Daoud et Halitim (1994)** qui stipule que les sols des régions arides sont caractérisés par un pH alcalin.

Des échantillons ont été prélevés à différents endroits et nous avons obtenu les résultats suivants :

PH=8.07	PH=7.98	PH=8.01	PH=7.99
T°=28.5°	T°=28.9°	T°=28.7°	T°=28.7°

VII.1.2 Conductivité électrique

La conductivité électrique mesurée sur la parcelle étudiée est de 0.54 ds/m. D'après la classification des sols en fonction de la conductivité électrique établie par **Mathieu et Peltain, 2009**, notre sol peut être considéré comme non salé.

Des échantillons ont été prélevés à différents endroits et nous avons obtenu les résultats suivants :

CE=0.38	CE=0.42	CE=0.40	CE=0.37
T°=28.5°	T°=28.9°	T°=28.7°	T°=28.7°

VII.1.3 Fractionnement granulométrique :

La méthode utilisée est le tamisage de la terre Fine (moins de 2 mm d'épaisseur) Après agitation de 20 g de sol sec dans 50 ml de solution d'oxygène. Nous les mettons dans un appareil qui accélère la réaction

- Nous préparons une autre bouteille contenant 500 millilitres d'eau distillée, la mettons dans un appareil qui accélère la réaction, y ajoutons de la poudre de Réxaméta phosphate à raison de 25 grammes et la remettons dans l'appareil qui accélère la réaction
- Nous préparons la première solution (sol + oxygène) et la seconde solution (eau distillée + exaphosphat)

- Nous prenons 40 ml de la deuxième solution, l'ajoutons à la première et la secouons
- Nous les distribuons dans des bouteilles en plastique, puis ajoutons la première solution, plus 40 ml de la deuxième solution, et complétons le remplissage des bouteilles avec de l'eau distillée, environ 500 ml.
- Laisser reposer 2 heures au batteur électrique et Nous divisons la solution en 5 boîtes de Pétri, puis les mettons à bien sécher.

VII.1.4 Mesure du SAR (sodium absorption ration)

Les paramètres chimiques de l'eau d'irrigation sont le pH, la conductivité électrique (CEw), le résidu sec (RS), les cations (Ca^{2+} Mg^{2+} K^+ et Na^+) et les anions (SO_4^{2-} , Cl^- et HCO_3^-). Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH- mètre en plongeant directement l'électrode de 6 à 8 cm dans l'eau d'irrigation. La mesure de la CEw a été évaluée à l'aide d'un conductimètre équipé d'un dispositif de correction de température qui permet une lecture directe à la température de référence de 25 °C. Le RS a été mesuré par séchage total d'un volume de 50 ml de l'extrait aqueux à l'étuve à 110 °C pendant 24 heures. L'analyse de la composition ionique de l'eau a été faite par le dosage volumétrique en se basant sur le principe de MOHR pour les chlorures (Cl^-), les carbonates (CO_3^{2-}), les bicarbonates (HCO_3^-), le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}) et par spectrophotométrie à flamme pour le sodium (Na^+), le potassium (K^+) et les sulfates (SO_4^{2-}). Les cations Ca^{2+} Mg^{2+} et Na^+ ont permis d'obtenir le taux du sodium adsorbé (SAR) selon l'équation (1).

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{++}]^2 + [Mg^{++}]^2}{2}}} \text{ méq/l}$$

Calculé SAR (sodium absorption ration)

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{++}] + [Mg^{++}]}{2}}} \text{ méq/l}$$

1) calculé $[Na^+]$

$$Y = 4.9143x + 4.1333$$

$$[Na^+] = x = \frac{y - 4.1333}{4.9143} \text{ mg/l}$$

$[Na^+] = x \cdot \text{facteur d'élimination mg/l}$

(S1) : solution du sol (l'extré) = 260

(S2) =180

(S3)=220

*facteur de d'élisions = 10ml

$$[\text{Na}^+] = x = \frac{260 - 4,133}{4,9143} = 52,06 \text{ mg/l}$$

$$[\text{Na}^+] = 52,06 \cdot 10 = 520,66 \text{ mg/l} / 23$$

$$= 22.63$$

$$[\text{Na}^+] = x = \frac{180 - 4,1333}{4,9143} = \frac{175.86}{4,9143}$$

$$X = 35.78 \text{ mg/l}$$

$$[\text{Na}^+] = 35.78 \cdot 10 = 357.86 \text{ mg/l} / 23$$

$$= 15.35$$

$$[\text{Na}^+] = x = \frac{220 - 4,1333}{4,9143} = \frac{215.86}{4,9143}$$

$$X = 43.92$$

$$[\text{Na}^+] = 43.92 \cdot 10 = 439.26 \text{ mg/l} / 23$$

$$= 19.09$$

2 calculé [Ca⁺⁺]

*dosage Ca⁺⁺ = V1

(S1)= EDTA=1.1 ml

(S2)=EDTA=0.4 ml } = V1

(S3)=EDTA=0.6 ml

$$[\text{Ca}^{++}] = \frac{V1.C1..A.1000.F}{V0} \text{ mg/l}$$

[Ca⁺⁺]S1=88.17 mg/l

[Ca⁺⁺]S2=32.06 mg/l

$$[Ca^{++}]S3=48.09 \text{ mg/l}$$

3) calcule $[Mg^{++}]$

$$[Mg^{++}] = \frac{V2.C1.A.1000.F}{V0} \text{ mg/l}$$

Dosage Ca^{++} et $Mg^{++} = V_{th} = V2$

(S1) : EDTA = 1.2 ml

(S2) : EDTA = 1.1 ml

(S3) : EDTA = 1.2 ml

$$V2 = V_t$$

$$V2 = (ca + Mg) - (Ca)$$

$$[Mg^{++}]S1 = 4.8 \text{ mg/l}$$

$$[Mg^{++}]S2 = 33.6 \text{ mg/l}$$

$$[Mg^{++}]S3 = 28.8 \text{ mg/l}$$

4) calculé SAR :

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{++}] + [Mg^{++}]}{2}}} \text{ méq/l}$$

$$SAR s1 = 76.45 \text{ mq/l}$$

$$SAR s2 = 62.56 \text{ meq/l}$$

$$SAR s3 = 70.84 \text{ meq/l}$$

*calculé V2 :

$$(S1) - (S1) = 1.2 - 1.1 = 0.1 \text{ ml}$$

$$(S2) - (S2) = 0.7 \text{ ml}$$

$$(S3) - (S3) = 0.6 \text{ ml}$$

Avec : Na^+ Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimés en méq/l

VII.1.5 Humidités caractéristiques

Dans la pratique, la capacité au champ et la capacité au point de flétrissement sont indispensables. Ce sont ces deux humidités qui nous ont permis de savoir si la conduite des irrigations est bien menée par les agriculteurs.

De même, la détermination de la réserve utile du sol nécessite la connaissance de ces deux caractéristiques hydriques.

VII.1.5.1 Teneur en eau à la capacité au champ (CC)

La teneur en eau à la capacité au champ a été déterminée in situ à la l'exploitation d'Agro-Div à Hassi Ben Abdellah au niveau de la parcelle étudiée.

Les résultats obtenus sur une profondeur de 100 cm sont consignés dans le tableau n°3. L'humidité moyenne du sol à la capacité au champ est de 8.04 %.

Cette valeur est conforme aux valeurs données par **Phocaidès, (2008)** pour un sol à texture grossière qui stipule que l'humidité à la capacité au champ d'un sol léger est comprise entre 8 et 10%.

Tableau 4 : Humidités à la capacité au champ du sol.

Horizons	Humidités à la capacité au champ (%)
0 – 20 cm	8.2
20 – 40 cm	8.4
40 -60 cm	7.9
60 -80 cm	8.2
80 -100 cm	7.4
Moyenne	8.04

VII.1.5.2 Teneurs en eau à la capacité au point de flétrissement Cpf)

Pour déterminer la teneur en eau au point de flétrissement, nous avons utilisé le rapport teneur en eau à la capacité au champ (CC) sur la teneur au point de flétrissement (Cpf) est

égal à 2 ($\frac{CC}{Cpf} = 2$). Les résultats des humidités au point de flétrissement sur une profondeur de 100 cm sont résumés dans le tableau 4 :

Tableau 5 : Humidités au point de flétrissement

Horizons	Humidités au point de flétrissement (%)
0 – 20 cm	4.1
20 – 40 cm	4.2
40 -60 cm	3.9
60 -80 cm	4.1
80 -100 cm	3.7
Moyenne	4

Soit une teneur en eau moyenne au point de flétrissement de 4%. Cette valeur est conforme de la celle donnée par **Phocaidès (2008)** pour un sol à texture sableuse où elle est comprise entre 4 et 5%.

VII.1.6 Calcul de la réserve utile (RU)

La réserve utile du sol est calculée à partir de la différence entre la teneur en eau à la capacité au champ (CC) et la teneur en eau au point de flétrissement (Cpf) :

$$RU = CC - Cpf = 8.04 - 4.0 = 4.04\%$$

Pour une densité de 1.4 g/cm^3 (**Dellile et Smahi, 2018**), la réserve utile en mm de sol est :

$RU = \frac{4.04}{100} \times 1.4 \times 1000 = 4.05 \times 1.4 \times 10 = 56.7 \text{ mm/m}$. Cette valeur est proche à celle donnée par **Phocaidès (2008)** pour un sol à texture grossière qui est de 60 mm/m.

VII.2 Comportement du végétal

VII.2.1 Qualité de la semence

Le taux de germination de notre semence est de 80%. Au vu des normes internationales qui stipulent que la faculté germinative doit être supérieure ou égale à 85%, notre semence présente un taux de germination non conforme aux normes internationales.

VII.2.2 Poids de 1000 grains

Le poids de 100 grains est une composante essentielle qui influencer le rendement. Les résultats obtenus donnent un poids moyen semence de 48 grammes et un poids moyen récolte de 29 grammes. Soit une différence de poids de 19 grammes et une diminution de 40%.

VII.2.3 Rendement théorique

VII.3 Humidités du sol

VII.3.1 Humidité du sol après et avant irrigation

Afin de savoir si les doses apportées par les agricultures pour l'irrigation du blé sous pivot à l'exploitation d'Agro-Div, sont bien respectées et que ces doses sont apportées avant que le végétal n'a subi un stress hydrique, nous avons procédé aux mesures des humidités du sol une heure après et une heure avant irrigation par la méthode gravimétrique.

Ces humidités sont respectivement comparées à la teneur en eau à la capacité au champ et à la teneur en eau au point de flétrissement. Rappelons que les mesures sur les humidités ont porté sur les 06 travées du pivot et sur une profondeur de 100 cm et durant les stades tallage, montaison et épiaison.

VII.3.1.1 Humidités du sol au stade tallage

Les humidités moyennes obtenues une heure après irrigation et une heure avant irrigation dans la parcelle irriguée par tranche de sol sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Humidités du sol après irrigation par tranche de sol

Horizons	Humidités 1 heure après irrigation (%)	Humidités 1 heure avant irrigation (%)
0 -20 cm	8.1	5.1
20 – 40 cm	7.5	5.6
40 – 60 cm	7.5	6.2
60 – 80 cm	7.7	5.7
80 – 100 cm	7.5	5.7

Pour comparer ces humidités avec les teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement, nous avons représenté des profils hydriques de ces humidités sur un même graphique (figure n°8).

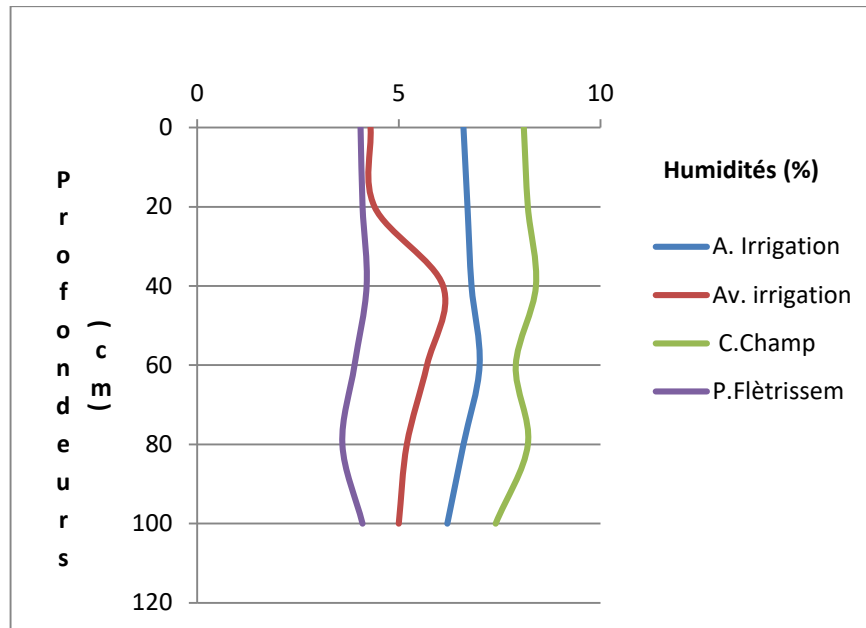


Figure 8 : Profils hydriques au stade tallage.

Au stade tallage, les besoins en eau sont moins importants par rapport aux autres stades. Néanmoins, l'observation des profils hydriques avant et après les irrigations montre que :

- Une heure après irrigation, nous observons une distribution de l'eau le long du profil proche de la teneur en eau à la capacité au champ.

- Une heure avant le déclenchement de la prochaine irrigation, nous observons une nette diminution de l'humidité du sol notamment dans l'horizon superficiel où son humidité coïncide avec l'humidité au pont de flétrissement permanent. Au-delà de cette profondeur, l'humidité du sol reste relativement supérieure à la capacité au point de flétrissement permanent. A ce stade de développement, le système racinaire de la culture du blé se retrouve devant un stress hydrique important car le niveau de développement de son système racinaire ne peut lui faire profiter de l'eau des horizons sous-jacents.

En observant les humidités obtenues une heure après irrigation, on constate que ces humidités sont légèrement inférieures aux teneurs en eau à la capacité au champ sur la tranche 0-20 cm. Puis à partir de la tranche 50-100 cm la teneur en eau à la capacité au champ devient légèrement supérieure à l'humidité du sol après une heure de l'irrigation. L'humidité moyenne au niveau de toute la parcelle elle est aux environs de 7.98%. Elle est pratiquement égale à la teneur en eau à la capacité au champ qui est en moyenne égale sur une profondeur de 100 cm à 7.94%.

VII.3.1.2 Humidités du sol au stade montaison

Au stade montaison, le blé exige une bonne humectation du sol puisque durant ce stade il y aura l'élongation des tiges et la production de la matière sèche. Ce qui rend la plante plus exigeante en eau. Les résultats sur les humidités du sol relevées une heure après et une heure avant irrigation dans la parcelle d'étude sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Humidité du sol une heure après et une heure avant irrigation.

Tranches de sol	Humidités 1 heure après irrigation (%)	Humidités 1 heure avant irrigation (%)
0-20	8.2	5.7
20-40	7.8	6.5
40-60	7.7	6.2
60-80	7.4	6.7
80-100	7.4	6.8

Nous avons également représenté sur un même graphique Les profils hydriques de ces deux humidités, la teneur à la capacité au champ et le point de flétrissement (figure n°9).

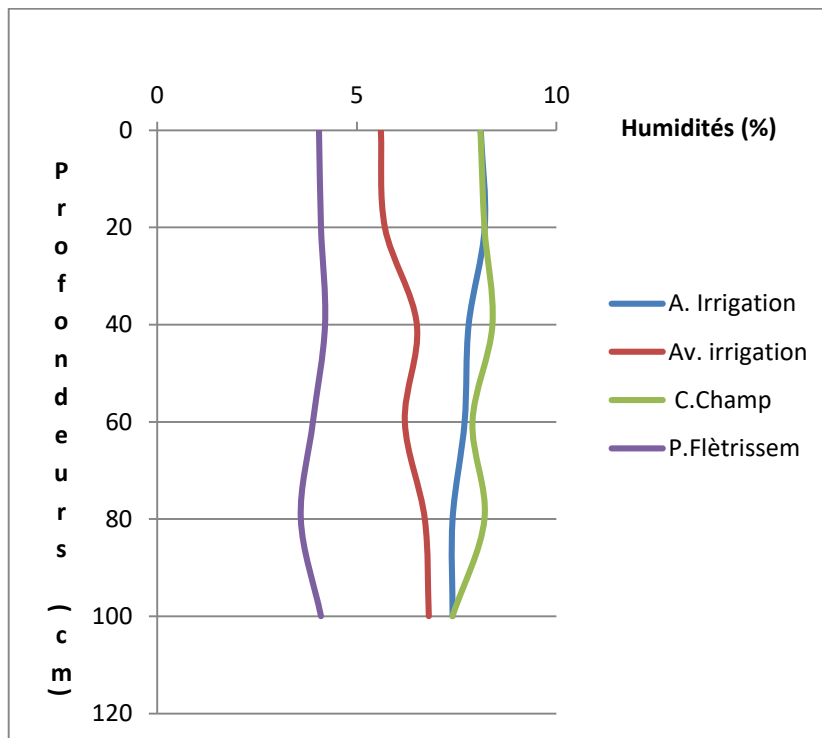


Figure 9 : Profils hydriques au stade montaison.

L'observation de ces courbes montre que la distribution de l'eau de l'eau dans le profil indique :

- Une humidité du sol une heure après irrigation homogène le long du profil et que ces humidités dans les différents ne diffèrent pas d'une manière significative de la teneur en eau à la capacité au champ.

- Une humidité du sol une heure avant irrigation loin de la teneur en eau au point de flétrissement permanent.

- D'une manière générale, les résultats indiquent une bonne alimentation en eau durant le stade montaison.

VII.3.1.3 Humidités du sol au stade épiaison

A partir du stade épiaison où le blé est en pleine croissance et qui coïncide avec une période où la demande climatique est importante, les besoins en eau du blé deviennent importants et tout manque d'eau dans le sol peut compromettre le rendement.

Les résultats sur les humidités une heure avant et une heure après irrigation sont résumés dans le tableau n° 7:

Tableau 8 : Humidité du sol une heure après et une heure avant irrigation

Tranches de sol	Humidités 1 heure après irrigation (%)	Humidités 1 heure avant irrigation (%)
0-20	6.7	4.4
20-40	6.8	6.1
40-60	7	5.7
60-80	6.6	5.2
80-100	6.2	5

Nous avons également représenté les profils hydriques correspondant à chacune de ces humidités, ainsi que les humidités à la capacité au champ et le point de flétrissement (figure n°10).

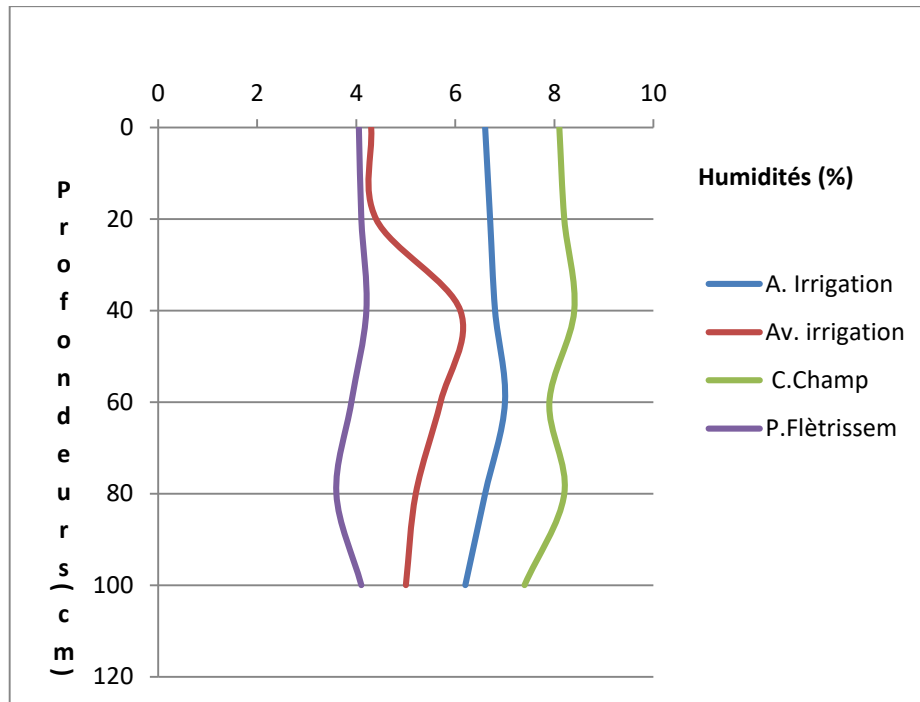


Figure 10 : Profils hydriques au stade épiaison

L'observation de ces courbes indique :

- Une distribution de l'humidité du sol une heure après irrigation homogène sur tout le profil du sol, mais qui reste toujours inférieure à la teneur en eau à la capacité au champ.

Une humidité du sol une heure avant irrigation très faible et presque égale à la teneur en eau au point de flétrissement permanent sur toute la couche superficielle du sol (0 – 20 cm). Cet assèchement a touché également la couche du sol située entre 20 et 30 cm. Par contre dans les horizons profonds l'humidité du sol reste relativement élevée, loin du système racinaire et par conséquent non disponible à la plante.

D'une manière générale, les résultats obtenus indiquent un déficit hydrique pouvant avoir des conséquences néfastes sur la production.

VII.3.2 Humidités du sol au niveau des axes

Dans le but de savoir au bout de combien d'heures commence le stress hydrique avoir effectué une irrigation complète (c'est-à-dire quand le pivot a fait un tour complet), nous avons mesuré l'humidité du sol au milieu des quatre axes (figure n°11).

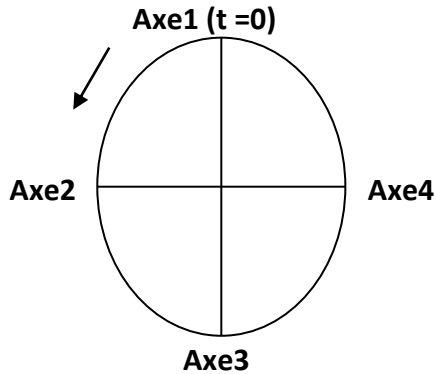


Figure 11 : Humidités du sol au niveau des axes

VII.3.2.1 Stade tallage

Au cours du stade tallage, le pivot a effectué un tour complet en 24 heures. Les résultats des humidités mesurées au niveau des quatre axes et sur les différentes tranches du sol sont donnés dans le tableau n° 8.

Tableau 9 : Humidités du sol au niveau des axes au stade tallage.

Horizons	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
0-20	5.0	4.7	6.7	7.5
20-40	5.1	5.2	6.5	8.2
40-60	5.8	4.3	6.8	7.1
60-80	4.8	4.2	7.4	8.6
80-100	4.5	5.1	8.1	8.7

Dans la figure n°12 nous avons représenté les profils hydriques relatifs à chaque'un des axes étudiés.

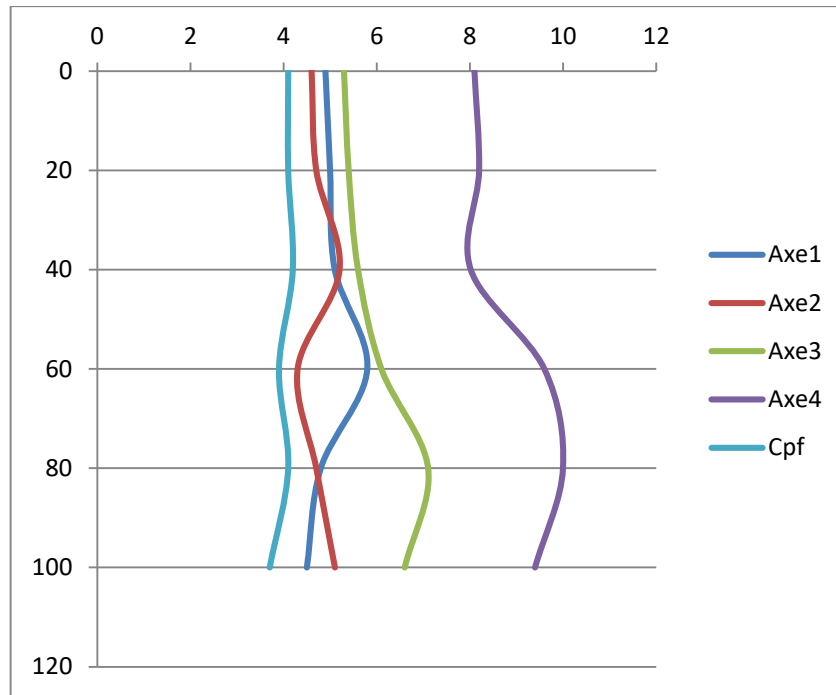


Figure 12 : Humidités du sol au niveau des quatre axes au stade tallage.

L'évolution des profils hydriques montre que les humidités des axes 1 et 2 sont très proches de la teneur en eau à la capacité au point de flétrissement permanent dans la couche 0 – 40 cm où se concentre la plus grande masse racinaire. De ce fait on peut affirmer que la plante a subi un stress hydrique au bout de 18 heures après l'arrêt du pivot.

L'humidité des horizons profonds (≥ 50 cm) de l'axe 4 (6 heures avant l'arrêt du pivot) dépasse largement la capacité au champ, ce qui a provoqué un père d'eau considérable en profondeur.

VII.3.2.2 Stade montaison

Les résultats sur les humidités obtenus sur les quatre axes sont donnés dans le tableau n° 9.

Tableau 10 : Humidités du sol au niveau des axes au stade montaison.

Horizons	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
0-20	4.9	5.3	6.7	7.5
20-40	6.5	6.6	6.5	8.2
40-60	5.3	5.8	6.8	7.1
60-80	5.1	7.1	7.4	8.5
80-100	6.0	6.2	8.1	8.7

Dans la figure n°13 nous avons représenté l'évolution des profils hydriques des quatre axes.

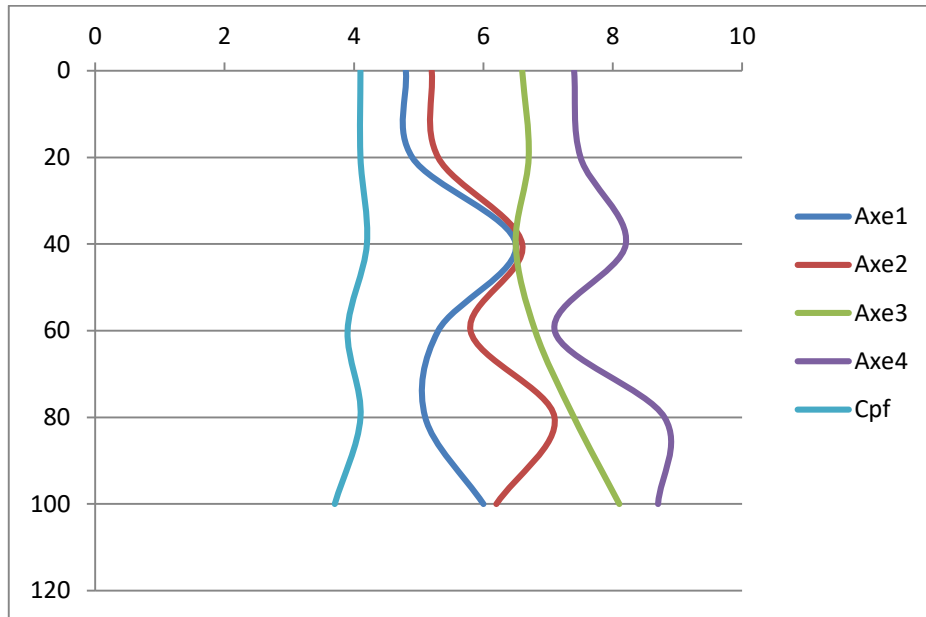


Figure 13 : Humidités du sol au niveau des quatre axes au stade montaison.

Au cours de ce stade végétatif, le pivot effectue un tour complet au bout de 36 heures. L'évolution des profils hydriques des quatre axes indique une humidité proche du point de flétrissement permanent dans les horizons superficiels des axes 1 et 2. Autrement dit la culture a subi un stress hydrique de 9 heures.

VII.3.2.3 Stade épiaison

Le tableau n°10 donne les résultats des humidités obtenus dans les quatre axes.

Tableau 11 : Humidités du sol au niveau des axes au stade épiaison

Horizons	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
0-20	5.7	5.4	5.2	5.9
20-40	6.5	5.9	6.1	6.5
40-60	6.0	6.1	6.3	6.1
60-80	5.1	5.3	5.9	5.7
80-100	4.9	5.0	5.1	5.5

La figure n°12 donne l'évolution des humidités du sol en fonction de la profondeur des quatre axes étudiés.

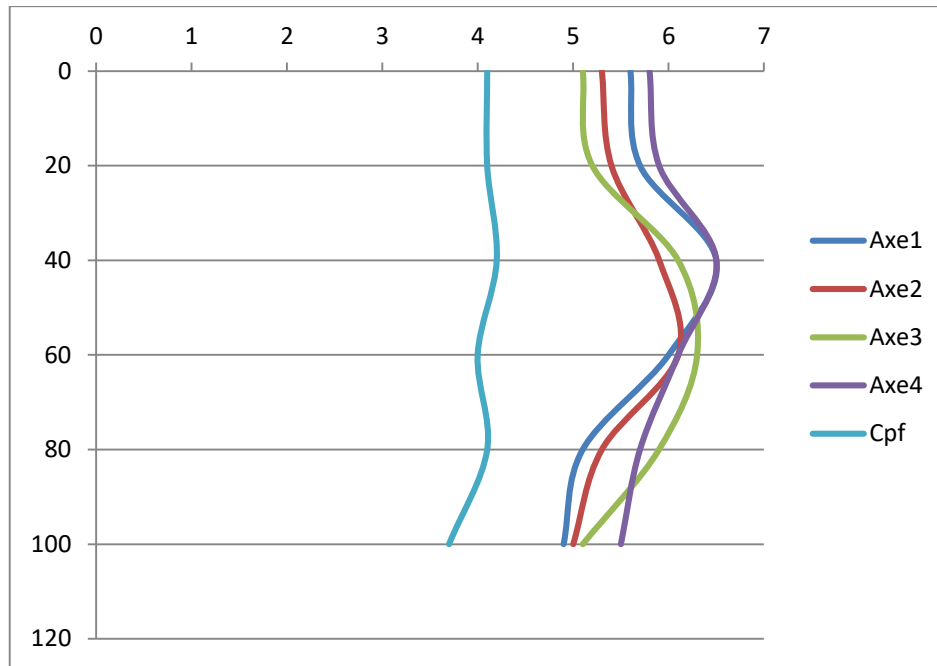


Figure 14 : Humidités du sol au niveau des quatre axes au stade épiaison.

Comme dans la montaison, le pivot effectue un tour complet en 36 heures. Durant ce stade critique de la culture, Le stress hydrique apparait dans l'axe 3. Autrement dit la culture a subi un stress hydrique au bout de 18 heures et ce stress a duré 18 heures.

VII.4 Programmation des arrosages

Dans ce paragraphe et en fonction des résultats obtenus dans les paragraphes précédents, nous essayons de proposer un calendrier d'irrigation du blé dans la zone de Hassi Ben Abdellah qui permet en même temps d'éviter les stress hydriques et les pertes d'eau par percolation en profondeur.

VII.4.1 Calcul des besoins en eau de la culture du blé à Hassi Ben Abdellah

VII.4.1.1 Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET₀)

Afin de calculer l'évapotranspiration de référence ET₀, le Cropwat exige quatre facteurs climatiques qui sont, les températures moyennes maximales et minimales, l'humidité de l'air, la vitesse du vent et la durée d'insolation.

Tableau 12 : Résultats des évapotranspirations de référence obtenues par cropwat

Mois	ETo (mm/jour)	ETo (mm/mois)
Janvier	2.51	77.5
Février	3.8	106.4
Mars	5.6	173.6
Avril	7.6	228
Mai	9.4	291.4
Juin	11.1	330.2
Juillet	11.0	350.3
Aout	10.6	325.5
Septembre	8.7	261.0
Octobre	6.3	195.2
Novembre	3.3	105.0
Décembre	2.4	74.4
Total		2518 mm

Le tableau 11 nous donne les valeurs des évapotranspirations de référence obtenues par Cropwat exprimées en mm/jour en mm/mois.

Dans ce tableau, nous constatons que l'évapotranspiration de référence à Hassi Ben Abdellah est grande et elle atteint 2518 mm annuellement. Durant la période de décembre au mois de mai et qui correspond à la période de développement du blé à Hassi Ben Abdellah (semis en décembre et moisson au mois de mai), l'évapotranspiration atteint une valeur de 951.3 mm soit 37.7% de l'évapotranspiration totale. Du point de vue pratique, cette période est convenable pour cultiver le blé car elle permet de faire une économie d'eau appréciable.

Pour mieux apprécier la variation de l'évapotranspiration dans le temps, une analyse des résultats à l'échelle mensuelle est réalisée. Pour cela, nous avons représenté graphiquement l'évolution des évapotranspirations de référence (figure 13) :

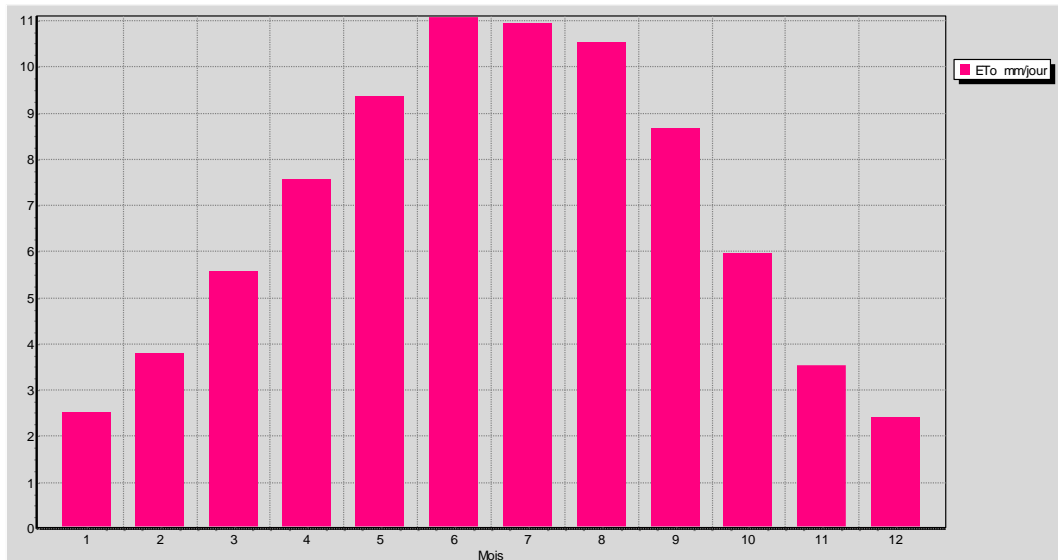


Figure 15 : Evolution des évapotranspirations de référence en fonction des mois de l’année à Hassi Ben Abdellah

En effet la figure 13 montre des valeurs mensuelles moyennes qui s’échelonnent inégalement au cours de l’année. Un accroissement s’observe à partir du mois de janvier pour atteindre un maximum durant la période estivale. Les valeurs les plus basses s’observent en hiver et le printemps. Cette période de faibles évapotranspirations s coïncide avec le cycle végétatif de la culture du blé, par conséquent cela permet de faire une économie d’eau appréciable.

VII.4.1.2 Calcul de la pluie efficace

La pluie efficace est la quantité de pluie qui s’accumule dans le sol après une précipitation. Pour le calcul des pluies efficaces, nous avons introduit les pluies mensuelles dans le cropwat qui à son tour utilise la formule de l’USDA pour calculer les pluies efficaces. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Valeurs des pluies et des pluies efficaces à Hassi Ben Abdellah (Source : ONM).

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Tot
Pluies (mm)	10	0.7	4.7	2.3	0.2	0.6	0.3	1.8	4.0	6.0	6.0	4.0	41
Pluies efficaces (mm)	9.8	0.7	4.7	2.3	0.2	0.6	0.3	1.8	4.0	5.9	5.9	4.0	40.6

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les pluies efficaces sont de l'ordre de 40.6 mm par an. Ce qui représente 99% des pluies totales. Cette quantité reste très faible et ne participe pas à l'alimentation en eau de la culture et de ce fait elle sera considérée comme nulle dans le calcul des besoins en eau du blé à Hassi Ben Abdellah.

VII.4.1.3 Calcul des besoins en eau

Après avoir calculé l'évapotranspiration de référence, et introduit les données sur la culture (coefficients culturaux par stade végétatif) et les pluies mensuelles (considérées comme nulle), le logiciel Cropwat nous calcule directement les besoins en eau en faisant un bilan hydrique. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau n°13.

Tableau 14 : Besoins en eau du blé en mm/décade

Mois	Décades	Phases	Coefficient culturaux (kc)	ETC (mm/j)	ETC (mm/décade)	Pluies efficaces	Besoins en eau (mm/décade)
Déc	1	Init.	0.3	0.72	3.6	0.0	3.6
Janv	1	Init.	0.3	0.72	7.2	0.	7.2
Janv	2	Init.	0.3	0.72	7.2	0.0	7.2
Janv	3	Crois.	0.34	0.96	10.6	0.0	10.6
Fév	1	Crois	0.57	1.93	19.3	0.0	19.3
Fév	2	Crois.	0.83	3.15	31.5	0.0	31.5
Fév	3	Mi-sais.	1.06	4.65	37.2	0.0	37.2
Mars	1	Mi-sais.	1.13	5.62	56.2	0.0	56.2
Mars	2	Mi-sais.	1.13	6.28	64.8	0.0	64.8
Mars	3	Mi-sais.	1.13	7.04	77.4	0.0	77.4
Avril	1	Ar-sais.	1.13	7.77	77.7	0.0	77.7
Avril	2	Ar-sais.	0.98	7.38	73.8	0.0	73.8
Avril	3	Ar-sais.	0.74	6.05	60.5	0.0	60.5
Mai	1	Ar-sais.	0.51	4.43	44.3	0.0	44.3
Total					569.3	0.0	569.3

VII.4.1.4 Pilotage des irrigations

Nous avons établi un calendrier d'irrigation de la culture du blé à Hassi Ben Abdellah à l'aide du logiciel Cropwat. Pour cela, nous avons opté pour un programme en fonction des critères suivants :

- Irriguer quand 30% de la réserve utile est épuisée dans les stades initiaux et croissance ensuite 50% au stade arrière-saison.

- Le nombre d'heures de fonctionnement du pivot pour apporter les doses d'arrosage ne doit pas dépasser les 20 heures dans les stades critiques de la plante pour éviter les stress

hydriques. Le tableau n° donne un calendrier d'arrosage du blé à Hassi Ben Abdellah établi avec le logiciel cropwat.

- Les doses d'arrosages sont déterminées en établissant un bilan hydrique en considérant que les pluies sont nulles. Autrement dit les doses d'arrosages sont égales à l'évapotranspiration maximale.

Tableau 15 : Calendrier des arrosages du blé

Date		Doses brutes (mm)	Nombre d'heures de fonctionnement du pivot
Fin octobre	Irrigation avant semis (pour humidifier une profondeur de 0.50m de sol)	10588 m ³	98 heures (4jours)
27 déc	Semis		
3 Janv.	Irrigation	5.8	12 heures
12 Jan	Irrigation	6.5	13 heures
21Janv.	Irrigation	6.8	14 heures
29 Janv.	Irrigation	7.7	16 heures
3 Fév.	Irrigation	7.7	16 heures
11 Fév.	Irrigation	8.9	18 heures
14 fév.	Irrigation	9.5	20 heures
17 Fév.	Irrigation	9.5	20 heures
20 Fév.	Irrigation	9.5	20 heures
22 Fév.	Irrigation	9.3	20 heures
24 Fév.	Irrigation	9.3	20 heures
26 Fév.	Irrigation	9.3	20 heures
28 Fév.	Irrigation	9.3	20 heures
Du 1 ^{er} au 9 Mars	Irrigation quotidienne	5.6	12 heures
Du 10 au 19 mars	Irrigation quotidienne	6.3	12 heures

Du 20 au 31 mars	Irrigation quotidienne	7	15 heures
Du 1 ^{er} au 10 avril	Irrigation quotidienne	7.8	16 heures
Du 11 au 20 avril	Irrigation quotidienne	7.4	16 heures
Du 21 au 30 avril	Irrigation quotidienne	6	12 heures
Dau 1 ^{er} au 9 mai	Irrigation quotidienne	5	12 heures

Nos résultats révèlent que La quantité d'eau totale consommée par le blé dans la région de Ouargla est de 512 mm pendant tout son cycle végétatif. Cette consommation est conforme à celle proposée par **Doremboos et Kassam (1980)** qui ont signalé que les besoins en eau du blé donnant les bons rendements sont de l'ordre de 450 à 650 mm. Nos résultats sur les besoins en eau du blé sont également proches de ceux obtenus par **Boulaassel (1997)** à Gassi-Touil.

Conclusion

Au vu des réserves d'eau importantes des nappes souterraines dans les régions sahariennes et sous la pression sociale d'une demande alimentaire forte (notamment en céréales), les pouvoirs publics ont mis en œuvre un vaste programme de mise en valeur des terres agricoles.

Dans les régions sahariennes, la céréaliculture sous pivot est confrontée à un ensemble de contraintes qui freinent son développement. Parmi ces contraintes, la gestion des irrigations sous centre pivot constitue le principal facteur pour garantir une bonne productivité.

Cette étude vise de contribution au diagnostic des pratiques d'irrigation du blé sous centre pivot de 30 hectares à Hassi ben Abdellah emblavé de blé dur.

La méthodologie adoptée a consisté à faire des mesures des humidités du sol après et avant les irrigations afin de juger de la qualité de la distribution de l'eau sur toute la surface du pivot.

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que le sol de l'exploitation étudiée est de texture sableuse à pH alcalin et faiblement salé. La teneur en eau à la capacité au champ avoisine les 8% et la teneur en eau au point de flétrissement est de l'ordre de 4%. Ce type de sol à texture légère nécessite des irrigations fréquentes avec de faibles doses pour éviter les stress hydriques et les pertes en eau en profondeur.

Le poids de 1000 grains a connu une très forte diminution par rapport au poids de 1000 grains semences. Cela est du sans doute à une mauvaise alimentation hydrique.

L'observation des profils hydriques obtenus au stade épiaison, montre une humidité du sol après irrigation inférieure à la capacité au champ et une humidité du sol avant irrigation très proche de teneur en eau au point de flétrissement permanent. D'où on peut dire que pendant ce stade sensible de la culture, le blé a subi un stress hydrique.

Les humidités du sol mesurées dans les quatre axes du pivot montrent que le blé a subi un stress hydrique à partir de l'axe2 pour les deux premiers stades (tallage et montaison) et à partir de l'axe3 pour le stade épiaison. Ce constat nous conduit à opter pour les fortes vitesses du pivot de telle sorte que le pivot effectue un tour complet au bout d'un temps inférieur à 20 heures.

Au regard des résultats obtenus sur les humidités du sols et afin d'éviter les stress hydriques, nous avons proposé un calendrier d'arrosage du blé sous pivot à Hassi ben Abdellah. Ce calendrier se caractérise par des irrigations fréquentes, avec de faibles doses et une vitesse relativement élevée du pivot.

Recommandations-Perspectives

Les mesures d'humidité que nous avons effectuées au cours de notre étude sur la culture du blé irrigué par centre pivot à Hassi ben Abdellah au cours des différents stades végétatifs ont montré que les agriculteurs apportent des doses largement supérieures aux besoins nets du blé. L'excès d'eau percole dans les horizons profonds dépassant de loin la zone racinaire. Ces quantités d'eau même très importantes apportées dans un sol très filtrant et à très faible rétention ont engendré au cours des différents stades végétatifs des stress hydriques avant même de démarrer l'irrigation qui suit.

Le calendrier d'arrosage établi par le logiciel cropwat pour l'irrigation du blé sous pivot à Hassi ben Abdellah et qui tient compte des caractéristiques du sol (faible capacité de rétention, perméabilité élevée...), du climat et des caractéristiques du végétal permettra d'éviter les stress hydriques et satisfaire les besoins en eau du blé sans provoquer des pertes en eau dans les horizons profonds.

L'application de ce programme d'irrigation in situ et l'évaluation des impacts sur la productivité dans les parcelles du blé irriguées par centre pivot dans les exploitations agricoles de Hassi ben Abdellah est nécessaire pour juger de la performance de ce programme.

**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- **Ait Kaki S., 2008.** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie. Thèse doctorat, Université de Annaba, 174p.
- **Ait-slimane-ait-kaki S., 2008.** Contribution à l'étude de l'interaction génotype x milieu, pour la qualité technologique chez le blé dur en Algérie. Thèse de doctorat. Thèse Doctorat Sciences. Université Annaba.150p.
- **Aknouche D. et Laib R., 2017.** Amélioration de la production du blé dur : cas de la zone sud de Constantine. Thèse de Master. Université de Constantine. 69p.
- **Alismail W. et al., 2017.** Influence de la densité de semis sur la production du blé dur dans la zone semi-aride du Haut Cheliff. Thèse de mastère. Univ de Khemis-Miliana.51p.
- **Allen R., Pereira L., Raes D. et Smith M., 1998.** Crop evapotranspiration, guidelines for computing Cropwat requirements. FAO irrigation and drainage paper, 297p.
- **Aubert, 1976.** Les sols sodiques en Afrique du nord Ann, de l'INA d'Alger, vol, VI, n°1, page 185-196
- **Aubert, G. 1983.** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cah. ORSTOM Ser. Péd., Vol. XX N°1, pp73-78.
- **Augustin M., 1965.** Premier cours national post gradué sur l'irrigation, le drainage et la gestion des ressources hydriques. IICA.159p.
- **Bittelli M., 2011.** Measuring soil water content. A review Hort Technology 21 , 293-300.
- **Bouchet et Hallaire, 1964.** Notions sur la réserve facilement utilisable.
- **Boulaassel A., Mouhouche B., Maatallah H., 1997.** Optimisation de l'irrigation d'appoint sur deux variétés de blé dur (Waha et ACSAD 65). Thèse de magister, INA El Harrach.
- **Bouthiba A., 2007.** Optimisation d'irrigation de complément du blé dans la région de Chlef, Thèse de docteur d'état en Science Agronomique, Université de Chlef ,112 P.
- **Brennan J. L. et al.** "Wheat: Production, Properties and Quality".
- **Brett F. Carver et R. Paul Singh.** "Wheat: Science and Trade".
- **Burt C. M. et al., 2012.** "Pivot irrigation systems", article de C. M. Burt et al. publié dans Advances in Irrigation.

- **Casnin C et al., 2013.** Le blé, une plante modèle pour étudier la biologie végétale au lycée (enseignants-associés à l'Ifé-ENS de Lyon.
- **Cemagref, 2003.** Irrigation- Guide pratique 3^{ème} édition.
- **Cheverry .CL., 1972.** Contribution à L'étude pédologique des polders du Lac Tchad. Dynamique des sels en milieu aride continental et subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse doc, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 275p.
- **Daoud Y., Halitim A., 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse n° 3, Vol. 5, 156-160.
- **Doorembos J., Kassam A.H., 1979.** Réponse des rendements à l'eau. Bull. FAO d'irrigation et de drainage, n°33, Rome.
- **Doorembos J., Pruitt W.O., 1975.** Les besoins en eau des cultures, bulletin FAO d'irrigation et de drainage n° 24, Rome.
- **Douaer a et al., 2018.** Contribution à l'étude de l'effet de stress hydrique sur quelques Variétés de Blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de mastère. Univ de Khemis-Miliana.44p.
- **El-Nashaar H. T. et al., 2017.** "Design and evaluation of a low-cost center pivot irrigation system", article de publié dans Agricultural Water Management.
- **FAO, 1988.** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin d'irrigation et de drainage, 29 Revel, 181 p.
- **Filali F., 2003.** Bilan hydrique à la parcelle. Thèse magister. INA, El-Harrach, Alger
- **Gandouz A., 2014.** L'évaluation de certains indicateurs optiques liés au comportement du blé, sous-l'influence de différents systèmes d'irrigation. Diplôme de doctorat.Univ. Ferhat Abbas Sétif 1.35p.
- **Gaucher G., Burdin S, 1974.** Géologie, géomorphologie et hydrogéologie des terrains salés. P.U.F. Paris, 231p.
- **Gaudu J.C.,** Mesure de l'humidité des sols par une méthode capacitive : analyse des facteurs influençant la mesure. Ann. Agron. 13, 57-73.
- **Halitim A, 1988.** Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U., Alger, 384p.
- **Halitim A., 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3eme cycle. Univ de Renne, 176 p.
- **Hamdani H et al., 2018.** Effet insecticide de l'huile essentielle de *Pittosporum tobira* (Pittosporaceae) sur l'insecte ravageur du blé en post-récolte «*Tribolium castaneum*»(Herbst). Thèse de mastère. Univ de Khemis- Miliana.49p.

-
- **Hamidi, N. et Derouiche, H., 2017.** Enquête sur la situation de la céréaliculture sous pivot dans la wilaya de Ouargla (cas Hassi Ben Abdallah-Ain Al Baida). Mémoire Master académique. UKM Oaurgla. 70 P.
 - **Hannachi A., 2017.** Aptitude à la combinaison, sélection mono et multi caractères et adaptabilité du blé dur (*Triticum durum*).
 - **ITGC, 2006.** Guide des principales variétés de céréales à pailles en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine).
 - **Johnson R. M., 1995.** "Pivot irrigation: a brief history of its development and use", article de publié dans Irrigation and Drainage Systems.
 - **Khalil Khan et Peter R. Shewry.** "Wheat: Chemistry and Technology".
 - **Kilkifarmer.** Besoins en eau du blé et système d'irrigation.
 - **Krishnappa-Gowda L. et al.** "Wheat Science and its Yield Improvement".
 - **Laaboudi M. et al., 2004.** Les besoins en eau de la culture du blé dans les régions désertiques (cas de la wilaya d'Adrar). Recherche Agronomique. Vol. 8, n° 15, 7-19.
 - **Laplante L., 1962.** Etude pédologique du comté de lévis. Ministère de l'agriculture e de a colonisation. Pprovince du québec. Bul. Technique pédologique. Ed 2016 n°16.
 - **Leopold R. et Ruelle P., 2003.** Irrigation, guide pratique.
 - **Mathieu C. et Pieltain, 2009.** Analyse chimiques des sols : éthodes choisies. 2^{ème} édition Tec et Doc Lavoisier. 307p.
 - **Menacer A., 2009.** Essai de l'optimisation de la fertilisation organique de la culture de pomme de terre dans les conditions salines des régions sahariennes (Cas de Ouargla). Mém. Ing, Ouargla, 114p.
 - **Mouhouche B., 2003.** Polycopie de cours d'irrigation. INA, El-Harrach, Alger.
 - **Parker J. M. D. et D. E. Fairbrother.** "Biology of Wheat".
 - **Perrie A., 1977.** Projet de définition concernant l'évapotranspiration en fonction de considérations théoriques et pratiques. La météorologie, numéro spécial « évapotranspiration », 6(11) ; 7-16.
 - **Poiree M. et Ollier CH., 1983.** Irrigation : les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages, 6^{ème} édition. Eyrolles, Paris
 - **Seguin B., 1975.** Etude comparée des méthodes d'estimation d'ETP en climat méditerranéen du sud de la France (région d'Avignon). Ann. Agon., 671-691.
 - **Servant. J.M., 1970.** Etude expérimentale des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques, science du sol. p.p.85.105.

- **Soltner D., 2000.** Les bases de la production végétale. Tome 1 : le sol et son amélioration. 22^{ème} édition. Collection science et Techniques agricoles, 464p.
- **Tiercelin J.R., 1998.** Traité d'irrigation, 147p.
- **US Geological Survey, 2015.** "Center pivot irrigation and water use efficiency in the western US".
- **William W. B. Hoyle et Richard D. Whan.** "The Wheat Book: Principles and Practice".
- **Zahow. M.F., Amrhein C., 1992.** Reclamation of a saline sodic soil using synthetic polymers and gypsum. Soil Sci. Soc. Am. J. 56, pp. 1257-1260.
- **Zella I.,** Irrigation, eau, sol et plante. OPU, 214-2211.

- **Marcussen, T., Sandve, S. R., Heier, L., Spannagl, M., Pfeifer, M., & Jakobsen, K. S. (2014).**
Ancient hybridizations among the ancestral genomes of bread wheat. Science, 345(6194), 1250092.
- **Sreenivasulu, N., Schnurbusch, T., & Wobus, U. (2012).**
Barley as a model to explore the genomics of grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60(4), 1123-1135.
- **Feuillet, C., Travella, S., Stein, N., Albar, L., Nublat, A., & Keller, B. (2003).**
Map-based isolation of the leaf rust disease resistance gene Lr10 from the hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) genome. Proceedings of the National Academy of Sciences, 100(25), 15253-15258.
- **Gianibelli, M. C., Larroque, O. R., MacRitchie, F., & Wrigley, C. W. (2002).**
Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its Componentsubunits. Cereal Chemistry, 79(6), 705-713.
- **Jones, D. L., Hodge, A., & Kuzyakov, Y. (2004).**
Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. New Phytologist, 163(3), 459- 480.

- **Oberson, A., Joner, E. J., & Frossard, E. (2007).**
Microbial turnover of phosphorus in the rhizosphere of maize and wheat.
Soil Biology and Biochemistry, 39(5), 1175-1187.
- **Liu, X., Herbert, S. J., Hashemi, A. M., & Zhang, X. (2019).**
Root properties and root exudates of two wheat genotypes affect soil catalase activity and
aggregate stability. PLoS ONE, 14(1), e0211250.
- **Poudel, D. D., Horwath, W. R., Laney, C., & Temple, S. R. (2019).**
Crop rotation and irrigation effects on the temporal dynamics of soil bacterial
communities. Microbial Ecology, 77(2), 316-330.
- **Gheysari, M., Mirlatifi, S. M., & Bannayan, M. (2017).** Performance of center
pivot irrigation systems with various nozzle sizes in relation to wind speed. Irrigation
Science, 35(2), 143-152.
- **Bjornlund, H., Stirzaker, R., Thomas, D., & Mein, R. (2017).** Productivity of
center pivot irrigation systems in Australia: Variability, factors affecting performance,
and opportunities for improvement. Agricultural Water Management, 187, 73-83.
- **Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (2016).** Status and future directions of
land surface hydrologic parameter estimation in land surface models. Hydrological
Processes, 18(11), 2135-2145.

Annexes

Annexe 2 : Les données climatiques de la région de Ouargla (2011-2021).

	T(min.)	T(max.)	T(moy.)	H%	P (mm)	V(km/h)
Janvier	04.84	19.21	11.96	49.12	01.70	19.38
Février	06.57	20.84	13.60	41.91	03.35	22.44
Mars	10.47	25.32	18.19	35.86	05.49	24.14
Avril	15.65	30.86	23.70	28.89	34.54	26.78
Mai	20.38	35.60	28.56	23.47	02.59	26.70
Juin	25.01	40.49	33.40	20.23	00.23	25.00
Juillet	28.17	43.84	36.72	17.51	00.00	22.87
Aout	27.59	42.34	35.38	20.95	00.30	22.74
Septembre	23.91	38.39	31.35	28.18	05.82	23.14
Octobre	17.20	31.46	24.38	35.86	03.63	19.61
Novembre	10.58	24.22	17.22	45.10	02.82	18.48
Décembre	05.95	19.41	12.16	56.15	03.56	17.66
Moyennes	16.36	31.00	23.86	33.60		22.41
Cumule annuel					64.03	

(Tutiempo.2021)

Annexe 3 : Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 du sol à 25°C (Mathieu et Pieltain, 2009).

CE Extrait dilué 1/5 à 25°C	Classe de salinité
$CE \leq 0.6$	Non salé
$0.6 \leq CE \leq 1$	Légèrement salé
$1 \leq CE \leq 2$	Salé
$2 \leq CE \leq 4$	Très salé \geq
≥ 4	Extrêmement salé

Annexe 4 : Humidité du sol avant et après irrigation au stade tallage.

Traitement	Horizons(cm)	Humidité 1heure avant l'irrigation(%)	Humidité 1heure Après l'irrigation(%)	D(%)
Travée 1	0-20	4,99	7,42	48,70
	20-40	5,18	6,61	27,61
	40-60	5,79	5,18	-10,54
	60-80	4,80	6,19	28,96
	80-100	4,52	6,06	34,07
Travée 2	0-20	4,75	8,12	70,95
	20-40	5,20	7,88	51,54
	40-60	4,33	7,20	66,28
	60-80	4,20	7,33	74,52
	80-100	5,13	6,82	32,94
Travée3	0-20	5,45	8,21	50,64
	20-40	5,63	8,02	42,45
	40-60	6,12	9,65	57,68
	60-80	7,18	10,02	39,55
	80-100	6,65	9,42	41,65
	0-20	6,23	9,65	54,90
Travée4	20-40	6,52	9,18	40,80
	40-60	7,18	8,78	22,28
	60-80	6,56	9,02	37,50
	80-100	7,02	8,65	23,22
	0-20	4,73	7,82	65,33
Travées5	20-40	5,32	6,69	25,75
	40-60	5,90	7,14	21,02
	60-80	5,86	6,66	13,65
	80-100	5,56	6,78	21,94
	0-20	4,60	7,49	62,83

Travée 6	20-40	5,42	6,84	26,20
	40-60	6,32	7,22	14,24
	60-80	5,87	6,89	17,38
	80-100	5,96	6,97	16,95
	0-20	5,12	8,11	48,70

Annexe 5 : Humidité du sol avant et après irrigation au stade montaison.

Traitement	Horizons(cm)	Humidité 1heure avant l'irrigation(%)	Humidité 1heure Après l'irrigation(%)	D (%)
Travée 1	0-20	4,96	7,52	51,61
	20-40	6,52	7,05	8,13
	40-60	5,36	8,23	53,54
	60-80	5,14	6,88	33,85
	80-100	6,02	7,36	22,26
Travée 2	0-20	5,32	8,15	53,20
	20-40	6,65	7,79	17,14
	40-60	5,85	7,19	22,91
	60-80	7,12	7,26	1,97
	80-100	6,25	6,89	10,24
Travée 3	0-20	6,77	9,12	34,71
	20-40	6,52	8,79	34,82
	40-60	6,85	8,08	17,96

	60-80	7,39	7,91	7,04
	80-100	8,15	7,25	-11,04
Travée 4	0-20	7,52	10,25	36,30
	20-40	8,20	9,87	20,37
	40-60	7,16	8,92	24,58
	60-80	8,64	8,70	0,69
	80-100	8,74	9,05	3,55
Travée 5	0-20	4,82	7,30	51,45
	20-40	5,50	6,88	25,09
	40-60	5,63	6,73	19,54
	60-80	6,18	7,14	15,53
	80-100	5,92	7,02	18,58
Travée 6	0-20	4,93	7,09	43,81
	20-40	5,68	6,84	20,42
	40-60	6,42	6,92	7,79
	60-80	5,96	6,84	14,77
	80-100	5,88	6,78	15,31

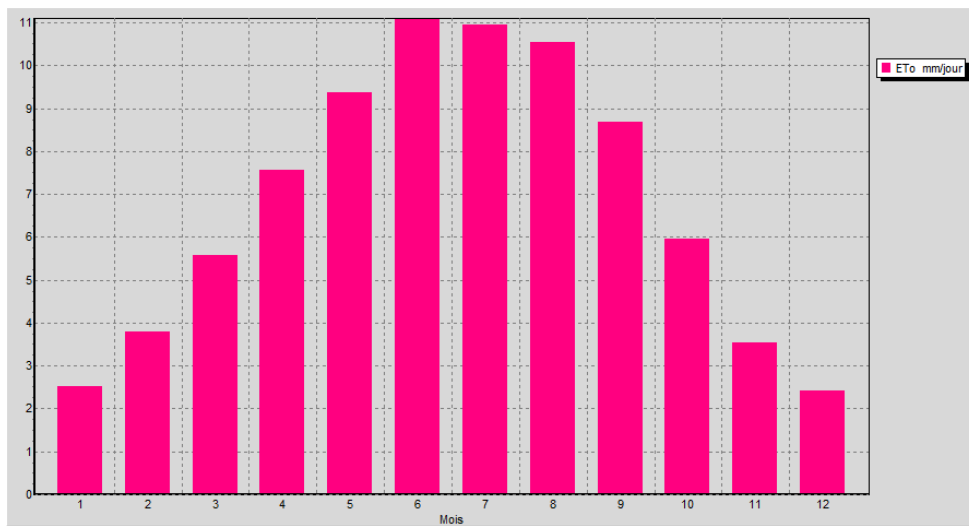
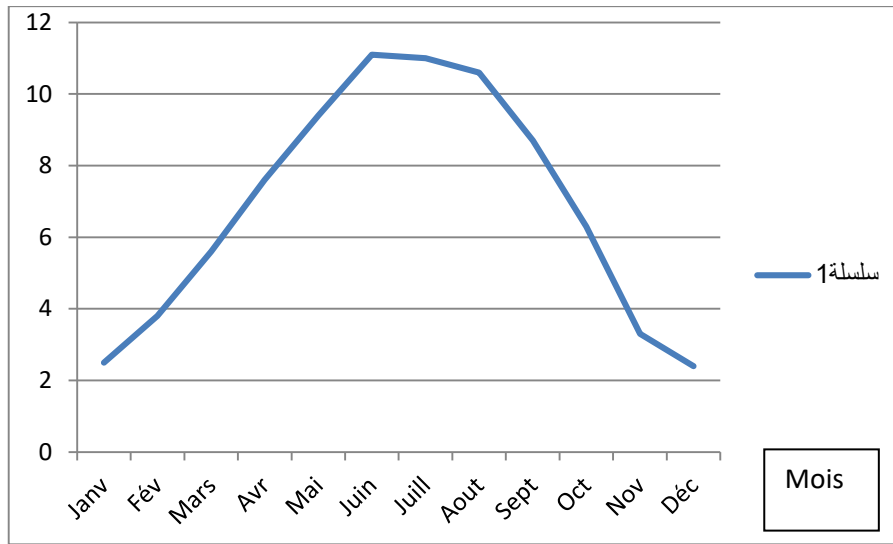
Annexe 5 : Humidité du sol avant et après irrigation au stade épiaison.

Traitement	Horizons(cm)	Humidité 1heure avant l'irrigation(%)	Humidité 1heure Après l'irrigation(%)	D (%)
Travée 1	0-20	5,75	6,82	18,61
	20-40	6,52	6,75	3,53
	40-60	5,98	6,17	3,18
	60-80	5,14	5,84	13,62
	80-100	4,88	5,63	15,37
Travée 2	0-20	5,43	6,85	26,15
	20-40	5,92	6,92	16,89
	40-60	6,10	7,17	17,54
	60-80	5,36	6,82	27,24
	80-100	5,04	6,65	31,94
Travée 3	0-20	5,23	6,72	28,49
	20-40	6,15	6,60	7,32
	40-60	6,32	7,21	14,08
	60-80	5,87	6,94	18,23
	80-100	5,12	6,65	29,88
	0-20	5,94	7,32	23,23
	20-40	6,48	7,05	8,80

Travée 4	40-60	6,12	7,32	19,61
	60-80	5,68	6,98	22,89
	80-100	5,46	6,53	19,60
Travée 5	0-20	5,20	6,80	30,77
	20-40	6,33	6,50	2,69
	40-60	5,12	7,14	39,45
	60-80	4,79	6,68	39,46
	80-100	4,82	5,99	24,27
Travée 6	0-20	4,86	6,13	26,13
	20-40	5,78	6,83	18,17
	40-60	5,20	6,97	34,04
	60-80	4,74	6,56	38,40
	80-100	4,98	5,78	16,06

Annexe 6 : Evolution des évapotranspirations de référence en fonction des mois de l'année à Hassi Ben Abdellah.

ETo (mm/jour)



Résumé

La production céréalière sous centre pivot dans les zones sahariennes est tributaire d'un certain nombre de paramètres où la gestion des irrigations constitue le principal facteur.

Les résultats sur les humidités du sol avant et après le démarrage des irrigations ont montré ont révélé que les doses d'arrosage apportées par les exploitants au cours des différents stades végétatifs du blé irrigué sous centre pivot sont largement supérieures aux besoins nets de la culture avec des humidités proches de la teneur en eau à la capacité au champ sur une profondeur dépassant de loin la zone racinaire du blé. Par contre les valeurs des humidités du sol avant le démarrage des irrigations qui suivent sont très proches de la teneur en eau au point de flétrissement permanent surtout sur la couche superficielle envahi par les racines. De même les résultats sur les humidités obtenus dans les quatre axes de la surface cultivée ont montré que le blé a subi des stress hydriques dans presque la moitié de la surface irriguée. Soit à peu près 18 heures avant le démarrage de l'irrigation. Ces phénomènes sont dus d'une part, à la nature du sol très filtrant et à faible capacité de rétention et d'autre part à la durée d'arrosage (temps de fonctionnement du pivot) qui avoisine les 36 heures notamment dans les stades critiques du blé.

Pour remédier à ces contraintes, nous avons établi un calendrier d'irrigation à l'aide du logiciel cropwat en tenant compte des caractéristiques du sol, du climat et du végétal.

Mots clés : irrigations, humidités du sol, pivot, stress hydrique, blé.

Abstract

Cereal production under pivot center in the Saharan zones is dependent on a certain number of parameters where irrigation management constitutes the main factor.

The results on soil humidity before and after the start of irrigation showed that the watering doses provided by farmers during the different vegetative stages of wheat irrigated under a pivot center are well above the net needs of the crop with humidities close to water content at field capacity to a depth far exceeding the wheat root zone. On the other hand, the soil moisture values before the start of the following irrigations are very close to the water content at the point of permanent wilting, especially on the surface layer invaded by the roots. Likewise, the results on humidity obtained in the four axes of the cultivated area showed that wheat suffered water stress in almost half of the irrigated area. That is approximately 18 hours before the start of irrigation. These phenomena are due on the one hand to the nature of the very filtering soil with low retention capacity and on the other hand to the watering duration (pivot operating time) which is around 36 hours, particularly in critical stages. wheat.

To remedy these constraints, we established an irrigation schedule using the cropwat software, taking into account the characteristics of the soil, climate and plants.

Keywords: irrigation, soil moisture, pivot, water stress, wheat.

المخلص

يعتمد إنتاج الحبوب في ظل المراكز المحورية في المناطق الصحراوية على عدد معين من العوامل حيث تشكل إدارة الري العامل الرئيسي.

أظهرت النتائج على رطوبة التربة قبل وبعد بدء الري أن جرعات الري المقدمة من قبل المزارعين خلال المراحل الخضرية المختلفة للقمح المروية تحت مركز محوري أعلى بكثير من صافي احتياجات المحصول مع رطوبة قريبة من المحتوى المائي عند السعة الحقلية إلى عمق يتجاوز بكثير منطقة جذر القمح. ومن ناحية أخرى فإن قيم رطوبة التربة قبل بدء الريات التالية تكون قريبة جداً من المحتوى المائي عند نقطة الذبول الدائم، خاصة على الطبقة السطحية التي تغزوها الجذور. كما أظهرت نتائج الرطوبة التي تم الحصول عليها في المحاور الأربعة للمساحة المزروعة أن القمح يعاني من الإجهاد المائي في نصف المساحة المروية تقريباً. أي حوالي 18 ساعة قبل بدء الري.

ولمعالجة هذه القيود، قمنا بوضع جدول للري باستخدام برنامج Crowwat ، مع الأخذ في الاعتبار خصائص التربة والمناخ والنباتات.

الكلمات المفتاحية: الري، رطوبة التربة، المحورية، الإجهاد المائي، القمح.